

ディーゼル噴霧の初期発達過程と噴霧周辺の粒径分布

Initial Development of Diesel Sprays and Spatial
Distribution of Fuel Drops in the Outer Layer

李文哲, 鈴木 豊彦, 落合 義孝, 小田 哲也, 田邊 征一
 (Wenzhe LI)(Toyohiko SUZUKI)(Yoshitaka OCHIAI)(Tetsuya ODA)(Seiichi TANABE)
 鳥取大学, 鳥取大学, 鳥取大学, 鳥取大学, 鹿児島大学
 (Tottori Univ.)(Tottori Univ.)(Tottori Univ.)(Tottori Univ.)(Kagoshima Univ.)

Diesel fuel was injected into observation vessel which was full of high pressure N_2 gas at room-temperature. By using the pulse laser source and background photography, the diesel sprays were photographed. Based on these pictures, the internal structure and macroscopic characteristics of sprays were discussed. Moreover, the drop diameters of the sprays were measured at the outer side of the sprays, and the frequency-distributions of drop diameter at different spray conditions as well as the Sauter mean diameter at different time after injection were investigated. The profile of Sauter mean diameter of spatially distributed drops in a high pressurized N_2 gas was different from the profile in a non-pressurized N_2 gas.

Key words: Diesel Spray, Fuel Injection, Drop Image Analysis, Drop Diameter, Spatial Distribution, Spray Shape

1. まえがき

ホールノズルから高圧雰囲気へ噴射した液体燃料の分散や微粒化は、直接噴射式ディーゼル機関内における燃焼や排気ガスの形成過程に大きく影響する。そこでディーゼル噴霧を対象に、多くの可視化や液滴径などの測定が行われてきた^{(1)~(6)}。ところが、噴霧と周囲雰囲気との混合過程については充分にわかっておらず、噴霧の形状と空間的に分布する液滴径との相関については未解明部分がある。

単孔ホールノズルから燃料液体を定容容器へ1回噴射すると、常圧雰囲気中と高圧雰囲気中とは、同一の噴射圧力であっても噴霧の外観が異なる。例えば、常圧雰囲気中では、噴射方向に長く伸びる複数の液滴群が噴霧を構成している。それに対して高圧雰囲気中では、巻き渦状の輪郭を成す多数の液滴群が噴霧周囲に形成されている。著者らは、これらの噴霧を対象にして噴霧の影写真を撮影し、独自に開発した方法で得られた影写真を画像解析して噴霧側面に存在する液滴の粒度頻度を測定した⁽⁷⁾。すると噴射直後では、高圧雰囲気中における噴霧の粒度頻度と常圧雰囲気における噴霧の粒度頻度とに顕著な差はみられなかった。一方、

噴射中期になると両者に差がみられるようになり、雰囲気が高圧になると直径の大きい液滴の個数割合が多くなることがわかった。噴霧内部では、噴霧の運動によって誘起された雰囲気の流れによる液滴のランダムな移動や、液滴同士の合体が起こっており、局所的な空気と噴霧の混合状態が粒度頻度に影響するものと想像できる。

本報では、液滴の空間分布と噴霧形状の関連性を探る目的で、まず常圧雰囲気下における噴霧形状と高圧雰囲気下における噴霧形状の比較を行った。そして、噴霧側面に存在する液滴のザウタ平均粒径の空間分布を測定し、噴霧形状と時間的に変化するザウタ平均粒径の空間分布の関係について明らかにした。

2. 実験装置及び方法

実験装置の概略を図1に示す。まず、ディーゼルポンプによって圧送された燃料の軽油を、噴孔径 $d=0.24$ mm、管長比 $L/d=2.5$ の単孔ホールノズルから圧力容器内の窒素で加圧された静止雰囲気中に1回噴射した。図1からわかるように圧送された軽油は噴射弁の入り口において圧力センサを通過するようになっている。また、ノズルの針弁にはニードルリフトセンサが固定されている。管内圧センサによる管内圧力と、針弁リ

フトセンサによる針弁のリフト量を図2に示す。今回はノズルの開弁圧を24MPaとした。なお、燃料の噴射開始時間を針弁が上昇を開始する時間と定義した。

一方、ノズル入り口における管内圧センサからの圧力信号を遅延回路に入力し、所定の時間後に波長337.1nm(紫外光)、発光時間15nsの窒素レーザを発光させた。そして、この紫外光をローダミン6Gの入ったダイセルに入射させることによって得た波長550nm(可視光)のレーザービームを平行光として噴霧に照射させて影写真撮影を行った⁽⁷⁾。

上記の方法によって得られる影写真から雰囲気圧力が噴霧外形におよぼす影響を定性的に知ることができる。このような定性的な知見に加えて本報では定量的な結果を得るため、影写真(ネガフィルム)の各液滴像に対する写真濃度を解析して液滴径を測定した⁽⁷⁾。ただし、個々の液滴を区別して確認できる部分、すなわち噴霧周辺に存在する液滴のみが解析対象となる。なお、本解析法では焦点面上の液滴以外は測定不能なので、ネガフィルムの解析過程で焦点面上の液滴像を焦点面外の液滴像と区別した。このようにすることで噴霧の影写真に対する本方法の測定誤差は約14%となった⁽⁷⁾。

3. 実験結果および考察

3.1 噴霧形状に及ぼす雰囲気圧力の影響

3.1.1 噴霧の到達距離、および噴霧角 図3に噴霧形状におよぼす雰囲気圧力の影響を示す。高圧雰囲気中と常圧雰囲気中では噴霧形状が異なっているが、このことについて述べる前に、噴霧の到達距離と噴霧角について述べることにする。

