内部混合形二流体噴射弁による高粘度液体噴流の微粒化*

玉木伸茂^{*1}, 清水正則^{*1}, 廣安博之^{*2}Atomization of High-Viscous Liquid Jet
by Internal Mixing Twin-Fluid AtomizerNobushige TAMAKI^{*3}, Masanori SHIMIZU and Hiroyuki HIROYASU^{*3} Department of Mechanical Engineering, School of Engineering, Kinki University,
1 Takaya Umenobe, Higashihiroshima-shi, Hiroshima, 739-2116 Japan

The purpose of this study is to develop a combustion burner for high-viscous liquid fuel such as waste oil, which is able to atomize high-viscous liquid using a little energy and is able to reduce pollutant emissions. The internal mixing twin-fluid atomizer developed in this study mixed waste oil and atomizing air with swirling flow in a mixing chamber. The effects of kinematic viscosity of liquid, geometric shapes and dimensions of the twin-fluid atomizer on spray characteristics were studied. The results indicated that atomization of high-viscous liquid was achieved with a little energy of atomizing air, and the spray with small droplets was obtained. Moreover, the atomizer, which the hole number of atomizer is single hole of $N=1$, the liquid supplying hole was multi holes of $n=6$ and the height of the mixing chamber is low of $h=2$ mm, is suitable for atomization of high-viscous liquid and a large amount of liquid.

Key Words: Atomization, Fuel Injection, Internal Flow, Swirling Flow, Liquid Fuel, Twin-Fluid Atomizer, Spray Characteristics, High-Viscous Liquid

1. 結 論

おもに船舶機関から排出される残さ油, オイル廃油といった廃油は, 使途がほとんどなく, 最適な処理方法も確立されていないため, たい積しているのが現状である。省資源の観点から, 限りあるエネルギー資源を有効に利用するために, 廃油を燃焼させて熱エネルギーとしての再利用が望まれている。しかし, 廃油は粘度が非常に高く, 低品位であり, 水を多量に含有しているため, 燃焼に適した噴霧に微粒化し, 燃焼させることが困難である。

本研究では, 省エネの観点から, できる限り小さなエネルギーで廃油のような高粘度液体を微粒化できる噴射弁を設計することを目的とした。一般に, 内部混合形二流体噴射弁は, 外部混合形二流体噴射弁と比較して, 微小な液滴を有する噴霧が容易に得られ, 噴射媒体である気体の圧力が比較的低く, 気体の流量が少量で稼動できるため, 幅広く利用されている⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾。そ

こで, 本研究ではこれまでに内部混合形二流体噴射弁を用いた廃油燃焼バーナを考案した⁽⁵⁾⁽⁶⁾。本報では, 廃油の消費を促進するために小さなエネルギーで多量の廃油を微粒化できる内部混合形二流体噴射弁の開発に主眼を置き, 液体の動粘度, 液体の質量流量および噴射弁の幾何学形状・寸法を種々に変化させて, 高粘度液体噴流の微粒化に及ぼす影響を調べた。

2. 実験装置および方法

図1に実験装置の概略を示す。供試液体は300 Kにおいて動粘度がガソリンに相当する $\nu_f=0.66 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ の水, 船舶廃油に相当する $\nu_f \approx 400 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ およびこれらの約半分の $\nu_f \approx 200 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ のグリセリン水溶液を用いた。アキュムレータ内の供試液体は, 圧力調整器を介し, 窒素ガスで常時約3.0 MPaから3.5 MPaに加圧して噴射弁に供給した。微粒化用空気は, コンプレッサを用いて噴射弁に供給した。噴射弁の混合室内の流れは, ストロボスコープを用いて散乱光撮影した。噴霧粒径は, フランホッフ回折理論に基づく粒度分布解析装置(東日コンピュータアプリケーションズ製, LDSA-1400 A)を用いて測定し, ザウタ平均粒径で測定結果を整理した。噴霧粒径は, 粒径の測定位置により異なるため, 噴孔出口か

