



## ディーゼル機関における燃料噴霧特性に関する研究(第2報) (燃料噴射圧力およびノズル噴孔径が非蒸発ディーゼル噴霧の内部構造に及ぼす影響)

### A study on fuel spray features in diesel engine (Second report) (Effects of fuel injection pressure and nozzle hole diameter on internal structures of non-evaporative diesel spray)

西浦 宏亮, 井上 優, 松村 恵理子, 千田 二郎  
(Kohsuke NISHIURA) (Yu INOUE) (Eriko MATSUMURA) (Jiro SENDA)  
同志社大学大学院 同志社大学大学院 同志社大学 同志社大学  
(Doshisha Univ.) (Doshisha Univ.) (Doshisha Univ.) (Doshisha Univ.)

The combustion process in diesel engines is greatly affected by spray features and depends on air-fuel mixture features. Therefore, it is necessary to grasp the detailed spray features in mixture formation process. The purpose of this report is to grasp macro features and internal structures in diesel sprays. In the previous 1<sup>st</sup> report, temporal macroscopic characteristics were discussed for the non-evaporative sprays with a variation of fuel injection pressure, nozzle hole diameter and ambient density. In this 2<sup>nd</sup> report, the spray internal structures and microscopic characteristics such as spray density spatial distribution and droplet size distribution inside the non-evaporative sprays is focused by applying Laser Induced Fluorescence method (LIF) and magnified high spatial resolution photography. As a result, with increasing in injection pressure and smaller nozzle hole, the spray internal structure is getting homogeneous and mean droplet size is getting small.

Keywords: Heat engine, Compression ignition engine, Diesel, Fuel spray, Atomization

## 1. 緒言

一連の本研究では、非蒸発ディーゼル噴霧の巨視的および微視的な構造の燃料噴射圧力、ノズル噴孔径、雰囲気密度の依存性を定量的に調べ、従来提案されている各種の実験式や次元解析式と指数相関的に比較検証し、それらが昨今の高圧噴射、高雰囲気密度場条件に適用可能であるかを主要内容としている。第1報では非蒸発の単孔ホールノズルから噴出される噴霧の到達距離と噴霧拡がり角の時間変化、およびそれらから算定される噴霧体積などの巨視的な変化を燃料噴射圧力、ノズル噴孔径、雰囲気密度を変化させて調べた。ここではシャドウグラフ撮影手法を用いた。さらに噴霧角と上記3つのパラメータの指数相関を調べ、従来の種々の提案式と良い一致を示すことを示した。

第2報では、第1報と同じく非蒸発噴霧を対象として、噴射圧力とノズル噴孔径を変更した場合の噴霧内の燃料液相濃度の空間的な状況および噴霧の代表領域における噴霧液滴群の平均粒径の変化を詳細に調べた。計測手法としては、非蒸発噴霧であるが噴霧中心断面内部の液相濃度把握のためレーザー誘起蛍光法(Laser Induced Fluorescence; LIF)を、液滴粒径計測には当研究室で開発した超高解像度撮影法(Super High Spatial Resolution Photography; SHSRP)を用いた<sup>(1)(2)</sup>。ここでは、時間軸は噴射期間の中央の時期に固定して、これらの噴霧性状の2つのパラメータの影響を解析し、噴霧内部の液相濃度の均一性の評価にはソールフィルタ処理を用い、また液滴平均粒径の解析ではこれら2つのパラメータの指数相関を調べた。

## 2. 実験方法および解析手法

### 2.1 レーザ誘起蛍光法

本実験では、非蒸発噴霧において液相噴霧内濃度分布の把握を目的としてLIF撮影を行なった。図1にLIF撮影で用いた実験

装置の光学系概略図を示す。燃料噴射装置に手動ポンプ(理研機器株式会社:UP-31)を用い、定容容器内に窒素を充填させ、単孔ホールノズル(DENSO:G3Pインジェクタ)により燃料を噴射した。光源にはNd:YAGレーザー(Spectra Physics:PRO200)の第4高調波(波長: $\lambda=266$  nm)を用いた。発振されたレーザー光は、2枚のシリンドリカルレンズ(シグマ光機:CLSQ-2030-1000P, CLSQ-3050-100P)を用いてシート状に変換した。本研究の供試燃料では、蛍光剤としてテトラリンを選定し、混合割合は体積分率で7%である。図2にLIF撮影に用いた燃料および蛍光剤の各物性値と本研究で用いた燃料および蛍光剤の蛍光特性を分光計(浜松ホトニクス:C8808-01 PMA-11)により計測した結果と、蛍光分光時に用いたバンドパスフィルタの透過特性を示す。噴霧撮影実験において蛍光剤から発せられる蛍光は、バンドパスフィルタ(中心波長355nm, 半値幅5nm)により分光され、イメージインテンシファイア(浜松ホトニクス:C4078-01)を介してCCDカメラ(浜松ホトニクス:C9164-01)により撮影される。

