

## 金型離型膜形成の高精度制御のための離型剤噴霧特性の解明

研究報告者 駒田 佳介

### プロフィール



最終学歴 2014年3月  
九州大学 総合理工学府  
環境エネルギー工学専攻 博士後期課程 修了  
専門分野 流体工学、計測工学  
学 位 博士（工学）  
所属団体 福岡工業大学  
工学部 知能機械工学科  
役 職 名 助教

### 今後の抱負

金型における離型膜には焼き付きの防止や金型からの製品の型離れ改善などの役割があり、離型膜形成技術は製品の品質を左右する重要な技術である。金型の形状によって求められる離型膜は異なり、最適な離型膜を形成するための離型剤の塗布技術の確立が求められている。

本研究助成により、2流体ノズルの液体側圧力の調整により液体の塗布範囲の調整が、気体側圧力の調整により集中して作動流体を塗布する領域の調整が可能であることが示された。また噴霧内部液滴計測のためのレーザー2焦点流速計を立ち上げることができた。今後は2流体ノズルから噴射された噴霧液滴をレーザー2焦点流速計を用いて計測し、2流体ノズルにおける液滴の分裂特性の解明を目指す。

## 第1章 はじめに

金型技術は現代の工業製品の大量生産において欠かせない重要な要素であり、金属や樹脂の成形やプレス加工、鋳造といった幅広い分野で重要な役割を担っている。ここで、金型を用いて製品を製作する際に重要な技術として離型剤による離型膜形成技術がある。離型剤には、焼き付きの防止や製品を金型から安定して取り出すための潤滑性の確保といった役割があり、離型膜形成技術は製品の品質を左右する重要な技術である。求められる離型膜の形成技術は下記のように金型の形状に依存するため、離型剤の塗布技術は多岐にわたる。

### (1) ナノスケールの精度が求められる金型<sup>(1)</sup>

近年は、ナノインプリント技術といった、非常に小さなスケールの金型技術が求められており、金型の形状が微細化するため離型欠陥が懸念されている。対処法の一つとして離型剤の塗布する手法が用いられており、微細な金型に離型剤を均一に塗布する技術が求められる。

### (2) 大型の金型

金型の冷却速度の観点から広範囲に短時間で離型剤を塗布する技術が必要があり、また、面積が大きいため表面温度の不均一性を考慮した離型剤の塗布技術が求められる。

### (3) 複雑な形状の金型

均一な噴霧では金型全体への離型剤の塗布が難しく、噴霧の不均一性を活かした離型剤の塗布技術が求められる。

これまでに離型剤の付着量が金型表面の摩擦係数に及ぼす影響<sup>(2,3)</sup>や、離型剤の塗布が金型の焼き付きの臨界温度に及ぼす影響や金型温度が離型剤の付着量に及ぼす影響<sup>(4)</sup>などが報告されている。また、噴射ノズルの内部形状や先端形状を変更することで噴霧の拡散パターンや粒子径分布が変更できること<sup>(5)</sup>が報告されている。

しかし、離型剤の噴射ノズル噴孔近傍の噴霧内部は高速で飛行する液滴が高密度で存在しているため計測が困難であり、離型剤の噴霧挙動、特に噴霧内部の液滴の分裂過程に注目した論文はほとんどない。離型剤の粒径は噴孔からの距離や噴霧中心からの距離だけでなく、噴射圧や噴射期間、ノズルの噴孔径や噴孔形状の影響も受けるため、噴射条件が噴霧に及ぼす影響を正確に把握し、離型剤の噴霧挙動を正確に制御することが極めて重要である。

本研究の最終的な目標は二つある。一つ目は、実ノズルの噴霧特性を把握することである。ノズルから噴射された離型剤は分裂しながら下流に飛行する。このとき、噴霧外縁において周囲空気を取り込まれるため、噴霧中心に比べ噴霧外縁の方が液滴の運動量が減少し、液滴の飛行速度が減少する。これにより噴霧中心部と噴霧外縁部では液滴の分裂過程が異なり、噴霧内の液滴の粒径分布が不均一となる。さらに噴霧下流では、噴霧内の液滴が混合され、液滴の粒径分布は均一に近づく。ノズルか

ら金型までの距離は状況により異なり、また状況によって求められる噴霧内の粒径分布は異なることから、ノズルの噴孔からの距離と噴霧内部液滴の粒径分布の関係を明らかにすることで、離型剤の塗布時に参考となる指針となることが期待される。二つ目は離型剤ノズルから噴射された液滴の分裂過程を明らかにすることである。液滴の分裂過程を明らかにすることで、希望する粒径分布を実現可能なノズルの開発につながる。これにより、最適な離型剤の塗布方法を選択することが可能となり離型剤の塗布量を減少することや、これまで離型剤の塗布が困難であった金型にも離型剤を塗布することが可能となる。また、複数のノズルを使用して離型剤を塗布してきた金型に対してより少ない数のノズルで対応することが可能となる。

このように最適な離型膜を形成する離型剤の噴射条件を決定するためには実験結果に基づくデータベースの構築が必要となる。本研究は、その前段階として、実ノズルの噴孔近傍における噴霧内部液滴を計測可能な装置を製作し、噴射条件が噴霧挙動におよぼす影響を評価した。

## 第2章 ノズルおよび噴霧画像計測システム

### 2.1 ノズルの種類

離型剤噴射用のノズルには主に1流体ノズルと2流体ノズルがある。図1にノズルの種類と、それぞれにおける長所と短所をまとめた。1流体ノズルの長所は液体への圧力のみ供給すればよい点であり、短所は噴霧の広がり角が狭く、比較的高い供給圧が必要である点である。2流体ノズルの長所は、供給圧が低いにもかかわらず広い噴霧角を実現できる点であり、短所は供給圧力源が2つ以上必要である点である。

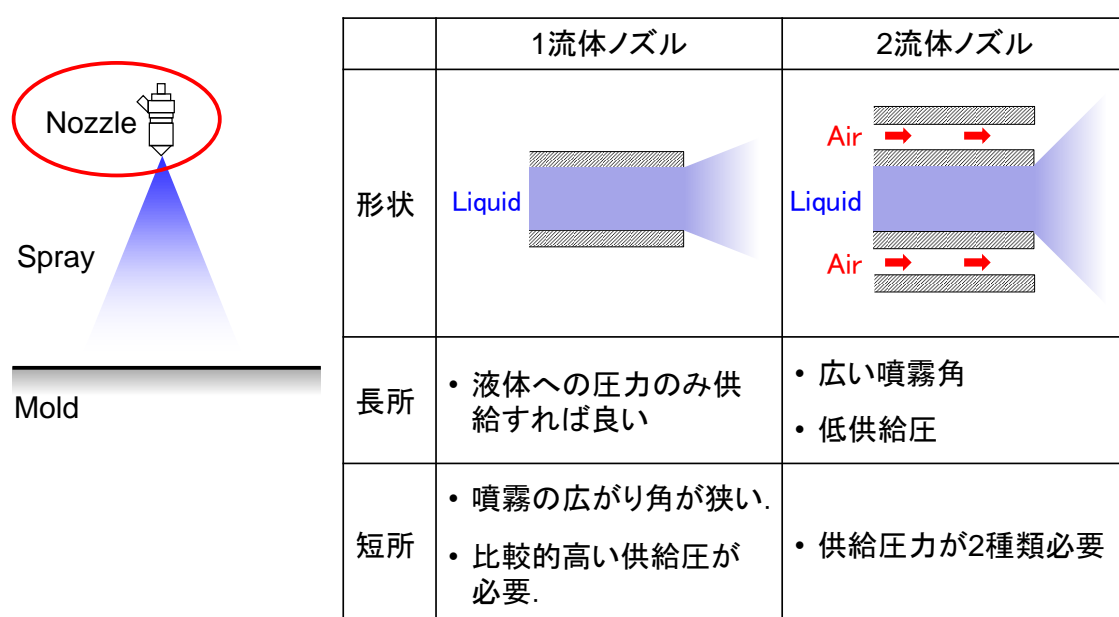
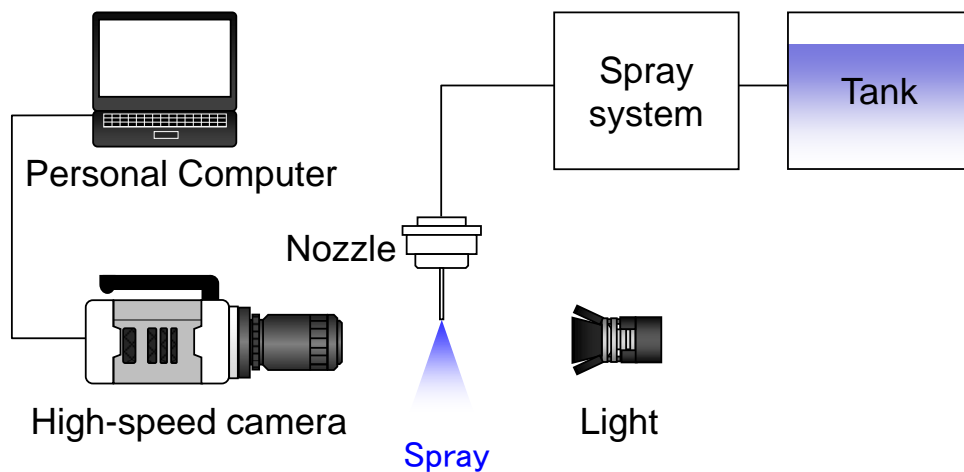


