ディーゼル噴霧の燃料濃度分布に関する研究*
(ノズル径, 噴射圧および雰囲気密度の影響)坂 根 篤^{*1}, 平 田 修 三^{*2}
下 津 正 輝^{*1}, 住 本 哲 宏^{*3}Study of Fuel Distribution in Diesel Spray
(Effects of Nozzle Diameter, Injection Pressure and Ambient Gas Density)Atsushi SAKANE, Shuzo HIRATA,
Masateru SHIMOTSU, and Tetsuhiro SUMIMOTO

The fuel distribution in a diesel spray seriously affects the performance of diesel engines. Nozzle diameter, injection pressure and ambient gas density are important factors which affect the atomization, penetration and fuel distribution. Therefore, effects of those factors on fuel distribution in a diesel spray were investigated in the cold and quiescent atmosphere. Fuel concentration was determined by the image analysis of shadow photographs of spray. As a result, the following was revealed. In the case of a smaller nozzle diameter and higher injection pressure, the mixing rate of fuel and ambient gas is greater. In similarly designed diesel engines with various power ranges, by normalizing the dimension of engines by nozzle diameter, it is supposed that the shape and fuel distribution of sprays will be similar at same crank angle.

Key Words: Internal Combustion Engine, Diesel Engine, Diesel Spray, Fuel Distribution, Image Analysis

1. ま え が き

ディーゼル噴霧の燃料濃度分布は噴霧の燃焼を左右する重要な因子である。本研究の主対象である舶用中・大形ディーゼル機関では、燃焼後半の燃焼率が燃焼性能に大きな影響を及ぼすため、燃料噴射期間後半および噴射終了後の燃料濃度分布が重要である。しかし、実際の燃焼場における噴霧は、それ自身の燃焼、燃焼室壁面への衝突、燃焼室内ガス流動の影響などのために複雑な挙動を示し、その中の燃料濃度分布の計測は非常に困難である。そこで本研究では、非蒸発自由噴霧の燃料濃度分布を調査することによって、ディーゼル機関の混合気形成および燃焼を理解し、燃焼性能を改善するための有効な手掛かりを得ようとするものである。

従来から、非蒸発あるいは非燃焼の条件下でディーゼル噴霧の燃料濃度分布を測定した例^{(1)~(4)}は多いが、舶用中・大形ディーゼル機関に対する適用を考えると、

燃料噴射圧、噴射ノズル径、噴射期間などの実験条件の範囲をさらに広げる必要がある。本研究では、混合気形成を支配する主要因子である燃料噴射圧、噴射ノズル径、雰囲気密度を実験因子として取り上げ、それらの設定値を舶用中・大形ディーゼル機関の範囲まで広げて実験を行い、それらの因子が常温高圧の雰囲気中に噴射された自由噴霧の燃料濃度分布に及ぼす影響を、噴射期間後半から噴射終了後にわたって調べた。

なお、噴霧中の燃料濃度の測定は、噴霧の影写真を画像解析することによって燃料濃度を求めるという、安ら⁽¹⁾や清水ら⁽⁴⁾の提案した手法を応用して行った。

2. 実験方法および燃料濃度測定法

2.1 実験方法 図1は噴霧撮影装置の概略図である。内径170 mm、高さ450 mmの容器内に常温のCO₂を所定の圧力に充てんし、その中へ単孔ホールノズルによって軽油(密度 $\rho_f=840 \text{ kg/m}^3$)を噴射した。噴射開始より任意時間経過後に光源のクセノン放電管を発光させ、窓の一部に張り付けたステップタブレットとともに噴霧の影写真を35 mm スチルカメラで撮影した。そして現像後、フィルムの画像解析を行って、噴霧部の光の透過率を求めた。なお、撮影したステップタブレットは画像解析装置の出力値を光の透過率に

* 昭和59年10月17日 第62期全国大会講演会および昭和60年3月16日 中国四国支部第23期総会講演会において講演、原稿受付 昭和61年6月2日。

^{*1} 正員、三井造船(株) (〒706 玉野市玉3-1-1)。

^{*2} 三井造船(株)。

^{*3} 中国工業技術試験所 (〒737-01 呉市広町15000)。

変換する際に用いた。また集光側の凹面鏡（焦点距離 2 m の焦点に置いたアパーチャの直径は 7 mm であるので、撮影されたのは半角 0.1° 以内の前方散乱光である。