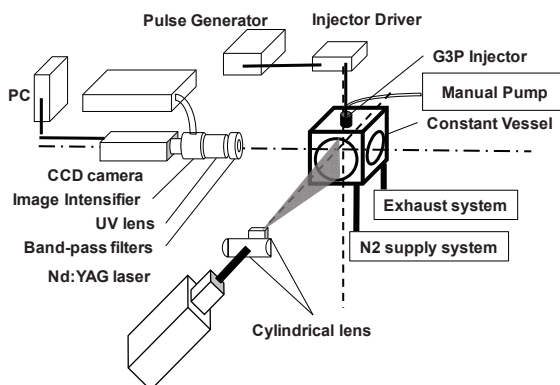


Fig.1 Optical system of LIF photography

原稿受付: 2020年2月14日

\* 責任著者: 会員, 同志社大学

(〒610-0321 京田辺市多々羅都谷 1-3)

E-mail: jsenda@mail.doshisha.ac.jp

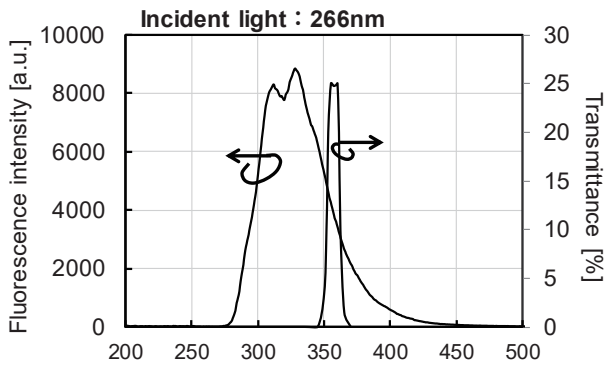


Fig.2 Fluorescence spectra of tetralin/tridecane mixture under 266 nm excitation and transmission curve

### 2.2 ソーベルフィルタ解析<sup>(3)</sup>

LIF 法により得られた噴霧中心断面の蛍光の撮影画像からエッジ検出を行なうため、微分オペレータとしてソーベルフィルタを用いた。画像における画素値の変化に対して差分演算を行なうことで、噴霧蒸気相内の輝度変化に関する情報を得ることができる。ソーベルフィルタではある注目画素の上下左右 8 つの画素値について水平方向と垂直方向に対してそれぞれ係数行列を乗算し、結果を合計する。

$$\text{水平方向 } G_x \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{垂直方向 } G_y \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

水平方向の合計値を  $G_x$ 、垂直方向の合計値を  $G_y$  とした時、注目画素の画素値  $G$  は(1)式で与えられる。

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (1)$$

それぞれのピクセルに関して画素値を算出し、画素値を再配置することにより噴霧内における輝度勾配が得られる。

### 2.3 超高解像度撮影法

図 3 に超高解像度撮影で用いた撮影光学系の概略図を示す。光源には Nd:YAG レーザの第 2 高調波(Spectra Physics:PRO200, 波長  $\lambda=532$  nm, 発光半値幅:8ns/pulse)を使用した。出射されたレーザー光は、ピンホールを介してレーザー光により生じるスペckルノイズと呼ばれる斑点模様を低減させるスペckル低減装置(ナノフォトン:スペckルキラー, SK-11,  $\phi=10$  mm)に入射した。スペckル低減装置より出射されたレーザー光は平凸レンズ( $f=200$ mm)、両凸レ

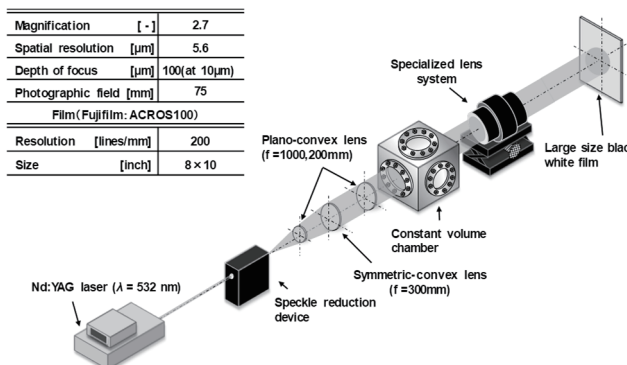


Fig.3 Schematic diagram of Super High Spatial Resolution Photography

ンズ( $f=300$ mm)および平凸レンズ( $f=1000$ mm)の順に通過し、集光されながら噴霧に照射される。噴霧を透過したレーザー光は超高解像度レンズ系により捉えられ、受光面上に拡大結像される。なお、本撮影系は受光面に 8×10 inch の大判フィルム(富士フィルム:ネオパン ACROS100, 線解像度:200 本/mm)を用いた。

### 2.4 粒子解析法<sup>(1)(2)</sup>

本画像解析法では、8×10inch の大判フィルム対応のフィルムスキャナ(EPSON : GT-X970)により、噴霧の拡大写真を解像度  $R_s=6400$ dpi, 8bit のモノクロ画像として PC に取り込む。この時、入力画像の分解能は 1pixel あたり 3.97 $\mu\text{m}$  である。本実験では超高解像度レンズ系により液滴を 2.7 倍で撮影するため、デジタル画像の分解能は実寸法で 1.47 $\mu\text{m}$  となる。取り込んだ噴霧画像は、解析時における処理速度向上のため 1mm 各の領域に分割される。