* 原稿受付 2005年4月13日。

^{*1} 正員, 近畿大学工学部(〒739-2116 広島市高屋うめの辺1)。^{*2} 正員, (有)ヒロ技術研究所(〒730-0802 広島市中区本川町2-6-11)。

E-mail: tamaki@hiro.kindai.ac.jp

Fig. 1 Schematic of experimental apparatus

Fig. 2 Schematic of internal mixing twin-fluid atomizer

Fig. 3 Schematics of atomizers

ら噴射軸方向に測定位置を変化させて測定した。この結果より、噴霧粒径は噴孔出口から 150 mm の位置で測定した。

図 2 に内部混合形二流体噴射弁の概略を示す。また、図 3、表 1 に噴射弁の概略と諸元をそれぞれ示し、図 4 にノズルチップの詳細を示す。液体を供給する噴孔数は、噴孔の総断面積が同一で Type-A ($n=1$) と Type-D ($n=6$) を用いた。さらに、大流量用として液体を供給する噴孔径を Type-D ($n=6$) よりも若干大きくした Type-D' ($n=6$) を用いた。本研究の目的は、廃油のような微粒化しにくい高粘度液体をできるだけ小さな動力で微粒化させることである。そこで、混合

Table 1 Configurations of atomizers

	D mm	t mm	d mm	h mm
$M_f=5.9$ g/s	$\phi 30$	10	$\phi 25$	2, 10, 30
$M_f=15$ g/s	$\phi 40$	15	$\phi 35$	2, 10, 30
$M_f=115$ g/s

(a) Type-A ($n=1$) (b) Type-D ($n=6$) (c) Type-D' ($n=6$)

Fig. 4 Details of nozzle chips

室内で液体に大きなかく乱が与えられ、液体と空気の混合を促進させるために微粒化用空気の流入孔に $\theta'=45^\circ$ の旋回角を設けた⁽⁵⁾。混合室の高さは $h=2, 10, 30$ mm とし、噴射弁の噴孔数は、噴孔の総断面積が同一で単噴孔噴射弁 ($N=1$) と多噴孔噴射弁 ($N=4$) を用いた。また、噴射弁の噴孔管長が短いほど噴霧角が大きくなり、ザウタ平均粒径が小さくなるという結果⁽⁵⁾から、噴射弁の噴孔径が $\phi 5.0$ mm に対し、噴射弁の噴孔管長は 3 mm とした。

3. 実験結果および考察

3.1 液体の動粘度の影響 液体の動粘度は、液体の物性値の中で噴霧の微粒化に大きな影響を与える。そこで、液体の動粘度を幅広く変化させて、考案した内部混合形二流体噴射弁の噴霧の微粒化に及ぼす影響を調べた。図 5 に液体の動粘度 ν_f がザウタ平均粒径に及ぼす影響を示し、図 6 に噴霧の微粒化に及ぼす影響を示す。図 5(a) は液体の質量流量が $M_f=5.9$ g/s の場合であり、図 5(b)、6 は $M_f=15$ g/s の場合である。

図 5(a) より、 $M_f=5.9$ g/s で高粘度液体 ($\nu_f \approx 200 \times 10^{-6}$ m²/s, $\nu_f \approx 400 \times 10^{-6}$ m²/s) の場合、任意の微粒化用空気の質量流量 M_a におけるザウタ平均粒径は、ほぼ同じ大きさである。また、 M_a が 1.2 g/s (微粒化用空気圧が $P_a=0.17$ MPa, 微粒化用空気流速が $v_a \approx 51$ m/s) よりも少ない領域において、ザウタ平均粒径は、高粘度液体のほうが低粘度液体 ($\nu_f=0.66 \times 10^{-6}$ m²/s) よりも大きくなっている。しかし、 M_a が 1.2 g/s よりも多くなると、ザウタ平均径は動粘度によら