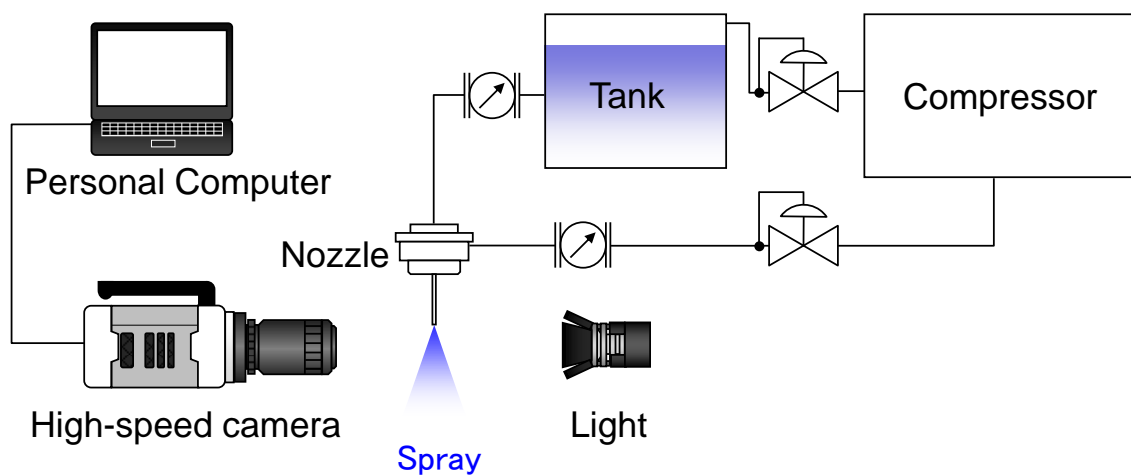
図1 ノズルの種類

### 2.2 画像計測システム

噴霧可視化のために高速度カメラによる噴霧の撮影を行った。図2(a)は1流体ノズルを使用したときの高速カメラによる噴霧画像計測システムを示す。噴射システムにより加圧された計測流体をノズルから噴射し、噴霧を形成した。高速カメラと光源を同一軸上に配置し、シャドウグラフ画像を取得した。図2(b)は2流体ノズルの場合を示す。コンプレッサーから供給される加圧空気を用いて計測流体を加圧してノズルに供給するとともに、加圧空気をノズルに供給した。高速カメラの撮影速度は4,800,000分の1秒である。



(a)1 流体ノズル



(b)2 流体ノズル

図2 噴霧画像計測システム

### 2.3 レーザー2焦点流速計

本研究では噴霧内部液滴の計測装置としてレーザー2焦点流速計 (Laser 2-focus velocimeter, 以下L2F) を用いた。図3はL2Fの計測体積を示す。焦点長さ $L$ は $20\mu\text{m}$ , 焦点直径 $F$ は $3\mu\text{m}$ であり, 焦点間距離 $S$ は $24\mu\text{m}$ である。

図4は2焦点の構造と液滴の飛行時間・散乱時間との関係を示す。液滴が2つの焦点を通過する際の飛行時間 $t_1$ , 上流散乱時間 $t_2$ および下流散乱時間 $t_3$ を周波数 $480\text{MHz}$ のクロックで計数する。液滴速度 $V_p$ は2焦点間距離 $S$ を飛行時間 $t_1$ で割ることにより求める。

$$V_p = \frac{S}{t_1} \quad (1)$$

液滴サイズ $D_p$ と焦点サイズ $F$ の和が散乱時間と液滴速度の積に対応すること, また散乱時間として $t_2$ と $t_3$ の平均値を用いることにより, 液滴サイズを次式より求める.

$$D_p = V_p \cdot \frac{t_2 + t_3}{2} - F \quad (2)$$

図5はL2Fを用いた噴霧計測システムを示す. L2Fの光学系では最大出力100mW, 波長830nmの半導体レーザーを光源とし, 収束レンズとして焦点距離が8mmの非球面レンズを採用した. 光学系の全長は約350mmである. 2つの焦点における液滴からの後方散乱光を別個のアバランシェフォトダイオード(Avalanche photodiode, 以下APD)に導き, FPGA(Field programmable gate array)を用いて計数した飛行時間および散乱時間をパソコンに保存した. 信号処理系のデータサンプリング周波数は15MHzある. インジェクタに噴射開始信号を印加してからL2Fのデータ取得までの経過時間を6MHzのクロックで計数した.

