

Y ジェット形二流体式燃料噴射弁の研究

根 矢 清*・佐藤誠四郎**・羽鳥和夫**

Study on Y-jet Type Twin Fluid Atomizer

By

Kiyoshi NEYA, Seishiro SATO and Kazuo HATORI

Abstract

In order to improve the performance of a combustion chamber for gas turbines in which residual fuel oil is burned under high ambient air pressure, we had planned to use a twin fluid atomizer of Y-jet type for this combustor.

At present, swirl atomizers are widely used in boilers, industrial gas turbines and turbojet engines. But generally the spray of swirl atomizer contracts in the down stream of the atomizer, under high ambient air pressure. It is considered that the spray contraction is one of the causes that bring the increase in exhaust smoke and the decrease in combustion efficiency.

In the Y-jet type twin fluid atomizer, the sprays from the spray holes separate individually, although they form, as a whole, a hollow-cone spray. Thus it is expected that the hollow-cone spray produced by a Y-jet type atomizer does not contract, even under high ambient air pressure.

From this point of view, it was decided to use this type of atomizer for the combustion chamber mentioned above. But there are no available data on the spray characteristics of the Y-jet type atomizer, although it is widely used for boilers.

This paper deals with the experimental results of the spray characteristics such as droplet size and the volume flow-rate distribution in the twin fluid atomizer of Y-jet type. For the experiment, air is used as the atomizing medium, and water as the liquid fuel. The droplet samples at various points in the spray were taken by the immersion method.

The items described are as follows:

- 1) the streaks of spray,
- 2) effect of operating conditions on the spray characteristics,
- 3) scale effect of atomizer,
- 4) interference of spray.

1. はしがき

ガスタービン用重油燃焼器の加圧下における燃焼特性を改善するため、筆者らは、これにYジェット形二流体式燃料噴射弁を用いることを計画した¹⁾。

液体燃料の微粒化方式には、圧力式、二流体式、回転式などがあり、二流体式とは液体を第二の流体、例えば、蒸気または空気を用いて微粒化するもので、重油のような高粘度の燃料を微粒化するには、微粒化特性の点で二流体式が優れている。

圧力式の一つである渦巻噴射弁を用いた燃焼器では、加圧燃焼の際に燃焼効率の低下や排煙が増すなど

* 故人、元機関開発部 ** 機関開発部
原稿受付：昭和49年8月22日

の障害を起すことが報告されており^{1),2),3)}, この原因として、筆者らは、先に渦巻噴射弁の変圧下における噴霧特性を調べ、加圧状態では噴射圧力を高くしても噴霧の粒径が粗大になり噴霧の分散も悪くなることを明らかにしたが^{4),5)}, これが燃焼障害の原因の一つであると考えられる。

したがって、上述の燃焼障害を防ぐには噴霧特性が悪化しないことが肝要でありこれを達成するため、渦巻型での特性悪化の機構を考慮して、噴霧形状を多孔式ホールノズル⁷⁾からの噴霧に類する構造にすることであると考へ、Yジェット形噴射弁を選定した。

Yジェット形噴射弁は、これまでボイラに広く用いられているがその噴霧特性についてはあまり明らかにされていない⁶⁾ので、筆者らはこの点を調べ本噴射弁の設計資料を得るとともに、これを用いる燃焼器の燃焼器特性の解析に資することにした。

本報では、同噴射弁の噴霧の条および条の発生条件⁸⁾, 大気圧下および変圧下における噴霧特性⁹⁾, 噴射弁の寸法効果¹⁰⁾, 噴霧干渉¹⁰⁾についてのべる。

2. 研究項目および実験要領

2.1 研究項目

Yジェット形噴射弁は、Fig. 1 (1) に示すように燃料孔、微粒化用気孔および噴孔から成る微粒化エレメントを、チップ円すい面上に数組等間隔に配置したも

ので、噴孔からの噴霧は通常それぞれ独立している。

本噴射弁における微粒化に及ぼす因子としては、噴射弁関係では、微粒化エレメントの各部構造、寸法および寸法比、各噴孔からの噴霧の相互干渉などがあり、使用流体関係では、燃料の性状、微粒化用流体の種類があげられる。また作動条件関係では、燃料ならびに微粒化用流体の流量、速度およびこれらの比、周囲気体の条件などがあげられる。

本報告では、このうち噴射弁の構造および寸法比、噴霧特性におよぼす作動条件の影響、噴射弁の寸法効果、多孔式における噴霧干渉をとり上げることにした。

2.2 実験要領

1) 供試噴射弁

前述のように、Yジェット形噴射弁ではそれぞれの噴孔からの噴霧流は一般に独立している。そこで実験を容易ならしめるため、噴霧干渉を調らべる場合の他は Fig. 1 (2) (a) に示す単エレメント式チップを用いた。チップはいずれも透明アクリル樹脂製とし、それらの寸法および測定項目などを Table 1 に示す。

2) 使用流体

実験では、燃料の代り水を用い空気で微粒化した。水は二連式プランジャポンプで加圧し、ポンプ出口に設けた圧力脈動防止用の空気室は、空気が水に接しない構造とした。また微粒化用空気の供給には可搬式空

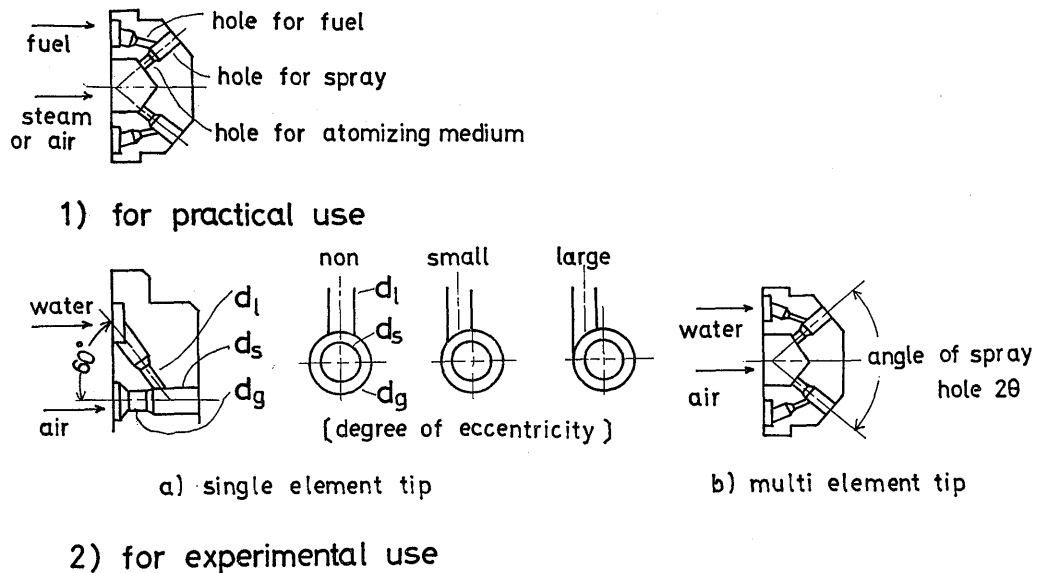


Fig. 1 Y-jet type twin-fluid atomizer

Table 1 Dimensions of used trips

	Dimensions of trips for experiment (mm)					Remarks
	Mark	Number of the atomizer element	Diameter of liquid hole, d_l	Diameter of air hole, d_g	Diameter of spray hole, d_s	
Streak of spray	BES	1	0.52 ϕ	1.07 ϕ	1.52 ϕ	Small eccentricity
	BEL	1	0.56	1.10	1.44	Large eccentricity
	A	1	0.42	1.01	1.41	$d_g/d_l=2.40$
	BM	1	0.52	1.02	1.41	$d_g/d_l=1.90$
	C	1	0.72	1.04	1.40	$d_g/d_l=1.44$
Effect of operating condition	BM	1	0.52	1.02	1.41	
Scale effect	Bs	1	0.39	0.75	1.28	} Similar type
	BM	1	0.52	1.02	1.41	
	BL	1	0.71	1.62	2.03	
Interference of spray	D	6	0.50	1.00	1.40	$2\theta=50^\circ$
	E	6	0.50	1.00	1.40	$2\theta=65^\circ$
	F	6	0.50	1.00	1.40	$2\theta=80^\circ$

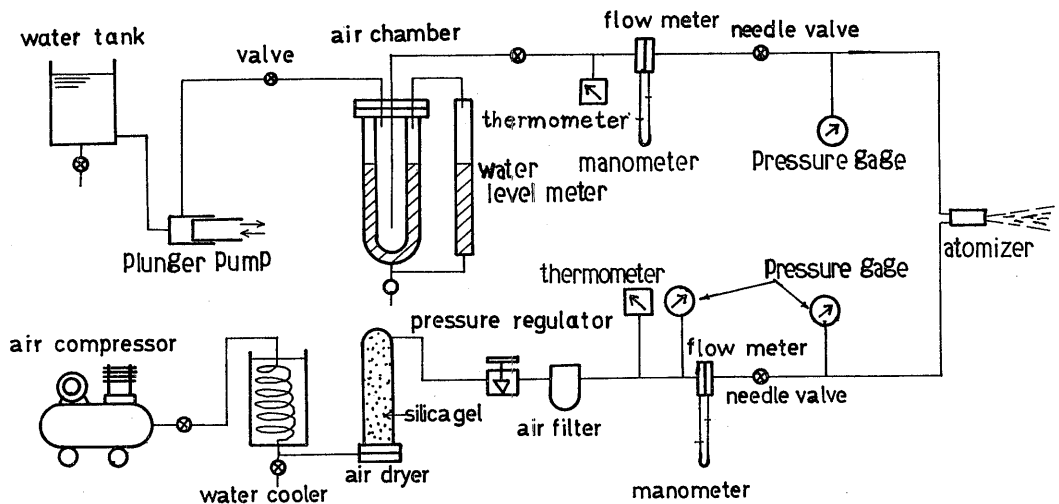


Fig. 2 Schematic diagram of water and atomizing air

気圧縮機を用いたが、その出口には加圧空気中の水分およびごみを除去するため、水冷却器、ドレン抜き、乾燥器およびフィルタを設けた。これらの系統図を Fig. 2 に示す。

水および微粒化用空気の温度は常温とし、それらの流量は較正済みのオリフィス流量計で測定した。

3) 噴射室

噴射室は、直径 400 ϕ 、高さ 3m のたて形円筒状

で、噴射弁はこれの上部にとりつけ下向きに噴射した。噴射室内の気体は常温の空気としその圧力は $0.5 \sim 4.0 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$ の範囲で変えた。

