高速液体噴流の分裂過程*

清水正則*¹, 新井雅隆*², 廣安博之*²

Disintegrating Process of a High Speed Liquid Jet

Masanori SHIMIZU, Masataka ARAI, and Hiroyuki HIROYASU

This paper deals with an experimental study on the disintegrating processes of a high speed liquid jet injected into the various ambient pressures from a cylindrical nozzle. The effects of the diameter and the shape of the nozzle on the breakup length were investigated by an electrical resistance method. The close dependence between the internal flow in the nozzle and the disintegrating process of the jet were observed using a photographic method. The disintegrating process was divided into six kinds of form. When the disturbance of the liquid flow in the nozzle was very small, the spray flow could not be formed even if the injection velocity was very high at the reduced ambient pressure condition. If both the strong disturbance and the strong interfacial force were given to the liquid jet, the jet could be broken up to the spray flow.

Key Words: Internal Combustion Engine, Diesel Spray, Breakup Length, Nozzle, High Speed Jet, Wavy Jet Flow, Spray Flow

1. 緒 言

円形噴孔から噴出する噴流の分裂長さの変化に関する既往の研究は波状噴流よりも低速な流域についてはすでに多くの研究報告がなされている。しかし、高速の噴霧流域における分裂長さの変化に関してはその定性的な報告⁽¹⁾⁽²⁾にとどまっているものが多い。特に高圧雰囲気下における高速噴霧流の分裂長さについては棚沢の報告⁽³⁾があるのみで、不明な点も多い。

そこで著者らはディーゼル噴霧と同程度の噴射条件下の高速噴霧流に主眼を置き、その分裂長さと同噴霧角を調べ以前に報告⁽⁴⁾⁽⁵⁾を行った。さらに噴射速度による噴流の分裂過程の形態に関する報告⁽⁶⁾⁽⁷⁾も行った。その結果、これらの噴流の基本的な微粒化現象は、ノズル内のかく乱の影響と雰囲気による影響とを分離して追究することが重要であるとの知見を得た。

ここではそれらの知見を基に高速噴流の分裂過程の解明を行うため、2種類の形状の円形噴孔から水を高速噴射し、噴射速度による噴流の分裂過程の変化やこれに対応した噴流の微粒化のようすを、ノズルの噴孔

径や雰囲気圧力などを換えて調べた。特に、雰囲気による影響については、高圧下だけでなく減圧した条件下でも調べ、噴霧の形成におよぼす雰囲気の影響を明らかにした。また大気雰囲気下では透明な試作ノズルを用い、噴孔内の流れと噴流の微粒化模様との関連を調べた。本論は以上の事柄に関して噴射速度による噴流の分裂現象を現象面から追究し、分裂過程の区分を行ったものである。

2. 実験装置と方法

本研究に使用した実験装置の概略を図1に示す。供試液体である水は高圧ポンプ1からアキュムレータ2を経てノズル8に圧送し、圧力計7で噴射圧を計測後、容器9内へ連続噴射した。この装置により最高噴射圧 $P_t=50$ MPa まで連続噴射が可能である。

噴流の分裂長さの測定は図1中に示す電気回路を用いた。ノズル8を正極、スクリーン電極22を負極にとりその間にDC30~300 Vの電圧を印加した。スクリーン電極22の上下移動により得られた電流の断続信号波形の変化は噴流と直列に配置した1~2 M Ω の抵抗の両端から取り出し、オシロスコープ25で観測した。得られた信号波形が50%の頻度でONとOFFとを繰返し、かつカウンタ24に記録された波形の周波