図4は図3のような影写真から得た噴霧の到達距離 L_p である。雰囲気圧力 P_a が増加すると到達距離が小さくなっている。しかも、常圧雰囲気中での噴霧の場合、高圧雰囲気中の噴霧に比べて到達距離の増加割合が大きい。このような性質については、従来の研究によって明らかになっている。

噴霧の到達距離は噴霧先端付近を運動する液体と周囲雰囲気によって決定されるといえるのに対して、噴霧角は噴孔付近で形成された液滴と、その側方の雰囲気との混合状態によって決定されるということが出来る。噴霧角 ϕ も到達距離と同様に図3のような影写真から得ることができ、図5のようになった。この図では常圧雰囲気、すなわち雰囲気圧力 P_a が0.1MPaの場合、今回の測定期間では噴霧角が時間 t とともに単調に

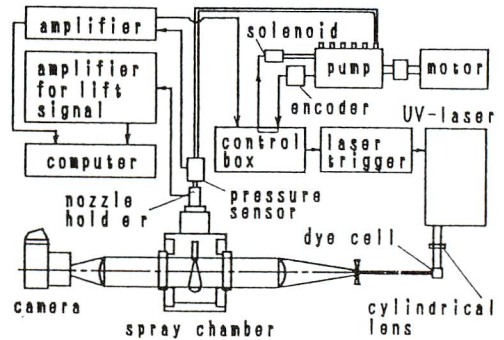


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus.

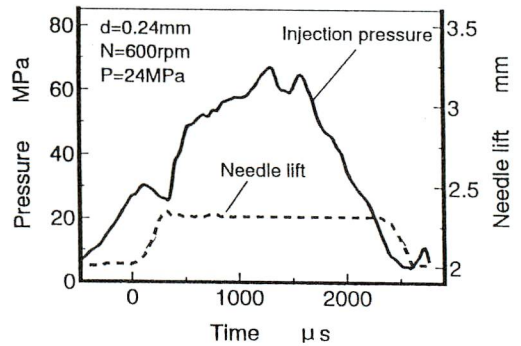


Fig.2 Diesel injection characteristics.

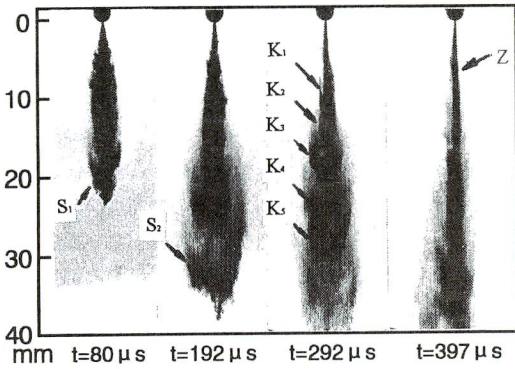
減少している。それに対して高圧雰囲気の場合、すなわち $P_a=2.0$ MPa、および4.0MPaの場合の噴霧角をみると、約80 μ s以前では雰囲気圧力の低い $P_a=2.0$ MPaの場合の噴霧角が大きくなっており、約80 μ s以降になると雰囲気圧力の大きい $P_a=4.0$ MPaの場合の噴霧角が大きくなっている。しかし、噴霧角の増加、減少の傾向は同様である。つまり噴射開始直後では噴霧角が増加しているが、直ちに極大値をとった後に減少する。この噴霧角の減少割合は時間とともに小さくなり、約800 μ s以降になると一定に近くなっている。

図5で示したような雰囲気圧力による噴霧特性の違いは、噴霧が固有に持つ乱れや、噴霧周辺に分散している液滴の直径、噴霧と周囲雰囲気との混合状態に関連しているものと想像できる。特に、噴霧と周囲雰囲気との混合状態は噴霧外形や噴霧の内部構造に関係があるといえる。そこで、噴霧形状の観察を行うこととした。

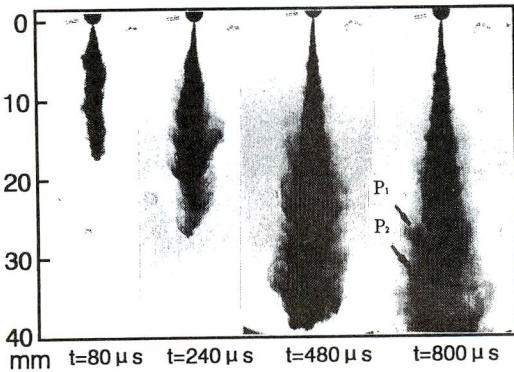
3.1.2 噴霧周辺における液滴の分散挙動

(a) 噴霧先端における挙動 雰囲気圧力 P_a が0.1

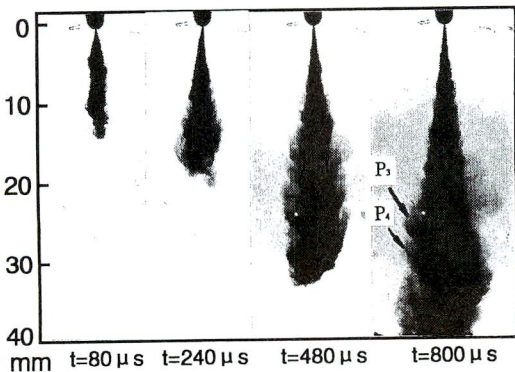
MPaの場合(図3(a)), 時間 $t=80\mu\text{s}$ の矢印 S_1 のところに写真濃度の大きい部分が見える。 $t=192\mu\text{s}$ になると、写真濃度が大きい部分の先端 S_2 にリガメントが噴射方向に伸びているように見える。それに対して、雰囲気圧力が大きくなると(図3(a), および(b)), こ



(a) $P_a=0.1\text{MPa}$



(b) $P_a=2.0\text{MPa}$



(c) $P_a=4.0\text{MPa}$

Fig. 3 Shadowgraphs of diesel sprays.