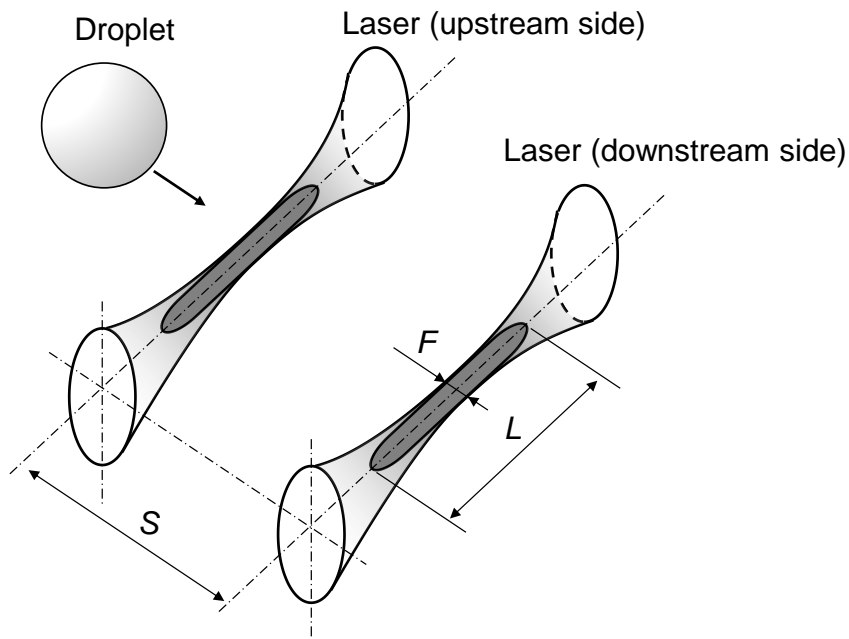


図3 L2Fの計測体積

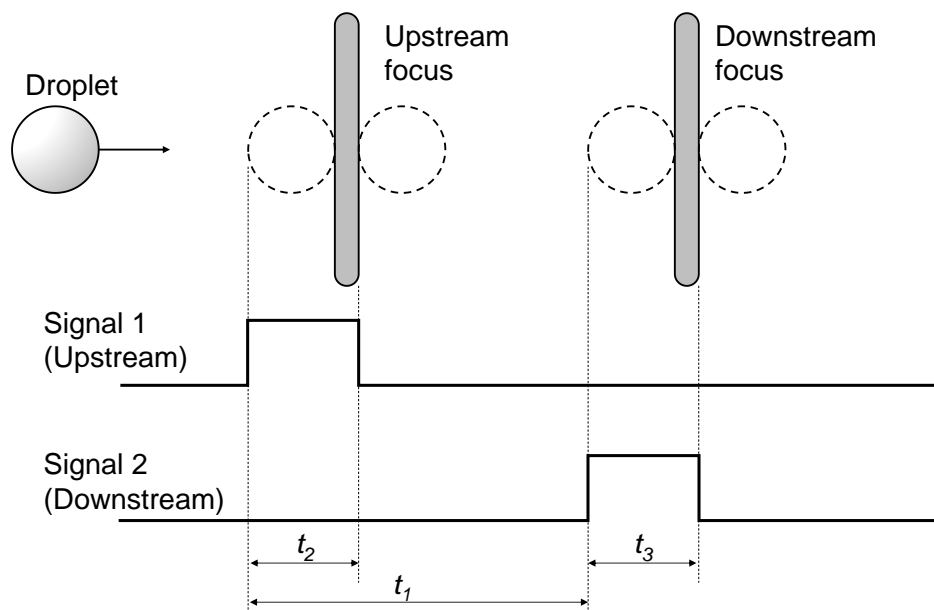


図4 飛行時間と散乱時間の計測

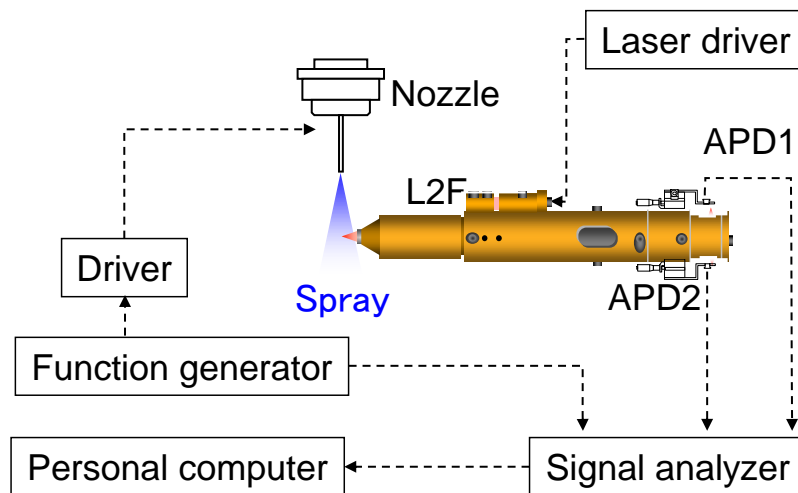


図5 L2Fによる噴霧液滴計測システム

### 第3章 1流体ノズル

#### 3.1 画像計測

本研究ではまず、2流体ノズルの内管のみを用いることで1流体ノズルとして使用可能か確認した。図6は噴射圧が350kPaの場合の噴霧画像を示す。作動流体は水である。ノズル内径とほぼ同じ液柱が形成されており、微粒化されていない。噴霧を形成するためには噴射圧をさらに上げる必要があるがノズルの耐圧に制限があるため、2流体ノズルの内管を1流体ノズルとして使用することは不可能と判断し、耐圧が高い別のノズルを使用することとした。

1流体ノズルとして、噴孔径0.15mmのノズルを用いた。噴射圧は40MPa、噴射期間は2.0msに設定した。作動流体は軽油である。ノズルの中心軸と噴孔の中心軸間の角度は $77.5^\circ$ であり、噴孔を原点として、作動流体の噴射方向を $z$ 軸、ノズルの中心軸と $z$ 軸を通る断面上で $z$ 軸に垂直な向きを $y$ 軸、 $y-z$ 平面に垂直な向きを $x$ 軸とする。 $x-z$ 平面上の噴霧画像を取得した。図7は噴射信号印加から0.85ms後の時刻における噴霧画像を示す。噴霧の広がりを定量的に評価するため、噴霧角を評価した。噴孔出口からの距離 $z = 6\text{mm}$ の断面における $x$ 軸上の輝度を取得し、最大輝度の80%を噴霧外縁とした。 $z = 6\text{mm}$ の外縁と噴孔のなす角度を噴霧角とし、噴霧角の時間変化を求めた。図8は噴霧角の時間変化を示す。横軸は噴射信号印加からの経過時間を示す。噴射の初期において噴霧角は最大で $50^\circ$ 程度を示し、噴射の真ん中あたりでは噴霧角は15から $30^\circ$ 程度であった。