* 昭和63年3月12日 中国四国支部第26期総会講演会において講演、原稿受付 昭和62年8月2日。

*¹ 正員、近畿大学工学部 (〒737-01 呉市広古新開5-1-3)。

*² 正員、広島大学工学部 (〒724 広島市西条町下見)。

数が最大値を示すときの電極 22 から噴孔出口までの距離をスケール 23 で読取り、これを代表的分裂長さ L_b と定義した。

噴流に対する雰囲気気圧力 P_a は 0.003~4.0 MPa の範囲で種々に変えた。大気雰囲気気圧よりも減圧する場合 ($P_a < 0.1$ MPa) は、容器 9 と水タンク 16 内を真空ポンプ 17 で連続排気しながら水銀 U 字管 20 と三方コック 18 により圧力の調節を行った。大気圧より高圧の場合 ($P_a > 0.1$ MPa) の加圧は、窒素ガスをボンベ 10 から容器 9 内に導き、圧力計 12、バルブ 13 および 14 により行った。また、噴射液体と雰囲気気の温度は常時、室温一定とした。

種々の噴射条件に対応した噴流の微粒化のようすは容器 9 の両側面に設けたガラス窓 26 の前後に単発の透過光源 27 とカメラ 28 を配置し、写真観測を行った。

2 種類の供試ノズルの概略を図 2 に示す。図 2 (a) は噴孔入口と出口とに鋭いエッジを持つ直角切断形のノズルで、噴孔入口部に縮流が発生しやすい構造である。図 2 (b) のノズルはその入口部に半径 R ($= 0.3$ mm) の円弧を持つ四分円ノズルで、縮流が生じ難い構造である。本文中では図 2 (a), (b) のノズルを

図 1 実験装置

(a) Nozzle-A

(b) Nozzle-B

図 2 使用ノズル

それぞれノズル-A、ノズル-Bと呼ぶ。またノズルの噴孔径 D は 0.1~3.0 mm の範囲で 6 種類とし、ノズル管長 L は噴孔径の 4 倍 ($4D$) のものを用いた。噴流の噴射速度は噴射差圧 $\Delta P (= P_i - P_a)$ に対応する実測流量とノズルの噴孔断面積とから求め、これにより実験結果の整理を行った。

3. 分裂長さ

3.1 噴孔径の影響 噴孔径に対する管長の比 L/D が 4 であるノズル-A を用い、噴孔径を種々に変え、噴流に対する雰囲気気圧を大気圧と 3.0 MPa としたときの噴射速度による分裂長さの変化を、それぞれ図 3 および図 4 に示す。後述するように、噴射速度によって分裂過程が異なり、例えば図 3 中の $D=0.1$ mm の場合において、それぞれ噴射速度が $V_i \leq 13$ m/s のとき平滑流域、 $13 \text{ m/s} \leq V_i \leq 27 \text{ m/s}$ の範囲が遷移流域、 $27 \text{ m/s} \leq V_i \leq 120 \text{ m/s}$ の範囲が波状流域、さらに $V_i \geq 120 \text{ m/s}$ のとき噴霧流域を示す。まず速度

(大気雰囲気下, $P_a = 0.1$ MPa)

図 3 噴孔径の影響

(高圧雰囲気下, $P_a = 3.0$ MPa)

図 4 噴孔径の影響

の増加につれ、分裂長さは平滑流域では増加し、その後遷移流域では減少する。平滑流域と遷移流域との間で分裂長さが最も長くなる所の遷移レイノルズ数（代表長さ L_b と代表速度をそれぞれ噴孔径 D 、噴射速度 V_i とし、水の動粘度を ν とすると $Re = DV_i/\nu$ ）は図3、4とも、噴孔径によらず2000前後となる。速度の増加につれ波状流域では分裂長さは再び増加し、その後さらに高速の噴流の場合には噴霧流となり、分裂長さは減少する。図3においては噴孔径が大きい場合の波状流域または噴霧流域において分裂長さに不連続が生じる。しかも速度を増していく場合と減少させる場合とでは、点線で示すように不連続の発生する速度が異なっている。すなわち、分裂長さの不連続な増減は速度に対して履歴現象を示している。図4のように高圧下においては分裂長さの不連続は発生せず、高速の噴霧流域で分裂長さに最小値が存在するようになる。

ここで図3の結果の一部および図4の結果を噴出レイノルズ数($Re = DV_i/\nu$)と噴孔径で無次元化した無次元の分裂長さ L_b/D で再整理した結果を図5と図6に示す。平滑噴流から波状噴流への遷移および不連続