のようなリガメントはみえていないようである。しかし、図3では噴霧先端を観察することが困難なので、図6に拡大写真を示す。

常圧雰囲気の場合(図6(a)), $t=48\mu\text{s}$ の矢印 A_1 の部分には先端の形状が球状の液塊がみえる。これは噴射開始後直ちに噴孔から噴射された液体が周囲の静止雰囲気中を進むうちに、液塊の側方において反進行方向のせん断力を受けたためといえる。この球状液塊の後方には、 A_2 のような液滴群がみえている。 $t=96\mu\text{s}$ における噴霧の先端から約3mmまでの輪郭はV字型となっており、その周辺部分 B_2 に液滴がみえている。このV字の先頭部分にも液塊がみえており、 B_1 のような突起が出ている。 $t=128\mu\text{s}$ の噴霧の先端から約3mmの輪郭も $t=96\mu\text{s}$ の場合と同様にV字型の輪郭となっているが、このV字型の先端 C_1 では分裂がそれ以前よりも進んでいる。 $t=176\mu\text{s}$ においても噴霧先端から約4mmの範囲の輪郭がV字型になっているが、このV字の角度はそれ以前よりも大きくなっており、噴霧の幅も大

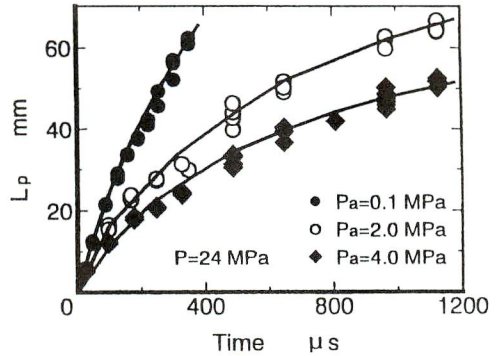


Fig. 4 Effects of ambient pressure on spray tip penetration.

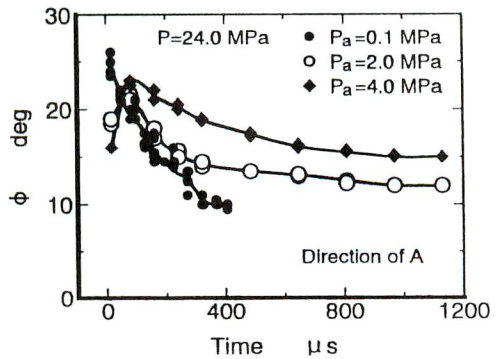


Fig. 5 Effects of ambient pressure on spray cone angle.

きくなっている。V字の先端D₁ではt=128 μ s以前にみえていた液塊が完全に消滅し、噴射方向に伸びているリガメントがみえる。このようなリガメントはつぎに述べる高圧雰囲気中のいずれの写真(図6(b))にもみえていない。

図6(b)の時間t=320 μ sにおける噴霧の先端Sをみると輪郭が明瞭にみえており、液滴が高数密度で存在していることがわかる。しかも、t=480 μ s以降でみえるP₁、P₂、およびP₃のような巻き渦がみえていない。したがって、噴霧先端の液滴は主として噴射方向に進行しているといえる。噴射開始後t=480 μ sになると、噴霧の先端では矢印で示すような突起が形成されており、噴霧の両側にはP₁のような巻き渦が生じている。t=640 μ s以降になると巻き渦が噴霧先端付近においてもみられるようになっていく(P₂、およびP₃)。この時期になると噴射方向の速度は、噴射直後に比べると大きく減衰しているのに対して、噴霧の幅方向の速

度は大きくなっていると考えられる。

以上のことから高圧雰囲気中での初期における噴霧の分散過程はつぎの段階を経ていくといえる。すなわち、まず(i)噴霧先端に巻き渦が現れていない段階(雰囲気圧力がP_a=2.0MPaの場合には約t=500 μ sまで)が起こり、ついで(ii)噴霧先端に巻き渦が現れる段階(P_a=2.0MPaの場合には約t=500 μ s以降)が起こるといえる。

(b)噴霧の中期における分散挙動 再び図3の噴霧の観察を行うこととする。常圧雰囲気中の噴霧である図3(a)をみるとt=292 μ sまでは、例えばK₁~K₆からわかるように、液滴の数密度の大きい部分が規則的に並んでいることがわかる。液滴の数密度の大きい部分は、いずれも噴射方向の長さが大きくなっている。一方、隣り合う液滴の数密度が大きい部分と部分の間では液滴の数密度が小さくなっている。噴霧の幅は、噴霧先端を除き噴孔からの距離が大きくなるにつれて