(a) $M_f = 5.9 \text{ g/s}$ (b) $M_f = 15 \text{ g/s}$

Fig. 5 Effects of kinematic viscosity of liquid on Sauter mean diameter

ず、ほぼ同じ大きさであり、小さくなっている。図 5(b)より、 $M_f = 15 \text{ g/s}$ の場合、 $M_a \approx 2.0 \text{ g/s}$ ($P_a = 0.32 \sim 0.37 \text{ MPa}$, $v_a \approx 85 \text{ m/s}$)よりも少ない領域において、任意の M_a におけるザウタ平均粒径は、液体の動粘度により異なり、 $\nu_f = 0.66 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ の場合、ザウタ平均粒径が最も小さくなっている。しかし、 $M_a \approx 2.0 \text{ g/s}$ よりも多くなると、液体の動粘度による違いはほとんど見られず、最大の M_a におけるザウタ平均粒径とほぼ同じ大きさになっている。また、図 6 より、噴霧の広がり、高粘度液体のほうが低粘度液体よりも少し大きくなっている程度であり、液体の動粘度によらず、噴霧の広がりが大きく、微粒化していることがわかる。さらに、図 5 より、液体の質量流量が $M_f = 5.9 \text{ g/s}$ から $M_f = 15 \text{ g/s}$ に約 3 倍増加したとき、最小のザウタ平均粒径が得られる微粒化用空気質量流量が、 $M_f = 5.9 \text{ g/s}$ に対する $M_a \approx 1.5 \text{ g/s}$ から $M_f = 15 \text{ g/s}$ に対する $M_a \approx 2.5 \text{ g/s}$ であり、 M_f が多くなっても M_a を約 1.5 倍 ($M_a \approx 1.0 \text{ g/s}$) 増加させると、

Fig. 6 Effects of kinematic viscosity of liquid on disintegration behavior of spray

液体の動粘度によらず、小さなザウタ平均粒径を有する噴霧が得られることがわかる。

3.2 噴射弁の噴孔数の影響 噴射弁の噴孔の総断面積が同一である場合、多噴孔噴射弁のほうが単噴孔噴射弁よりも噴孔径が小さくなり、微粒化しやすくなることが予想される。図 7 に液体の動粘度が $\nu_f \approx 400 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ において、噴射弁の噴孔数 N が粒度分布に及ぼす影響を示し、図 8 にザウタ平均粒径に及ぼす影響を示す。図 7, 8(a) は $\nu_f \approx 400 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 、液体の質量流量が $M_f = 5.9 \text{ g/s}$ 、図 7 は微粒化用空気の質量流量が $M_a = 1.7 \text{ g/s}$ (微粒化用空気圧が $P_a = 0.22 \text{ MPa}$ 、微粒化用空気流速が、 $v_a \approx 72 \text{ m/s}$)、図 8(b) は $\nu_f \approx 400 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 、 $M_f = 115 \text{ g/s}$ 、図 8(c) は $\nu_f = 0.66 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 、 $M_f = 115 \text{ g/s}$ の結果である。

図 7 より、粒度分布は噴射弁の噴孔数 N の違いによる影響が現れており、単噴孔噴射弁 ($N = 1$) の場合、約 $10 \sim 150 \mu\text{m}$ の比較的小さな粒径が多い分布が得られており、その頻度は約 70% である。一方、多噴孔噴射弁 ($N = 4$) の場合、約 $100 \mu\text{m}$ 以下の粒径の頻度は約 20% と少なく、約 $200 \sim 600 \mu\text{m}$ の比較的大きな粒径が多く分布している。

図 8 より、液体の質量流量 M_f 、噴射弁の噴孔数 N および液体の動粘度 ν_f によらず、ザウタ平均粒径は微粒化用空気の質量流量 M_a の増加に伴い、小さくなっていく。図 8(a), (b) より $\nu_f \approx 400 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ の場合、任意の M_a で比較すると、単噴孔噴射弁 ($N = 1$) は多噴孔噴射弁 ($N = 4$) よりもザウタ平均粒径が小さくなっている。また、最大の微粒化用空気の質量流量におけるザウタ平均粒径を比較すると、図 8(a) より $M_f = 5.9 \text{ g/s}$ の場合、 $M_a = 1.7 \text{ g/s}$ ($P_a = 0.22 \text{ MPa}$, $v_a \approx 72 \text{ m/s}$) において単噴孔噴射弁 ($N = 1$) のザウタ平均粒径は約 $40 \mu\text{m}$ であり、多噴孔噴射弁 ($N = 4$) のザウタ平均粒径は、その約 3 倍の約 $110 \mu\text{m}$ である。図 8(b) より $M_f = 115 \text{ g/s}$ の場合、 $M_f = 5.9 \text{ g/s}$ のと