PC に 1 枚ずつ読み込まれた画像(1×1mm)は、2 値化処理により画像中の閾値以上の輝度を有する画素と分離され抽出される。2 値化処理における連結成分は、4 近傍ラベリング処理<sup>(4)</sup>により番号が割り振られ、個々の粒子像として識別される。それぞれの粒子像は、その面積や周囲長が算出されることで、像の重心座標、円相当直径、相対分散度等の特徴量が計算される。計測データは後述する被写体深度外における液滴の除去や空間分解能を考慮した補正が行なわれ、出力される。

本画像解析法では液滴の評価項目として、液滴像の(1)位置、(2)円相当直径、(3)相対分散度および(4)液滴像外周の平均輝度勾配 (ADG: Average Density Gradient)を算出する。円相当直径  $D$  は、以下の算出式で示される。

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (2)$$

ここで、 $A$  は液滴像面積である。また、相対分散度  $L/L_0$  は、等周不等式  $S^2/A \geq 4\pi$ (真円なら等号が成立)を用いて、

$$\frac{L}{L_0} = \frac{S^2/A}{4\pi} \quad (3)$$

とした。上式中の  $S$ : 周囲長、 $L$ : 分散度、 $L_0$ : 真円の分散度である。液滴像は  $L/L_0$  の増加に伴い細長い、または凹凸を有する形状となる。無限に小さい点光源の像も、超高解像度レンズ系の空間分解能である 5.6 $\mu\text{m}$  まで広がるため、空間分解能未達の液滴はその形状を評価することができない。そこで本研究では、撮影系の空間分解能未達の液滴を計測対象から除外した。また、 $L/L_0 \geq 1.2$  の液滴像は液滴像の重なり、背景ノイズとみなし計測対象から除外した。噴霧画像において、被写体深度外にあるぼやけた液滴像は個々の液滴を判別する上でノイズとなり解析の妨げとなる。また、大粒径の液滴に成る程被写体深度が増加して検査体積が増加し粒度分布に偏りが生じる。そのため、粒径毎に被写体深度を補正する必要がある。そこで、本解析プログラムでは液滴像外縁部の平均輝度勾配を用いて被写体深度内の液滴を判別した。

粒子像外縁における平均輝度勾配の閾値は粒径の異なるガラスビーズ(粒径: 10, 20, 40, 60, 100 $\mu\text{m}$ )を用いて検定を行なった。粒径の異なる 5 種類のガラスビーズから得られる粒子像の平均輝度勾配と焦点面からの距離との関係求めた。図 4 にガラスビーズ検定から得られる粒径と被写体深度の関係を示す。また、この関係より被写体深度内の各粒子像外縁における平均輝度勾配の最小値を図 5 に表す。図中の破線は受光面上での空間分解能限界である 9.8 $\mu\text{m}$  を表す。なお、この値は解像力チャート(Edmund optics : 1951USAF)の撮影結果より算出した。また、実線は最小二

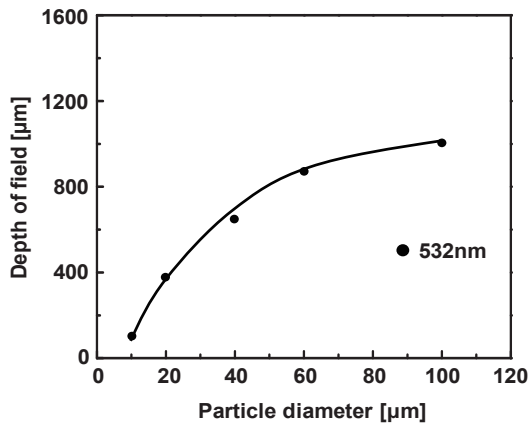


Fig.4 Correlation between depth of field and particle diameter

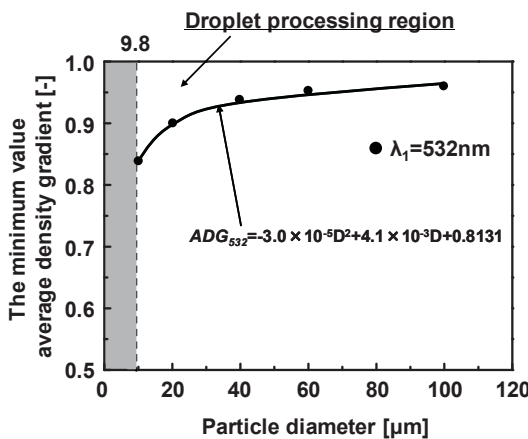


Fig.5 Minimum average density gradient of glass beads

乗法により求めた近似曲線であり、波長 532nm のレーザー光に対してそれぞれ以下の式で与えられる。

$$ADG_{532} = -3.0 \times 10^{-5} D^2 + 4.1 \times 10^{-3} D + 0.8131 \quad (4)$$

本報における実験では波長 532nm のレーザーを用いたため、(4)式を用いて被写体深度内の液滴を判別した。また、粒径が大きくなるに伴い被写体深度は増加するため、被写体深度が一定となるよう補正を行なう必要がある。