なお、噴射中は空気伴流による微細粒の再循環を防ぐことが肝要である。このため噴射室には 100 PS 空気圧縮機、真空ポンプおよび大形貯気槽ならびに排風機から成る通気装置¹¹⁾を付設してあり、噴射中は常に、噴射室内の空気を下向きに低速で流動した。

4) 通気速度

噴射室横断面の平均風速(通気速度)は、空気圧力その他に応じつぎのように変えた。

まず、密閉した容器内で噴射したときの空気の再循環流であるが、これは、噴霧流が周囲気体を誘引することによって生ずる。噴流による誘引については Benatt ら¹²⁾、Schlichting¹³⁾ などの研究があり、誘引される気体の体積流量 Q は次式で表わされる。

$$Q = kx \sqrt{J\rho_0} \quad (1)$$

ここに、 J : 噴流の運動量、 k : 定数(その値は、研究者によって異なる)、 x : 噴孔からの距離、 ρ_0 : 周囲気体の密度。

この Q と等量の空気を、適切に、噴霧流に補給しかつ排出すれば、容器内に再循環流を生じないはずである。そこで、本実験では便宜上、実験条件に応じ $\sqrt{J\rho_0}$ に比例する空気流量を、噴射室の上部から供給することにした。

Fig. 3 (a) は、噴射室内における噴霧の再循環流の様態を示し、ある噴射条件のもとで任意の速度で通気すると、再循環流の位置 x は、その条件に応じて一定の値を示す。今、噴霧の再循環流位置 $x < 450 \text{ mm}$ に保つに要する通気速度 v_r を調べたのが Fig. 3 (b) で、実測値は、 $k=3.2$ とした理論値とよく一致している。

3. 噴霧の条

Y ジェット形噴射弁では工作に当って、燃料孔を噴孔に対して正しく求心的に穿孔することが難しく、両者の偏心が著しいときは、粗大な粒を含んだ条(すじ)の発生が予想され、一方、偏心がない場合でも、作動条件によっては条が発生することが予備実験でわかった。噴霧の条は微粒化特性の点で好ましくないので、本噴射弁における条を調らべることにした。

3.1 条の定義

条とは一般に、分散量または粒の大きさ(あるいは双方)についての性質が特異な噴霧流部分の呼称と考えられる。

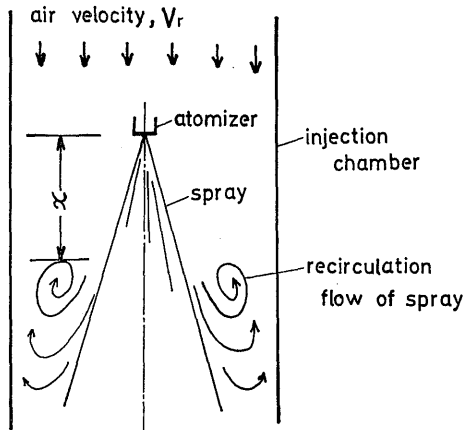
ここでは粒の大きさに着目し、噴霧流内のある特定領域を、残余の領域内の粒よりもかなり大きな粒が通過する場合、この特定領域内の噴霧流部分を条ということにする。

3.2 条の有無と発生位置の判定要領

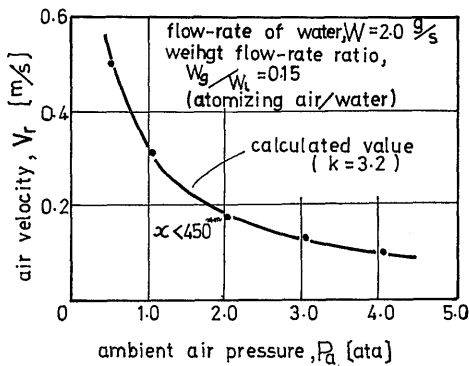
Fig. 4 は、浸せき受止法で採取した粒試料を示し、これから条の存在とその位置がわかる。

一方、Fig. 5 の要領で、水を満たした容器に噴霧を受けると、条の部分では水面の波立ちの状況が異なるので、この方法によっても条の存在とその位置を知ることができる。

上記2つの方法による判定結果は、同一作動条件下ではよく一致するので、判定は、簡便な容器法によった。



(a) Pattern of recirculation flow



(b) Air velocity

Fig. 3 Air velocity in injection chamber

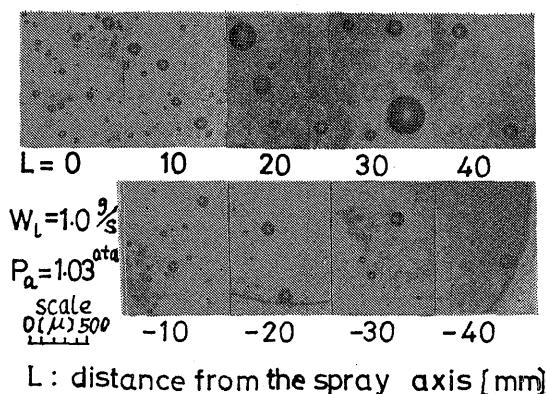


Fig. 4 Samples of spray droplets (Tip A)

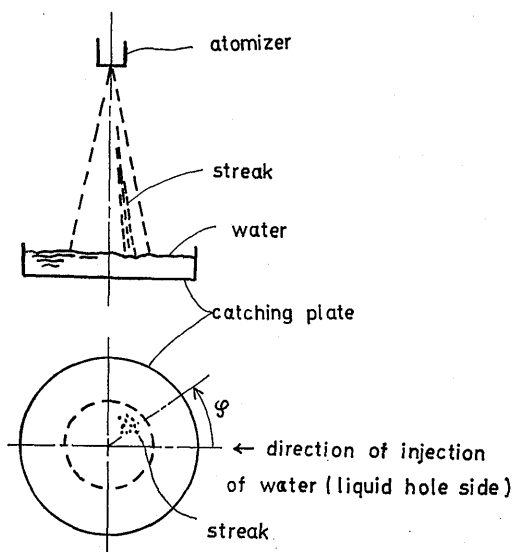


Fig. 5 Observation method of streak

3.3 実験結果

1) 偏心 (液孔と噴孔) がある場合の条の発生条件
液孔と噴孔との偏心がもっとも著しいチップ (BEL) についての、条の発生状況を Fig. 6 に示す。このチップでは、いずれの作動条件下でも噴霧は常に条を伴ない、条の発生位置は、重量流量比 W_a/W_L (微粒化用空気/水) によって連続的に移動する。偏心の程度がこれより小さなチップでも条の挙動は、図とほぼ同じである。

2) 偏心がない場合の条の発生条件

a) 条の発生状況

偏心がないある一つのチップで、水流量 W_L を一定とし、微粒化用空気流量 W_a を変えたときの噴霧外

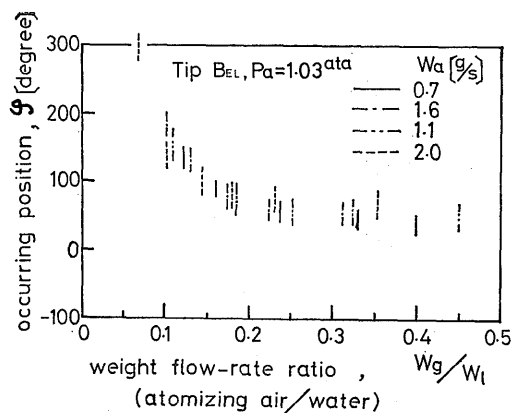
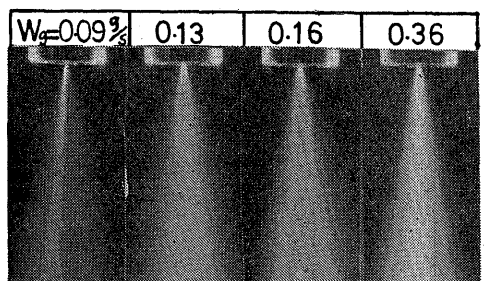
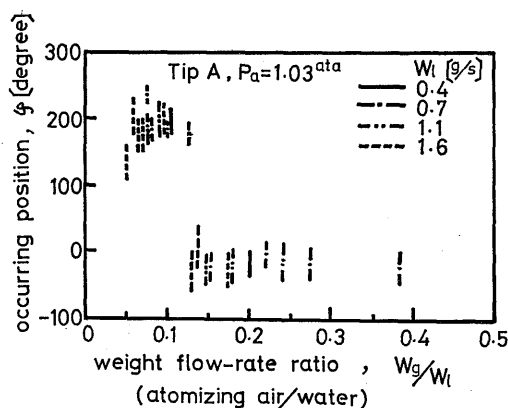


Fig. 6 Behavior of streak (the case of eccentricity)



(a) Appearance of streak



(b) Occuring position of streak

Fig. 7 Behavior of streak (the case of noncentricity)

観の一例を Fig. 7 (a) に示す (液孔は図の右側)。

図でもわかるように W_a が少ない間は、条は図の左側 (液孔の反対側) に生じているが、これがある値

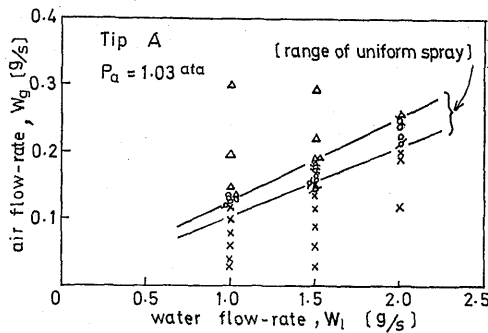
になると条は消滅してほぼ均一な噴霧になり、さらに増大すると再び条が生ずる。ただし、このときの条の位置は右側（液孔側）に移る。 W_0 を更に増すと、条の位置は変わらないが条はうすくなる。条の発生位置の一例を Fig. 7 (b) に示す。

上述の条の挙動は、Fig. 7 の場合に限らず、チップおよび周囲空気圧力が図と異なる場合でも同じである。

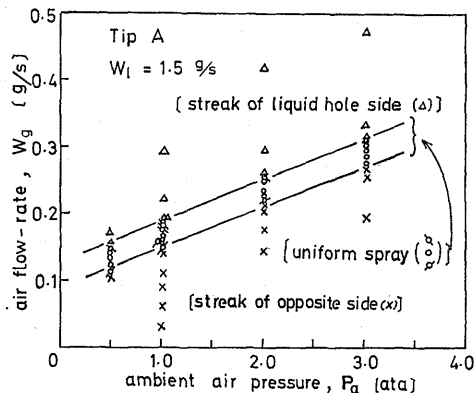
b) 作動条件の影響

水および空気の流量: ある一つのチップで、周囲空気圧力を大気圧とし、 W_i および W_0 を変えた場合の条の発生状況を、Fig. 8 (a) に示す。均一な噴霧が得られる W_0 は一般に、図のように W_i にほぼ比例する。