Fig. 7 Droplet size distributions

きの2倍の $M_a=3.4$ g/s ($P_a=0.65$ MPa, $v_a \approx 144$ m/s)において, 単噴孔噴射弁 ($N=1$) のザウタ平均粒径は約 $100 \mu\text{m}$ であり, 多噴孔噴射弁 ($N=4$) の場合, 約 $180 \mu\text{m}$ である. したがって, M_f によらず, 単噴孔噴射弁 ($N=1$) は, 同じ M_a において, 多噴孔噴射弁 ($N=4$) よりもザウタ平均粒径が小さな噴霧が得られることがわかる. また, 図8(c)より $\nu_f=0.66 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ の場合, 任意の M_a で比較して, 噴射弁の噴孔数 N によらず, ほぼ同じ大きさのザウタ平均粒径が得られており, M_a が約 2.2 g/s ($P_a=0.50$ MPa, $v_a \approx 93$ m/s) よりも多くなると, ザウタ平均粒径は N によらず, 小さくなっている.

考案した噴射弁は, 混合室内で液体に大きなく乱が与えられ, 液体と空気の混合を促進させるために混合室内に旋回流を付加している. したがって, 気液混合流体が, より大きな噴孔から旋回速度成分を保持して噴出すると, 噴霧は微粒化するものと考えられる. しかし, 低粘度液体 ($\nu_f=0.66 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) の場合, 噴射弁の噴孔数 N , すなわち噴射弁の噴孔径によらず, ほぼ同じ大きさのザウタ平均粒径が得られるが, 高粘度液体 ($\nu_f \approx 400 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) の場合, 多噴孔噴射弁 ($N=4$) は, 単噴孔噴射弁 ($N=1$) よりもザウタ平均粒径が大きくなっている. この結果から, 多噴孔噴射弁 ($N=4$) は, 単噴孔噴射弁 ($N=1$) よりも噴孔径が小さいため, 高粘度液体 ($\nu_f \approx 400 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) の場合, 混合室内の気液混合流体が噴出しにくくなり, 噴射弁出口における噴出速度が低下し, 微粒化状態が悪

Fig. 8 Effects of hole number of atomizer on Sauter mean diameter

くなるものと考えられる. これらの結果から, 当初の予想とは逆に, 単噴孔噴射弁 ($N=1$) のほうが廃油のような高粘度液体の微粒化に適していることがわかる.

3.3 液体を供給する噴孔数の影響 金ら⁽⁷⁾⁽⁸⁾の研究から, 内部混合形二流体噴射弁の噴霧特性は, 混

Fig. 9 Effects of hole number of liquid supplying hole on Sauter mean diameter

合室内における気液の流動状態によって大きく変わることが明らかになっている。混合室内に流入する液流は、混合室内における液体と微粒化用空気とのかはん、混合の状態に大きく影響することが考えられる。図9に液体を供給する噴孔数 n がザウタ平均粒径に及ぼす影響を示す。

図9より、ザウタ平均粒径は、液体を供給する噴孔数 n によらず、微粒化用空気の質量流量 M_a の増加に伴い、小さくなっていく。また、 M_a が 0.9 g/s (微粒化用空気圧が $P_a=0.15$ MPa, 微粒化用空気流速が $v_a \approx 38$ m/s) よりも少ない領域において、Type-D ($n=6$) のほうが Type-A ($n=1$) よりもザウタ平均粒径が小さくなっている。 M_a が 0.9 g/s よりも多い領域において微視的に見ると、Type-D ($n=6$) のほうが Type-A ($n=1$) よりもザウタ平均粒径が若干小さくなっているが、 n によらず、ほぼ同じザウタ平均粒径が得られている。