噴霧撮影時に噴霧中に存在する燃料の質量 M_s は次式によって求めた。

$$M_s = \frac{\pi}{4} \alpha \cdot d_n^2 \int_0^{t_p} \sqrt{2\rho_f(P_{inj} - P_g)} dt \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 d_n は噴射ノズル径、 P_{inj} は噴射圧、 t_p は噴射開始から撮影までの時間、 α は流量係数であり、次式より求めた。

$$\alpha = \frac{4M_t}{\pi d_n^2 \int_0^{t_{inj}} \sqrt{2\rho_f(P_{inj} - P_g)} dt} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、1 回の噴射量 M_t および噴射期間 t_{inj} は実験条件ごとに求めた測定値である。

実験条件を表 1 (a)～(c) に示す。噴射圧は図 2 に示す A, B, C の 3 種類にパターンを変えて実験した。表 1 (b) の No. 1 B～5 B では、噴射開始後 $t_p=3.9, 6.4, 9.1$ ms (噴射終了後 1 ms) に撮影し、No. 6 A, 7 B, 8 C では、1 回の噴射量をほぼ同じにし、噴射期間を変えており、表 1 (c) に示すように 1 回の噴射量の

55 % 噴射時、80 % および、100 % 噴射時(噴射終了時)、および噴射終了後経過時間 $t_e=1.5, 3$ ms において撮影した。

No. 1 B～3 B は噴射ノズル径の影響を調べる実験であるが、その場合、噴射開始後同一時間における噴霧の燃料濃度分布を比較するだけでなく、ディーゼル機関燃焼室内の噴霧を想定して、噴射開始後同一クランク角における噴霧の燃料濃度分布を比較する必要がある。本実験に使用した 3 種類の噴射ノズルはノズル径が大きく異なるので、通常の場合、定格出力および定格回転速度の異なるディーゼル機関に用いられるが、ここでは、そのディーゼル機関は次のような相似機関であると仮定して回転速度とノズル径の関係を決め、噴霧撮影時間をクランク角に変換した。

いま、ストローク/ボア比、平均ピストン速度、平均有効圧、圧縮比、給気圧、給気温度、噴射ノズル孔数、噴射開始および噴射終了クランク角、同一クランク角における噴射圧および燃焼室内ガス圧などが等しく、形状が相似な二つのディーゼル機関を考える。ストローク/ボア比および平均ピストン速度一定の条件より、

表 1

(a) 燃料噴射および雰囲気条件

No	d_n (mm)	ρ_f (kg/m ³)	P_g (MPa)	Injection Pattern	t_{inj} (ms)	M_t (mg)
1 B	0.61	34	1.77	H	8.1	520
2 B	0.40	34	1.77	H	8.1	222
3 B	0.25	34	1.77	H	8.1	97
4 B	0.25	50	2.55	H	8.1	94
5 B	0.25	22	1.18	H	8.1	98
6 A	0.25	32	1.77	A	7.2	95
7 B	0.25	32	1.77	H	8.2	95
8 C	0.25	32	1.77	C	9.5	92

(b) 噴霧中の燃料質量

No	M_s (mg)		
	$t_p=3.9$ ms	$t_p=6.4$ ms	$t_p=9.1$ ms
1 B	241	424	520
2 B	107	188	222
3 B	46	79	97
4 B	46	79	94
5 B	46	81	98

(c) 噴霧中の燃料質量および撮影時間

No	M_s (mg) / t_p (ms)				
	$M_s/M_t=0.55$	$M_s/M_t=0.80$	$M_s/M_t=1.00$	$t_e=1.5$ ms	$t_e=3.0$ ms
6 A	52/3.8	76/5.3	95/7.4	95/8.6	95/10.2
7 B	50/4.3	75/6.1	95/8.5	95/9.7	96/11.2
8 C	50/5.1	73/7.3	92/9.8	92/11.0	91/12.6