周囲空気圧力 P_a : P_a が高くなると、均一な噴霧が得られる W_0 は増大する。一例を Fig. 8 (b) に示す。



(a) Effect of W_i and W_0



(b) Effect of operating condition

Fig. 8 Effect of operating condition

c) 噴射弁寸法比（気孔/液孔）の影響

寸法比の影響の一例を Fig. 9 に示す。寸法比が異なっても、条の挙動には変化がないが、均一な噴霧が得られる重量流量 W_0/W_i は、寸法比の小さなものほど、小さい。

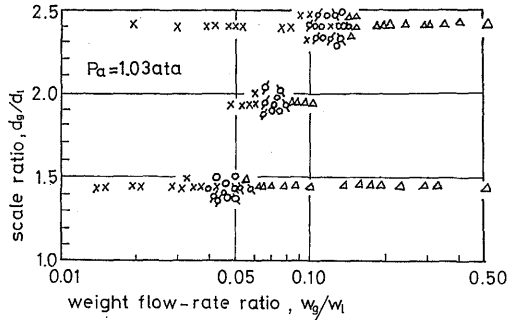


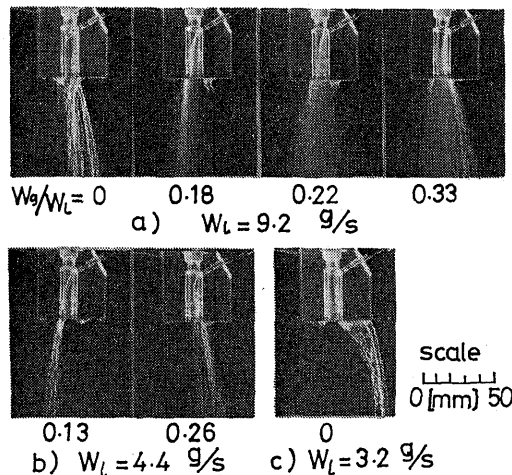
Fig. 9 Effect of scale ratio

3.4 考察（偏心が無い場合）

1) 液流の挙動

以上のべたように、他の条件を一定とし W_0 を次第に増した場合には、噴霧中に条が発生-消滅-発生する現象がみられるが、これは、噴孔内における液流の挙動に起因すると考えられる。

そこで、実物と相似な大形透明模形を用いて液流の挙動を観察した。Fig. 10 (a) はこれを示し、 W_i を一定にして W_0 を次第に増すと、最初液流の位置は、液孔の反対側の壁、噴孔の中央、液孔側と、移り変わる。



[large model , atmospheric condition]

Fig. 10 Behavior of water flow in spray hole

なお、 W_i がこれより少ない場合は、液流の形態は Fig. 10 (b) に示すようになり、著しく少ない場合は、水は常に液孔側の壁面に沿って流下する (Fig. 10 (c))。

2) 結果の整理

条の発生消滅は、気流による液流の変向の結果であることがわかった。そこで噴孔内を流れる全空気流量のうち、気流に直角な断面への液流の投影面積内を流れる気流が液流の変向に与かると考え、この気流と液流のモーメント比をとると $(\gamma l / \gamma_i)(d_g / d_i)(v_g / v_i)^2$ なるパラメータが得られる。但し、 γ は流体の比重量、 v は流体の各孔における噴出速度、添字 g, l はそれぞれ空気および水を表わす。なお、空気噴出速度 v_g の計算に当っては、噴孔内の圧力は周囲空気圧力に等しいと仮定した。

Fig. 11 は、これによる整理結果を示し、水流量

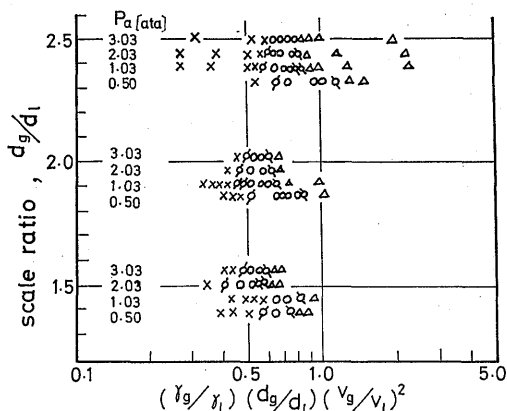


Fig. 11 Arrangement by dynamic pressure

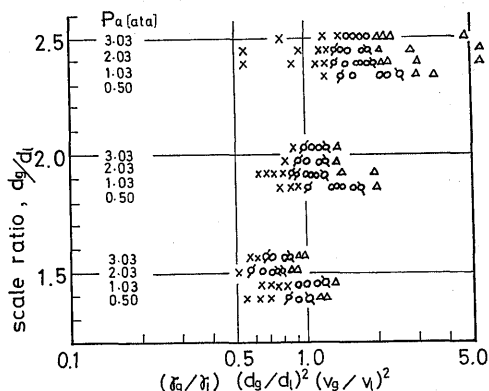


Fig. 12 Arrangement by momentum ratio ($W_i = 1.5 \text{ g/s}$)

W_i , 空気流量 W_g , 周囲空気圧力および寸法比のいかんにかかわらず、条の発生消滅は $(\gamma l / \gamma_i)(d_g / d_i)(v_g / v_i)^2$ によって決まり、これがほぼ 0.5~0.8 のときに均一な噴霧が得られる。

Fig. 12 は、噴孔内を流れる全空気と液流のモーメント比で整理した結果である。

4. 噴霧特性に及ぼす作動条件の影響

4.1 測定要領

噴射弁の下流で、浸せき受止法により粒試料を採取し、これから分散度、平均粒径、最大粒径などを算定した。

1) 粒試料の採取要領

a) 採取法

粒試料は、浸せき受止法により採取し、浸せき液には、粒径の経時変化がほとんどない真空ポンプ油を用いた。

b) 採取位置

採取距離：噴霧流内では、液塊の分裂と生成した粒同志の衝突による合体がおこると考えられる。いまこのような観点から、噴孔からの距離と粒径との関係を考えてみると、噴孔に著しく近い位置では微粒化が完了していないので粒が大きく、噴孔からある程度離れた位置では微粒化の完了に伴い粒が微細になり、さらに遠ざかれば微粒化後の粒群の一部が飛ばす中に合体して、粒が再び大きくなるであろう。

Fig. 13 は、本噴射弁における、噴孔からの採取距離と噴霧流内の粗大粒との関係を示し、粒径は、実験したいずれの作動条件下でも距離が約 400 mm の位置で極小となっている。ただし、実験は大気圧下で行ない、試料採取には大形のシャッタを用いた。

なお、採取位置が噴孔に極端に近いと、受止めに際

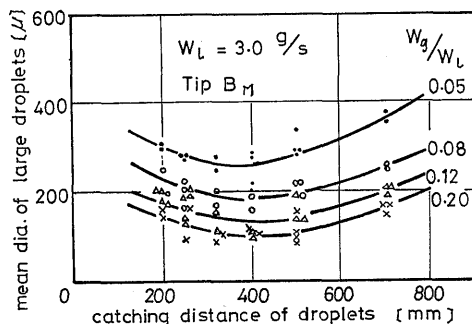
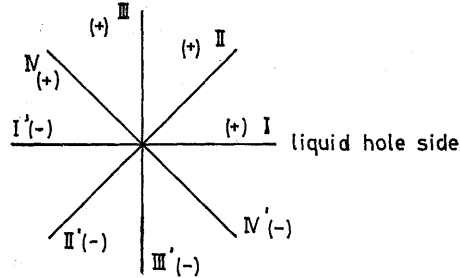
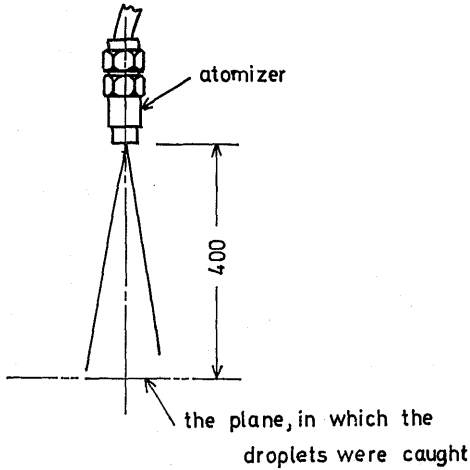


Fig. 13 Correlation of droplet diameter with catching distance from atomizer

して粒の分裂がおり、粒径が図の曲線からの外挿値より小さくなると考えられる。ただし、実験した範囲内の試料では、粒の分裂の徴候はみとめられなかった。

以上の結果から、粒試料の採取距離を噴孔から 400 mm とした。

採取断面: 噴霧の横断面内における分散量や粒径は場所によって異なるので、粒試料は、Fig. 14 に示すように横断面内の 4 つの断面 (直径 I ~ IV) 上で採取した。この際、採取断面を変えるには、試料採取器 (シャッタ) を固定しておき噴射弁を回転した。なお、回転軸は、噴霧のほぼ中心を通るとともに、シャッタ中央窓を通るよう予め調節しておいた。



Droplets were caught on 4 dias (I-IV)

Fig. 14 Location at which spray droplets were caught

c) シャッタ

シャッタは、噴霧流内の多数の位置における試料が同時に採取でき、かつ個々の試料の噴霧流への露出時間が一定になるよう、Fig. 15 の構造とした。すなわち、本シャッタの内筒に設けた窓数は 27 個 (4φ, 10

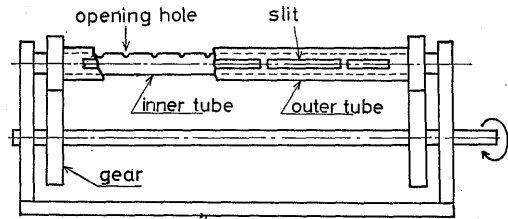
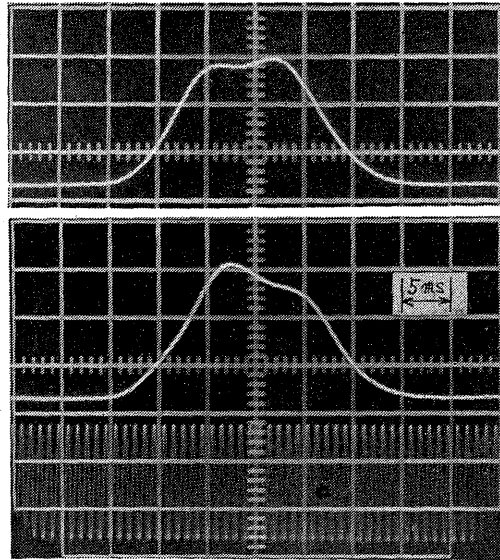