が生じない範囲の波状流域では無次元化により統一した解釈を行うことができる。しかし、分裂長さに不連続が生ずる場合や噴霧流への遷移に関してはこの無次元化による表現では統一した解釈を行うことができず、多くの問題が含まれていることがわかる。

分裂長さの変化の形態をまとめると、噴孔径と雰囲気圧力の違いにより、次の四つの分裂過程の変化の形態が認められる。すなわち、

(I) 図3で、噴孔径 $D=0.1\text{ mm}$ の場合のように変化がスムーズに起こる場合、

(II) $D=0.3\text{ mm}$ の場合のように波状流域で分裂長さの不連続な増加を生ずる場合、

(III) $D=0.5\text{ mm}$ 以上の場合のように噴霧流域で分裂長さが不連続に長くなる場合、

(IV) 図4の高圧雰囲気下におけるように、分裂長さが不連続に増減する現象は現れず、噴霧流域で分裂長さが極小値を示し、その後若干長くなりながらある一定値となる変化を示す場合、

である。本文中ではこれらの噴流の分裂過程の形態をそれぞれ形態I、形態II、形態III、形態IVと呼ぶこと

図5 レイノルズ数による無次元の分裂長さの変化(大気雰囲気下)

図7 雰囲気圧力の影響(ノズル-A)

図6 レイノルズ数による無次元の分裂長さの変化(高圧雰囲気下)

図8 雰囲気圧力の影響(ノズル-B)

にする。

3.2 雰囲気圧力の影響 図7と図8に $D=0.3$ mm, $L/D=4$ のノズル-Aとノズル-Bのそれぞれについて、噴射速度による分裂長さにおよぼす雰囲気圧力の影響を示す。図7, 8とも雰囲気圧力を $P_a=0.003$ MPaの減圧下から $P_a=3.0$ MPaの高圧下まで変化させて分裂長さを測定した結果である。一般に雰囲気圧力の影響は平滑流域ではほとんど現れない。平滑流域と遷移流域間で分裂長さが最も長くなる所の遷移点は図7, 8とも雰囲気圧力の影響を若干受け、雰囲気圧力の減少とともにその速度は増加し、そこでの分裂長さは長くなる。

波状流域から噴霧流域へと噴射速度が増加するにつれ、その影響は大きくなり、分裂長さは雰囲気圧力の増加とともに減少する。波状流域で分裂長さが不連続に長くなる現象はノズル-Aの場合に起こるが、縮流が生じ難い構造のノズル-Bでは減圧雰囲気下であっても起こらない。

さらに両ノズルの場合とも、 $P_a=0.003$ MPaの条件下では噴射速度が $V_i=200$ m/sの高速流域においても噴霧流とはならず、広範な波状流域を持つ。これは雰囲気圧力が極端に低いため高速で液体を噴射してもそれを微粒化するのに充分な外乱を雰囲気と与えないためと考えられる。このような噴霧流への遷移が起こらない分裂形態は前述した四つの形態に含まれないため、分裂形態の区分に次の2形態を加える。すなわち、

(V) 図8の $P_a=0.003$ MPaの場合のように減圧下において波状流域がスムーズに広がり、噴霧とならない場合、

(VI) 図7で、 $P_a=0.003$ MPaの場合のように波状流域で不連続を示した後、波状流域が広がり、噴霧とならない場合、である。

図9 雰囲気圧力の影響

波状流域で分裂長さが不連続に長くなるノズル-Aの現象は、噴孔内の流れの観察結果からすると、噴射速度が11~200 m/sの範囲で液流が縮流したまま噴出することに対応している。波状流域の速度の低い領域では、このためノズル-AとBでは分裂長さに差が生じているが、高速になると両者の差は認められなくなる。これは高速の波状流域では噴流の初期の噴出形態とは無関係に波状流としての噴流表面上の波が発達しているためと考えられる。