図 1 噴霧撮影装置概略図

図 2 燃料噴射圧

両機関の回転速度 N_e とピストン径 D_p の関係は次式のようになる。

$$N_{e1}/N_{e2} = D_{p2}/D_{p1} \dots\dots\dots (3)$$

両機関の燃料消費率、燃焼効率、冷却損失が等しいとすると、単位時間・単位出力当たりの燃料噴射量は等しい。これを、燃料噴射速度および平均有効圧が等しいことを考慮して数式化すると、次式のようになる。

$$d_{n1}^2/(D_{p1}^3 \cdot N_{e1}) = d_{n2}^2/(D_{p2}^3 \cdot N_{e2}) \dots\dots\dots (4)$$

したがって、ノズル径と機関回転速度の関係は次式であらわされる。

$$d_{n1}/d_{n2} = N_{e2}/N_{e1} \dots\dots\dots (5)$$

式(5)を使って表1(b)の撮影時間をクランク角で見直すと、 $d_n=0.61$ mm の $t_p=6.4$ ms と $d_n=0.40$ mm の $t_p=3.9$ ms のクランク角および $d_n=0.40$ mm の $t_p=6.4$ ms と $d_n=0.25$ mm の $t_p=3.9$ ms のクランク角がほぼ等しくなっている。

2.2 燃料濃度測定法 燃料濃度の測定方法は既報⁽⁵⁾に詳しく示したので、以下に概要を説明する。

図3に示すように、噴霧を軸に垂直な面で切断し、 m 個の円環状要素に分割する。各要素の半径方向の幅は Δr 、噴霧軸方向の厚さは Δx である。燃料噴霧の一部には液柱部⁽⁶⁾や液糸⁽⁷⁾が存在していると考えられるが、ここでは、燃料は噴射ノズル出口で一瞬に微粒化し、すべて球形粒子となっているものとする。また各要素内では、燃料濃度は一定であると仮定する。

燃料粒子による光の吸収はないとすると、 i から m までの $(m-i+1)$ 個の要素を透過し、撮影された透過光の強度 I_i と入射光の強度 I_0 の比は次式のように表せる⁽⁵⁾。

$$\left(\frac{I_i}{I_0}\right)_{i=1 \sim m} = \exp \left[-R_t \cdot K_{\text{scat}} \sum_{j=i}^m (A_j \cdot l_{ij}) \right] \dots\dots\dots (6)$$

$$A_j = \frac{\pi}{4} D_{32j}^2 \cdot n_j \dots\dots\dots (7)$$

ただし、 A_j は j 要素の単位体積当たりの燃料粒子の投影断面積であり、ここでは燃料粒子の面積密度と呼ぶ、 D_{32j} は j 要素の燃料粒子のザウタ平均径、 n_j は式(7)を満足する粒子数密度、 l_{ij} は図3に示す j 要素

部の光路長、 R_t は散乱光集光係数、 K_{scat} は散乱係数である。 K_{scat} はディーゼル噴霧のような粒径範囲ではほぼ一定であり、 R_t も本研究のように微小角度の散乱光を集光する場合はほぼ一定とみなせ⁽⁸⁾、多重散乱の影響も小さいので⁽¹¹⁾本研究では $K_{\text{scat}}=2$ 、 $R_t=1$ とした。式(6)で、左辺の光の透過率 I_i/I_0 ($i=1 \sim m$) は噴霧の影写真を画像解析することによって得られるので、未知数は m 個の要素内の燃料粒子の面積密度 A_j ($j=1 \sim m$) だけである。したがって m 元連立方程式(6)は解くことが可能で、各要素内の燃料粒子の面積密度が得られる。以上の計算を噴霧軸に垂直なあらゆる断面について行くと、噴霧全体にわたる燃料粒子の面積密度が得られる。なお、噴霧の形状や光の透過率の分布は噴霧ごとに異なっているため統計的な処理が必要であるが、本研究では、同一条件下で撮影した数枚の写真を基準点のアドレスが一致するように位置調整して画像解析し、得られた光の透過率を各アドレスごとに平均し、式(6)の左辺に代入した。その方法は既報⁽⁵⁾に詳しく示したとおりである。