本解析法では実線より上の領域を計測対象とし、粒径毎の検査体積を一定とする。なお、本光学系の空間分解能は解像力チャート(Edmund Optics:1951USAF test target)を用いて検定した結果、9.8μmであった。

### 2.4 微粒化効率

微粒化効率<sup>(5)</sup>とは、燃料の圧力上昇に用いられたエネルギーに対する微粒化の度合いを示すパラメータである。本報では、生成噴霧の表面エネルギー  $E_\sigma$  を、投入した微粒化動力  $W$  によって除したものが微粒化効率であり、以下の式で表した。

$$\eta_{atomize} = \frac{E_\sigma}{W} = \frac{\sigma \times \pi \times \sum_i D_i^2}{\Delta P_{liq} \times \frac{\pi}{6} \sum_i D_i^3} = \frac{6\sigma}{\Delta P_{liq} D_{32}} \quad (5)$$

$\eta_{atomize}$ : 微粒化効率[-],  $\sigma$ : 気液界面の表面張力[N/m],  $\Delta P_{liq}$ : 噴射差圧と外部圧力の差[Pa],  $D_i$ : 粒子径[m],  $\rho$ : 燃料密度[kg/m<sup>3</sup>],  $V_{liq}$ : 液滴速度[m/s],  $V_a$ : 雰囲気気場速度[m/s]

## 3 実験条件

### 3.1 燃料噴射圧力変化条件

表 1 に、実験パラメータとして燃料噴射圧力を変更した際の LIF 撮影および超高解像度撮影における実験条件を示す。供試燃料にはトリデカンを用いた。雰囲気条件は、雰囲気圧力  $P_a$  を 1.5MPa、雰囲気密度  $\rho_a$  を 18.75kg/m<sup>3</sup>、雰囲気温度  $T_a$  を 293K とした。燃料噴射量  $m_f$  は 5.7mg、となるよう噴射期間  $t_{inj}$  を設定し、燃料温度  $T_f$  は 293 K とした。本実験では燃料噴射圧力  $P_{inj}$  を変更した際の噴霧形状の変化を把握するために、 $P_{inj}$  を 40, 80, 120MPa と変化させた。燃料噴射ノズルには単噴孔ホールノズル ( $d_n = \phi 0.121$ mm)を用いた。

### 3.2 ノズル噴孔径変化条件

表 2 に、実験パラメータとしてノズル噴孔径を変更した際の LIF 撮影および超高解像度撮影における実験条件を示す。供試燃料にはトリデカンを用いた。雰囲気条件は、雰囲気圧力  $P_a$  を 1.5MPa、雰囲気密度  $\rho_a$  を 18.75kg/m<sup>3</sup>、雰囲気温度  $T_a$  を 293K とした。燃料噴射量  $m_f$  は 5.7mg となるよう噴射期間  $t_{inj}$  を設定し、燃料温度  $T_f$  は 293 K、燃料噴射圧力  $P_{inj}$  は 120MPa とした。本実験ではノズル噴孔径  $d_n$  を変更した際の噴霧形状の変化を把握するために、 $d_n$  を  $\phi 0.115, \phi 0.121, \phi 0.133$ mm と変化させた。燃料噴射ノズルには単噴孔ホールノズルを用いた。

## 4. 実験結果および考察

### 4.1 燃料噴射圧力変化条件

本研究の LIF 実験の解析においては、同じ条件で 5 回のデータ取得を行なって、それらの中から平均的な結果を代表値としてその単一の噴霧のデータを、他の条件と比較し考察している。図 6 に、燃料噴射圧力  $P_{inj}$  を変化させた際に LIF 法を用いて撮影した自由噴霧の撮影画像を示す。撮影時期は、燃料噴射開始からの時間  $t$  を噴射期間  $t_{inj}$  で正規化した  $t/t_{inj}$  を用いて  $t/t_{inj} = 0.5$  とした。図 6

Table 1 Experimental conditions for  $P_{inj}$  variations

Test fuel	nC13H28	
Ambient pressure	$P_a$ [MPa]	1.5
Ambient density	$\rho_a$ [kg/m <sup>3</sup> ]	18.75
Ambient temperature	$T_a$ [K]	293
Injection fuel amount	$m_f$ [mg]	5.7
Injection pressure	$P_{inj}$ [MPa]	40, 80, 120
Injection duration	$t_{inj}$ [ms]	1.298, 0.960, 0.863
Fuel temperature	$T_f$ [K]	293
Nozzle hole diameter	$d_n$ [mm]	$\phi 0.121$
Nozzle length	$l_n$ [mm]	0.8
Injector	3 <sup>rd</sup> generation Piezo Injector with Single hole nozzle	

Table2 Experimental conditions for  $d_n$  variations

Test fuel	nC13H28	
Ambient pressure	$P_a$ [MPa]	1.5
Ambient density	$\rho_a$ [kg/m <sup>3</sup> ]	18.75
Ambient temperature	$T_a$ [K]	293
Injection fuel amount	$m_f$ [mg]	5.7
Injection pressure	$P_{inj}$ [MPa]	120
Injection duration	$t_{inj}$ [ms]	1.210, 0.863, 0.658
Fuel temperature	$T_f$ [K]	293
Nozzle hole diameter	$d_n$ [mm]	$\phi 0.115, \phi 0.121, \phi 0.133$
Nozzle length	$l_n$ [mm]	0.8
Injector	3 <sup>rd</sup> generation Piezo Injector with Single hole nozzle	