雰囲気圧力が $P_a=0.003$ MPaの条件下では前述したように噴霧流への遷移は起こらないが、 $P_a \geq 0.03$ MPaの条件下では波状流から噴霧流への遷移が起こる。また波状流域から噴霧流域の間の遷移点の位置は、雰囲気圧力の増加につれて低速側へ移動する。雰囲気圧力の増加につれて波状流から噴霧流への噴流の遷移が明確に現れるようになるのは、雰囲気圧力そのものが噴霧を形成するのに必要な外乱を噴流に与えるためと解釈できる。さらに噴射速度が120~140 m/sの噴霧流域では雰囲気圧力の上昇につれて分裂長さの変化におよぼすノズル形状の影響も現れ始める。 $P_a=3.0$ MPa下の噴霧流域において、ノズル-Aの場合では形態IVの変化となり、ノズル-Bの場合では形態Iの変化となる。

図9は図7と図8において噴射速度を200 m/sとしたときの高速噴流の分裂長さを雰囲気圧力で整理した結果である。高速噴流の分裂長さは雰囲気圧力が増すとその影響により短くなる。さらに、分裂長さの値はノズル形状の違いによる影響を受け、縮流の生じやすい構造のノズル-Aの場合が小さくなる。雰囲気圧力が $P_a=3.0$ MPaの高圧雰囲気条件下で噴孔径が0.3 mmのノズルから高速噴射したときの噴霧流中においても約10 mm前後の分裂長さは存在し、噴霧中にも必ず連続した液柱部分が存在することを示している。

図10 分裂過程の区分

3・3 分裂過程の区分 噴射速度による噴流の分裂過程のこれまでに現れた形態を模式的に示すと図10のようになる。ここで噴流の遷移に関する棚沢の区分⁽⁸⁾によると図10中のAは滴下, Bは平滑噴流, Cは遷移噴流, Dは波状噴流, EとFは噴霧流となる。図10中の1, 2は速度の増加に伴って分裂長さが不連続に長くなる点, 3, 4は逆に速度の減少に伴い不連続に短くなる点を表している。

前述した最初の四つの形態は図10においてそれぞれの曲線に沿って示す記号により次のように示されている。形態IはABCDEF, 形態IIはABCD SD SE SF, 形態IIIはABCDE SE SF, 形態IVはABCDEGFである。このほかに減圧下で雰囲気気の影響のほとんど現れない図7と図8で, 雰囲気気圧力が0.003 MPa下で生ずる変化があり, 形態VはABCDH, 形態VIはABCD SD SHとなる。

4. 分裂過程

4・1 写真による分裂過程の変化 分裂過程のそれぞれの状態について, 代表的な写真で示すと図11から図14のようになる。これらの噴流写真に付した記号と図10中の曲線に沿って示す記号とは対応している。ここではまず写真の概要を述べ, 次節で詳細な検討を行うことにする。

(大気雰囲気下, $L/D=4$, $D=3.0$ mm)

図11 噴流の微粒化模様

図11は大気圧下において発生したABCDEの条件の写真である。Aは滴下, Bは平滑噴流, Cは遷移噴流, Dは波状噴流である。Eは噴霧流であるが, 大気圧下の微粒化であるため, 微細な液滴には分裂せず噴霧角も大きくならない。またこれらの写真はアクリル製の透明ノズルで撮影しているため, 噴孔内の流れも同時に観察可能になっている。

図12は高圧雰囲気圧力下におけるEGFの写真で形態IVの噴霧流域における写真である。分裂長さが極小値を示すGの写真では噴霧角がEやFの写真に比べて大きくなっていることがわかる。

形態IIとIIIで, 速度が増加し分裂長さが不連続に長くなった後の噴流の状態を図13に示す。分裂過程の区分を示す図10で波状流域と噴霧流域に相当する写真であるが, 噴流の分裂のようすはむしろ平滑流に近い。