Fig. 15 Apparatus for catching spray droplets



weight 2kg, weight position 100mm

Fig. 16 Rotating speed of outer tube

mm 間隔) で、外筒に設けたスリットの幅は 3 mm 一定とした。

シャッタの開閉速度は、外筒の回転速度によって変化するが、回転速度の調節は、外筒回転用アームの長さおよびこれにとりつけた重錐とばねの加減によって行なう。アーム長さその他を種々に変えたときの外筒の回転速度を、光電管とオシログラフを用いて測定したが、これらが一定な場合には、回転速度もほぼ一定である。一例を Fig. 16 に示す。

なお、露出時間は、噴射量の多少その他の実験条件に応じて変え、試料中の粒数密度が適切になるようにしたが、同一条件下では 4 つの直径上で等しくした。

2) 分散度

分散度は、4 つの直径上で採取した粒試料から求めた。ここでは同一作動条件下で採取したある一組の粒試料は、一つの直径上ではもとより 4 つの直径上でも、

個々の試料の噴霧流への露出時間を等しくしたので、一定面積の粒試料中の粒の総体積は、それぞれの採取位置における分散量に比例する。したがって、分散度はこのような粒の体積（比分散量 v_s とよぶ）の分布で表わすことができる。

3) 平均粒径

平均粒径はすべてザウタ平均粒径 (S.M.D.) を用いた。平均粒径は、採取した粒試料に対応して、まず測定面を噴霧中心を通る8個の扇形領域に区分し、各扇形領域の平均粒径を求め、ついで噴霧全体の平均粒径を求めた。

4) 最大粒径

最大粒径は、前述のシャッタのほか窓の直径約 20 mm の大形採取器を用いて測定した。著しく大きな粒 (1,000 μ 以上) は受止めに際し分裂するおそれがあるので、このような場合にはマイクロフラッシュを用い直接撮影法により測定した。

4.2 実験結果

1) 噴霧外観

噴霧外観の一例を Fig. 17 に示す。

噴霧角は周囲空気圧力 P_a が一定の場合、ある流量

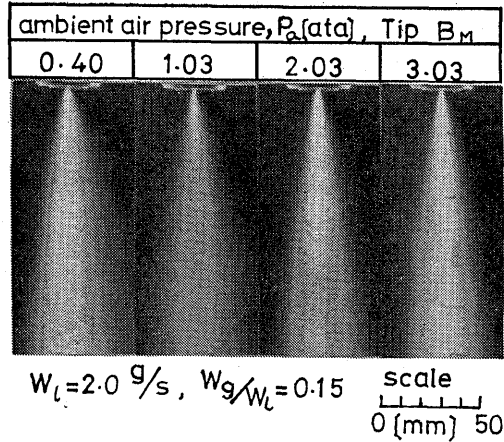


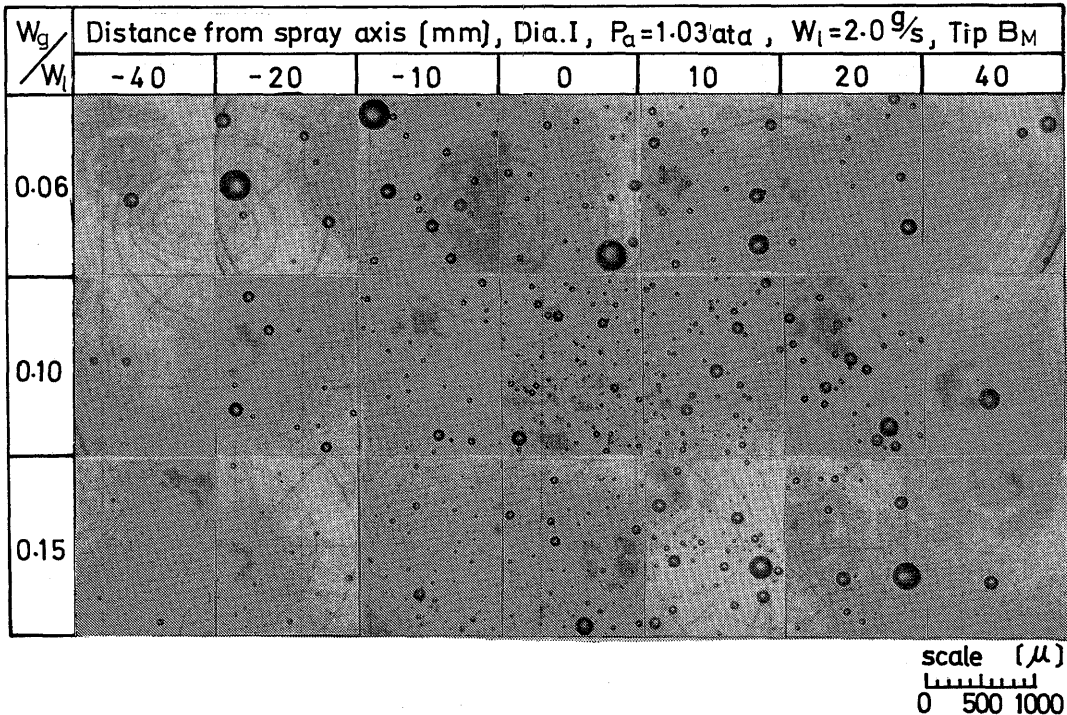
Fig. 17 Spray appearances

比 W_g/W_l (微粒化用空気/水) 以上で一定の角度 (約 20°) を示す。

流量比 W_g/W_l が一定の場合、噴霧の下流側の拡がり、周囲空気圧力 P_a が高いほど狭くなり、その程度は W_g/W_l が大きいほど著しい。

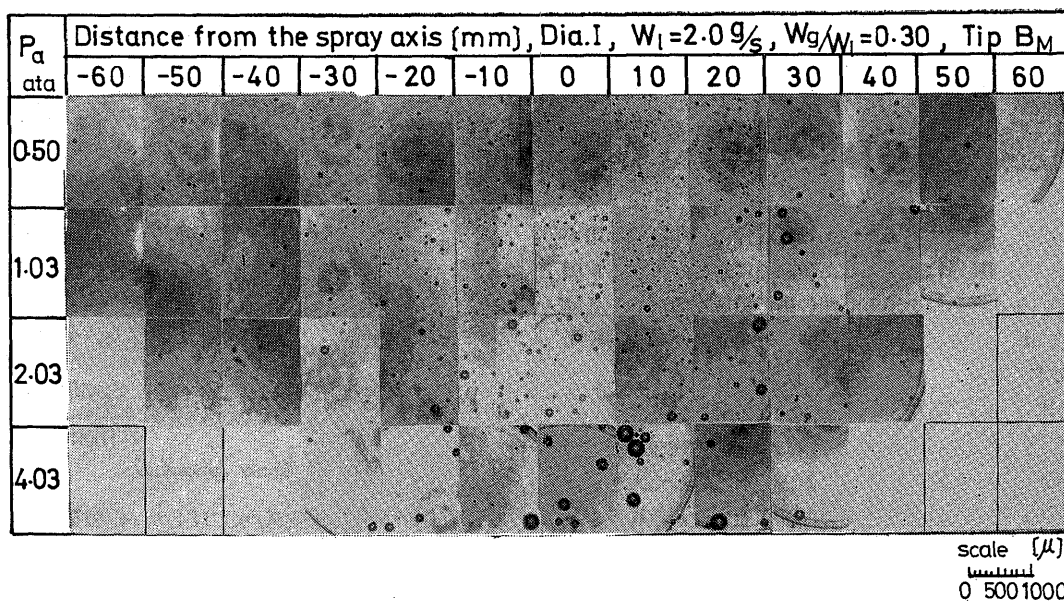
2) 粒試料

直径 I 上の粒試料の一例を Fig. 18 に示す。



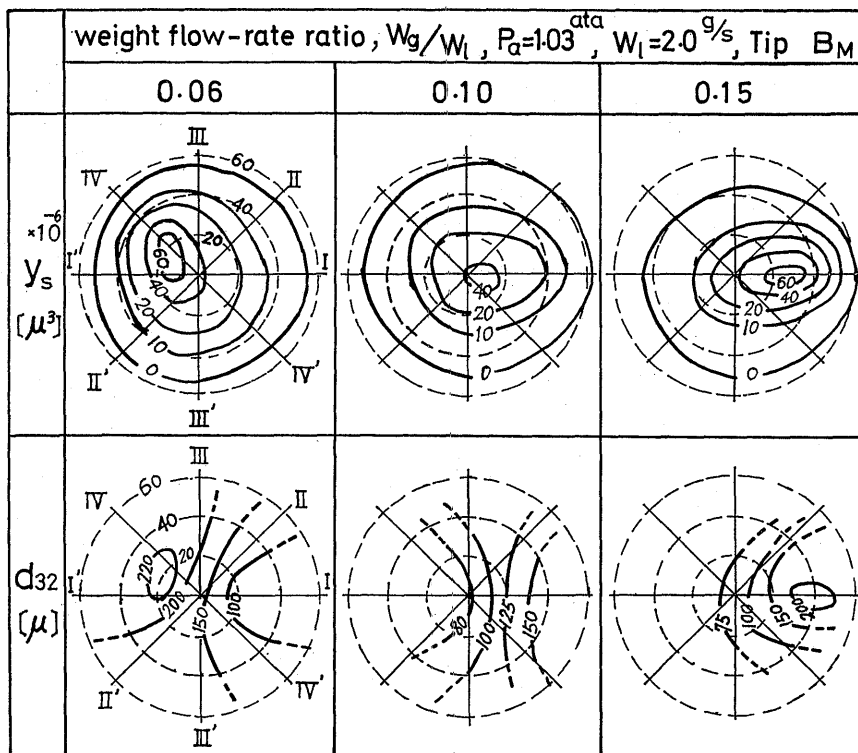
(a) Effect of weight flow-rate ratio (atomizing air/water), W_g/W_l