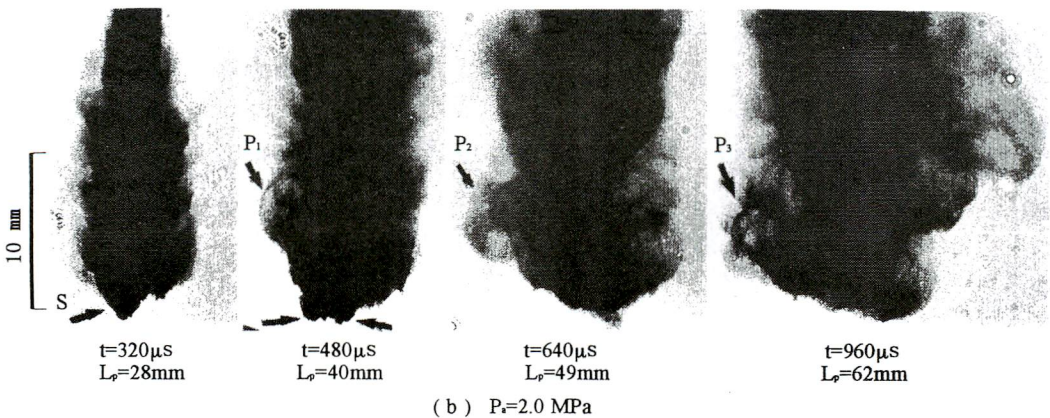
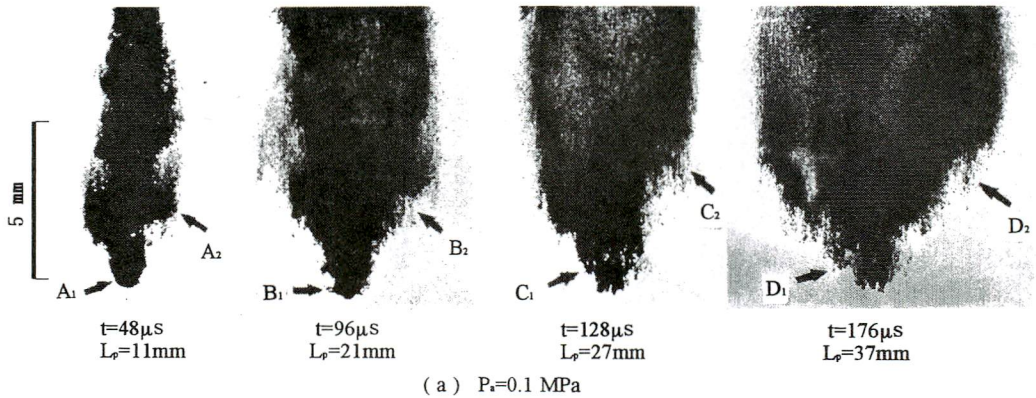


Fig. 6 Shadowgraphs of spray tips.

増加しており、それともなって、液滴の数密度の小さい部分の面積が大きくなっている。t=397 μ sの噴霧をみると、液滴の数密度が大きい部分は規則的に並んでいない。この写真では噴霧下部が写っていないが、噴霧下部には液滴の数密度の大きい部分が規則的に並んでいた。

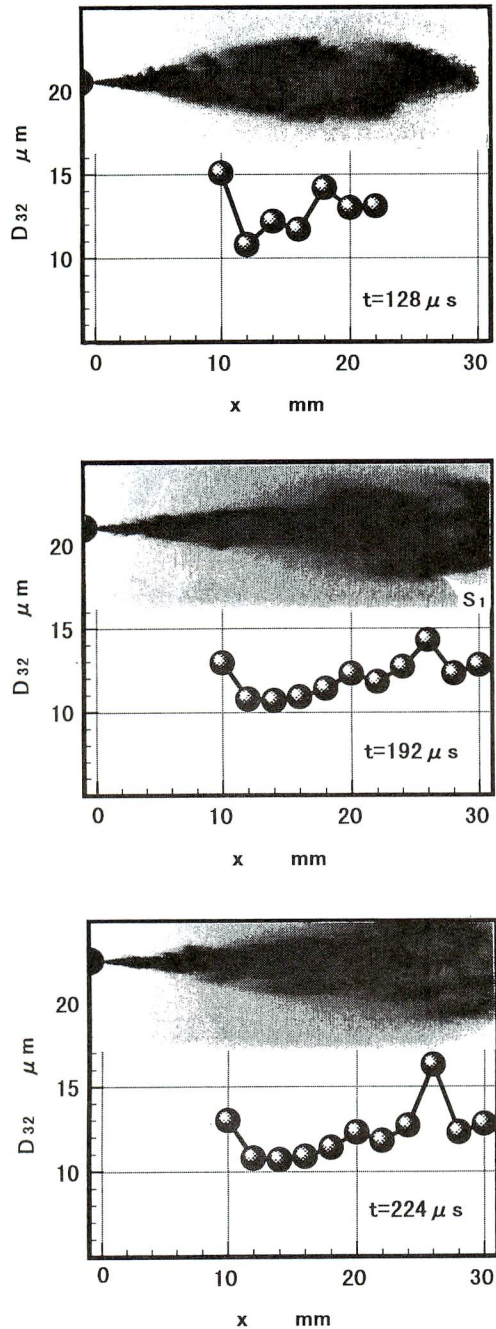
高圧雰囲気下の噴霧には図3(b)のP₁、P₂や図3(c)のP₃、P₄のような巻き渦が現れている。このような巻き渦は常圧雰囲気中の噴霧にはみえていない。このことについてはすでに述べた。噴霧の内部には常圧雰囲気下での噴霧にみえていた液滴の数密度の小さい部分はみえておらず、K₁~K₅のように規則的に並んだ高数密度の液滴群を確認することはできない。