また、ノズル径 $d_n=0.40$ mm と 0.61 mm の場合には、噴霧中央部の光の透過率が測定できなかった。図3に示す噴霧の任意断面において、一部の光の透過率が測定できない場合、式(6)は完全には解けず、燃料粒子の面積密度 A_j が計算で求まらない要素が生じる。そこで、これらの要素内の燃料粒子の面積密度は、次のようにして求めた。すべての要素内の燃料粒子の面積密度がわかっている断面において、 $j=1$ 要素内の燃料粒子の面積密度を A_1 、燃料粒子の面積密度が $A_1/2$ となる点の噴霧軸からの距離を $r_{0.5}$ 、噴霧軸から j 要素の中央までの距離を r_j とする。そして各要素内の燃料粒子の無次元面積密度 A_j/A_1 を無次元距離 $r_j/r_{0.5}$ に対してプロットすると図4のようになり、 $(r_j/r_{0.5}) < 1$ の距離では、無次元面積密度はほぼ正規分布となっていることがわかった。また、燃料粒子の面積密度が計算で求まらない要素は、ほかの断面の燃料粒子の面積密度分布から推測すると、 $(r_j/r_{0.5}) < 1$ の距離内にあることもわかった。そこで、燃料粒子の面積密度が計算で求まらない要素については、無次元面積密度が正規分布となるように燃料粒子の面積密度を決めた。

以上のようにして得られた燃料粒子の面積密度から燃料濃度を計算するためには、燃料粒子のザウタ平均径 D_{32j} の空間分布を知る必要があるが、ここでは、安ら⁽¹⁾と同様に、燃料粒子のザウタ平均径は場所によらず一定であると仮定した。したがって、任意の j 要素の燃料濃度 C_j および空気過剰率 λ は、噴霧中の全燃

図3 噴霧断面のモデル

料粒子のザウタ平均径 $\bar{D}_{32}$ を使って次式より求められる。

$$\bar{D}_{32} = \frac{3M_s}{2\rho_f \left[\sum_{j=1}^m (A_j \cdot \pi \cdot r_j \cdot \Delta r \cdot \Delta x) \right]} \quad (8)$$

$$C_j = \frac{2}{3} \rho_f \cdot A_j \cdot \bar{D}_{32} \quad (9)$$

$$\lambda_j = \frac{\rho_g(\rho_f - C_j)}{\rho_f \cdot C_j (A/F)_s} \quad (10)$$

ただし、 ρ_g は雰囲気密度、 $(A/F)_s$ は理論空燃比である。なお、式(8)の分母の[]内は噴霧中に存在する全燃料粒子の総断面積である。

3. 実験結果

3.1 噴射ノズル径の影響 直径の異なる3種類のノズルから噴射された噴霧の空気過剰率 λ の分布を求めた例を図5に示す。これらは $t_p=6.4$ msにおける値である。いずれの場合もノズルから離れるほど、そして噴霧軸から離れるほど空気過剰率は高くなっている。また、大径のノズルから噴射された噴霧ほど、 $\lambda < 1$ の領域が広がっている。

図6に、噴霧中の $\lambda < 1$ となっている部分の体積 V_u

図4 半径方向の無次元面積密度分布

図5 空気過剰率の分布

の時間変化を示す。図6中、噴射期間中と噴射終了後のデータを連続に結んでいないのは、噴射終了時点($t_p=8.1$ ms)におけるデータがないためである。 $d_n=0.25$ mmの場合 V_u はほぼ一定であるが、 $d_n=0.40$ mmおよび 0.61 mmの場合には、 V_u は時間とともに増加している。その増加率は 0.61 mmのほうが大きい。そして噴射終了後には、いずれの場合も V_u は減少する。また、 $\lambda < 1$ の部分に存在する燃料の質量 M_u についても、 V_u と同様の傾向を示す結果が得られた。

図7に、写真撮影の時点(t_p)において噴霧中に存在する全燃料の質量 M_s に対する M_u の割合 M_u/M_s の時間変化を示す。全期間を通じて、小径のノズルから噴射された噴霧ほど M_u/M_s は小さい。また、いずれのノズルの場合も M_u/M_s は時間経過とともに減少するが、減少割合は小径のノズルほど大きい。これらのことは、小径のノズルから噴射された噴霧ほど、周囲気体との混合が速やかに行われることを示している。

