



ディーゼル機関における燃料噴霧特性に関する研究(第3報) (雰囲気温度が噴霧のマクロ特性および内部構造に及ぼす影響)

A study on fuel spray characteristics in diesel engine (Third report) (Effects of ambient temperature on macro and internal structures)

井上 優,
(Yu INOUE)
同志社大学大学院
(Doshisha Univ.)

西浦 宏亮,
(Kohsuke NISHIURA)
同志社大学大学院
(Doshisha Univ.)

吉濱 悠也
(Yuya YOSHIHAMA)
同志社大学大学院
(Doshisha Univ.)

松村 恵理子,
(Eriko MATSUMURA)
同志社大学
(Doshisha Univ.)

千田 二郎
(Jiro SENDA)
同志社大学
(Doshisha Univ.)

In internal-combustion engine, spray atomization effects on evaporation process and mixture formation process, which is one of the factors that affects thermal efficiency and exhaust emissions. Therefore, the purpose of this study is to investigate detailed spray characteristics when various control parameters are changed in diesel spray assuming high pressure injection. In this report, spray shape was measured when the ambient temperature was changed. As a result, using shadow graph photography and LIF method, spray regions can be classified into three regions: I. Liquid phase region, II. Visualization region of high vapor concentration, and III. Visualization region of thin vapor concentration.

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

1. 緒言

内燃機関では、噴霧の微粒化が蒸発過程および混合気形成過程に深く影響すると言われており、熱発生率や排気物質を左右する一つの要因となっている^{(1)~(2)}。さらに近年の動向としては、過給ダウンサイジングの普及により⁽³⁾、エンジン筒内はさらに高雰囲気密度場となり、それに伴い噴射圧力の高圧化や小噴孔径化により微粒化を促進させる動きが進んでいる⁽⁴⁾。よって、巨視的並びに微視的観点から噴霧の微粒化を評価し、体系的にまとめることが熱効率の向上および低エミッション化の実現に繋がる。

本研究では、高圧噴射を想定としたディーゼル噴霧において様々な制御パラメータを変化させた際の詳細な噴霧特性を調査し、噴霧のモデリングを行なうことを目的としている。そこで本研究では、非蒸発噴霧と蒸発噴霧を対象とし、近年のディーゼル噴霧燃焼場の状況変化(噴射の高圧化、噴孔径の微小化、雰囲気密度の上昇(高過給))をも勘案して、主要な実験パラメータとして噴射圧力、噴孔径、雰囲気密度を用いて非蒸発噴霧の巨視的/微視的特性を評価した。同時に、各パラメータに対する噴霧角、噴霧体積および粒径の指数相関を体系的に調べ、過去の実験式との整合性を検証した^{(5)~(7)}。本報では、蒸発噴霧特性を左右する物理的因子のうち雰囲気条件において雰囲気温度を変化させた際の時系列での噴霧形状を把握するためにシャドウグラフ撮影を行ない、蒸気濃度分布を把握するためにLIF(Laser Induced Fluorescence)法を行なった。上記手法により、雰囲気温度変化に伴う燃料の相状態変化が噴霧形態に及ぼす影響を評価した。

2. 実験装置および実験条件

2.1 シャドウグラフ撮影における実験装置

本実験では高温雰囲気場において噴霧の可視化を行なうため、噴霧の撮影手法としてシャドウグラフ撮影法を用いた。

図1に光学系の概略図を示す。光源に可視化用レーザー(Cavitar: CAVILUX Smart)を用い、先端にアダプタを装着し、レーザーにより照射された光は片凸レンズ(焦点距離 $f=1,200$ mm)により平行光とし、定容容器内を通過させた。更に片凸レンズを通過することにより集光しモノクロハイスピードカメラ(Vision Research: Phantom:v2011)を用いてシャドウグラフ撮影を行なった。撮影速度は20,000fpsとした。

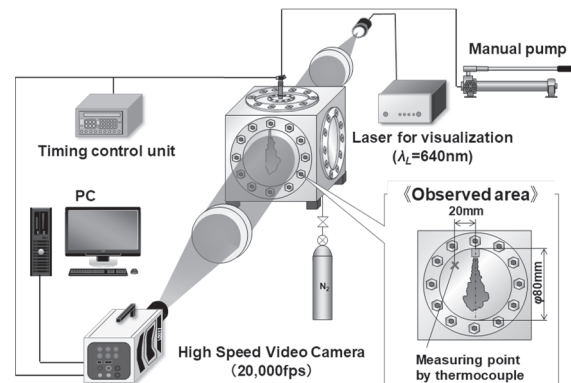


Fig.1 Schematic diagram of shadowgraph photography

2.2 LIF撮影法における実験装置

噴霧内蒸気濃度の定性的な把握および噴霧内構造の把握を目的としてLIF法による撮影を行なった。図2にLIF撮影で用いた実験装置の光学系概略図を示す。本実験では供試燃料であるトリデカン成分を計測するため、ノルマルトリデカンと比較的沸点に近い蛍光剤としてテトラリンを選定し、供試燃料に対して7wt%添加させた。このとき、テトラリンの励起光に対する蛍光波長特性およびノルマルトリデカンと比較したテトラリンの物性値を図3に示す。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(Quantel:Q-Smart850)の第4高調波(波長: $\lambda=266$ nm, 発光半値幅:8 ns/pulse)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($f=1000$ mm),