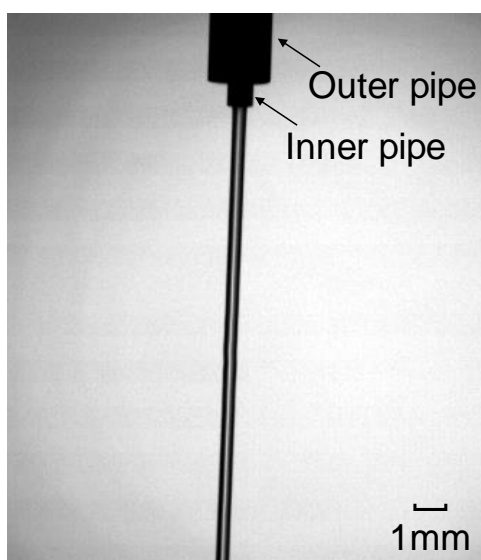


図6 噴射圧が350kPaの場合の噴霧画像



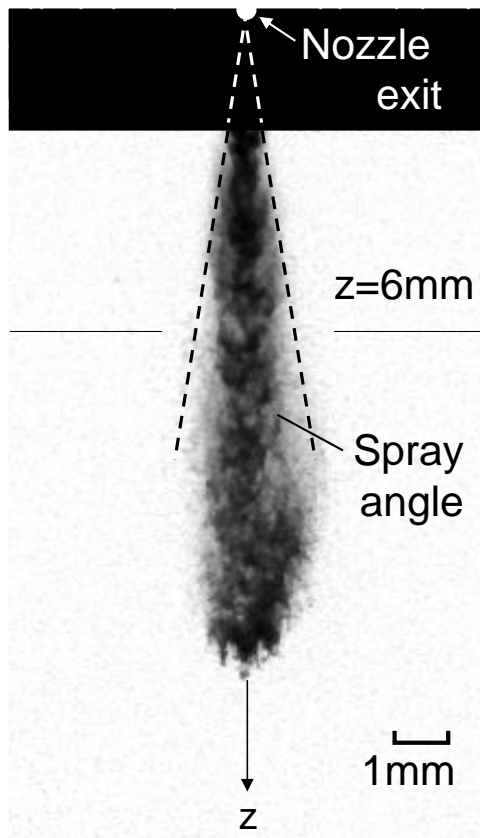


図7 1 流体ノズルの噴霧画像

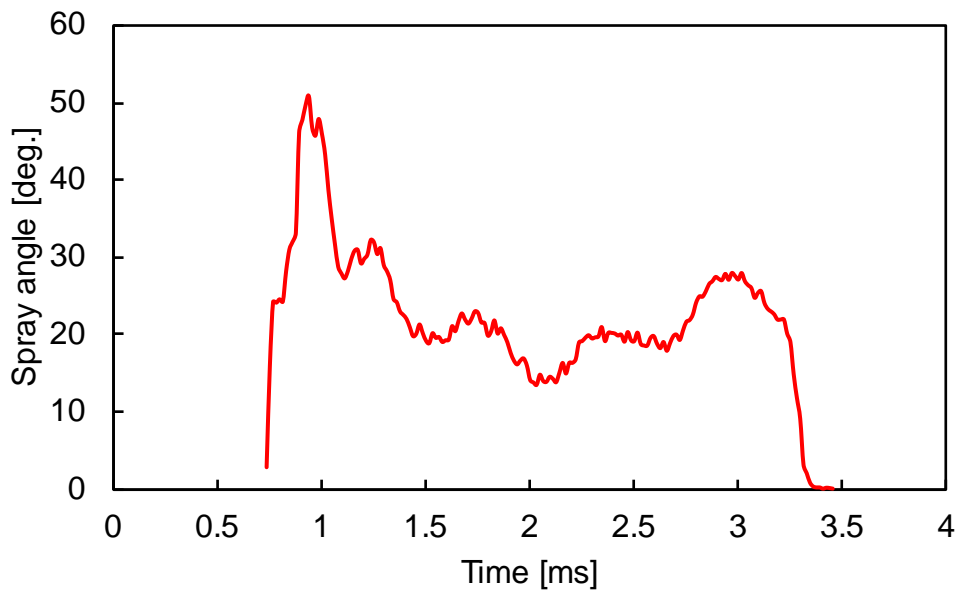
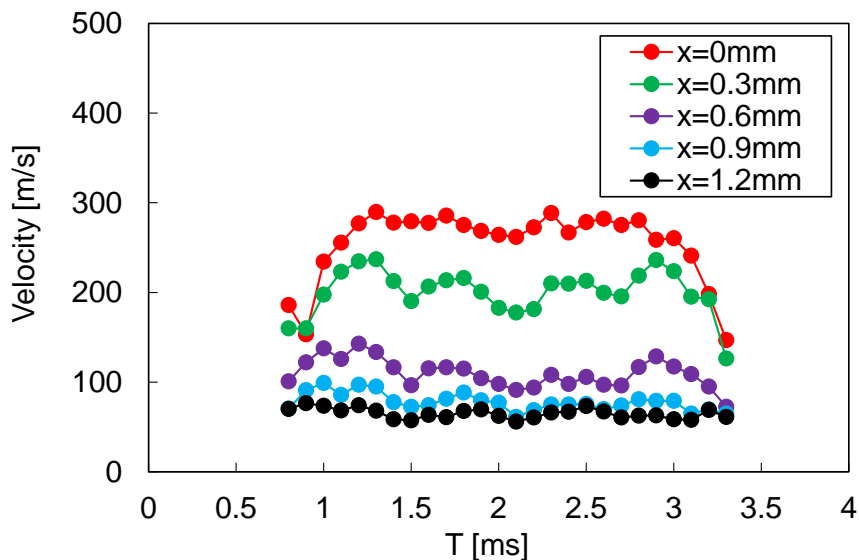


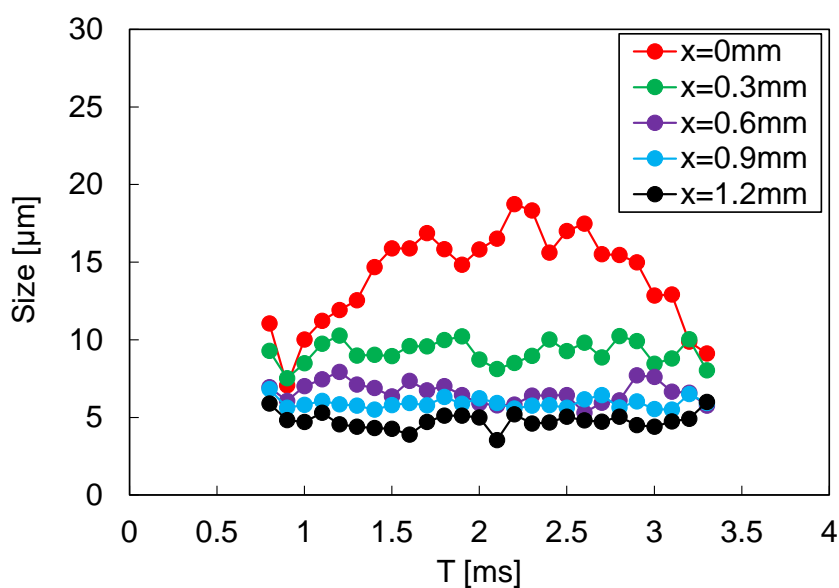
図8 噴霧幅の時間変化

### 3.2 噴霧内部液滴計測

L2F を用いて噴霧内部液滴の速度とサイズを計測した。計測断面は  $z=6\text{mm}$  であり、計測点の座標は  $x=0, 0.3, 0.6, 0.9$  および  $1.2\text{mm}$  の 5 点である。いずれも  $y$  座標は  $0\text{mm}$  である。図 9(a) は液滴速度の時間変化である。横軸は噴射信号印加からの経過時間  $T$  であり、縦軸は液滴速度を示す。時間窓は  $0.1\text{ms}$  である。噴霧中心である  $x=0\text{mm}$  の場合、 $T=0.8$  から  $1.3\text{ms}$  の間の噴霧初期において液滴速度は増加する傾向を示し、 $T=1.3$  から  $2.8\text{ms}$  の間の噴射中期において変化が小さく、 $T=2.8\text{ms}$  以降において減少した。 $x=0.3$  および  $0.6\text{mm}$  の場合、 $T=0.8$  から  $1.3\text{ms}$  の間の噴霧初期において液滴速度は増加する傾向を示し、 $T=1.3$  から  $2.8\text{ms}$  の間の噴射中期においてやや変動し、 $T=2.8\text{ms}$  以降において減少した。 $x=0.9$  および  $1.2\text{mm}$  の場合、期間を通して変化が小さい。図 9(b) は液滴サイズの時間変化である。いずれの半径位置においても  $T=0.8$  から  $0.9\text{ms}$  の間で液滴サイズが減少した。ノズル内には開弁機構があり、開弁直後はノズル内部の乱れの増加により噴霧角が増加することが報告されており<sup>6)</sup>、これは図 8 において噴射の初期に噴霧角が増加したことと整合しており、また、ノズル内乱れの増加により液滴サイズが減少したものと考えられる。噴霧中心である  $x=0\text{mm}$  の場合、液滴サイズは  $T=0.9$  から  $2.3\text{ms}$  の間で増加し、 $T=2.3\text{ms}$  以降で減少する傾向を示した。 $x=0.3, 0.6, 0.9$  および  $1.2\text{mm}$  の場合、期間を通して変化が小さい。



(a) 速度



(b) サイズ

図9 液滴の速度とサイズの時間変化

### 3.3 質量流量および噴射量の評価

液滴間の飛行方向の距離  $L_d$  は、液滴が測定点を通過した後、次の液滴が通過するまでの液滴時間間隔  $\Delta T$  と液滴の速度  $V_p$  の積で推定される。

$$L_d = V_p \cdot \Delta T \quad (3)$$

噴霧の質量流量  $m_f(x, T)$  は、単位時間に測定点を通過する各液滴の質量の総和である。直径  $F$ 、長さ  $L$  の焦点を液滴サイズ  $D_p$  が通過するとき、L2F の計測可能面積  $A$  は以下の式で求められる。

$$A = \{L + D_p(x, T)\} \cdot \{F + D_p(x, T)\} \quad (4)$$

液滴サイズ  $D_p$  から体積  $V$  を求め、密度  $\rho$  を掛けることで液滴の質量を求めることができ、求めた質量を液滴時間間隔  $\Delta T$  と測定可能面積  $A$  で割ることで、次式のように単位面積当たりの質量流量を求めることができる。

$$m_f(x, T) = \frac{\rho \cdot \sum V(x, T)}{\sum [\Delta t(x, T) \cdot \{L + D_p(x, T)\} \cdot \{F + D_p(x, T)\}]} \quad (5)$$

また、噴射期間にわたる全燃料質量  $M$  を次式によって見積もることができる。

$$M(x, T) = \sum_x \sum_t m_f(x, T) \Delta A(x) \Delta T \quad (6)$$

なお,  $\Delta A$  は幅 $\Delta x$  のリング状断面であり, 次式より求めることができる.

$$\Delta A(x) = 2\pi x \Delta x \quad (7)$$

図 10 は単位面積当たりの質量流量の時間変化を示す. いずれの半径位置においても  $T=0.8$  から  $0.9\text{ms}$  の間で単位面積当たりの質量流量が減少した. 前述のようにノズル内部の乱れの増加により噴霧角が増加したため, 噴霧液滴が分散し, 単位面積当たりの質量流量が低下したものと判断される. 噴霧中心である  $x=0\text{mm}$  の場合, 単位面積当たりの質量流量は  $T=0.9$  から  $2.3\text{ms}$  の間で増加し,  $T=2.3\text{ms}$  以降で減少する傾向を示した.  $x=0.3, 0.6, 0.9$  および  $1.2\text{mm}$  の場合, 期間を通して変化が小さい.

式(6)より噴射期間にわたる全燃料質量を算出したところ約  $5.35\text{mg}$  であり, 重量法で求めた噴射量である  $5.38\text{mg}$  に対して約  $99\%$ であった. 計測点を通過したほぼすべての液滴を計測されたものと考えられる.