より、巨視的な特徴である最大噴霧幅は燃料噴射圧力の変化に伴いやや増加しており、その噴霧内部における輝度値の分布には大きな差がみられる。

図 7 に燃料噴射圧力  $P_{inj}$  を変化させた際の LIF 撮影結果から最大噴霧幅をとる地点  $X$  における噴霧軸半径方向濃度分布を算出した結果を示す。ここでは、図の右側からレーザー光を入射させている。図 7 より、燃料噴射圧力の上昇に伴い、軸半径方向への拡がりが大きくなっており、最大幅をとる地点  $X$  は増加している。これは、燃料噴射圧力の上昇に伴いインジェクタ先端からの燃料噴出速度の上昇により、雰囲気場とのせん断力が増加し噴霧が微粒化され、噴霧軸半径方向への分散が大きくなったためと考えられる。

図 8 に、燃料噴射圧力  $P_{inj}$  を変化させた際の LIF 撮影画像にソーベルフィルタ処理を施した画像を示す。図 8 より燃料噴射圧力の上昇に伴い噴霧全域において輝度勾配が大きくなっていることがわかる。すなわち pixel 間の輝度の差が大きく液相濃度の空間的変動が大きい噴霧であることがわかる。高噴射圧力条件では、噴射開始からの時間が短く、燃料噴霧と周囲気体が十分に混合できていなかったためであると考えられる。

図 9 に燃料噴射圧力  $P_{inj}$  を変化させた際に超高解像度撮影法を用いて撮影した自由噴霧の撮影画像を解析し算出した代表領域におけるザウタ平均粒径(SMD)の算出結果を示す。

LIF 撮影と同様に撮影時期は、 $t/t_{inj}=0.5$  とし、解析領域は噴霧先端到達距離  $X'$  の 0.7 倍、噴霧半径方向に半径方向長さ  $R$  の 0.5 倍を中心とした一辺 5mm 四方の領域を代表領域とし<sup>(6)</sup>の解析を行なった。図 9 より、燃料噴射圧力の上昇に伴いザウタ平均粒径が減少していることがわかる。これは燃料噴射圧力の上昇による燃料噴出速度の増加に伴い雰囲気場とのせん断力が増加し噴霧が微粒化されたためであると考えられる。また、今回得られた実験結果からザウタ平均粒径と燃料噴射圧力の指数相関式を算出すると、

ザウタ平均粒径は燃料噴射圧力の-0.18 乗に比例することがわかった。過去の実験式において、55~133MPa の条件で算出された山根らの式の指数値は-0.25、高速噴流に適応された田畑らの式の指数値は-0.195<sup>(8)</sup>であった。本実験条件である  $P_{inj}=40, 80, 120\text{MPa}$  で代表領域を設定し、算出したザウタ平均粒径の指数値が、過去の実験式の指数とおおよそ同じ傾向が得られた。

図 10 に、燃料噴射圧力  $P_{inj}$  を変化させた際の SMD 計測結果から算出した微粒化効率の算出結果を示す。図 10 より、燃料噴射圧力の上昇に伴い微粒化効率が減少していることがわかる。これは、燃料噴射圧力の上昇に伴って用いられたエネルギーが、噴霧の微粒化だけでなく噴霧速度の上昇や周囲雰囲気との運動量交換等に用いられたためであると考えられる。以上の結果より、燃料噴射圧力の上昇による微粒化は効率が悪化するため、噴霧の微粒化を効率良く促進させるためには、噴孔形状の最適化等、高圧噴射以外の手法を含めた手法を考慮する必要があると考えられる。

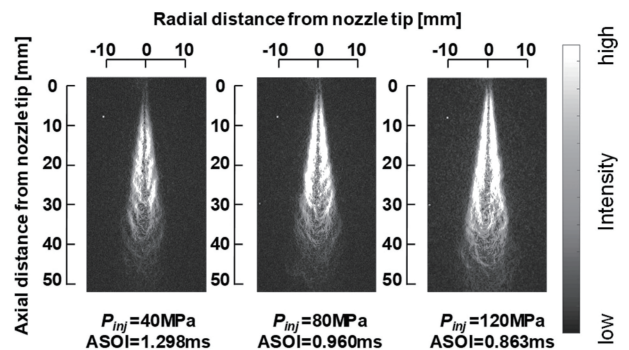


Fig.8 Sobel filter processing images for various  $P_{inj}$  ( $d_n=\phi 0.121\text{mm}$ ,  $\rho_a=18.75\text{kg/m}^3$ ,  $T_a=293\text{K}$ )