高速噴流におよぼす雰囲気気圧力の影響をSH, H, SF, Fの順に図14に示す。雰囲気気圧力が大気圧以下でその影響が噴流にほとんどおよばない場合は波状流となる。雰囲気気圧力が増加するにつれ, HからF, SHからSFへの変化が起こり, Fの場合のみが本来の噴霧となる。

4・2 形態IとIVの相違 まず, ディーゼル噴霧と同程度の噴射条件下で生ずる形態Iと形態IVについて述べると, 両者の差は図10のGの領域が形態Iでは現れず, 形態IVでは現れることである。形態IとIVに共通して現れる噴霧流域のEとFの噴霧は図12に示すようにほぼ同等である。

形態IVのGでは分裂長さが極小となり, そこでの噴

(高圧雰囲気下, ノズル-A, $L/D=4$, $D=0.3$ mm)

図12 噴霧流

霧の広がり方が最も大きくなる。このような現象を噴孔内の流れが観測できる透明なノズルを用いて観測した結果から推定すると次のようになっている。

縮流の生じやすい構造の直角切断形のノズル-Aを高圧下で用いた図4の場合ではEの領域で、噴射速度の増加に伴い、噴孔入口部で縮流と同時にキャビテーションが生じ、液流は噴孔内壁からはく離するが、その後拡大流となり内壁に再付着する。噴射速度の増加につれ、内壁と液流間の空所は広がっていき、その結果、液流の付着位置は噴孔出口に向かって移動する。この現象に伴って噴霧流は図10中のEでは発達し、分裂長さは減少する。図10中のGでは、液流の付着位置は噴孔出口の付近で上下に振動しており、その影響

でここでの分裂長さは最も短く、かつ噴霧の広がり方が最も大きくなるものと考えられる。

GFの流域ではさらに速度が増加するため、一度はく離れた領域が噴孔内でおしつぶされるようになり噴孔出口まで拡大されず、液流の付着位置も上流に位置するようになり、分裂長さは若干長くなる。その後Fの流域では付着位置も安定してくるため、ここでの分裂長さは一定値を示すものと思われる。

一方、図8に示した $P_a \geq 0.03 \text{ MPa}$ の条件のノズル-Bの場合のように、縮流やキャビテーションが発生し難く、噴孔内を液流が充満して流れているとみられる場合には、分裂長さの変化はEからFへのスムーズな変化となる。

4.3 形態IIとIIIの相違 まず形態IIの場合は、図10のDの波状流域の1で噴射速度の増加に伴って

(減圧雰囲気下, ノズル-A, $L/D=1$, $D=3.0 \text{ mm}$)

図13 高速噴流の微粒化模様

(雰囲気圧力の影響)

図14 高速噴流の微粒化模様

不連続に長くなり、SD上の4で速度の減少に伴い不連続に短くなる。また形態Ⅲでは、図10中のEの噴霧流域の2とSD上の3のそれぞれの位置から点線の矢印方向に分裂長さが不連続に増減する。このような不連続な変化は図3に示したように雰囲気圧力が $P_a \leq 0.1$ MPa下でノズル-Aを使用した場合に生ずる現象である。前述したように、液流の付着点が噴孔外に流出するため噴流は噴孔入口のエッジ部から縮流したままの状態で噴射し、噴流直径は噴孔径よりも小さくなる。

このように不連続に分裂長さが長くなった後の形態Ⅱと形態Ⅲのいずれの場合とも高速側では曲線SD SE SFの変化となり、それぞれの流域における噴流は図13に示すようになる。図13中のSDは表面が滑らかな高速の噴流で、軸対称な波の発達により分裂が進行する。また写真4のようにSD上から分裂長さが不連続に短くなる直前では縮流が不安定となり、噴孔出口に一部付着し、噴流としての対称性が失われる。SEではSDと同様に表面は滑らかであるが、表面の波に非対称性が現れている。これに対して、さらに高速のSFでは噴流のところどころにくびれと非対称な波が出現し、その部分から瞬時に分裂するようになる。