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

CLSQ-3050-100P (F=100mm)) を用いてシート光に変換した。蛍光剤を添加させた燃料を定容容器内に噴射し、レーザ光によって励起され蛍光を発生。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 10nm) を通過し、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) により撮影した。

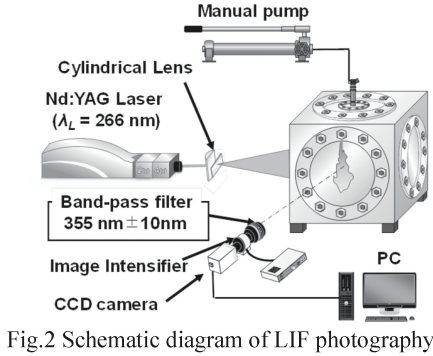
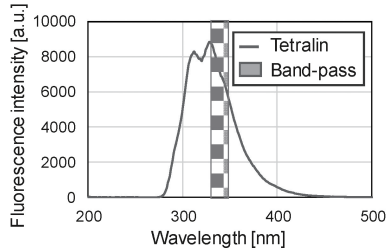


Fig.2 Schematic diagram of LIF photography



	Molecular weight	B.P. [K]	Volume fraction [%]
Fuel (nC13H28)	184.35	508	93
Tracer (Tetralin)	132.21	480.2	7

Fig.3 Fluorescence wavelength characteristic and physical properties of nC13H28/tetralin

2.3 実験条件

表 1 に、実験パラメータとして雰囲気温度 T_a を変更した際の実験条件を示す。供試燃料にはノルマルトリデカンを用いた。雰囲気条件は、雰囲気密度 ρ_a を 18.75kg/m^3 と一定として雰囲気温度 T_a を 500, 600, 700K と変化させている。その結果、それぞれの雰囲気温度において雰囲気圧力 P_a は 2.56, 3.07, 3.58MPa となる。燃料噴射圧力 P_{inj} は 120MPa, 燃料噴射量 m_f は 5.7mg となるよう噴射期間 t_{inj} を設定した。燃料噴射ノズルには単噴孔ホールノズル ($d_n = \phi 0.121\text{mm}$) を用いた。

ここで、本実験ではカートリッジヒーター (河合電器製作所 : 30605C028=0, 出力 : 700W) による内部加熱型の定容容器を用いており、インジェクタ内部のピエゾ素子の熱による損

Table.1 Experimental conditions of evaporative spray

Test fuel		nC13H28
Critical temperature	T_{cr} [K]	675.75
Critical pressure	P_{cr} [MPa]	1.72
Ambient temperature	T_a [K]	500, 600, 700
Ambient density	ρ_a [kg/m ³]	18.75
Ambient pressure	P_a [MPa]	2.56, 3.07, 3.58
Injection pressure	P_{inj} [MPa]	120
Injection fuel amount	m_f [mg]	5.7
Fuel temperature	T_f [K]	Depends on T_a
Nozzle hole diameter	d_n [mm]	$\phi 0.121$
Nozzle length	l_n [mm]	0.8
Injector		3 rd generation Piezo Injector with Single hole nozzle

傷を防ぐため、銅配管によってインジェクタ中腹部を冷却した。また、ノズル先端部の表面に熱電対 (アズワン株式会社 : K 熱電対, $\phi 1.6 \times 300\text{mm}$) を張り付け、温度を計測した。ノズル先端部は高温雰囲気場にさらされており、雰囲気温度の上昇に対するノズル先端部の温度を熱電対にて計測した結果、雰囲気温度と概ね同等の温度であったため、雰囲気温度と単発噴射の燃料温度はほぼ同一であると考えられる。このとき各雰囲気温度における燃料の圧力-温度線図は図 4 のような関係となる。図 4 より、雰囲気温度 $T_a=500, 600, 700\text{K}$ は燃料の臨界圧以上の領域で、 $T_a=700\text{K}$ は超臨界の状態である。

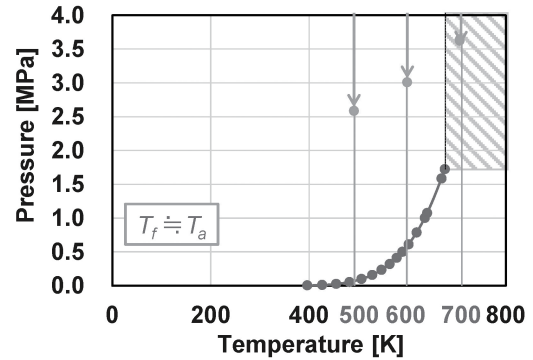


Fig.4 Correlation with phase change of normal tridecane (nC13H28) at each ambient temperature

3. 実験結果および考察

3.1 シャドウグラフ撮影

3.1.1 自由噴霧の撮影結果

図 5 に雰囲気温度 T_a を変化させた際のシャドウグラフ撮影法を用いて撮影した $t/t_{inj}=0.5$ における自由噴霧の撮影画像を示す。図 5 より、 $T_a=700\text{K}$ の噴霧下流域において密度ムラが生じていることが確認できる。これは 2.3 節で述べたように、雰囲気温度の上昇により燃料噴霧状態は超臨界流体の噴霧であるため、密度ムラは超臨界状態の燃料であると考えられる。ここで $T_a=600\text{K}$ の画像に着目すると、 $T_a=700\text{K}$ の噴霧画像と同様の密度ムラが確認できる。図 4 の圧力-温度線図に着目すると、 $T_a=600\text{K}$, $P_a=3.07\text{MPa}$ の条件下においては超臨界領域に近い燃料状態に存在するため、超臨界流体寄りの噴霧状態になっていると考えられる。