図8に、 $d_n=0.25$ mmおよび 0.40 mmの場合の噴霧軸上の燃料濃度 C_i をノズル先端からの距離 x に対して示した。噴射期間中の噴霧軸上の濃度分布は、噴霧先端部を除いてほとんど変化していない。このような結果は田辺ら⁽⁹⁾の非定常噴流に関する研究でも報告されているが、ディーゼル噴霧においても軸上の濃度分布は、先端部を除いて、あたかも定常噴流のように噴射期間中にほとんど変化しない。また、噴射終了後にはノズル近傍の燃料濃度が低下し、濃度こう配は緩やかになる。図8中に引いた細線は $\lambda=1$ に相当する燃料濃度であるが、ノズル出口から $\lambda=1$ となる点までの距離は $d_n=0.25$ mmのほうが短い。 $d_n=0.25$ mmの場合は、 $t_p=3.9$ msと 6.4 msにおける噴霧の $\lambda=1$

図6 V_u に対するノズル径の影響

図7 M_u/M_s に対するノズル径の影響

となる距離はほとんど同じであるが、 $d_n=0.40$ mm の場合には、 $t_p=6.4$ ms のほうが長くなっている。そのため、図 6 に示したように $d_n=0.25$ mm の場合は V_u がほぼ一定であるが、 $d_n=0.40$ mm と 0.61 mm の場合には、 V_u は時間経過とともに増加している。

次に、相似機関の燃焼室の噴霧を想定し、同一クラック角における噴霧の燃料濃度を比較する。本実験では、 $d_n=0.25$ mm の $t_p=3.9$ ms と $d_n=0.40$ mm の $t_p=6.4$ ms のクラック角および $d_n=0.40$ mm の $t_p=3.9$ ms と $d_n=0.61$ mm の $t_p=6.4$ ms のクラック角がほぼ等しくなっている。図 9 はそれらの噴霧軸上の燃料濃度を無次元距離 x/d_n に対してプロットしたものであるが、同一クラック角のものどうしいずれも、軸上の燃料濃度分布は一致している。

図 10 に、同一クラック角における二つの噴霧の空気過剰率の分布を軸方向距離 x および半径方向距離 r をノズル径で無次元化して示した。噴霧全体の形が一致するのは和栗の式⁽¹⁰⁾からも予想できることであ

るが、噴霧の形状のみならず $\lambda < 1$ の領域も両者ほぼ等しい広さになっている。

このように、相似機関の同一クラック角における噴霧の形状および濃度分布は、軸方向および半径方向の距離をノズル径で無次元化して示すと、ほぼ一致する。

3.2 噴射圧の影響 $d_n=0.25$ mm のノズルからパターン A, B, C の圧力で噴射された噴霧の $\lambda < 1$ の部分の体積 V_u の時間変化を図 11 に示す。いずれのパターンの場合も、燃料噴射割合 55~80 % の噴射期間中の V_u はほぼ一定である。噴射終了後、噴射圧の影響は小さくなっているが、計測時間内においては、噴射圧の高い噴霧ほど V_u は小さくなっている。

噴霧を $\lambda < 1$, $1 \leq \lambda \leq 2$, $\lambda > 2$ の部分に分け、各部分に存在する燃料の質量割合を図 12 に示す。いずれのパターンの場合も、時間経過とともに $\lambda < 1$ の部分に存在する燃料の質量割合は減少し、 $\lambda > 2$ の部分に存在する燃料の質量割合が増加する。そして計測時間内では、噴射圧の高い噴霧ほど $\lambda > 2$ の部分に存在する燃料の質量割合は大きくなっている。また、噴霧中の $\lambda < 1$, $1 \leq \lambda \leq 2$, $\lambda > 2$ の部分の体積割合についても、その中に存在する燃料の質量割合と同様の傾向を示す結果が得られた。

図 13 に噴霧軸上の燃料濃度分布を示す。いずれのパターンの場合も $\lambda=1$ となる距離はほぼ等しいが、噴射圧の高い噴霧ほど $\lambda < 1$ の部分の燃料濃度は低くなっている。