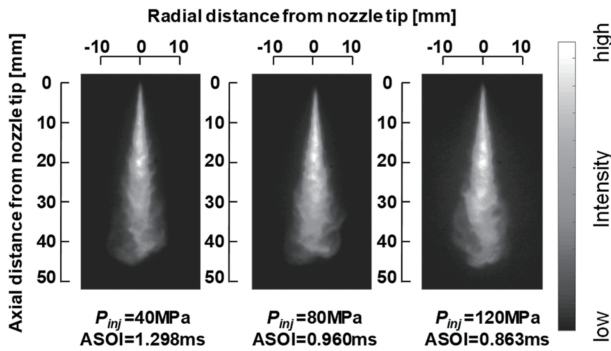


Fig.6 LIF images of diesel spray for various  $P_{inj}$  ( $d_n=\phi 0.121\text{mm}$ ,  $\rho_a=18.75\text{kg/m}^3$ ,  $T_a=293\text{K}$ )

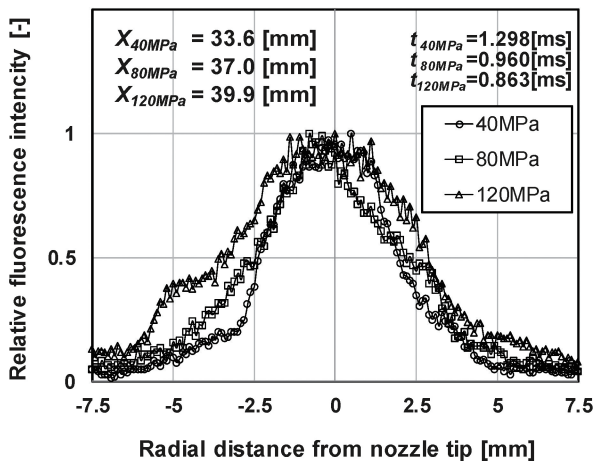


Fig.7 Radial density distribution for various  $P_{inj}$  ( $d_n=\phi 0.121\text{mm}$ ,  $\rho_a=18.75\text{kg/m}^3$ ,  $T_a=293\text{K}$ )

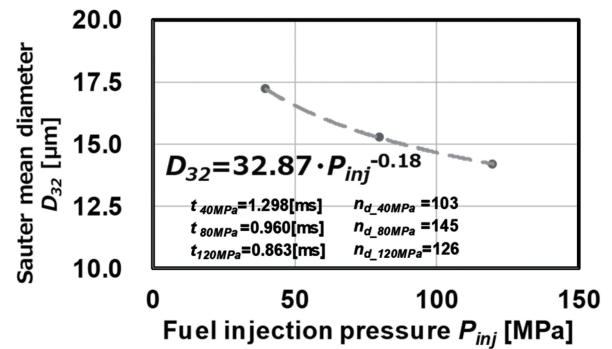


Fig.9 SMD measurement results for various  $P_{inj}$  ( $d_n=\phi 0.121\text{mm}$ ,  $\rho_a=18.75\text{kg/m}^3$ ,  $T_a=293\text{K}$ )

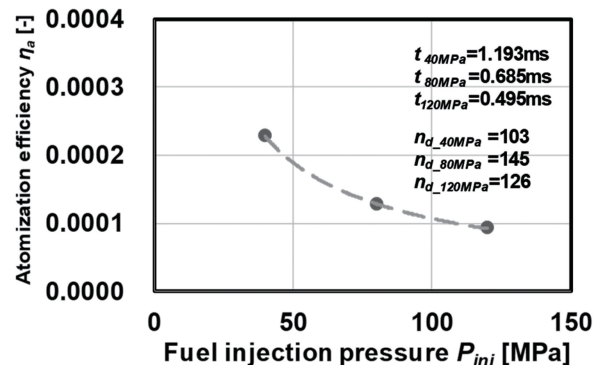


Fig.10 Atomization efficiency for various  $P_{inj}$  ( $d_n=\phi 0.121\text{mm}$ ,  $\rho_a=18.75\text{kg/m}^3$ ,  $T_a=293\text{K}$ )

### 4.2 ノズル噴孔径変化条件

図 11 に、噴射圧力を一定としノズル噴孔径  $d_n$  を変化させた際に LIF 法を用いて撮影した自由噴霧の撮影画像を示す。撮影時期は、 $t/t_{inj}=0.5$  とした。図 11 より、噴射量が同一の条件において大噴孔径化に伴い単位時間当たりの噴射量は増加するが噴出速度は同一のため、噴霧体積が小さくなる。そのため、ノズル噴孔径の増大に伴い噴霧全域において高濃度となり、高い輝度値が出力されている。図 12 に、ノズル噴孔径  $d_n$  を変化させた際の LIF 撮影結果から最大噴霧幅をとる地点  $X$  における噴霧軸半径方向濃度分布を算出した結果を示す。小噴孔条件では、本来噴霧角が減少するが、時間経過が増加するために無次元時間で整理すると半径方向の分散は他の噴孔の条件と同程度となることわかる。