以上述べたように、常圧下の噴霧と高圧下の噴霧では噴霧の構造が異なっている。このような噴霧の構造と空間的に分布する液滴の直径には関連があると考えられる。そこで、次節では噴霧周囲に分布する液滴の直径について述べることとする。

3.2 噴霧側面に分布する液滴の直径

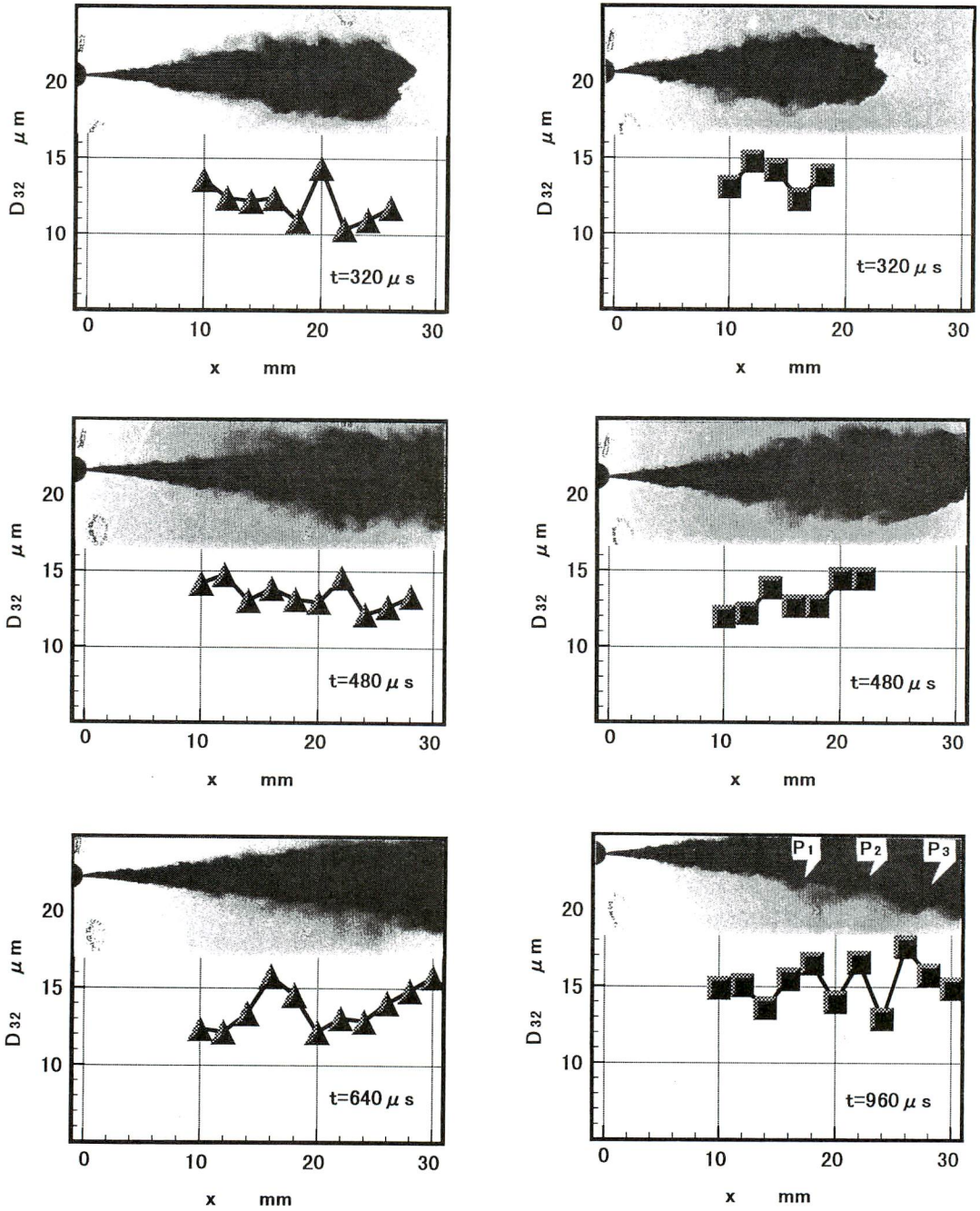
3.2.1 空間的に分布する液滴の直径 ザウタ平均粒径D₃₂の空間分布を図7に示す。図中には解析した噴霧の影写真も示している。この影写真では上側と下側が噴霧の側面であり、その周辺では液滴の数密度が比較的小さくなっている。本測定法は、第2章でも述べたように影写真から個々の液滴の直径を求めるという方法を採用しており、写真上で重なり合っていない全ての液滴(すなわち噴霧側面に存在する液滴)が測定対象となっている。図7では噴霧の周辺に分布する液滴の中でも、各図の下側に分布する液滴が対象となる。この図ではザウタ平均粒径の測定点が2mm毎となっており、各測定点から $\Delta x = \pm 1\text{mm}$ の範囲にある全液滴からザウタ平均粒径を求めた。各測定位置に対するザウタ平均粒径を求めるための液滴の個数は位置ごとに異なっているが、少なくとも30個以上の液滴が測定範囲に存在している。なお、測定範囲に存在する液滴数の最大値は約160個であった。いずれの図にも噴孔付近、および噴霧先端付近の測定結果を載せていないが、これは著者らの方法では測定の困難な非球形の液滴が多く存在していることや、球形の液滴がわずかしか存在しないことが理由である。

まず、図7(a)、すなわち常圧雰囲気下における噴霧のザウタ平均粒径D₃₂をみると、いずれの時間においても噴孔から10mmの位置ではザウタ平均粒径が大きくなっているが、12mmになると小さくなっている。そして12mmよりも下流ではザウタ平均粒径が次第に大きく



(a) P_a=0.1 MPa

Fig.7 Spatial distribution of Sauter mean diameter.