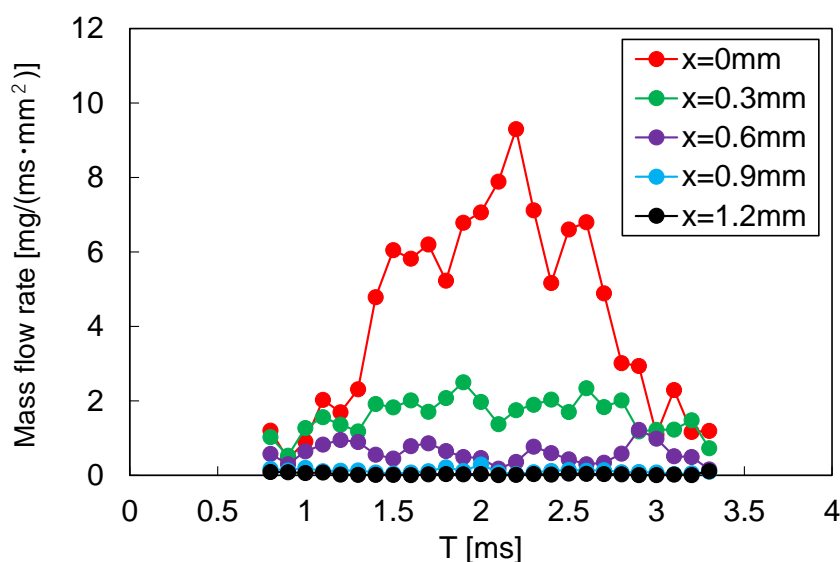


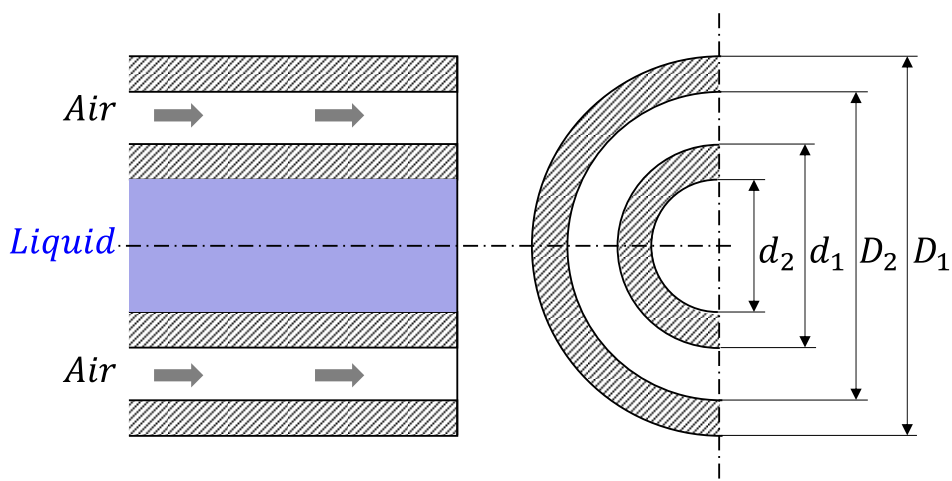
図 10 単位面積当たりの質量流量の時間変化

## 第4章 2流体ノズル

### 4.1 圧力と流量の関係

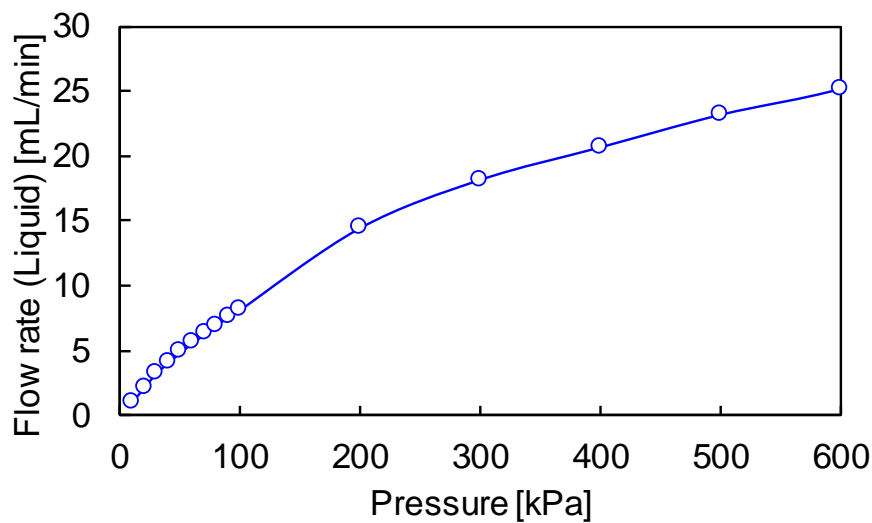
2流体ノズルとして図11のように内管から液体が、外管と内管の間の円環部から空気が噴射されるノズルを用いた。作動流体は水である。また、供試ノズルとして寸法の異なる2種類の2流体ノズル、Nozzle A および B を用いた。

図12(a)はNozzle Aの液側にコンプレッサーを用いて圧力をかけた場合におけるコンプレッサーの圧力と作動流体の流量の関係を示し、図12(b)はNozzle Aの空気側にコンプレッサーを用いて圧力をかけた場合におけるコンプレッサーの圧力と空気の流量の関係を示す。いずれの場合においても流量は圧力に比例している。

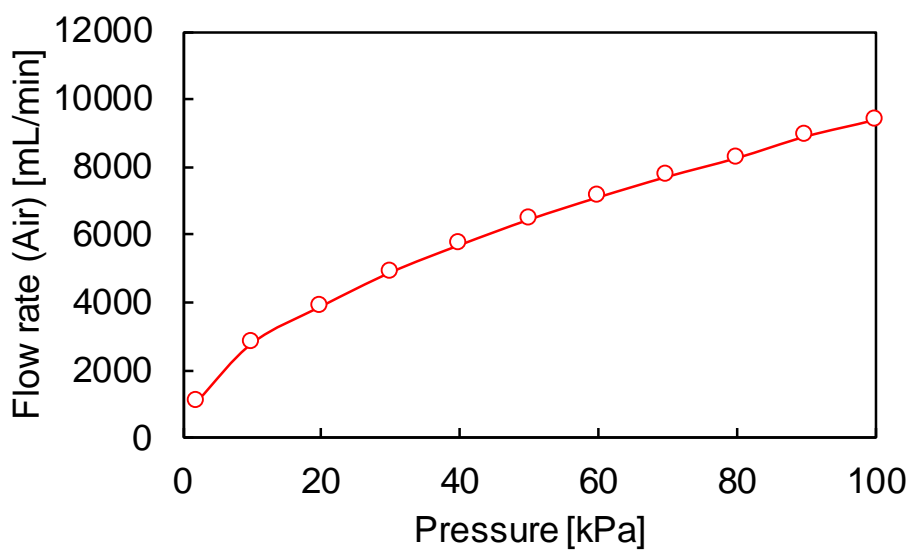


Diameter[mm]	$D_1$	$D_2$	$d_1$	$d_2$
Nozzle A	1.5	1.1	0.7	0.3
Nozzle B	2.0	1.6	1.0	0.6

図11 2流体ノズルの形状とNozzle A および B の寸法



(a) 液側



(b) 空気側

図12 圧力と流量の関係, Nozzle A

#### 4.2 画像計測 (Nozzle A)

Nozzle A を用いた場合の噴霧画像を取得した。まず液側圧力を変化させたときの噴霧画像を取得した。図13(a), (b)および(c)はそれぞれ液側圧力が 20, 60 および 100kPa の場合の噴霧画像を示す。空気側圧力は 350kPa に設定した。液側圧力が低い場合に比べて高い場合の方が粗悪な液滴が生成され

ている。

次に空気側圧力を変化させたときの噴霧画像を取得した。図 14(a), (b)および(c)はそれぞれ空気側圧力が 0, 250 および 500kPa の場合を示す。液側圧力は 60kPa に設定した。空気側圧力が低い場合に比べて高い場合の方が微細な液滴が生成されている。