そこで、シャドウグラフ撮影法による実験結果については噴霧画像において、噴霧濃度が均一かつ濃い状態の噴霧領域を I. 液相領域と定義し、密度ムラが生じている噴霧領域を II. 濃い蒸気の可視化領域と定義した。画像解析においては、液相領域を最大輝度値 256 の 5%輝度値にあたる 13 を閾値として二値化した領域とした。また連続した 2 枚の画像の差分をとると外縁部において時間変化分が検出され、その検出領域を含んだ噴霧全域を濃い蒸気の可視化領域とした。

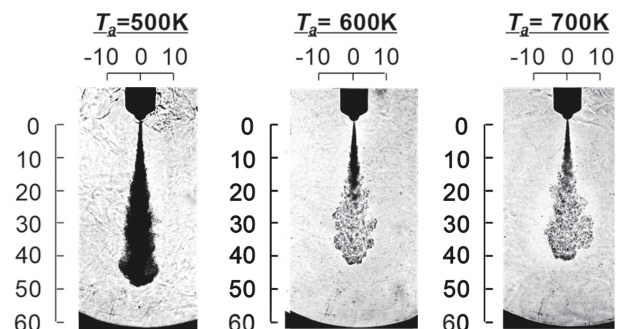


Fig.5 Shadowgraph images of free diesel spray for various T_a ($t/t_{inj}=0.5$, $t_{inj}=1.725\text{ms}$)

3.1.2 巨視的噴霧特性

雰囲気温度 T_a を変化させた際のシャドウグラフ撮影の実験結果について、燃料状態によって3.1.1項で定義した2領域に分類して考察を行なう。Ⅰ. 液相領域の実験結果を図6に示し、図6(a)に液相長さ X_L 、図6(b)に最大噴霧角 θ_L の実験結果を示す。また、Ⅱ. 濃い蒸気の可視化領域の実験結果を図7に示し、図7(a)に噴霧先端到達距離 X 、図7(b)に最大噴霧角 θ 、図7(c)に噴霧体積 V の実験結果を示す。ここで最大噴霧角とは、各噴霧領域におけるそれぞれの画像で噴霧の最外縁を計測して算出した噴霧角と定義した。

$T_a=500\text{K}$ の場合、図6(a)液相長さ L_b と図7(a)噴霧先端到達距離 X は概ね同等の傾向を示し、 $T_a=600, 700\text{K}$ の場合は図6(a)より時間の経過と共に液相長さ L_b が増加した後、一定の長さとなり、雰囲気温度 T_a の上昇に伴い液相長さ L_b は短くなる事が確認できる。これは、雰囲気温度の上昇に伴い燃料が液相から気相へ早い段階で移行するためであると考えられる。一方で図7より、雰囲気温度 T_a の上昇に伴い噴霧先端到達距離 X は減少し、最大噴霧角 θ は増加し、結果として噴霧体積 V は増加している事が確認できる。これは、雰囲気温度の上昇に伴い燃料の状態が液体から超臨界流体へ変化しており、燃料を構成する分子の熱運動が活発となり、高分散化したためであると考えられる。以上の結果を踏まえ、次項より噴霧構造に着目して考察を行なう。

3.1.3 噴霧構造特性

シャドウグラフ撮影によって得られた噴霧画像より、噴孔から10mm区間に分け3つの区間に着目し、各区間における噴霧構造について考察を行なう。このとき、液体状態である雰囲気温度 $T_a=500\text{K}$ の噴霧と超臨界状態である雰囲気温度 $T_a=700\text{K}$ の噴霧を比較した。

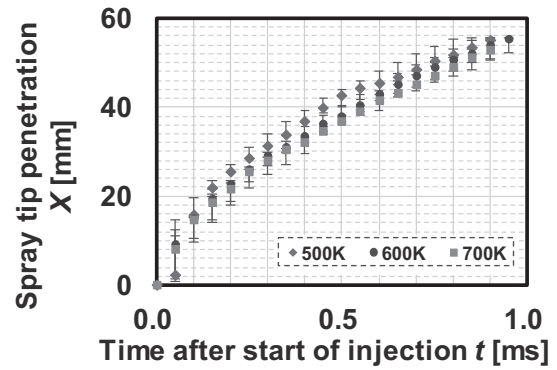
図8に雰囲気温度 $T_a=500\text{K}$ において(i) $X=0\sim 10\text{mm}$ 、(ii) $X=10\sim 20\text{mm}$ 、(iii) $X=20\sim 30\text{mm}$ の3区間に分類し、各区間における10mm×10mmの領域での噴霧構造の時間変化を示す。また図8(a)に $T_a=500\text{K}$ 、図8(b)に $T_a=700\text{K}$ を示す。さらに区間(i)について、噴孔から5~10mm下方地点における拡大画像を図