これは、Type-A ($n=1$) のほうが Type-D ($n=6$) よりも噴流径が大きくなるため、微粒化用空気との混合状態が悪くなるものと思われるが、液体と空気の混合を促進させるために混合室内に旋回流を付加しているため、液体と微粒化用空気の混合が促進され、液体を供給する噴孔数 n の影響をほとんど受けないものと考えられる。

3・4 混合室の高さの影響 混合室の容積は、液体と微粒化用空気の混合促進に影響を及ぼすものと思われる。そこで、混合室の直径を一定とし、混合室の高さ h を変化させて混合室の高さの影響を調べた。図10に混合室の高さ h が噴霧角に及ぼす影響を示し、図11にザウタ平均粒径に及ぼす影響を示す。図10(a), 11(a)は液体の質量流量が $M_f=15$ g/s, 微粒化用空気の質量流量が $M_a=3.0 \sim 3.2$ g/s (微粒化用空

(a) $M_f=15$ g/s

(b) $M_f=115$ g/s

Fig. 10 Effects of height of mixing chamber on spray angle

気圧が $P_a=0.45$ MPa, 微粒化用空気流速が $v_a \approx 132 \sim 136$ m/s), 図10(b), 11(b)は $M_f=115$ g/s, $M_a=3.1 \sim 3.3$ g/s ($P_a=0.55 \sim 0.60$ MPa, $v_a \approx 132 \sim 140$ m/s)の結果である。

図10より、 $h=2$ mmの噴霧角は、液体の動粘度 ν_f によらず、 $h=10, 30$ mm よりも大きくなっている。 h が高くなるにつれて噴霧角は小さくなっていき、 $h=10$ mm 以上になると、噴霧角はほとんど変化しない。この傾向は液体の質量流量によらず、同じである。図11(a)より、 M_f が少ない場合 ($M_f=15$ g/s), $\nu_f=0.66 \times 10^{-6}$ m²/s, 200×10^{-6} m²/sのザウタ平均粒径は、混合室の高さ h が高くなってもほとんど変化が見られないが、 $\nu_f=400 \times 10^{-6}$ m²/sのザウタ平均粒径は、 $h=2$ mmにおいて最も小さくなっており、 h が高くなるにつれて大きくなっていく。図11(b)より、 M_f が多い場合 ($M_f=115$ g/s), ν_f によらず、ザウタ平均粒径は、 $h=2$ mmにおいて最も小さくなっており、 h が増すにつれて大きくなり、微粒化状態が悪くなることからわかる。これらの結果より、 $h=2$ mmの噴射弁

Fig. 11 Effects of height of mixing chamber on Sauter mean diameter

を用いると、液体の質量流量、液体の動粘度によらず、ザウタ平均粒径が最も小さくなることがわかる。

一般に、低粘度液体は微粒化しやすいため、低粘度液体の噴霧角は、高粘度液体の噴霧角よりも大きくなると思われる。しかし、図 10 より、 $\nu_f=400\times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ の噴霧角は、 $\nu_f=0.66\times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ の噴霧角よりも大きくなっている。この結果は、図 6 で示した結果においても同様の傾向が見られる。これは、 $h=2 \text{ mm}$ について見ると、図 11 (b) に示すように高粘度液体のザウタ平均粒径は、低粘度液体よりも大きいため、微粒化用空気の旋回流を付加されて噴出した噴霧液滴は、噴射軸に対して半径方向の運動量が大きくなるものと考えられる。

また、微粒化用空気の質量流量 M_a が多くなると、噴霧内部への空気の巻き込みが影響することが考えられる。図 12 に微粒化用空気の質量流量 M_a を増加させたときの噴霧の分裂挙動を示す。図 12 (a) は液体の質量流量が $M_f=15 \text{ g/s}$ 、液体の動粘度が $\nu_f=0.66\times$

Fig. 12 Effects of mass flow rate of atomizing air on disintegration behavior of spray

$10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, (b) は $M_f=15 \text{ g/s}$, $\nu_f=400\times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, (c) は $M_f=115 \text{ g/s}$, $\nu_f=0.66\times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ の場合である。