図 13 に、ノズル噴孔径  $d_n$  を変化させた際の LIF 撮影画像にソーベルフィルタ処理を施した画像を示す。図 13 より、ノズル噴孔径の増大に伴い噴霧全域において輝度勾配が大きくなっていることがわかる。すなわち pixel 間の輝度の差が大きく液相濃度の空間的変動が大きい噴霧であることがわかる。これは噴孔径の増加に伴う乱れのスケールが増加することに加え、大ノズル噴孔径条件では噴射開始からの時間が短く、燃料噴霧と周囲気体が十分に混合できていなかったためであると考えられる。

図 14 に、ノズル噴孔径  $d_n$  を変化させた際に超高解像度撮影法を用いて撮影した自由噴霧の撮影画像を解析し算出した代表領域におけるザウタ平均粒径(SMD)の算出結果を示す。LIF 撮影と同様に撮影時期は  $t/t_{inj}=0.5$  とし、解析領域は、噴霧先端到達距離  $X$  の 0.7 倍、噴霧半径方向に半径方向長さ  $R$  の 0.5 倍を中心とした一辺 5mm 四方の領域を代表領域とし解析を行なった。図 14 より、ノズル噴孔径の大噴孔径化に伴いザウタ平均粒径が増大していることがわかる。これは各ノズル噴孔径において燃料噴射圧力は共通としているため、噴孔径の増大に伴い初期液滴径が大きくなったためであると考えられる。また、今回得られた実験結果から

ザウタ平均粒径とノズル噴孔径の指数相関式を算出すると、ザウタ平均粒径はノズル噴孔径の 0.94 乗に比例することがわかった。過去の実験式において、ザウタ平均粒径はノズル噴孔径の 1 乗に比例するものがほとんどである<sup>(8)</sup>。本実験条件では  $d_n=\phi 0.115$ ,  $\phi 0.121$ ,  $\phi 0.133$ mm で代表領域を設定して算出したザウタ平均粒径の指数値が、過去の実験式の指数とおおよそ同じ傾向が得られることが確認できた。

図 15 に、ノズル噴孔径  $d_n$  を変化させた際の SMD 計測結果から算出した微粒化効率の算出結果を示す。図 15 より、ノズル噴孔径の増大に伴い微粒化効率が低下していることがわかる。これは、本報においてノズル噴孔径のみを変更し、各ノズル噴孔径において燃料噴射圧力は共通としているため、初期液滴径が大きい大ノズル噴孔径条件においては微粒化効率が悪化したと考えられる。以上の結果より、大噴孔径ノズルを用いると高貫徹力をもった噴霧を実現できる一方、噴霧内濃度分布の均一化および微粒化効率に関しては小噴孔径ノズルに比べて悪化することがわかる。

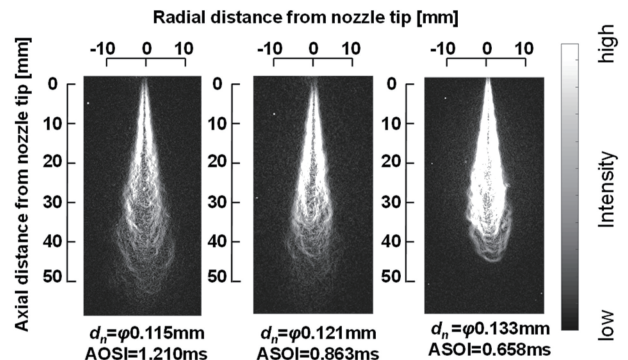


Fig.13 Sobel filter processing images for various  $d_n$  ( $P_{inj}=120$ MPa,  $\rho_a=18.75$ kg/m<sup>3</sup>,  $T_a=293$ K)

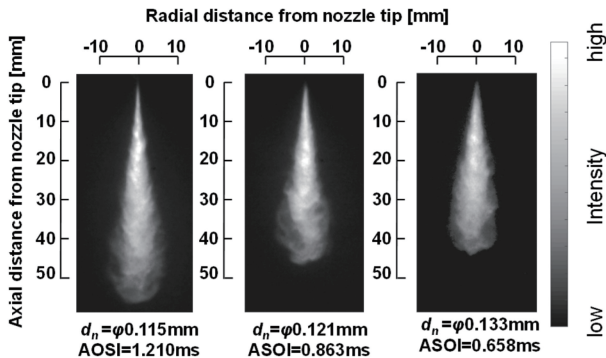


Fig.11 LIF images of diesel spray for various  $d_n$  ( $P_{inj}=120$ MPa,  $\rho_a=18.75$ kg/m<sup>3</sup>,  $T_a=293$ K)

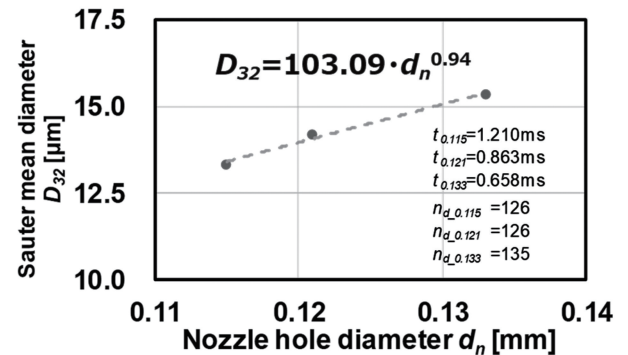


Fig.14 SMD measurement results for various  $d_n$  ( $P_{inj}=120$ MPa,  $\rho_a=18.75$ kg/m<sup>3</sup>,  $T_a=293$ K)