9に示す。

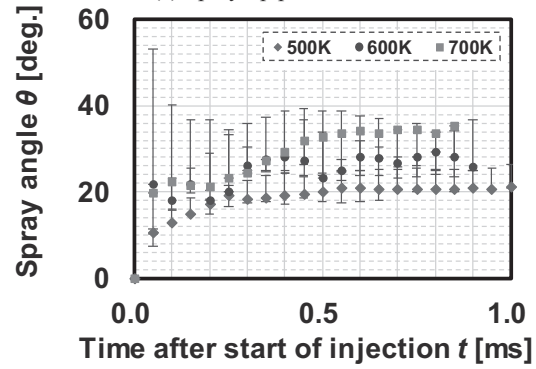
まず(i) $X=0\sim 10\text{mm}$ において、図9丸枠よりいずれの雰囲気温度においても小さい渦構造が連続的に発生していることが確認できる。これは図6(a)より、(i) $X=0\sim 10\text{mm}$ ではいずれの雰囲気温度においても液相領域の噴霧が確認でき、噴射直後は雰囲気気体中に液相燃料が高速で噴出され、高い雰囲気気体密度場の影響を受けることによるものと考えられる。

また、 $T_a=500\text{K}$ については、(ii) $X=10\sim 20\text{mm}$ においても図6(a)より液相領域であることが確認できるため、(i) $X=0\sim 10\text{mm}$ と同様の傾向を示す事が確認できる。一方 $T_a=700\text{K}$ については、(ii) $X=10\sim 20\text{mm}$ では図6(a)の結果より超臨界流体へと遷移していることがわかる。その場合、燃料噴霧は周囲気体との混合が促進され、図8(b)の丸枠のようなガス噴流の巻き上がりが生じ、半径方向へ拡散したと考えられる。

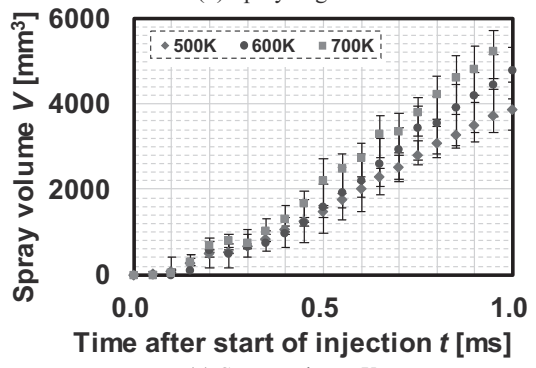
(iii) $X=20\sim 30\text{mm}$ では、図8より噴霧外周部と周囲気体との剪断層により形成される大規模渦構造の存在が確認できる。このとき、 $T_a=500\text{K}$ の場合は、噴霧濃度が濃いことから液滴の蒸発量は少ないことが確認できる。一方で $T_a=700\text{K}$ の場合、噴霧下流域では超臨界流体となり蒸気相の拡散が活性化された結果、噴霧は $T_a=500\text{K}$ の場合と比較して顕著に図8(b)の矢印方向へ渦構造を形成しながら半径方向へ広がったと考えられる。



(a) Spray tip penetration X

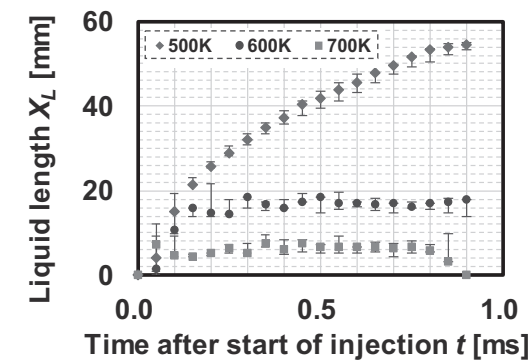


(b) Spray angle θ

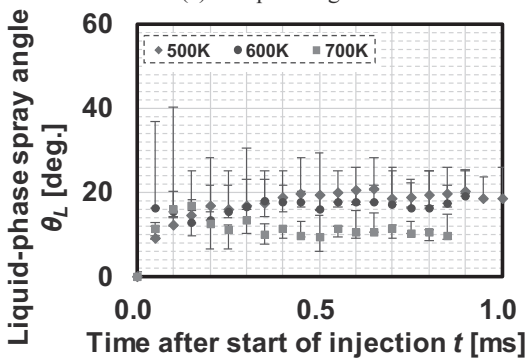


(c) Spray volume V

Fig.7 Result of shadowgraph photography in the region of visualization area of high vapor concentration for various T_a ($t_{inj}=1.725\text{ms}$)



(a) Liquid length X_L



(b) Spray angle θ_L

Fig.6 Result of shadowgraph photography in the region of liquid phase area for various T_a ($t_{inj}=1.725\text{ms}$)

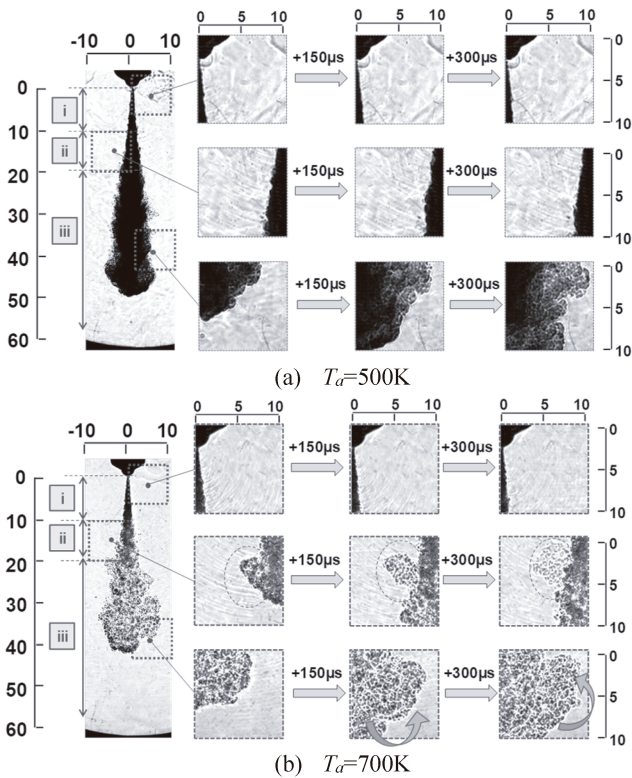


Fig.8 Time series transition of spray structure in each region
(i) $X=0\sim 10\text{mm}$, (ii) $X=10\sim 20\text{mm}$, (iii) $X=20\sim \text{mm}$)