(b) $P^* = 2.0 \text{ MPa}$

(c) $P^* = 4.0 \text{ MPa}$

Fig.7 Spatial distribution of Sauter mean diameter.

なっている。しかし、各噴霧ともザウタ平均粒径が極大となっている位置が1カ所ずつある。例えば、時間が $t=192\mu s$ のときには噴孔から26mmのところ、その位置の前後よりも大きな値となっている。この噴霧の周辺部分をみると、約15mmよりも上流において、写真濃度の大きい噴霧のコアのような部分が噴霧表面に露出した格好になっている。

一方、前に述べたザウタ平均粒径の大きい位置 $x=26$ mmに相当する部分 S_1 付近を拡大してみると図8のようになる。この写真からわかるように噴孔から26mm付近の噴霧側面部分では液滴の数密度が、その下流や上流よりも大きくなっている。このように噴霧側面部分における液滴の高数密度領域ではザウタ平均粒径が大きくなっている。

それに対して噴孔から約15mm~24mm、および約28mmよりも下流の噴霧側面付近をみると、液滴の数密度が比較的小さくなっており、ザウタ平均粒径も小さくなっている。このことは $t=242\mu s$ の場合も同様である。例えば、噴孔から26mmのところ、粒径が極大となっており、液滴の数密度も大きくなっている。しかし、この位置での極大値は、 $t=192\mu s$ のときの極大値よりも大きくなっている。このことからつぎのことが考えられる。すなわち、図4からわかるように常圧雰囲気下の場合には噴霧先端の速度が、高圧雰囲気下の噴霧よりも大きい。そして、噴霧に巻き渦がみえないことから、噴霧周囲の液滴も噴霧の中心軸付近の液滴と同じように噴射方向に大きい速度で進行しているといえる。すると、液滴の受ける空気抵抗が液滴径によって異なるため、小さい液滴ほど減速の度合いが大きく、大きい液滴は減速しにくいこととなる。このように、噴霧側面に図8のような液滴の数密度の大きい部分があると、この液滴群に含まれている小さな液滴が時間の経過とともに大きな液滴から次第に取り残されるようになり、大きい液滴と小さい液滴の分級が起こるものと思われる。

図7(b), (c)の噴霧、すなわち高圧雰囲気下の噴霧側面にも、図3と同様な巻き渦がみえている。一方、ザウタ平均粒径 D_{s2} は常圧雰囲気の場合に比べ大きな空間頻度で増加減少を繰り返している。しかも、ザウタ平均粒径の増加と減少の繰り返しがこの巻き渦の位置に対応しているようにみえる。これらの図のプロットは2mm間隔であり、巻き渦間の間隔や大きさに比べて十分に小さいとはいえない。さらに巻き渦の強度も個々に異なっていると考えられる。よって、平均粒径の増加と減少の繰り返しが明瞭にはみえないこともあり得る。しかし、図7(c)の $t=960\mu s$ における測定結果を

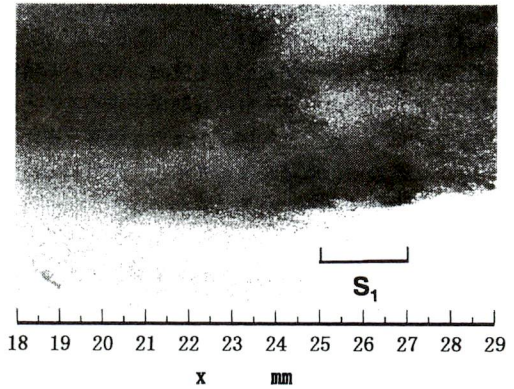


Fig.8 Close up of S_1 in Fig.7(a)

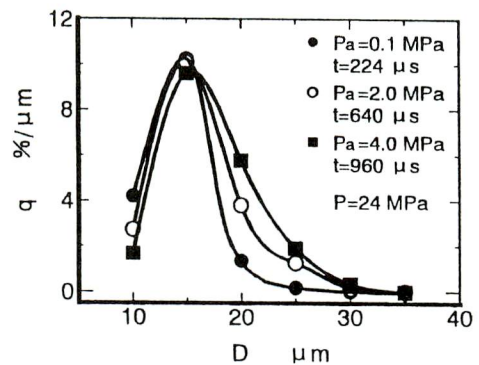


Fig.9 Effects of ambient pressure on number frequency of spray drops.