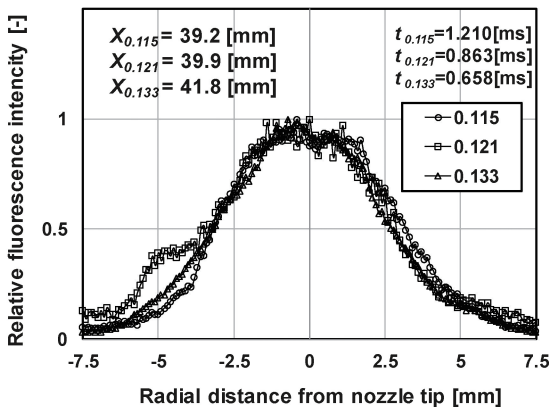


Fig.12 Radial density distribution for various  $d_n$  ( $P_{inj}=120$ MPa,  $\rho_a=18.75$ kg/m<sup>3</sup>,  $T_a=293$ K)

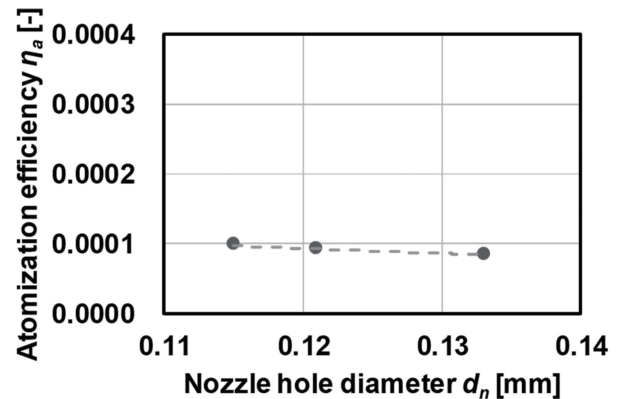


Fig.15 Atomization efficiency for various  $d_n$  ( $P_{inj}=120$ MPa,  $\rho_a=18.75$ kg/m<sup>3</sup>,  $T_a=293$ K)

#### 4. 結言

本実験では、ディーゼル噴霧において燃料噴射圧力およびノズル噴孔径をそれぞれ独立に変化させ、画像内における噴射量が一定となるタイミングにおいて分散性、均質性および粒径に関する評価を行なった。得られた知見を以下に示す。

- (1) 燃料噴射圧力の上昇に伴い、半径方向への分散が大きくなる。
- (2) ノズル噴孔径の小径化によって、半径方向への分散性に与える影響は小さい。
- (3) 噴霧内部の均質性は噴射開始からの時間に依存する。
- (4) 燃料噴射圧力の上昇に伴い、ザウタ平均粒径は減少する。しかし微粒化効率は悪化するため、噴孔形状の最適化等、高圧噴射以外の手法を含めた燃料噴霧の微粒化・均質化手法を検討する必要がある。
- (5) ノズル噴孔径の増大に伴い、初期液滴径増大の影響を受け、ザウタ平均粒径は増加し、微粒化効率は低下する。

#### 文 献

- (1) 鎌田修次, 勝田圭一, 堀司, 千田二郎, 藤本元: 高解像度撮影法によるディーゼル噴霧構造の可視化, *Journal of the ILASS-Japan*, 17-58 (2008), 59-66.
- (2) 丸林直広, 矢野哲也, 堀司, 千田二郎, 藤本元: 高解像度撮影法による時系列ディーゼル噴霧構造の可視化, *微粒化*, Vol.20, No.70, (2008), 106-113.
- (3) 松浦匡洋, 矢野紘嵩, 村上伸吾, 松村恵理子, 千田二郎: エキサイブレックス蛍光法 (LIEF 法) を用いた非定常蒸発ガソリン噴霧の解析, *自動車技術会論文集*, Vol.48, No.6, (2017), 1213-1218.
- (4) 昌達慶仁: 詳解 画像処理プログラミング, ソフトバンククリエイティブ, (2008), 415-420.
- (5) 日本微粒化学会: アトマイゼーションテクノロジー—微粒化の基礎と基本用語辞典, (2011), 209, 森北出版.
- (6) 向山智之, 寺師尚人, 松村恵理子, 千田二郎: 直噴ガソリンエンジン用マルチホールノズルにおける噴霧内部構造の解明, *自動車技術会 2016 年春季大会学術講演会講演予稿集*, No.32-16, 771-775
- (7) 松村恵理子, 西浦宏亮, 溝渕直人, 向山智之, 千田二郎: 直噴ガソリンエンジン用ノズルにおける噴霧内部構造の解明, *自動車技術会論文集*, Vol.47, No.5, (2016), 1067-1072.
- (8) 北口浩二, 松本雅至, 南埜良太, 河辺隆夫, 表洪志, 岡田周輔, 千田二郎: 実験式および数値計算による超高压噴射・高密度場ディーゼル噴霧特性の予測(第二報), *微粒化シンポジウム*, (2012).