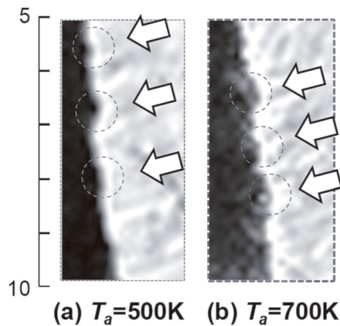


Fig.9 Magnified shadowgraph images of free diesel spray at $X=5\sim 10\text{mm}$ ((a) $T_a=500\text{K}$, (b) $T_a=700\text{K}$)
($t/t_{inj}=0.5$, $t_{inj}=1.725\text{ms}$)

3.2 LIF 法

3.2.1 自由噴霧の撮影結果

図 10 に雰囲気温度 T_a を変化させた際に LIF 法を用いて撮影した $t/t_{inj}=0.5$ における自由噴霧の撮影画像を示す。ここで、ノズル近傍のデータを取得することができなかった。これは、噴孔径 $\phi 0.121\text{mm}$ のノズルに対して、シート状のレーザ光を照射することが困難であり、噴霧根元に入射することができなかったためである。しかし、比較的噴霧中央部における断面情報として評価を行なう上では問題ないと考える。図 10 より、雰囲気温度の上昇に伴い、蛍光強度が低下していることが確認できる。これは、燃料に添加された蛍光剤が温度消光を受けるとともに、2.3 節で述べたように、雰囲気温度の上昇により燃料噴霧状態は超臨界状態へと変化したため混合気形成が促進され、噴霧濃度が希薄化したと考えられる。よって、噴霧内部構造をより明確に捉えるために、各雰囲気温度条件において撮影された画像での最大輝度値で正規化し、噴霧内濃度分布を顕著にさせる必要がある。正規化された LIF 強度分布の画像を図 11 に示す。

ここで、 $T_a=700\text{K}$ におけるシャドウグラフ撮影法と LIF 法

のそれぞれの撮影画像の比較を図 12 に示す。シャドウグラフ撮影法により得られる画像は 8bit である一方で、気液二相噴霧における噴霧断面の濃度分布測定を目的とした LIF 法は 12bit の画像が得られるため、濃度勾配情報が測定できる。すなわち、シャドウグラフ撮影法では高密度の噴霧のゆらぎを撮影することが可能だが、低密度の蒸気相噴霧は観測できない。よって、LIF 法はシャドウグラフ撮影法に比べて希薄な蒸気相噴霧を捉えることが可能であり、シャドウグラフ撮影法による実験結果より I. 液相領域と II. 濃い蒸気の可視化領域の 2 領域に分類したことを踏まえ、LIF 法により観測された噴霧領域を III. 希薄な蒸気の可視化領域と定義する。

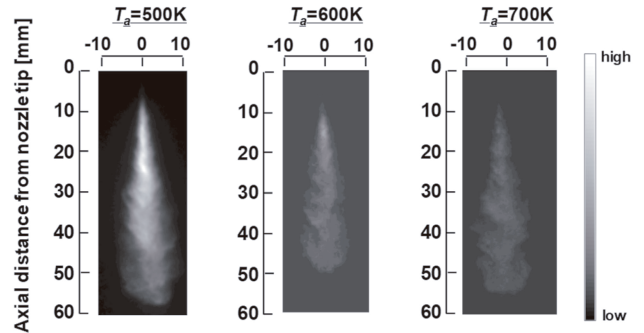


Fig.10 LIF images for various T_a ($t/t_{inj}=0.5$, $t_{inj}=1.725\text{ms}$)

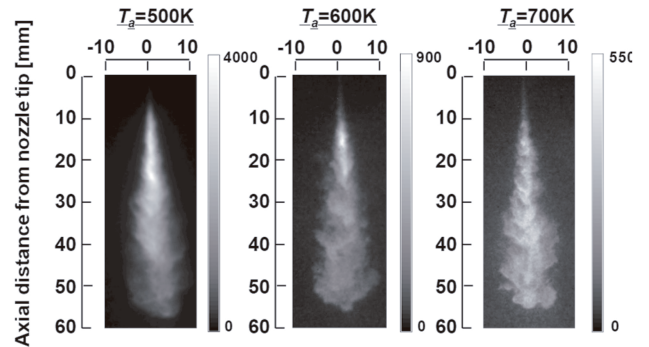


Fig.11 LIF images for various T_a by normalized with the maximum intensity value in the image
($t/t_{inj}=0.5$, $t_{inj}=1.725\text{ms}$)