図 12 より、液体の動粘度 ν_f 、液体の質量流量 M_f によらず、 M_a が多くなると、噴霧の広がり小さくなっている。これらの結果から、 M_a が多くなると、噴射軸方向の運動量の増加と、噴霧内への空気の巻き込みが顕著になり、噴霧の広がりを抑制するようになる

Fig. 13 Effects of height of mixing chamber on liquid flow within mixing chamber

ものと考えられる。したがって、噴射軸に対して半径方向の運動量が小さく、空気の巻込みの影響を大きく受ける低粘度液体の噴霧角のほうが小さくなるものと考えられる。

また、混合室の高さ h によって噴霧の微粒化状態に違いが見られる理由として、以下のことが考えられる。図 13 に混合室の高さ h が混合室内の流動状態に及ぼす影響を示し、図 14 に混合室内を観察した結果に基づいて描いた混合室内の流動状態の模式図を示す。図 13(a) は $\nu_f = 0.66 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ の場合、(b) は $\nu_f = 400 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ の場合を示し、図 14(a) は h が比較的低い場合 ($h = 2, 10 \text{ mm}$)、(b) は h が高い場合 ($h = 30 \text{ mm}$) を示す。図 13, 14(b) より $h = 30 \text{ mm}$ の場合、混合室内の液流は、液体の動粘度によらず、混合室内壁面から混合室底面、さらに混合室底面から混

Fig. 14 Schematics of liquid flow within mixing chamber

合室内壁面に向かって付着している。このことから、混合室内の液流は、混合室内壁面から混合室底面、混合室底面から内壁面、混合室上面に循環する流れが発生しており、混合室の中心付近は液体と微粒化用空気が十分に混合されておらず、空洞になっていることが考えられる。これに対し、図 13, 14(a) より $h = 2, 10 \text{ mm}$ の場合、混合室の中心付近の流動状態は写真から把握しにくい、 $h = 30 \text{ mm}$ よりも液体と微粒化用空気が十分に混合されているものと推測される。これらの結果から、 $h = 30 \text{ mm}$ の場合、液体の質量流量が非常に多くなると、混合室内において液体の分裂と、液体と微粒化用空気の混合が促進されず、比較的大きな液塊となって噴出するため、噴霧粒径が大きくなるものと考えられる。

以上の結果から、微粒化用空気流入孔に旋回角を設け、噴射弁の噴孔数が $N = 1$ の単噴孔噴射弁、液体を供給する噴孔数が $n = 6$ の多噴孔で、混合室の高さが低い $h = 2 \text{ mm}$ の噴射弁を用いると、ザウタ平均粒径が小さな噴霧が得られ、廃油のような高粘度液体燃料の微粒化に効果的であることがわかる。

3.5 液体の質量流量の影響 廃油は日々たい積しているため、多量に消費する必要がある。そこで、廃油の質量流量が大幅に増加したときの噴霧の微粒化に及ぼす影響、廃油を微粒化させるための動力となる微粒化用空気の質量流量の増分について調べた。図 15 にこれまでに述べてきた結果から明らかになった最適な幾何学形状・寸法の噴射弁を用いて、液体の質量流量を $M_f = 5.9, 15, 115 \text{ g/s}$ まで大幅に変化させたときのザウタ平均粒径を示す。図 15(a) は液体の動粘度が $\nu_f = 0.66 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ の場合、(b) は $\nu_f = 400 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ の場合である。図 15 より、微粒化用空気