このように、噴射圧が高い場合には同量の燃料を短時間に噴射しているにもかかわらず、燃料が持ち込む

(a) $d_n=0.25$ mm

(b) $d_n=0.40$ mm

図 8 噴霧軸上濃度分布の時間変化

図 9 同一クラック角における噴霧の軸上濃度分布

図 10 同一クラック角における噴霧中の空気過剰率の分布

図 11 V_u に対する噴射圧の影響

運動量が大きいので、噴射圧の低い場合に比べて燃料と周囲気体との混合は良好である。このことは、噴射圧の高い噴霧ほど燃料と周囲気体との混合が速く行われることを示している。

3.3 雰囲気気密度の影響 燃料濃度は同じであっても、雰囲気気密度によって空気過剰率 λ は異なる。そこで、雰囲気気密度が $\rho_g=34\text{ kg/m}^3$ のときの $\lambda=1$ に相当する燃料濃度 $c=2.34\text{ kg/m}^3$ を境界値に選び、噴霧中の $c>2.34\text{ kg/m}^3$ の部分に存在する燃料の質量 M_c を求めた。図14に M_c に対する割合 M_c/M_s の時間変化を示す。雰囲気気密度が高くなると噴霧円すい角は多少大きくなるが、噴霧到達距離が短くなるため噴霧の分散が悪く、噴射の全期間を通じて、雰囲気気密度の高い噴霧ほど M_c/M_s は大きくなっている。

次に $\lambda=1$ を境界値に選び、 $\lambda<1$ の部分に存在する燃料の質量 M_u を求めた。図15に M_u に対する割合 M_u/M_c の時間変化を示す。噴射の全期間を通じて、雰囲気気密度の高い噴霧ほど M_u/M_c は小さくなっている。これは、雰囲気気密度が高くなると燃料の分散は悪くなるが、周囲気体の密度が高いため噴霧中に取り込まれる気体の質量が大きいからである。

図16に $t_p=6.4\text{ ms}$ における噴霧軸上の燃料濃度分

布を示すが、雰囲気気密度による差は、噴霧先端部を除いてほとんどみられない。

4. ま と め

常温高压の雰囲気中に噴射された自由噴霧の影写真から、画像解析法を用いて噴霧中の燃料濃度分布および空気過剰率の分布を求め、それらに及ぼす噴射ノズル径、燃料噴射圧、雰囲気気密度の影響を噴射期間後半から噴射終了後にわたって調べた。得られた結果を要約すると次のとおりである。

(1) 噴射開始後同一時間内では、小径のノズルから噴射された噴霧ほど周囲気体との混合は速く行われるが、相似設計されたディーゼル機関の燃焼室内の噴霧を想定した場合、同一クランク角における噴霧の形および濃度分布は、ノズル径で無次元化した長さで示すとほぼ一致する。

(2) 噴射圧の高い噴霧ほど燃料と周囲気体との混合は速く行われ、空気過剰率が1以下の部分の体積割合およびその部分に存在する燃料の質量割合は小さく、噴霧軸上の燃料濃度も低い。

図12 $\lambda<1$, $1\leq\lambda\leq2$, $\lambda>2$ の部分に存在する燃料の質量割合

図13 噴霧軸上濃度分布に対する噴射圧の影響

図14 M_c/M_s に対する雰囲気気密度の影響

図15 M_u/M_c に対する雰囲気気密度の影響

図16 噴霧軸上濃度分布に対する雰囲気気密度の影響

(3) 雰囲気密度が高くなると燃料の分散は悪くなるが、噴霧内部へ導入される周囲気体質量が増加し、空気過剰率は高くなる。

(4) 本研究の測定範囲内では、雰囲気密度およびノズル径を変えても、噴霧軸上の濃度分布は噴霧先端部を除いて、噴射期間中にはほとんど変化しない。

(5) 噴射終了後、ノズル近傍の燃料濃度は低下し、噴霧軸上の濃度こう配は緩やかになる。また、空気過剰率が1以下の部分の体積およびその部分に存在する燃料質量は減少する。

終わりに、本研究を行うにあたり岡山大学工学部 浜本嘉輔教授にご指導いただいたことを記して感謝の意を表す。また、画像解析の際にお世話になった中国工業技術試験所 今出政明技官に感謝する。