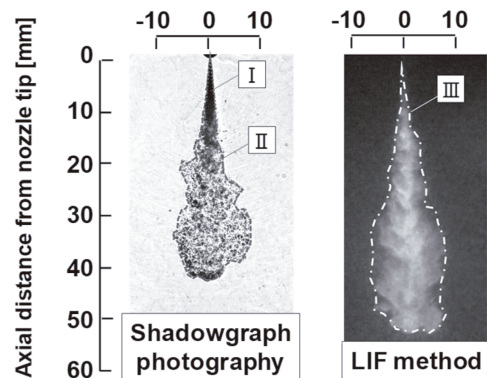
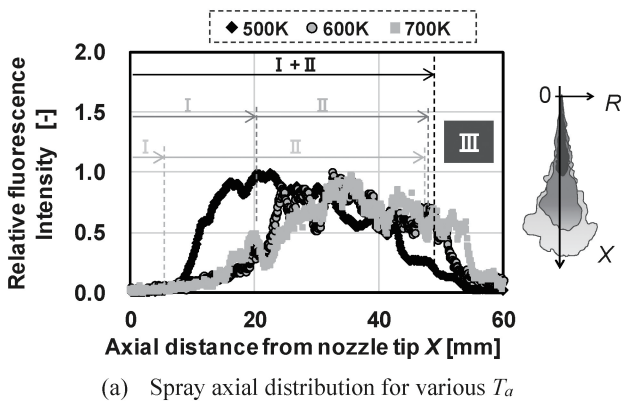


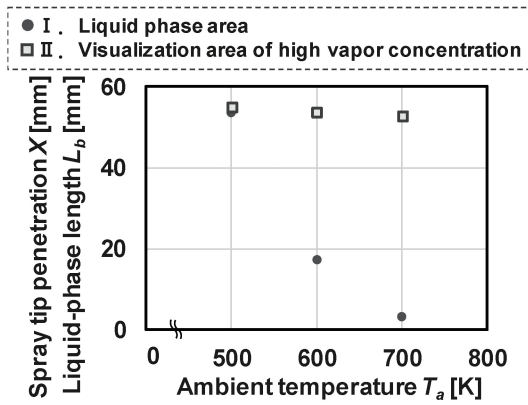
Fig.12 Spray area comparison by shadowgraph photography and LIF method ($t/t_{inj}=0.5$, $T_a=700\text{K}$)

3.2.2 噴霧軸方向分布

図 13(a)に各雰囲気温度での $t/t_{inj}=0.5$ における噴霧軸方向分布を示す。シャドウグラフ撮影の結果から算出された各雰囲気温度条件下における $t/t_{inj}=0.5$ での液相長さおよび濃い蒸気の可視化領域における噴霧長さを図 13(b)に示し、濃い蒸気の可視化領域における噴霧長さより下流域を希薄な蒸気の可視



(a) Spray axial distribution for various T_a



(b) Liquid phase length and spray tip penetration

Fig.13 Spray axial distribution for various T_a

($t/t_{inj}=0.5, t_{inj}=1.725ms$)

化領域における噴霧として評価を行なう。

図 13(a)より、雰囲気温度 T_a の上昇に伴い最大輝度値以降における輝度の勾配が緩やかであることから、超臨界流体状態における噴霧内部において均質となっていることが確認できる。ここで噴霧内の均質性について定量的な評価を 3.2.4 項にて述べる。

3.2.3 噴霧半径方向分布

図 14 に $t/t_{inj}=0.5$ における各雰囲気温度でのノズル噴孔から

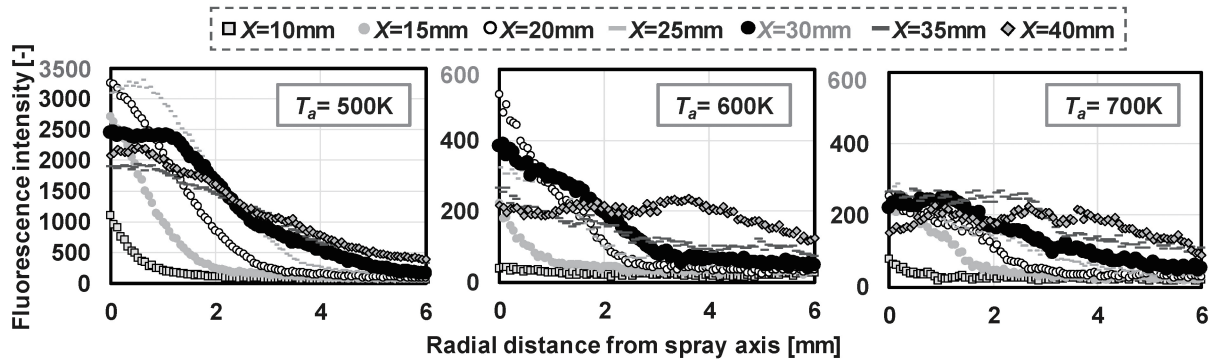


Fig.14 Spray radial distribution from spray axis for various T_a ($t/t_{inj}=0.5, t_{inj}=1.725ms$)