4・4 高速噴流に対する雰囲気圧力の影響 図10中の最も高速のSH, H, SF, Fについて噴流のようすを比べてみると図14に示すようになる。図14中のSH, Hは減圧雰囲気下のため噴流は波状噴流である。噴流に対する雰囲気による外乱が極端に少なく、噴孔内液流のかく乱の程度におよぼすノズル形状の影響がSHとHとの相違を支配していると考えられる。これに対してSFの場合は縮流したままの状態で噴出していためノズルの影響は少ないが、雰囲気圧力が高いため、噴流に与える雰囲気による外乱が支配的な噴流と考えられる。Fの場合は縮流やキャビテーションなどに伴う噴孔内のかく乱と雰囲気による外乱の両者が重畳して作用し、噴霧流となる場合である。

ここで述べた噴流の分裂過程は噴孔径や雰囲気圧力のみならず、ノズル形状やノズル管長などの違いによっても影響を受ける⁽⁷⁾。したがって高速噴流の微粒化は、まずノズルの幾何学的形状の違いが噴出液流の初

期かく乱の程度を左右する因子となること、次に噴出後、そのかく乱の程度に応じた雰囲気の影響によって、噴流表面の凹凸度が決定されることにより、種々の分裂形態を生ずる現象として捕えられる。

5. 結 論

噴孔径や形状の異なるノズルを使用し、噴射速度による噴流の分裂過程の変化やその変化に伴う微粒化の形態におよぼす雰囲気圧力の影響を現象面に主眼を置き実験的に追究し、以下の知見を得た。

(1) 雰囲気圧力が低く、縮流の生じやすい構造のノズルでは分裂長さが不連続に増減する現象が認められ、そこでの分裂長さは二価となる。

(2) 噴射速度による分裂過程の変化の形態は次の6種類に大別される。

- (i) 変化がスムーズに起こる場合、
- (ii) 波状流域で不連続な変化が生ずる場合、
- (iii) 噴霧流域で不連続な変化が生ずる場合、
- (iv) 噴霧流域で極小値を示す場合、
- (v) 波状流域がスムーズに広がり、噴霧とならない場合、
- (vi) 不連続が生じた後に波状流域が広がり、噴霧とならない場合。

(3) 高速噴流であっても減圧下において雰囲気による外乱が極端に小さいときは噴霧流とはならない。

(4) 噴霧流は噴孔内のかく乱が大きく、かつ雰囲気による外乱も大きい場合のみ形成される。

最後に本研究は沖和行、宮ヶ原誠、林勝美および岸田良治の諸君の熱心な協力を得た。ここに記して謝辞を表す。

文 献

- (1) Newman, J. A. and Brzustowski, T. A., *AIAA Paper*, No. 70-8 (1970).
- (2) 楠井, 機論, 34-260 (昭48), 674.
- (3) 棚沢, ディーゼル機関, I (昭48), 92, 山海堂.
- (4) 清水・新井・廣安, 機論, 49-448, B (昭58), 2886.
- (5) 清水, 新井・廣安, 機論, 51-461, B (昭60), 257.
- (6) 清水・新井・廣安, 第12回液体の微粒化に関する講演会講演論文集, (昭69), 39.
- (7) 清水・新井・廣安, 第14回液体の微粒化に関する講演会講演論文集, (昭61), 1.
- (8) 文献(3)の79-90ページ.

討 論

〔質問〕 岡田 修〔鈴鹿工業高等専門学校〕

高速液体噴流の微粒化について入念な実験に基づき、貴重な結果が得られたことに敬意を表す。以下の点につき、お教え願いたい。

(1) 分裂長さ L_b の不連続が起きるのは主として噴孔入口部の縮流の発生ならびに縮流の安定性に基づくものと解釈されるが、噴孔径が大きい場合に高圧雰囲気下では L_b の不連続性がなくなる原因は何か。またノズル A で噴孔径が小さい $D=0.1\text{ mm}$ の場合は不連続性が起こらないのはどのように考察されるか。