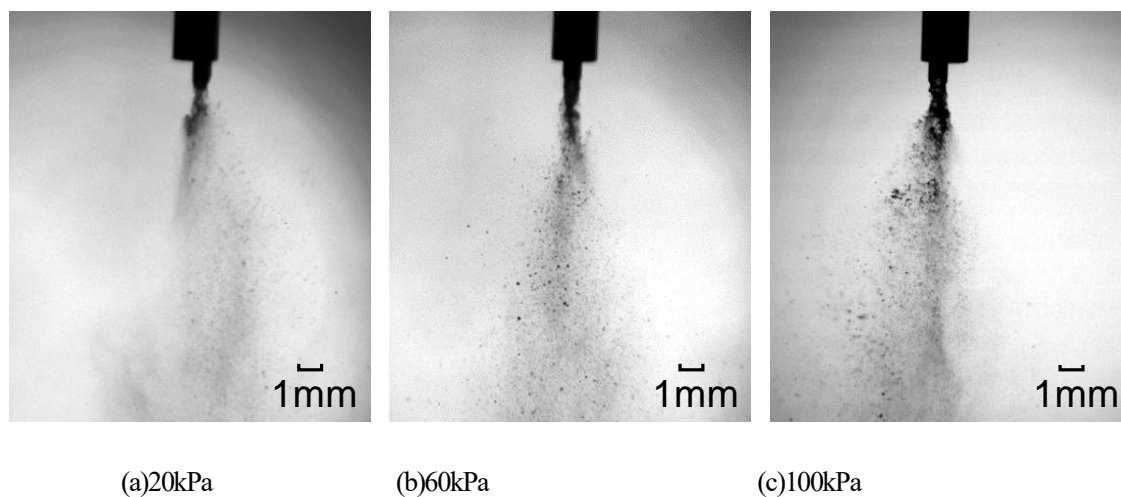


図 13 液側圧力を変化させたときの噴霧画像, Nozzle A

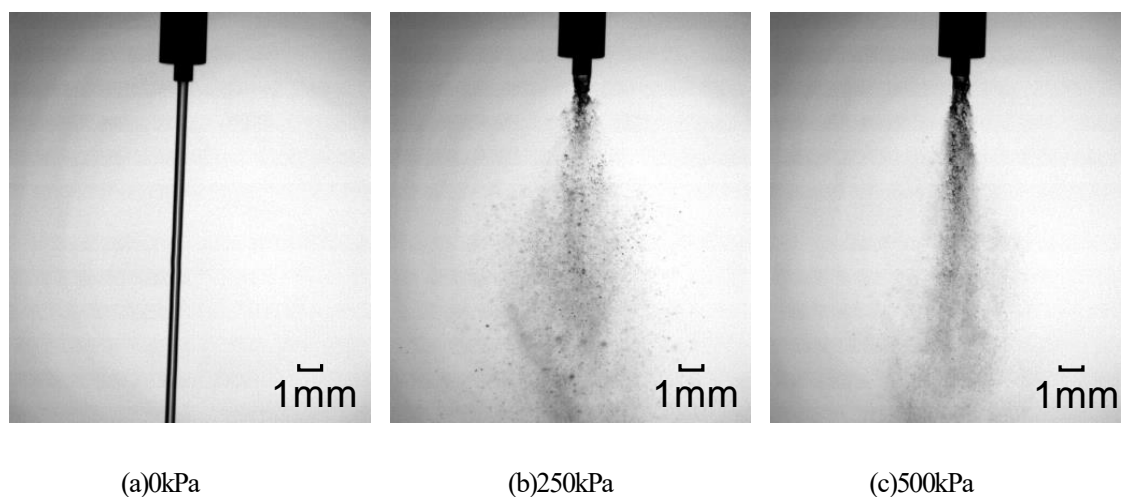


図 14 空気側圧力を変化させたときの噴霧画像, Nozzle A

#### 4.3 画像計測 (Nozzle B)

次に Nozzle B を用いた場合の噴霧画像を取得した。図 15(a), (b)および(c)はそれぞれ液側圧力が 20, 60 および 100kPa の場合を示す。空気側圧力は 350kPa に設定した。Nozzle A の場合と同様に、液側圧力が低い場合に比べて高い場合の方が粗悪な液滴が生成されている。

空気側圧力を変化させたときの噴霧画像を取得した。図 16(a), (b)および(c)はそれぞれ空気側圧力が 0, 250 および 500kPa の場合を示す。液側圧力は 60kPa に設定した。Nozzle A の場合と同様に、空気側圧力が低い場合に比べて高い場合の方が微細な液滴が生成されている。

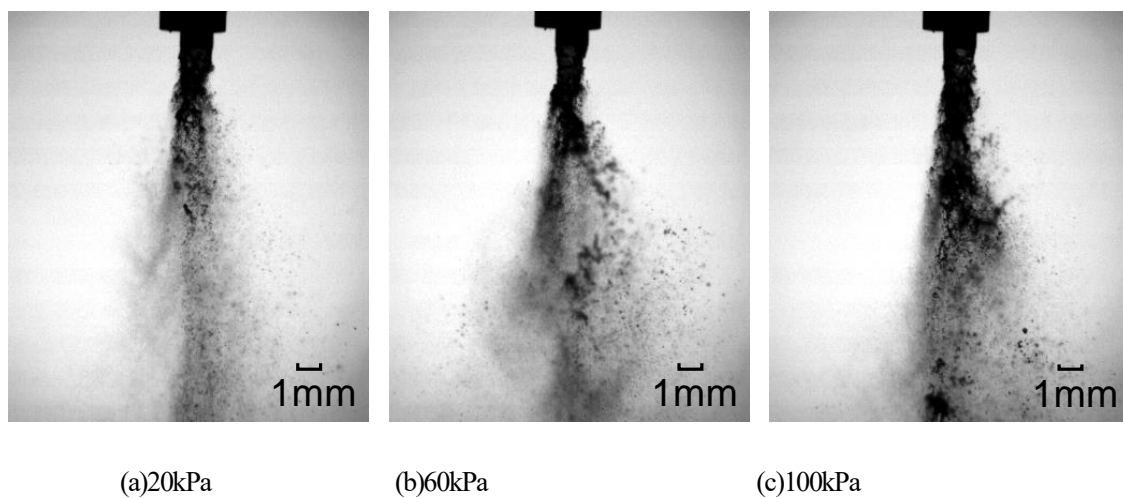


図 15 液側圧力を変化させたときの噴霧画像, Nozzle B

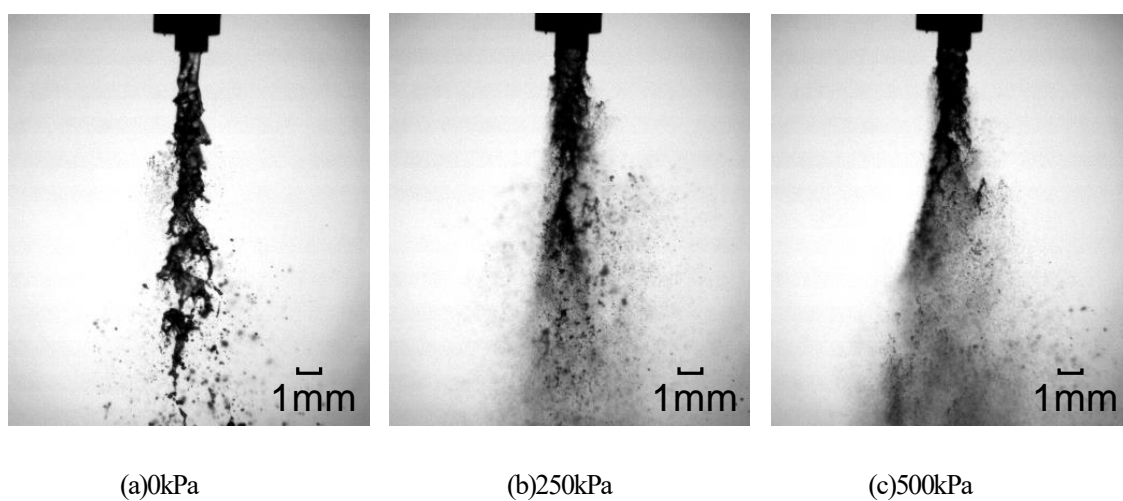


図 16 空気側圧力を変化させたときの噴霧画像, Nozzle B



#### 4.4 Nozzle A および B の問題点と新しいノズルの開発

Nozzle A および B を用いて作動流体を噴射する際、図 17 に示すように内管が振動した。この振動は液側、空気側の圧力に関係なく生じた。これは内管が長いことに起因する。そこで内管が振動しないノズルを開発することとした。