Fig. 18



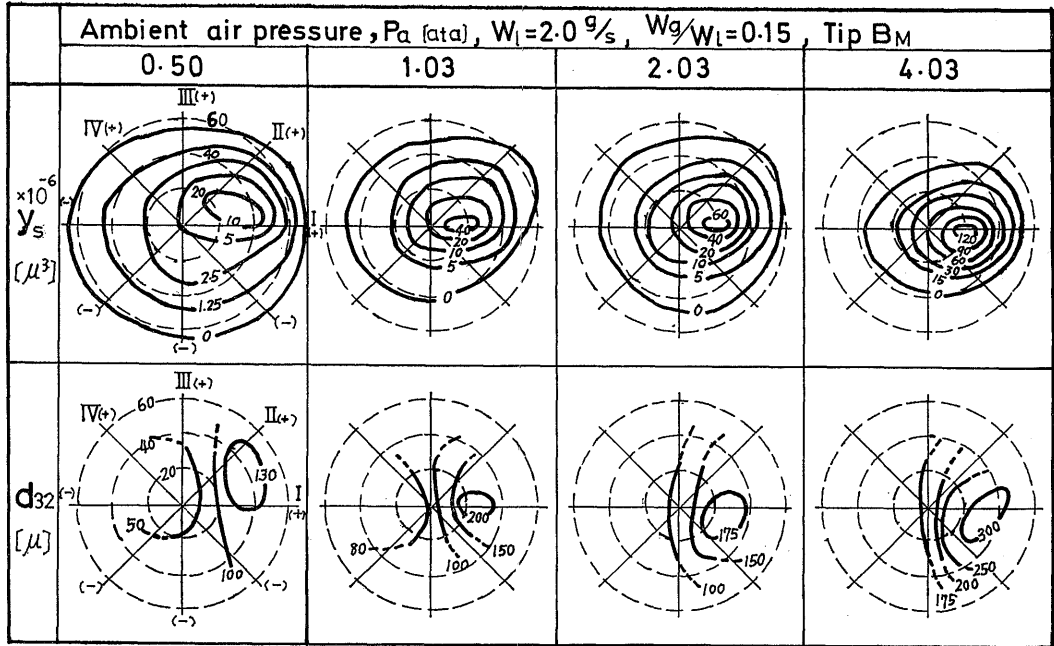
(b) Effect of ambient air pressure, P_a

Fig. 18 Samples of spray droplets



(a) Effect of weight flow-rate ratio (atomizing air/water), W_g/W_l

Fig. 19



Note; numerals on the concentric circles denote the distance from the axis of spray [mm]

(b) Effect of ambient air pressure, P_a

Fig. 19 Distribution patterns of specific volume flow-rate and local mean droplet diameter

水流量 W_l および流量比 W_g/W_l の影響: W_g/W_l が一定の場合, W_l が多いほど粒は細かい。一方周囲空気圧力 P_a 一定では, W_g/W_l が大きくなるに従い粒は全般的に細くなるが, もっとも粗い粒が現われる位置は液孔の反対側から液孔側に移りこの関係は条の発生位置と対応している。

周囲空気圧力 P_a の影響: W_g/W_l 一定の場合, P_a が高いほど粒の分散範囲は狭くなり粒は粗くなる。

3) 分散度

分散度は比分散量 y_s の分布で表わした。一例を Fig. 19 に示す。

W_l および W_g/W_l の影響: y_s は一般に, 噴霧の中央部で多く周辺部で少ない。しかし仔細にみると y_s が最大になる領域は, W_g/W_l による条の発生位置の推移に対応して直径 I 上を移動する。

P_a の影響: 分散範囲はおおむね P_a が高いほど狭くなる。

4) 微粒化特性

a) 局所平均粒径

分散度に対応して局所平均粒径 d_{32} の一例を Fig.

19 に示す。

W_l および W_g/W_l の影響: 局所平均粒径 d_{32} は粒試料からも予想されるように, W_g/W_l が一定の場合 W_l が多いほど, また P_a 一定では W_g/W_l が大きいほど, 共に細くなる。

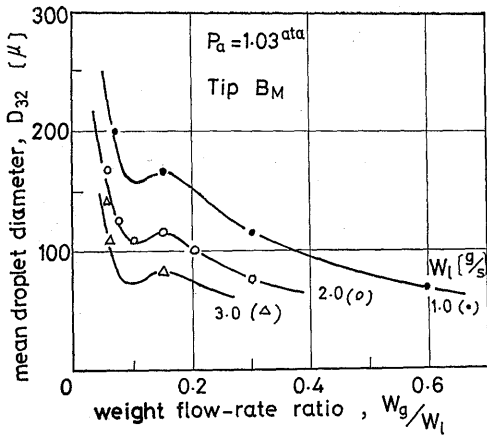
著しい条が発生している場合には, y_s の最大の領域と d_{32} の最大の領域とはほぼ一致する。条が消滅する流量比 W_g/W_l 付近では, この前後の流量比の場合に比べ, 比分散量分布は均一でかつ局所平均粒径は細かい。

P_a の影響: d_{32} の最大値は, おおむね y_s の最大の位置に現われ, その値は P_a とともに増大する。

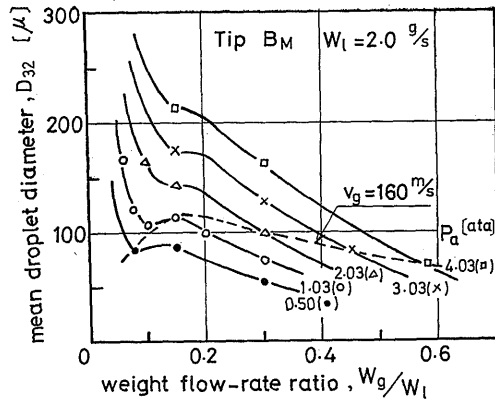
b) 噴霧全体の平均粒径

噴霧全体の平均粒径 D_{32} は, 比分散量 y_s と局所平均粒径 d_{32} の両分布から求まり, これを Fig. 20 に示す。

W_l および W_g/W_l の影響: D_{32} は全般的にみると, 流量比 W_g/W_l が大きいほど細くなるが, 一部に, これが極小となる流量比 W_g/W_l^* があり, この値は条が消滅する条件とほぼ一致する。この傾向は

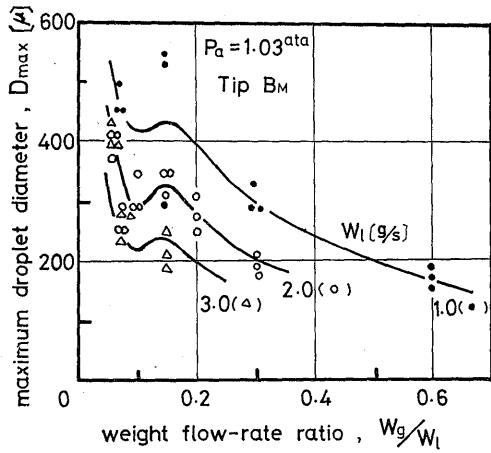


(a) Effect of water flow-rate, W_l

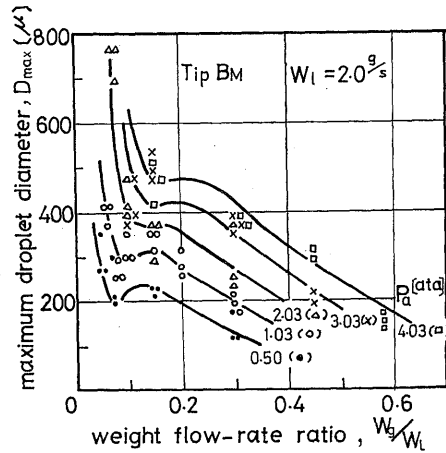


(b) Effect of ambient air pressure, P_a

Fig. 20 Mean droplet diameter of spray (S.M.D.)

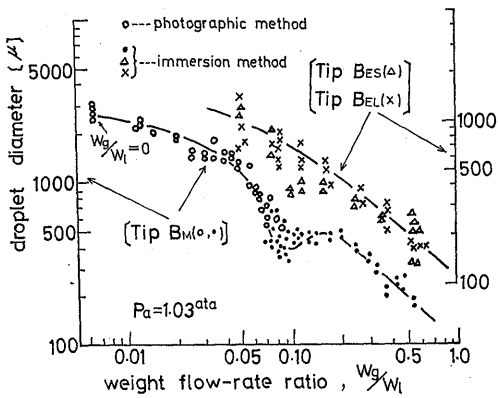


(a) Effect of W_l

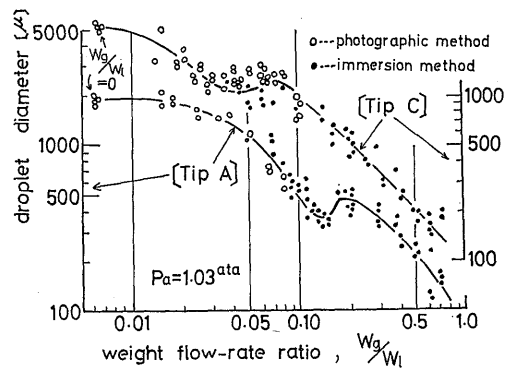


(b) Effect of P_a

Fig. 21 Mean droplet diameter of spray



(a) Effect of eccentricity ($W_l = 1.0 \text{ g/s}$)



(b) Effect of scale ratio ($W_l = 1.0 \text{ g/s}$)

Fig. 22 Maximum droplet diameter of spray

W_i の相違によらない。また W_o/W_i 一定の場合、 W_i が多いほど D_{32} は細くなる。

P_a の影響: W_o/W_i^* の値と D_{32} の極小値は、周囲空気圧力 P_a が高いほど大きい。他方、流量比 W_o/W_i 一定の場合、 P_a が高いと D_{32} は粗くなるが、これは、 P_a が高いほど微粒化用空気の噴出速度 v_g が低下するためであろう。

c) 最大粒径

作動条件の影響: 最大粒径 D_{max} を Fig. 21 に示す。 D_{max} は噴霧全体の平均粒径 D_{32} にほぼ比例し、両者の間にはつぎの関係がある。

$$D_{max}/D_{32} \approx 2.6 \quad (2)$$

噴射弁の偏心および寸法比の影響: これを Fig. 22 に示す。最大粒径 D_{max} の値は、偏心の有無、寸法比の大小にかかわらずほぼ同じであるが、偏心のない場合は、いずれのチップでも、噴霧の条が消滅する作動条件下で極小になり、偏心の大きなチップではこれが見られない。

5) 結果の整理

上述の噴霧全体の平均粒径 D_{32} および最大粒径 D_{max} を水の噴出速度 v_i および微粒化用空気のモーメント $\gamma_o \cdot v_g^2$ で整理したのが Fig. 23, Fig. 24 である。但し、 v_i は液孔からの水の噴出速度、 γ_o は噴孔から噴出する空気の比重量、 v_g はその速度で、計算に当っては、その圧力は周囲空気圧力 P_a に等しいと仮定した。