(2) 噴霧流域で L_b の不連続性が起こる機構は何か。

(3) 本文 2240 ページ右欄 14 行め「図 10 で波状流域と噴霧流域に相当する写真であるが、噴流の分裂の様子はむしろ平滑流に近い。」と記述されているが、噴流の流動形態(たとえば図 11)から判断して図 13 は平滑流ならびに波状噴流と解釈してはいけな

いか。(4) 図 10 において L_b と噴出速度 v_i の関連図は模式的にまとめられ、よくわかるが、ノズル A, B の形、雰囲気圧力の要素の影響も付記されると、さらに理解しやすいと思われるが、いかがか。

〔回答〕 (1) 高圧雰囲気下では、雰囲気圧力の影響により、液流の付着点が噴孔外に流出せず、付図 1(a)の状態が継続し、また $D=0.1\text{ mm}$ の場合は噴孔径が小さいため、縮流部で液流の衝突が生じ、噴孔出口付近での液流のはく離が発生しないため、付図 1(b)の状態になりにくくなっているためと考えている。

(2) 付図 2 に形態 III の場合の波状流域から噴霧流域の間のノズル内の流れの様子と噴流の微粒化模様の一例を示す。噴射速度 V_i が 10.5 m/s 以上で、 V_i が増すと液流の付着点の位置が噴孔出口に向かって移動

し、 $V_i=12.6\text{ m/s}$ 以上の速度では付着点が噴孔外に流出するため図中の $V_i=13.9\text{ m/s}$ の場合〔付図 1(b)〕となり、噴流はノズルのエッジ部から縮流したまま噴出する。

(3) 本文図 13 は付図 1(b)に相当し、SF の噴流は噴出直後は平滑流、分裂点に近い所で波状流と解釈される。

(4) 噴射速度による噴流のそれぞれの分裂形態が現れるときの噴射条件を示すと付表 1 のようになる。

〔質問〕 藤本 元〔同志社大学工学部〕

(1) ノズル A, B の ϕD_0 をお示しいただきたい。

(2) 質問者の経験では、連続長さはノズル出口部の形状の影響を極めて大きく受ける。ノズル A, B の出口部の形状をできれば写真などでお示しいただきたい。

(3) 雰囲気圧力の影響を考慮しているといわれている無次元数の Je 数〔文献(3)〕により、図 3, 4 を整理されたら、どのようになるか。

(4) 貴実験範囲でノズル A, B の流量係数と Re 数あるいは V_i の関係はどのようになるか。

(5) 図 6 の無次元表示において、第 2 の極大の位置が D によって変化する理由をお示しいただきたい。

付表 1

Form	Nozzle	D (mm)	L / D	P_a (MPa)
I	A	0.1	4	0.1
		0.3	10~50	3.0
		3.0	20	0.1
	B	0.3	4	0.03~0.4
II	A	0.3	1~4	0.03~0.1
III	A	0.5~3.0	1~10	0.1
IV	A	0.1~0.4	4~10	1.0~4.0
V	B	0.3	4	0.003
VI	A	0.3	4	0.003

付図 1

付図 2

付図 3

付図 4

〔回答〕 (1) 噴孔径が $D=0.1\sim0.4$ mm の場合では $D_0=(56\sim909)D$, $D=0.5\sim5.0$ mm の場合は, D_0

付図 5

$= (10^2\sim10^4)D$.

(2) 両ノズルの出口部の形状は, 本文図 2 に示すように直角切断形となっている。

(3) 本文の図 3, 4 を Je 数により整理すると付図 3, 4 に示すようになる。

(4) 噴射速度による分裂長さの変化の形態 I から IV が生ずるノズルについて代表例を示すと付図 5 となる。ここで分裂長さが不連続に増減する形態 II の場合の流量係数の変化は Re 数が増すと 1, 2, 3, 4, 5 の順に, Re 数が減少すると 5, 4, 6, 2, 1 の順となる。

(5) 噴孔径が増すと, 噴出直後の噴流の平均直径も増すため, それだけ波状流域から噴霧流域への噴流の遷移がおくれ, 第 2 の極大の位置が高速側に現れるものと考えている。