文 献

- (1) 安・ほか3名, 第3回内燃機関合同シンポジウム講演論文集, (昭57-7), 217.
- (2) 張・ほか3名, 機論, No.834-8 (昭58-3), 91.
- (3) Lakshminarayan, P. A. and Dent, J. C., *SAE Paper*, 830244 (1983).
- (4) Shimizu, I., ほか2名, *SAE Paper*, 820355 (1982).
- (5) 住本・坂根・ほか2名, 中国工業技術試験所報告, 19 (昭58), 53.
- (6) 清水・ほか2名, 機論, 49-448, B (昭58), 2886.
- (7) 石川・ほか2名, 九州大学工学部集報, 56-4 (昭58), 391.
- (8) Gumprecht, R. O. and Sliepcevich, C. M., *J. Phys. Chem.*, 57 (1953), 90.
- (9) 田辺・ほか4名, 機論, 48-434, B (昭57), 2088.
- (10) 和栗・ほか3名, 機論, 25-156 (昭34), 820.
- (11) 神本・ほか3名, 第5回内燃機関合同シンポジウム講演論文集, (昭60-6), 211.

討 論

〔質問〕 藤 本 元 (同志社大学工学部)

(1) 図3の噴霧断面では中心 r_1 に誤差が集積される。この誤差の評価はされたか。

(2) 噴霧外縁では、面積密度、運動量などは微量になり測定が難しくなる。特に写真を媒介する測定では、外縁の情報を飛ばしてしまうことが考えられる。貴研究の写真処理方法を示されたい (上記傾向は図4に $r/r_{0.5} > 1$ で顕著に現れているように思われる)。

〔回答〕 (1) I_1 を噴霧中心軸を透過した光の強度とすると、 $j=1$ 要素の面積密度 A_1 は式(6)を解いて次式で表せる。

$$A_1 = \frac{1}{R_t \cdot K_{\text{scat}} \cdot \Delta r} [\log(I_0/I_1) - \log(I_0/I_2) + 0.24A_2 + 0.34A_3 + 0.12A_4 + 0.06A_5 + 0.04A_6 + \dots]$$

ただし $R_t \cdot K_{\text{scat}} \cdot \Delta r \approx 2.4$

ほとんどの場合 $A_2 > A_3 > A_4 > A_5 > A_6 > \dots > A_n$ であるので A_1 に影響を及ぼすのは $\log(I_0/I_1)$, $\log(I_0/I_2)$ および A_2 , A_3 , A_4 であり、 $j=5$ 要素より外側の要素の面積密度の影響は無視できる。したがって、特に A_1 に誤差が集積されるとはいえない。しかし、 $\log(I_0/I)$ の値が1.7以上になると(ただし、2.3以上の場合は本文中に示したように、無次元面積密度の分布が正規分

布となるように、面積密度を決めた)画像解析装置の出力値の変化が小さくなるので、その範囲に入る可能性の最も高い $\log(I_0/I_1)$ や $\log(I_0/I_2)$ に測定誤差を生じやすくなり、噴霧中心軸に近い要素ほど面積密度の誤差が大きくなる可能性がある。本研究では、その誤差の程度を評価していない。なお、図8, 9, 13, 16に示した噴霧軸上の燃料濃度は、半径方向の燃料濃度分布図をスムージングして求めた値である。

(2) まず、噴霧とともに撮影したステップタブレットをもとに画像解析装置の出力値を光の透過率 I_i/I_0 に変換し、 $I_i/I_0=1$ をしきい値として噴霧画像の二値化処理を行って噴霧の大まかな輪郭を求めた。そして、本文の式(6)~(9)を使って燃料濃度 c_j を計算し、 $c_j > 0.333 \text{ kg/m}^3$ を満足する最も外側の要素を周囲気体との境界と定め、噴霧の輪郭を決定した。 $c_j = 0.333 \text{ kg/m}^3$ に相当する空気過剰率は雰囲気密度により異なるが、雰囲気密度 $\rho_g = 34 \text{ kg/m}^3$ の場合空気過剰率 $\lambda \approx 7$ に相当する。 $c_j > 0.333 \text{ kg/m}^3$ の領域における A_j/A_1 値を図4にプロットしている。 $c_j = 0.333 \text{ kg/m}^3$ よりも小さい濃度の領域では $A_j/A_1 = 0$ となる。ただし、 $A_j/A_1 = 0$ となる点は、図4にプロットしていない。