Fig. 15 Effects of mass flow rate of liquid on Sauter mean diameter

の質量流量 M_a を増加させていくと、 ν_f , M_f によらず、ザウタ平均粒径は小さくなっていき、ある M_a を超えると、ザウタ平均粒径はほとんど変化しなくなる。図 15(a) より、 M_a を増加させたときにザウタ平均粒径がほとんど変化しなくなる時の M_a に着目すると、 $M_f = 5.9$ g/s の場合、 $M_a \approx 1.5$ g/s (微粒化用空気圧が $P_a = 0.20$ MPa, 微粒化用空気流速が $v_a \approx 64$ m/s), $M_f = 15$ g/s の場合、 $M_a \approx 2.5$ g/s ($P_a = 0.40$ MPa, $v_a \approx 106$ m/s), $M_f = 115$ g/s の場合、 $M_a \approx 3.1$ g/s ($P_a = 0.55$ MPa, $v_a \approx 132$ m/s) であり、おのこの、ザウタ平均粒径が約 $40 \mu\text{m}$ の小さな粒径が得られている。このように、 $\nu_f = 0.66 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ の場合、 M_f が 5.9 g/s から 115 g/s に大幅に増加しても、 M_a を約 2 倍 ($M_a \approx 1.6$ g/s) 増加させることにより、 $M_f = 5.9$ g/s で得られた最小のザウタ平均粒径が $M_f = 115$ g/s において得られることがわかる。

また、図 15(b) より M_f が比較的小さい場合 ($M_f =$

$5.9, 15$ g/s), $M_a \approx 1.5$ g/s ($M_f = 5.9$ g/s) から $M_a \approx 2.8$ g/s ($M_f = 15$ g/s) において、ザウタ平均粒径が約 $40 \sim 50 \mu\text{m}$ の小さな粒径が得られている。一方、 M_f が非常に多い場合 ($M_f = 115$ g/s), 最大の微粒化用空気の質量流量 $M_a = 3.4$ g/s ($P_a = 0.65$ MPa, $v_a \approx 144$ m/s) において、 $M_f = 5.9, 15$ g/s で得られた最小のザウタ平均粒径よりも大きくなっているが、 $\nu_f \approx 400 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ で液体の質量流量が非常に多くなっても、ザウタ平均粒径が $100 \mu\text{m}$ 程度の噴霧を得ることができる。

4. 結 論

(1) 本研究で考案した内部混合形二流体噴射弁は、少ない微粒化用空気流量で廃油のような高粘度液体を微粒化することができ、噴霧角が大きく、ザウタ平均粒径が小さな噴霧を得ることができる。

(2) 単噴孔噴射弁で液体を供給する噴孔が多孔であり、混合室の高さが低い噴射弁は、高粘度液体の微粒化に効果的である。

(3) 考案した噴射弁は、液体の質量流量が多い場合でも、ザウタ平均粒径が比較的小さい噴霧を得ることができる。

本研究の一部は、第 27 回(平成 12 年度)(財)岩谷直治記念財団科学技術助成金によった。ここに記して、謝意を表す。

文 献

- (1) Lefebvre, A. H., Twin-fluid Atomization: Factors Influencing Mean Droplet Size, *Atomiz. Sprays*, **2** (1992), 101-119.
- (2) Chin, J. S. and Lefebvre, A. H., Flow Patterns in Internal Twin-fluid Atomizers, *Atomiz. Sprays*, **3** (1993), 463-475.
- (3) Sakai, T., Zhao, D. Q., Iijima, M., Saito, M. and Sato, M., Turbulence Characteristics of a Twin-fluid Atomizer, *Atomiz. Sprays*, **6** (1996), 577-600.
- (4) 辻正一, 燃焼機器工学, (1977), 148, 日刊工業新聞社.
- (5) 河川勇治・玉木伸茂・清水正則・廣安博之, 省エネルギー型・低公害廃油燃焼バーナーの開発研究 (I), 内部混合形二流体噴射弁による高粘度液体噴流の微粒化, 日本エネルギー学会誌, **82** 10 (2003), 772-779.
- (6) 玉木伸茂・清水正則・廣安博之・河川勇治, 省エネルギー型・低公害廃油燃焼バーナーの開発研究 (II), 内部混合形二流体噴射弁による廃油の燃焼と排出ガス特性, 日本エネルギー学会誌, **82** 10 (2003), 780-786.
- (7) 金相進・西田恵哉・廣安博之・近藤真也, 内部混合形二流体噴射弁による液体の微粒化特性 (I), 日本エネルギー学会誌, **76** 3 (1997), 220-228.
- (8) 金相進・西田恵哉・廣安博之・近藤真也, 内部混合形二流体噴射弁による液体の微粒化特性 (II), 日本エネルギー学会誌, **76** 4 (1997), 305-312.