これらから、つぎの実験式が得られる。但し条が消

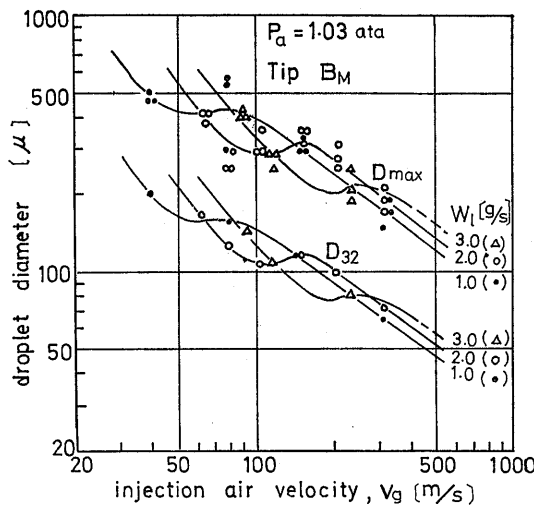


Fig. 23 Effect of injection air velocity

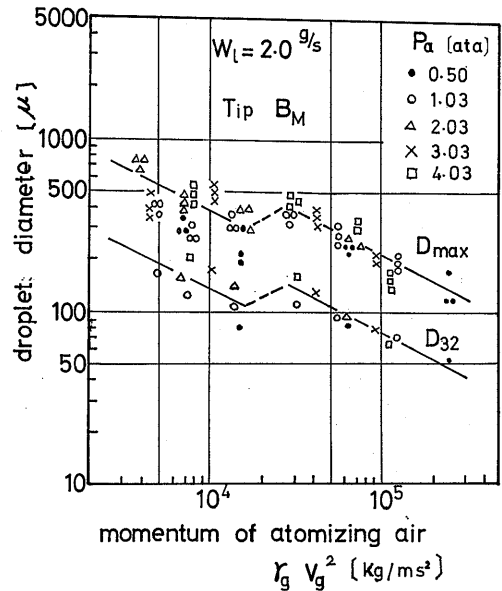


Fig. 24 Effect of momentum

滅する範囲を除く。

$$D_{32} \text{ (または } D_{max}) \propto \frac{v_i^{0.2}}{\sqrt{\gamma_o \cdot v_g}} \quad (3)$$

すなわち、 D_{32} および D_{max} は、 $v_i^{0.2}$ に比例し、 $\sqrt{\gamma_o}$ (または $\sqrt{P_a}$) および v_g に逆比例する。

5. 噴射弁の寸法効果

寸法効果の実験では、Table 1 に示す単エレメント式の3種の相似形噴射弁を用いて大気圧下で行なった。水の流量 W_i は、3種の噴射弁における液孔からの噴出速度 v_i がそれぞれ等しくなるよう定めた。また粒試料の採取距離については、寸法の小さいチップ (Bs) では噴孔から 400 mm の距離では噴霧のゆらぎが大きく測定値のばらつきが予想されるので、この場合のみ 300 mm とした。

5.1 実験結果

1) 粒試料

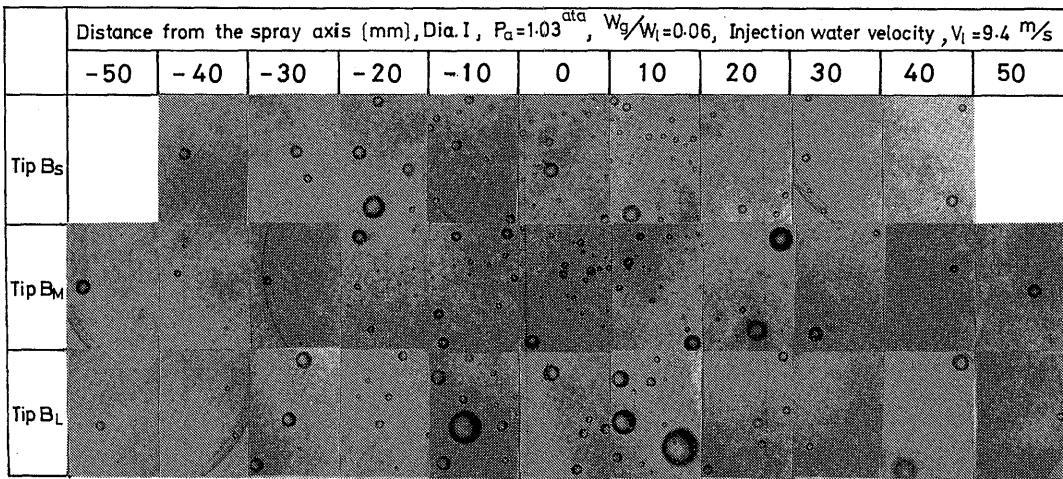
一例を Fig. 25 に示す。同一作動条件では、噴射弁の寸法が大きいほど粒が粗い。

2) 分散度

一例を Fig. 26 に示す。比分散量 y_s は一般に、噴霧の中央部で多く周辺部で少なく、寸法の相違による変化はとくにみられない。

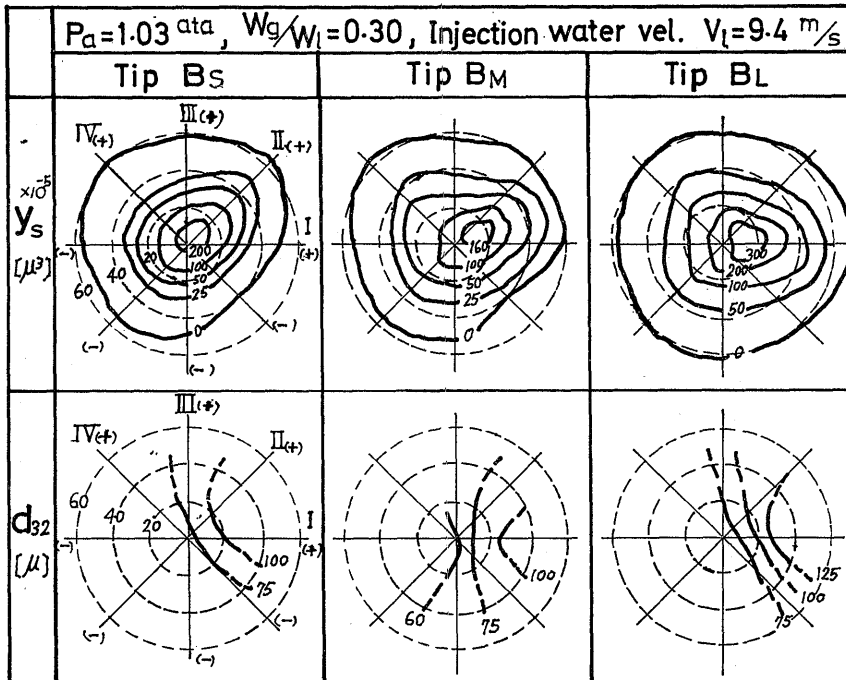
3) 微粒化特性

a) 局所平均粒径



scale [μ]

Fig. 25 Samples of spray droplets



Note; numerals on the concentric circles denote the distance from the axis of spray [mm]

Fig. 26 Distribution patterns of specific volume flow-rate and local mean droplet diameter

局所平均粒径 d_{32} の一例を Fig. 26 に示す。 d_{32} は粒試料からも予想されるように、流量比 W_g/W_l 一定

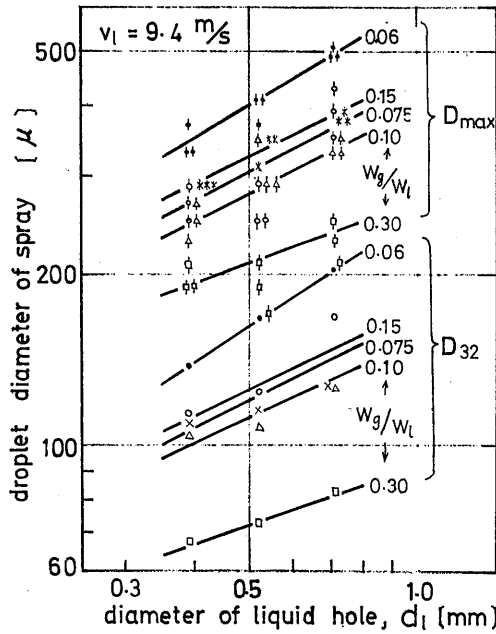


Fig. 27 Scale effect of atomizer

では、噴射弁の寸法が大きいほど粗い。

b) 噴霧全体の平均粒径

噴霧全体の平均粒径 D_{32} を Fig. 27 に示す。 D_{32} におよぼす作動条件の影響、条との関係などは前章の通りで、噴射弁の寸法の相違によらない。また D_{32} は、噴射弁の寸法が大きいほど粗い。

c) 最大粒径

最大粒径 D_{max} を Fig. 27 に示す。 D_{max} は D_{32} とほぼ同じく推移し、この場合も両者の間には(2)式の関係がある。

5.2 結果の整理

Fig. 27 からつぎの実験式が得られる。

$$D_{32} \text{ (または } D_{max}) \propto d^{0.26}(W_g/W_l)^{-0.3} \quad (4)$$

但し、 d は噴射弁の寸法。

すなわち、粒径におよぼす噴射弁の寸法の影響は、流量比 W_g/W_l が大きいほど、小さくなる。

6. 噴霧干涉

Yジェット形噴射弁では、個々の噴孔からの噴霧流は一般に独立しているが、噴射弁の構造および作動条件いかんによっては、噴霧が全体としてしぼむことが渦巻噴射弁の噴霧のしぼみの機構から類推され