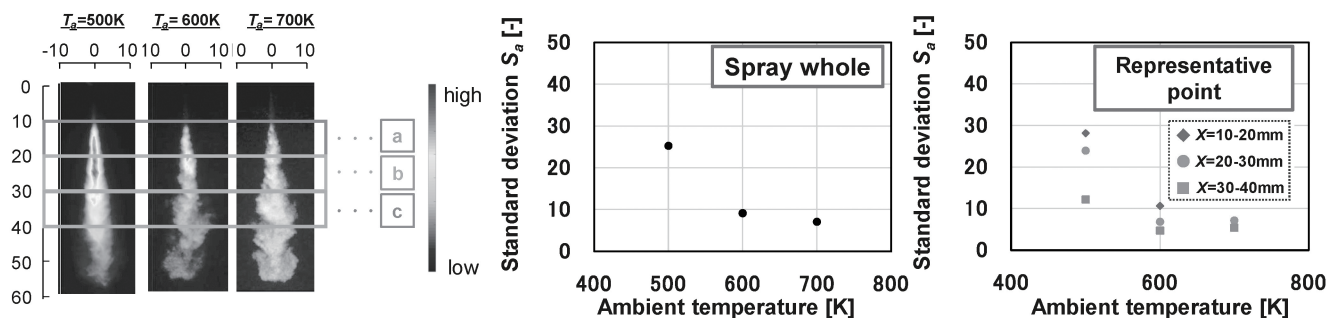


Fig.15 Homogeneity evaluation of spray concentration for various T_a ($t/t_{inj}=0.5, t_{inj}=1.725ms$)

10~40mm 地点まで 5mm ごとの噴霧半径方向分布を示す。また、乗用ディーゼル自動車に搭載されているボア径 80mm の想定エンジンにおいて、ノズル噴孔からの壁面衝突距離はおよそ 30mm 地点とされており、図 14 において黒丸の凡例にあたる。これより、壁面衝突想定時において、 $T_a=500K$ では噴霧中心において輝度の立ち上がり大きいことから濃度が濃いことが確認でき、雰囲気温度の上昇に伴い蒸気は半径方向外側へと移行するため、濃度勾配が緩やかであることが確認できる。これは燃料を構成する分子の熱運動が活発となり、周囲気体と拡散・混合して半径方向へ移動するためである。したがって、雰囲気温度の上昇に伴い均質な混合気形成が促進されることが期待できる。

3.2.4 噴霧濃度の均質性評価

図 15 に各雰囲気温度における噴霧濃度の均質性を定量的に評価した結果を示す。図 15 左図に各解析領域の範囲を示し、中央図に噴霧全体、右図に噴孔から a. $X=10\sim 20mm$, b. $20\sim 30mm$, c. $30\sim 40mm$ 地点を解析領域とした結果を示す。ここで、噴霧濃度の均質性は輝度値の標準偏差 S_a によって式(1)より示される。

$$S_a = \sqrt{\frac{\sum (I_i - \bar{I})^2}{\sum A_i \bar{I}}} \quad (1)$$

ただし、 \bar{I} : 輝度値の面積平均、 I_i : 各ピクセルにおける輝度値、 A_i : 噴霧のピクセル面積である。図 15 より雰囲気温度 T_a の上昇に伴い、標準偏差 S_a が小さくなることから噴霧は均質化していることが確認できる。また、 $T_a=500K$ の場合は a. $X=10\sim 20mm$ 地点において輝度値の標準偏差 S_a が大きいことから、噴霧上流域において均質性が低く、噴霧全体としても同様のことがいえる。一方で、b. $X=20\sim 30mm$, c. $30\sim 40mm$ 地点では輝度値の標準偏差 S_a が著しく低下したことから、噴霧下流域においては均質化が促進されていることがわかる。 $T_a=700K$ の場合はいずれの解析領域においても輝度値の標準偏差 S_a が小さいことから輝度値のばらつきが少なく、早期の段階で蒸発が促進され、噴霧内の均質性が高いことが確認できる。

また、いずれの雰囲気温度の条件下においても b. $X=20\sim 30\text{mm}$, c. $30\sim 40\text{mm}$ 地点において輝度値の標準偏差 S_a が低いことから、 $X=20\text{mm}$ 地点以降から微粒化および蒸発の促進により噴霧内の均質性が高いと考えられる。この理由について、燃料のレイノルズ数に着目して以下に考察を述べる。

表 2 に各雰囲気温度条件下における燃料の物性値を示す。ここで、ノズルから噴出された燃料のレイノルズ数 Re_l は式(2)より表される。

$$Re_l = \frac{dV_l}{\nu_l} \quad (2)$$

d : 噴孔径, V_l : 噴出直後の燃料速度, ν_l : 動粘度である。ここで、噴出直後の燃料速度は Bernoulli の式より算出した。その結果、表 2 より雰囲気温度 T_a の上昇に伴い、動粘度 ν_l は低下し、レイノルズ数 Re_l は増大するため、微粒化は促進される。同時に、蒸発が促進され、雰囲気液体と混合されやすくなる。これらより、雰囲気温度 T_a の上昇に伴い、噴霧内の気液二相噴霧内で均質化されたと考えられる。

Table2 Physical property value of fuel for various T_a

T_a [K]	500	600	700
ρ_l [kg/m ³]	643	548	-
μ_l [Pa·s]	2.06×10^{-4}	0.87×10^{-4}	-
ν_l [m ² /s]	3.20×10^{-7}	1.58×10^{-7}	-
Re_l [-]	2.29×10^5	5.01×10^5	∞