みると、ザウタ平均粒径の増加減少の繰り返しが巻き渦の位置に対応していることがわかる。すなわち、巻き渦 P_1, P_2, P_3 の付近でザウタ平均粒径が大きく、巻き渦と巻き渦の間でザウタ平均粒径が小さくなっている。

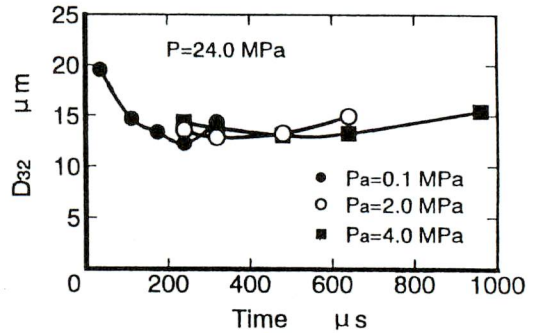
巻き渦が多く存在している噴霧側面では液滴の速度分布が常圧雰囲気の場合と異なっているといえることができる。巻き渦のある噴霧側面には一定の規則性を持った液滴の速度分布があると想像され、各巻き渦ごとに液滴の分級が行われているものと考えられる。言い換えると時間の経過とともにザウタ平均粒径 D_{s2} の極大値が大きくなると考えられる。そこで再び図7(b), (c)をみると時間とともにザウタ平均粒径の極大値が次第に大きくなっている。このように高圧雰囲気下におけるザウタ平均粒径の空間分布は、常圧雰囲気下と異なる。

3.2.2 液滴径の時間変化 図9に雰囲気圧力が液滴の粒数頻度 q におよぼす影響を示す。前述のように、本実験の解析では個別に認識できる液滴(すなわち噴霧周辺に分布する液滴)であれば液滴径を求めることが可能である。したがって、図7のような噴霧写真に撮影されている液滴の直径を集計すると、解析可能な液滴に対する粒数頻度を求めることができる。図9はこの方法をノズルから $x=10\text{mm}\sim 30\text{mm}$ の領域に存在する噴霧両側面の全液滴に適用して得た粒数頻度である。

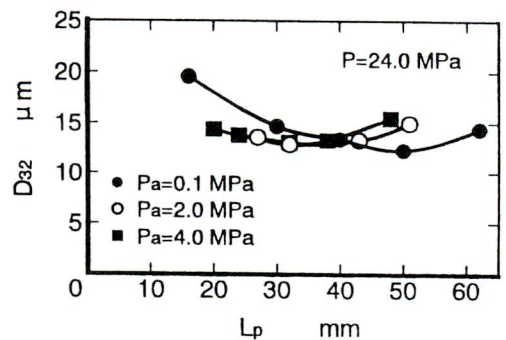
測定時刻は雰囲気圧力が大きいほど遅くなっているが、これは到達距離 L_p が45mm程度の噴霧について比較したためである。いずれの条件とも $15\mu\text{m}$ 程度の液滴の割合が最も大きくなっている。ところが、雰囲気圧力が大きいほど小さい液滴の割合が少なく、大きい液滴の割合が多くなっている。この理由にはつぎのことが考えられる。ここで示した条件の噴霧は図4、および図5からわかるように到達距離と噴霧角に近い値となっており、噴霧の占める体積も近い値になっていると考えることができる。ところが、雰囲気圧力の大きい噴霧ほど撮影写真の撮影時刻が遅く、噴霧内に存在する燃料の量も大きくなる。さらに図7からわかるように雰囲気圧力は液滴径に影響をおよぼしているとはいえ $5\mu\text{m}$ 以下である。このことから雰囲気圧力が大きいほど、噴霧内における液滴の数密度は大きいといえる。よって、液滴同志の衝突頻度が大きくなったと考えることができる。

図9のような粒数頻度から噴霧側方に分布する液滴のザウタ平均粒径 D_{32} を求め、このザウタ平均粒径の時間変化についてまとめたところ、図10(a)のようになった。なお、前にも述べたように測定対象となる液滴はノズルから $10\text{mm}\sim 30\text{mm}$ の範囲に存在するものだけである。各曲線の最初の部分を見ると、時間の経過とともにザウタ平均粒径が小さくなっている。これは時間とともに噴射速度が大きくなっているためである。200 μs におけるザウタ平均粒径をみると差が数 μm 程度とはいえ、雰囲気圧力が大きいものほどザウタ平均粒径が大きくなっている。これは、同一時刻では雰囲気圧力の大きい場合の噴霧体積が小さいため、液滴の数密度が大きくなり液滴の衝突確率が増したためと考えられる。

図10(a)では、同一時刻の噴霧周囲における液滴のザウタ平均粒径 D_{32} を比較した。そこで最後に、噴霧の分散する範囲が近いと思われる到達距離が同一の噴霧について比較してみた。つまり、つぎに示す図10(b)は図10(a)の横軸を噴霧の到達距離 L_p として描き直したものである。この図では測定対象となる液滴は、少なくと



(a) Sauter mean diameter versus time.



(b) Sauter mean diameter versus spray tip penetration

Fig. 10 Effects of ambient pressure on Sauter mean diameter.

も到達距離 L_p よりも上流側に位置していることとなる。常圧雰囲気下の場合、ザウタ平均粒径は到達距離 L_p が約50mmまで減少傾向となっている。そして、到達距離 L_p が約40mmよりも小さいところでは高圧雰囲気中の場合におけるザウタ平均粒径よりも大きくなっている。これは常圧雰囲気の場合、噴射開始後200 $\mu\text{s}\sim 600\mu\text{s}$ においてザウタ平均粒径を測定しているのに対して、高圧雰囲気の場合には200 μs 以前のごく噴射初期に測定を行ったためである。言い換えると同時刻であれば常圧雰囲気の場合に比べ、高圧雰囲気の場合の噴射速度が大きいためである。

一方、 $P_a=2.0\text{MPa}$ の場合と $P_a=4.0\text{MPa}$ の場合、ザウタ平均粒径の増加減少の傾向がよい一致を示している。特に、到達距離 L_p が約35mm以下ではザウタ平均粒径に顕著な差はなく、到達距離の増加とともにザウタ平均粒径が減少している。しかし、ザウタ平均粒径 D_{32} の減少の度合は $1\mu\text{m}\sim 2\mu\text{m}$ 程度である。