図 18 は新たに製作した Nozzle C の寸法を示す。内管の内径および外径、外管の内径については Nozzle A に近い。図 19 は作動流体を噴射したときの噴霧画像およびノズル出口部の拡大図を示す。図 17 に示した Nozzle A および B に比べて Nozzle C の方が明らかに振動の振幅が小さくなった。

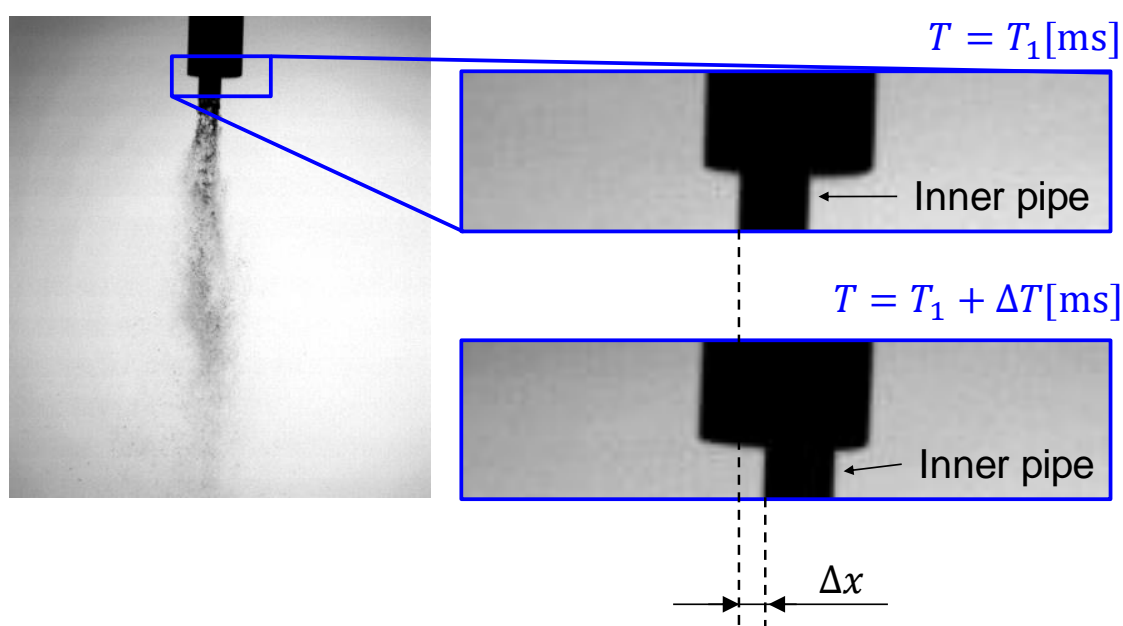


図 17 内管の振動, Nozzle A

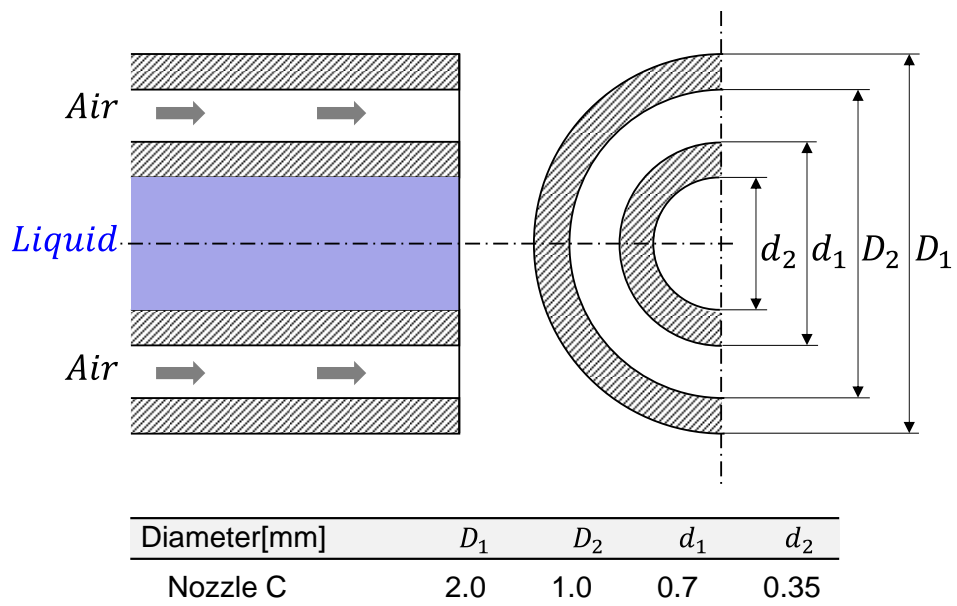


図 18 Nozzle C の寸法

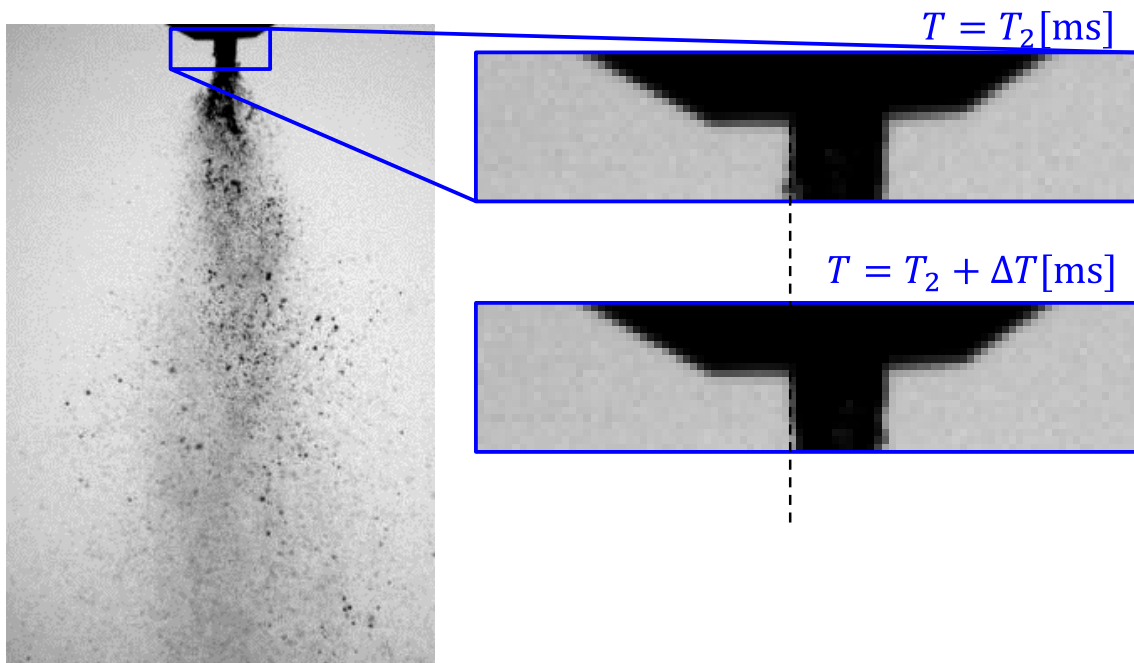


図 19 内管の振動, Nozzle C

#### 4.5 画像計測 (Nozzle C)

Nozzle C を用いた場合の噴霧画像を取得した。図 20(a)および(b)は液側圧力が 100 および 500kPa の場合の噴霧画像を示す。空気側圧力は 100kPa に設定した。液側圧力が低い場合に比べて高い場合の方が粗悪な液滴が生成されている。これは供給される液体の流量が高く、初生液滴が大きいためと考えられる。