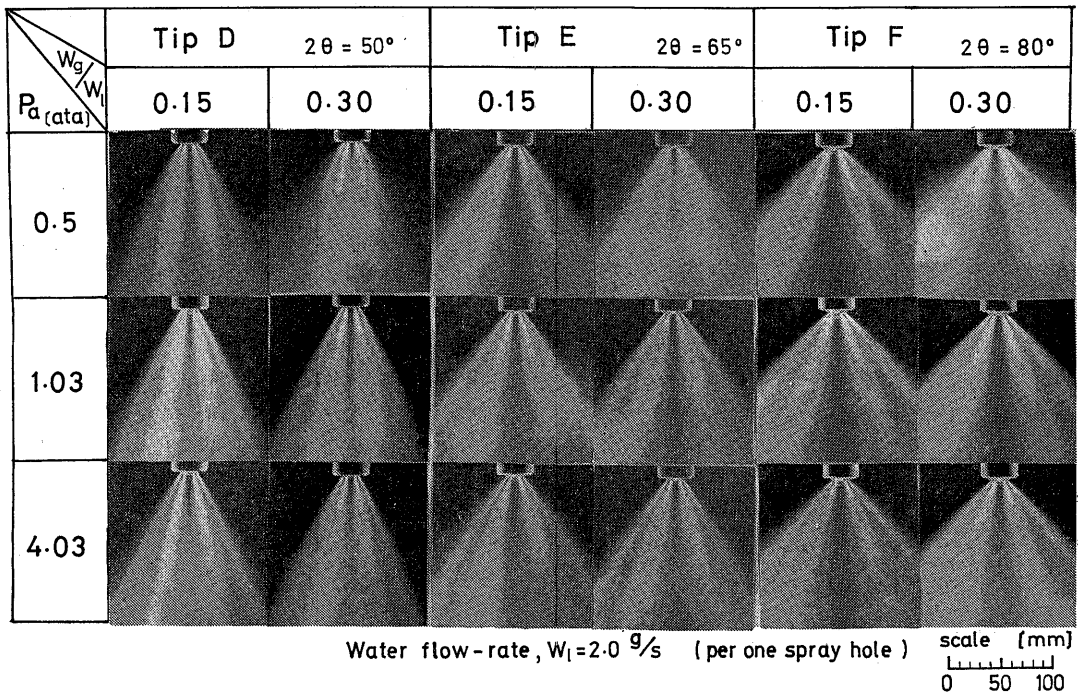


Fig. 28 Spray appearances

る^{4),5)}。

噴霧のしぼみが著しい場合には、前述の加圧下における燃焼特性の改善が期待できないばかりでなく、隣接した噴霧流が互に接触するに至れば粒径の粗大化を招くと考えられる。

そこで本実験では、噴孔が6個の多孔式で噴孔角の異なる3種の噴射弁を用い、作動条件を種々に変えたときの噴霧外観を撮影し、これから噴霧のしぼみの有無およびその程度を調べた。

6.1 実験結果

1) 噴霧外観

噴霧外観の一例を Fig. 28 に示す。個々の噴霧流は、流量比 W_0/W_1 が一定のとき、周囲空気圧力 P_a が低い場合には独立しているが、 P_a が高いと接近し噴霧が全体的にしぼむ。この傾向は、噴孔角 2θ が小さいものほど著しい。

2) 噴霧のしぼみ量

Fig. 29 において、同一作動条件下の実際の噴霧(噴孔数 $n=6$) を2, 軸対称にある2個の噴孔を残し、

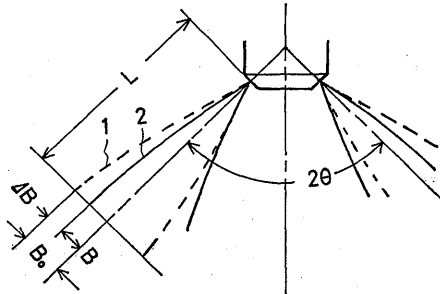
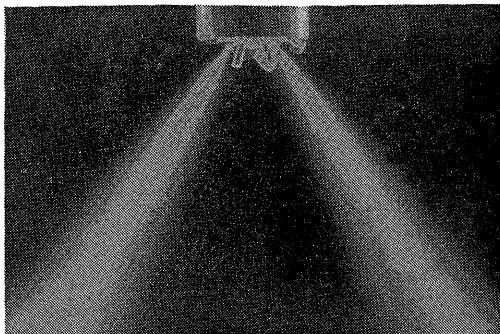


Fig. 29 Definition of spray contraction



Tip E 0 scale (mm) 50

$2\theta = 65^\circ, P_a = 1.03^{ata}, W_1 = 2.0 \text{ g/s}, W_0/W_1 = 0.20$

Fig. 30 Spray appearance at two spray holes

(16)

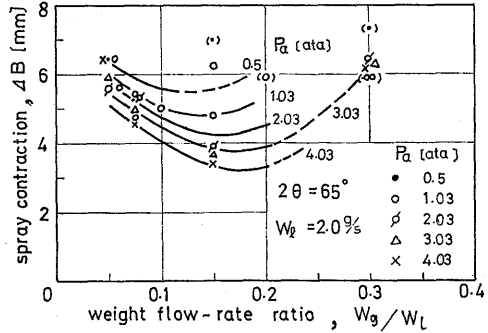


Fig. 31 Amount of spray contraction

他を塞いだ場合の噴霧 ($n=2$) を1で表わしたとき、噴孔からの距離 $L=70 \text{ mm}$ での ΔB を、ここではしぼみ量と定義する。

$n=2$ とした場合の噴霧外観の一例および ΔB の値を、それぞれ Fig. 30, Fig. 31 に示す。

6.2 考察

1) しぼみの機構

渦巻噴射弁からの噴霧のしぼみの機構は、「噴霧流によって周囲気体が誘引されるが、誘引気流の補給の条件が噴霧シースの内外側で異なるため、内側の気体圧力が低くなり、これによって噴孔近くの液膜と分裂後の粒が内側へかたよる」ことである^{4),5)}。

Yジェット形噴射弁の場合でも、例えば噴孔数 n が多すぎ個々の噴霧流が接していれば上述の機構でしぼみ、また、たとえ噴霧流が隔離していても、噴霧流間のスキマが狭ければ内外に差圧を生じてしぼむ、と考えられる。

2) しぼみ量を支配する因子

上述の噴霧流間のスキマと周囲気体誘引量は、差圧をきめる重要な因子である。

a) 噴霧流間のスキマ

Fig. 32 で、 n 個の噴孔 A_1, A_2, \dots からの噴霧流を S_1, S_2, \dots とすれば、空間は、 n 個の台形 $A_1B_1B_2A_2$ から成る中空角すいの内外に分けられ、角すいの側面積 A とスキマ面積 Ae (台形 $A_1C_1C_2A_2$ の面積の n 倍) は、次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} A &= nL^2 \frac{\sin 2\delta}{\sin \theta} \left(\frac{\gamma_0}{L} + \frac{\sin \theta}{2} \right), \\ \delta &= \sin^{-1} \left(\sin \theta \cdot \frac{\pi}{n} \right) \\ Ae &= nL^2 \left[\frac{\gamma_0}{L} \frac{\sin 2\delta}{\sin \theta} + \cos^2 \delta \cdot \tan(\delta - \beta) \right] \end{aligned} \right\} (5)$$

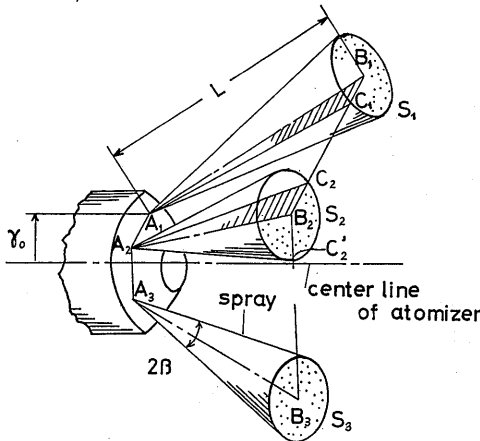


Fig. 32 Form of spray

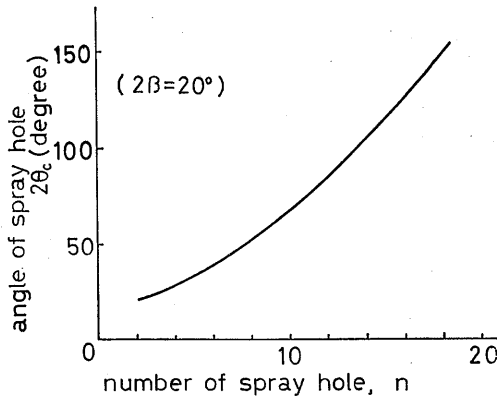


Fig. 33 Limited angle of spray hole

なお、同図において $\overline{A_1C_1}/\overline{A_2C_2}$ になる噴孔角を限界噴孔角 $2\theta_0$ で表わすと

$$2\theta_0 = \sin^{-1} \left(\sin \beta / \sin \frac{\pi}{n} \right) \quad (6)$$

となり、これから噴孔数 n と $2\theta_0$ との関係の一例を Fig. 33 に示す。

すなわち、Y ジェット形噴射弁における各噴霧流の接触を避けるためには、ある任意の噴孔数に対する噴孔角は、同図で示した角度より大きくする必要がある。

b) 周囲気体誘引量

噴霧流1個のモーメントを J で表わすと、 n 個の噴霧流による周囲気体の全誘引体積流量 Q_i は、(1) 式よりつぎのように表わされる。

$$Q_i = k' \cdot x \cdot n \sqrt{J/P_a} \quad (7)$$

ただし、

$$J = (W_i \cdot v_i \cos \alpha + W_g \cdot v_g) / g \quad (8)$$

α : 液孔と噴孔のなす角(度), P_a : 周囲空気圧力(ata), g : 重力の加速度 (m/s^2), W : 質量流量 (kg/s), 添字 l, g はそれぞれ水, 空気を表わす。

3) しぼみ量を整理するパラメータ

a) シース内外の差圧に関するパラメータ

周囲気体の全誘引体積流量 Q_i のうち、噴霧のしぼみに影響するのは、Fig. 32 の内側の噴霧流 ($\overline{C_2C_2}$ に対応) による誘引量 Q_i であると考え、 Q_i は次式のようなになる。

$$Q_i = k_1 \cdot \frac{n-2}{2n} Q_i = k'_1 \cdot x \cdot (n-2) \sqrt{J/P_a} \quad n \geq 2, \quad (9)$$

k_1, k'_1 は定数。

Q_i と等量の周囲気体は、噴霧間のスキマの流れによって補給されるが、噴孔角 2θ がある値の場合についてみると、スキマを流れる周囲空気の流速 v_h は、 Q_i/Ae に比例する。すなわち、

$$v_h = k_2 \frac{Q_i}{Ae} \quad \text{ただし、} k_2: \text{定数} \quad (10)$$

噴霧角すい内外に生ずる差圧 ΔP は、スキマ速度 v_h が大きいほど大きいと考えられる。いま ΔP と v_h の関係を考慮し、 $\gamma_0 \cdot v_h^2$ の代りに $\gamma_0^m \cdot v_h^2$ を求めるとこの値は、大まかではあるが、差圧の一つの目安になる。

$$\gamma_0^m \cdot v_h^2 = k'_3 \cdot x^2 \left(\frac{n-2}{Ae} \right)^2 J \cdot P_a^{m-1} \quad (11)$$