以上で述べたように高圧下と常圧下では、ザウタ平

均粒径が小さくなる場所での減少の度合や、ザウタ平均粒径が減少する範囲が大きく異なっている。この原因は現在のところ不明である。しかし、前に述べたように、高圧雰囲気の場合には巻き渦の影響を受けて噴霧外部に引き出された液滴が測定対象になっているのに対して、常圧雰囲気の場合には噴射方向の速度成分が主である液滴が測定対象となっているという違いがある。したがって、噴霧内部の液滴の挙動について詳細な解明を行うと、この原因が解明されるものと考えられる。

4. まとめ

噴霧の発達過程と液滴径の時間的、空間的分布の関連について明らかにすることを目的として、噴霧の影写真を観察するとともに、得られた影写真を解析することで噴霧側面に存在する液滴のザウタ平均粒径を測定した。その結果、つぎのことがわかった。

(1) 常圧雰囲気中と高圧雰囲気中とは、ザウタ平均粒径の空間分布の形状が異なる。

すなわち、それぞれつぎのような分布となっていた。

(2) 常圧雰囲気中における噴霧の場合、ザウタ平均粒径の比較的小さい領域が広範囲にわたっており、この領域が噴霧側面における液滴の数密度の小さい領域と一致していた。

(3) 高圧雰囲気中における噴霧の場合、ノズル噴孔からの距離の増加とともにザウタ平均粒径は増加と減少とを繰り返す。この増加と減少の頻度は常圧雰囲気中と比べて大きかった。

さらに、ザウタ平均粒径の時間的な変化を調べた結果つぎのことがわかった。

(4) 常圧雰囲気の場合、高圧雰囲気の場合とも、ザウタ平均粒径の空間分布にみられる最大値は、時間の

経過とともに大きくなった。

(5) 高圧雰囲気中では、燃料の噴射直後においてザウタ平均粒径が時間とともに減少する。この結果をまとめ直し、到達距離が同一の噴霧について比較してみると、雰囲気圧力によるザウタ平均粒径の差は顕著ではなかった。しかし、このときにおける平均粒径の減少の度合は、常圧雰囲気と比べると小さかった。

5. 文 献

- (1) 津江光洋・服部廣司、斉藤晃、角田敏一：噴射ノズル近傍におけるディーゼル噴霧の内部構造、機論, 59-564, B(1993), 2584-2589.
- (2) 高橋秀夫, 柳沢洋樹, 志賀聖一, 柄沢隆夫, 中村壽雄：ディーゼルノズルより噴出する間欠噴霧の初期微粒化過程の観察, 機論, 61-581, B(1995), 351-356.
- (3) 石山拓二, 三輪恵, 鴨川正博, 劉育民, 宮城勢治：ナノスパーク光源によるディーゼル噴霧の微細構造の観察, 機論, 60-570, B(1994), 715-721.
- (4) 田端道彦, 新井雅隆, 広安博之：高圧雰囲気中に噴射されたディーゼル噴霧の平均粒径, 機論, 55-518, B(1989), 3239-3245.
- (5) 竹内貴一郎, 村山博美, 千田二郎, 山田耕司：高圧容器内のディーゼル噴霧の粒度分布について, 機論, 48-433, B(1982), 1801-1810.
- (6) 劉育民, 石山拓二, 三輪恵, 大久保智浩, 宮城勢治：ディーゼル噴霧における初期燃料液滴の形成に関する研究, 機論, 61-587, B(1995), 2731-2737.
- (7) 李文哲, 鈴木豊彦, 落合義孝, 田辺征一：ディーゼル燃料噴霧粒子径の解析法とその応用, 微粒化, 6-15 (1997), 2-10.



李文哲
鳥取大学・大学院・工学研究科
情報生産工学専攻
動力工学研究室
〒680 鳥取市湖山町南4-101
Tel 0857-31-5203
略歴：現在、鳥取大学大学院工
学研究科博士後期課程に在学。ディーゼル噴霧に関
する研究に従事。



小田 哲也
鳥取大学・工学部・機械工学科
講師
〒680 鳥取市湖山町南 4-101
Tel. 0857-31-5206
略歴：1990年 広島大学大学
院工学研究科修了
気流を受ける液体噴流の微粒化、気流中での液
体燃料の燃焼、液滴径に関する測定に従事



鈴木 豊彦
鳥取大学・工学部・教授
〒680 鳥取市湖山町南4-101
Tel/Fax 0857-31-5202
略歴：1964年名大航空学科卒、
1972年ニューヨーク大学大学院
博士課程修了、液滴燃料噴霧の
群燃焼に関する研究、往復動機関のピストンスラ
ップに関する研究、乱流せん断流の研究に従事。



落合 義孝
鳥取大学・工学部・機械工学科
助手
〒680 鳥取市湖山町南4-101
Tel 0857-31-5203
略歴：1967年大阪工業大学卒
鳥取大学助手
往復動機関のピストンスラップ・潤滑に関する研
究に従事。



田辺 征一
鹿児島大学・教育学部・技術科
教授
〒890 鹿児島市郡元1-20-6
Tel/Fax 099-285-7870
略歴：1964年立命館大学理工学
部卒業、京都大学工学部・助手
鳥取大学工学部・助教授、エンジンシリンダ内ガ
ス流動、熱・流体の計測に関する研究に従事。