3.3 噴霧領域の分類とまとめ

3.1 節でシャドウグラフ撮影法にてI.液相領域とII.濃い蒸気の可視化領域の2領域に分類し、3.2 節でLIF法にてIII.希薄な蒸気の可視化領域を定義した結果、本報では噴霧領域を3領域に分類できた。噴霧領域の分類の概略図を図16に示す。また、 $t/t_{inj}=0.5$ における各噴霧領域での体積を算出し、まとめたグラフを図17に示す。ここで、噴霧体積は、噴霧を噴霧軸方向に $dx=0.11\text{mm}$ 間隔で分割し、噴霧幅を直径とする円盤の体積を積算することにより求めている。

図17より、雰囲気温度 T_a の上昇に伴いI.液相領域における噴霧体積 V が減少していることから、蒸発が促進し、液相から気相へ早く遷移することが要因であると考えられる。また、II. 濃い蒸気の可視化領域において、雰囲気温度 T_a の上昇に伴い噴霧下流域では超臨界流体となり蒸気相の拡散が活性化された結果、渦構造を形成しながら半径方向へ広がるため、噴霧体積 V は増加すると考えられる。III. 希薄な蒸気の可視化領域では、雰囲気温度 T_a の上昇に伴い燃料噴霧のレイノルズ数 Re_l は増加するため、微粒化は促進される。同時に、蒸発が促進され、雰囲気液体と混合されやすくなる。これらより、雰囲気温度 T_a の上昇に伴い、噴霧内の気液二相噴霧内で均質化されたと考えられる。よって、噴霧内部で燃料が均質に混ざり合うため、 $T_a=600\text{K}$ と $T_a=700\text{K}$ の噴霧体積 V は概ね同等になると考えられる。

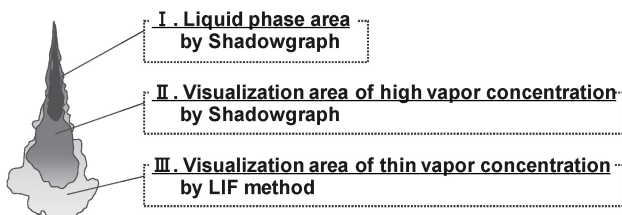


Fig.16 Classification of spray area

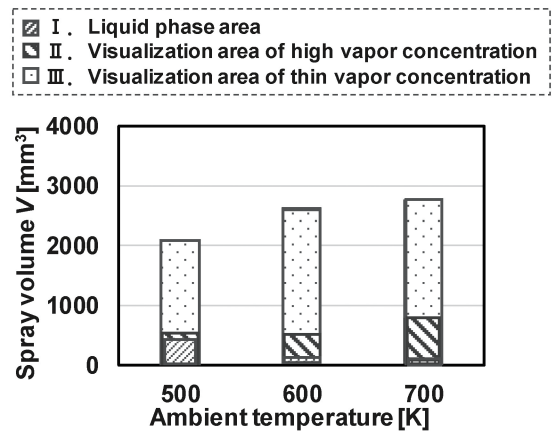


Fig.17 Result of spray volume by classification of spray area

4. 結言

本実験では、ディーゼル噴霧において雰囲気温度を変化させた際の噴霧特性に関する計測をシャドウグラフ撮影およびLIF法を用いて行ない、I.液相領域、II.濃い蒸気の可視化領域、III.希薄な蒸気の可視化領域という3領域に分類することができた。得られた知見を以下に示す。

- (1) 液相領域において、雰囲気温度の増加に伴い蒸発が促進され、気相から液相へ早く遷移するため噴霧は拡散される。結果として、超臨界状態において、噴霧液相長さは一定に収束する。
- (2) 濃い蒸気の可視化領域において、噴霧下流域では雰囲気温度の上昇に伴い渦構造の形成が促進され、半径方向へ拡散される。
- (3) 希薄な蒸気の可視化領域において、雰囲気温度の上昇に伴い噴霧は早期の段階から均質化される。

文 献

- (1) 新井雅隆：ディーゼル噴霧とその燃焼，微粒化，22-77(2013)，189-202.
- (2) 谷泰臣，森幸雄，望月孝一，鈴木敦志：多孔ノズルインジェクタの微粒化，デンソーテクニカルレビュー，5-2(2000)，27-35.
- (3) 柴田仁，岩室誠，川戸晃一，鮫島徹，田口靖英，戸田翔大：デュアルインジェクションシステムの新噴霧コンセプトの開発，デンソーテクニカルレビュー，22(2017)，98-105.
- (4) 西田恵哉，落合裕品，新井雅隆，廣安博之：超高压噴射時のディーゼル噴霧の特性，日本機械学会論文集(B編)，63-605(1997)，344-349.
- (5) 西浦宏亮，松村恵理子，千田二郎：ディーゼル機関における燃料噴霧特性に関する研究(ノズル噴孔径が噴霧のマクロ特性および内部構造に及ぼす影響)，第27回微粒化シンポジウム予稿集(2018).
- (6) 西浦宏亮，松村恵理子，千田二郎：ディーゼル機関における燃料噴霧特性に関する研究(燃料噴射圧力が噴霧のマクロ特性および内部構造に及ぼす影響)，自動車技術会秋季大会予稿集(2018).
- (7) 西浦宏亮，井上優，松村恵理子，千田二郎：ディーゼル機関における燃料噴霧特性に関する研究(第一報)-燃料噴射圧力および噴孔径，雰囲気密度が非蒸発ディーゼル噴霧のマクロ特性に及ぼす影響-，日本液体微粒化学会誌，28-95(2019).