ただし、 k'_3 : 定数, γ_0 : 空気の比重量 (kg/m^3), v_h : (m/s), x : (m), Ae : (cm^2), J : (kg), P_a : (ata)

前述の噴霧のしぼみ量の定義の場合と同様に、噴孔から一定距離における誘引量による差圧を考え、

$$\phi_1 = \left(\frac{n-2}{Ae} \right)^2 J \cdot P_a^{m-1} \quad (12)$$

とおく。

この値 ϕ_1 は、大まかではあるが差圧の一つの目安になる。高橋らが実測した、 n を変えたときの差圧も¹⁴⁾、 ϕ_1 とともに増大している。

b) 噴霧流の曲がりに関するパラメータ

噴霧のしぼみ量を決めるパラメータは、噴霧流の曲がりからも導かれる。一般に、噴流は Fig. 34 のように横風(主流)によって曲がり、その中心線については、つぎの Shandorov の式¹⁵⁾がある。

$$\frac{x}{d_j} = \frac{\rho_m v_m^2}{\rho_j v_j^2} \left(\frac{y}{d_j} \right)^{2.55} \quad (13)$$

しぼみはこの現象に似ており、Y ジェット形噴射弁の場合、主流に相当する気流として、噴霧によって誘

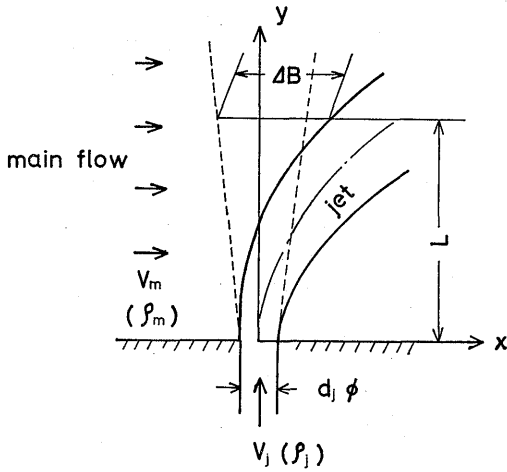


Fig. 34 Deflecting flow

引される周囲気体を考え、Fig. 32 の角すいを横ぎる速度 v_m をとる。

$$v_m \propto \frac{Q_i}{A} \quad (14)$$

本実験では、 $L = \text{一定}$ 、 $x = \Delta B$ とおくと、

$$\Delta B \propto \frac{\rho_m v_m^2}{\rho_j v_j^2} \cdot \frac{1}{d_j^{1.55}} \quad (15)$$

Y ジェット形噴射弁では、噴孔出口において噴霧流の密度と速度が一樣でないばかりでなく気液二相間には速度差があると考えられる。したがって、一樣噴流についての Shandorov の式を適用するに当たっては、速度と密度が一樣で、体積流量、重量流量および運動量が実際の噴霧流のそれに等しい噴流を仮定する必要がある。

ここでは、このような仮想噴霧流を仮に等価噴流とよび、等価噴流の有効直径を d_j とすると仮定により次式が成立つ。

$$Q_j = \frac{\pi}{4} d_j^2 \cdot v_j = \frac{W_i}{\gamma_i} + \frac{W_g}{\gamma_g} \quad (16)$$

$$\rho_j \cdot Q_j = \frac{W_i + W_g}{g} \quad (17)$$

$$J = \rho_j Q_j \cdot v_j = \frac{W_i \cdot v_i \cos \alpha + W_g \cdot v_g}{g} \quad (18)$$

ただし、 J : 噴流のモーメント、 Q : 体積流量、 W : 質量流量、 v : 速度、 γ : 比重、添字 j, l, g はそれぞれ噴流、液体 (水)、気体 (空気) を表わす。

(16), (17) 式より、

$$d_j \propto \left(\frac{\rho_j Q_j^2}{J} \right)^{0.5}$$

(18)

一方、(14) 式および (17) 式より

$$\rho_m v_m^2 \propto \left(\frac{n-2}{A} \right)^2 J$$

$$\rho_j v_j^2 \propto \frac{J^2}{\rho_j Q_j^2}$$

これらを (15) 式に代入すると、つぎのパラメータが得られる。

$$\phi_2 = \left(\frac{n-2}{A} \right)^2 \left(\frac{\rho_j Q_j^2}{J} \right)^{0.225}$$

これに、本実験における値を入れると、 $W_g/W_i = R_W \gg \gamma_a/\gamma_l$ のときはつぎようになる。

$$\phi_2 = \left(\frac{n-2}{A} \right)^2 \left[\frac{1/R_W + 1}{P_a(2/R_W + \gamma_l/\gamma_g)} \right]^{0.225} \quad (19)$$

ただし、 A : (cm^2)、 P_a : (ata)

4) しぼみ量の整理

Fig. 35 は、3種の噴射弁のしぼみ量 ΔB をパラメータ ϕ_1, ϕ_2 を用いて整理した結果である。ただし、本実験では、 $\gamma_0 = 7 \text{ mm}$ で A と A_e の計算には $2\beta = 22^\circ$ 、 $L = 70 \text{ mm}$ とした。また ϕ_1 では $m = 1.5$ とし単位を面積 (cm^2)、 W_g (gr/s)、 P_a (ata) とした値である。

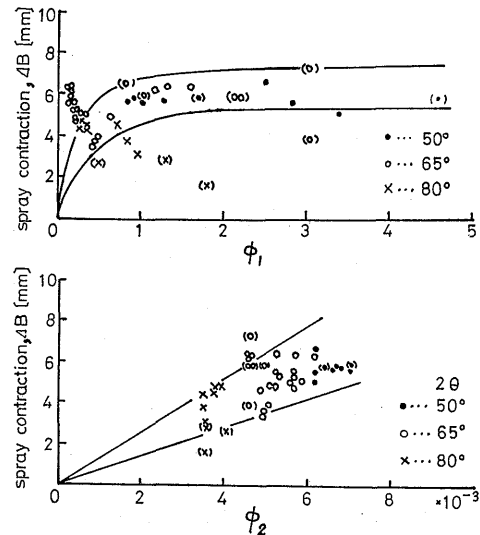


Fig. 35 Arrangement of spray contraction

7. 結 論

Y ジェット形二流体式燃料噴射弁について、水を空気で微粒化したときの噴霧の条、噴霧特性におよぼす作動条件の影響、噴射弁の寸法効果および噴霧干渉を調らべつぎの結果を得た。

1) 噴霧の条

① 液孔と噴孔との偏心がある場合には、噴霧流は

常に粗大な粒を含んだ条を伴う。

② 液孔と噴孔との偏心がなくても、噴霧流はごく一部の作動条件下を除いては条を生じ、この場合の条の発生条件は、 $(r_0/r_i)(dg/dL)(v_0/v_i)^2$ なるパラメータで定まる。

③ 最大粒径 D_{max} は、条が消滅する噴霧の状態で極小になり、噴射弁の偏心の有無にかかわらずほぼ等しい。ただし偏心の大きなチップでは D_{max} が極小値をとる現象はみられない。

2) 噴霧特性におよぼす作動条件の影響

① 個々の噴孔からの噴霧の拡がり角は約 20° であり、下流側の拡がりには周囲空気圧力 P_a が高いほど狭くなる。

② 噴霧全体の平均粒径 D_{32} は、流量比 W_0/W_i が一定の場合、水流量 W_i が多いほど細かい。

③ D_{32} は、 W_i 一定の場合、流量比 W_0/W_i が大きいほど細くなる。ただし、条が消滅する条件近くで D_{32} は極小値をとる。

④ D_{32} は、 W_0/W_i 一定ならば、 P_a が高いほど粗くなり条が消滅する範囲を除き、(3) 式の関係がある。

⑤ 最大粒径 D_{max} は、 D_{32} にほぼ比例しその比は約 2.6 である。

3) 噴射弁の寸法効果

① 噴霧の条の挙動および噴霧特性におよぼす作動条件の影響は、噴射弁の寸法による相違はみられない。

② D_{32} (または D_{max}) は噴射弁の寸法 d と (4) 式の関係がある。

4) 噴霧干渉

① Y ジェット形噴射弁では、 P_a が高い場合でも噴霧のしぼみは極めて少ない。

② 噴霧干渉に関して、噴霧のしぼみの機構およびしぼみ量を支配する 2 つのパラメータを提案し、これ

による整理結果を示した。

なお、本研究に当っては、元職員の古川征一技官ならびに卒業研究のため参加した東海大学学生 (当時) 茂木弘志、小島長見、前田幸一、鈴木敏明、榊原由邦、上田真広の諸君、工学院大学学生 (当時) 今野健君の助力を得た。ここに記して謝意を表わす。

参 考 文 献

- 1) 根矢, 熊倉, 機械学会 第 1 回 シンポジウム論文集 No. 700-4, 昭43-9, p. 29
- 2) 根矢, 熊倉, 日本ガスタービン会議講演論文集, 1973-6, p. 81
- 3) 根矢, 熊倉, 日本燃焼研究会, 機械学会ほか共催第 11 回燃焼シンポジウム前刷集, 昭 48-12, p. 153
- 4) 根矢, 佐藤, 機械学会誌 70-581, 昭42-6, p. 817
- 5) K. Neya et al., Papers of Ship Research Institute, No. 27, 1968-2
- 6) 根矢, 船舶技術研究所報告, 5-5, 昭43-9, p. 29
- 7) 大井上, 佐次, 棚沢ほか, ディーゼル機関 I, 山海堂, 昭38-4, p. 54
- 8) 根矢, 佐藤, 古川, 機械学会第801回講演会論文集, 昭45-6, p. 1
- 9) 根矢, 佐藤, 機械学会, 燃料協会ほか共催, 第 1 回液体の微粒化に関する講演会前刷集, 昭47-4, p. 33
- 10) 根矢, 佐藤, 機械学会, 燃料協会ほか共催, 第 2 回液体の微粒化に関する講演会前刷集, 昭48-4, p. 67
- 11) 根矢, 機械学会論文集, 33-251, 昭42-7, p. 1138
- 12) F. G. S. Benatt et al., Jour. Institute of Fuel, 42-343, 1969, p. 309
- 13) H. Schlichting, Boundary Layer Theory, 6th Edition, McGraw-Hill, 1968
- 14) 高橋ほか, 機械学会講演論文集 No. 720-13, 昭 47-8, p. 73
- 15) Abramovich G. N., Theory of Turbulent jets, MIT 1963 に引用, p. 543