空気側圧力を変化させたときの噴霧画像を取得した。図 21(a)および(b)はそれぞれ空気側圧力が 30 および 100kPa の場合を示す。液側圧力は 600kPa に設定した。空気側圧力が低い場合に比べて高い場合の方が微細な液滴が生成されている。ここで、液滴の分裂形態を決定する無次元数であるウェーバ数  $We$  は以下の式で求められる。

$$We = \frac{\rho_g V_{rel}^2 D_p}{\sigma} \quad (8)$$

ここで  $\rho_g$  は雰囲気密度、 $D_p$  は液滴サイズ、 $\sigma$  は液滴の表面張力である。 $V_{rel}$  は空気速度と液滴速度の相対速度であり、以下の式で求める。

$$V_{rel} = V_p - V_{air} \quad (9)$$

ここで  $V_p$  は液滴の速度、 $V_{air}$  は空気速度である。空気速度の増加に伴い相対速度が増加し、 $We$  数が増加したため液滴の分裂が活発となり、液滴サイズが減少したと考えられる。

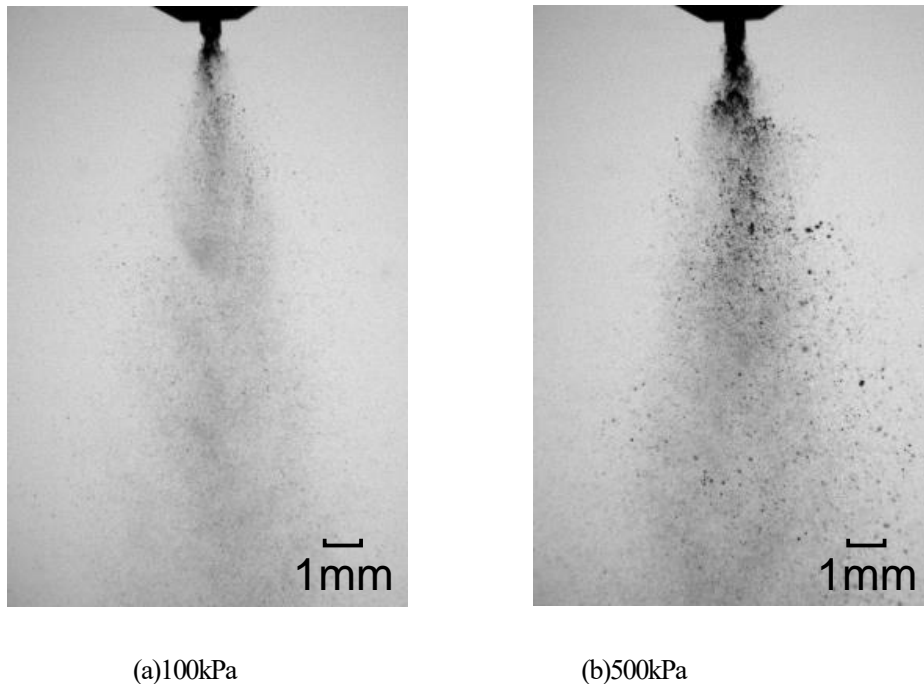


図 20 液側圧力を変化させたときの噴霧画像, Nozzle C

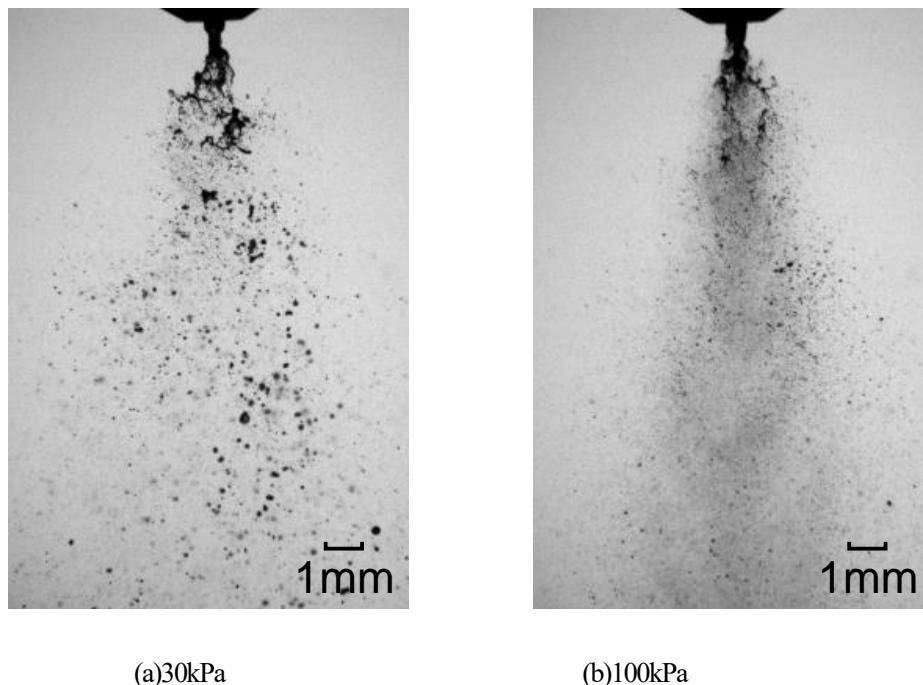


図 21 空気側圧力を変化させたときの噴霧画像, Nozzle C

#### 4.6 噴霧角の評価 (Nozzle C)

図 20 および 21 に示した Nozzle C の噴霧画像において噴霧液滴間の距離が明確に確認することができ、ある時刻の画像における噴霧角の評価を行うことが難しい。そこで、取得した 100 枚の画像の各ピクセルの平均輝度を算出し、100 枚の噴霧画像の平均噴霧画像を作成し、その画像から噴霧角を求めることとした (図 22)。

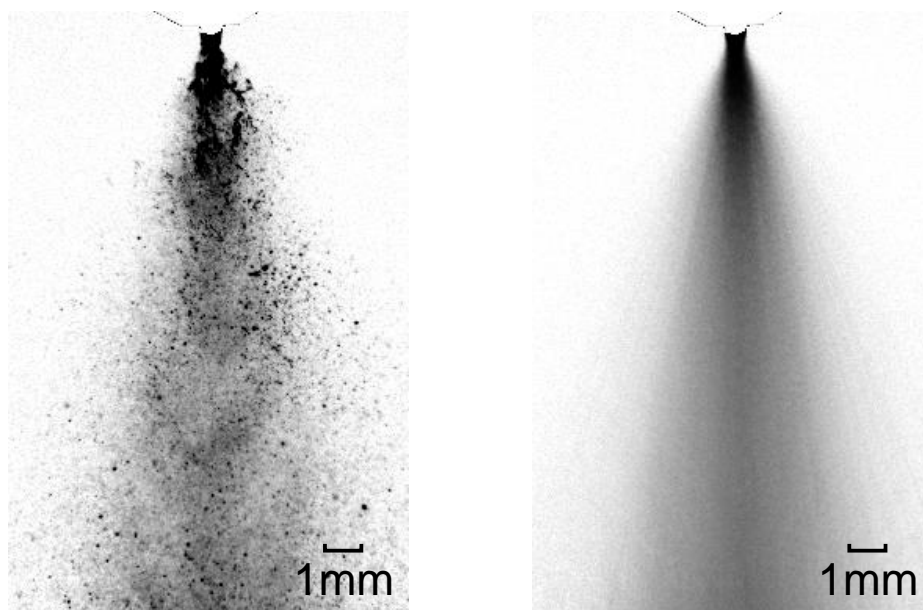
図 23 は平均噴霧画像の  $z = 10\text{mm}$  における輝度分布を示す。最大輝度の 90% を噴霧外縁とした。  $z = 10\text{mm}$  の噴霧外縁と噴孔のなす角度を噴霧角とした。噴霧角の時間変化を求めた。

図 24 は液側圧力を変化させたときの平均噴霧画像の噴霧角を示す。空気側圧力は 100kPa である。図 25 は空気側圧力を変化させたときの平均噴霧画像の噴霧角を示す。液側圧力は 600kPa である。Nozzle C における噴霧角はおよそ 50 から 75° であり、図 8 に示した 1 流体ノズルの噴霧角 15 から 50° に比べて、2 流体ノズルである Nozzle C の噴霧角は大きい。

最大輝度の 80% を示した半径位置より内側を高濃度領域とし、高濃度領域の端と噴孔のなす角度を高濃度領域角とした。図 26 は液側圧力を変化させたときの噴霧角と高濃度領域角を示す。液側圧力の増加に伴い噴霧角および高濃度領域角が増加した。液側圧力に対する噴霧角の増加割合と、液側圧力に対する高濃度領域角の増加割合の差はそれほど大きくない。液側圧力の調整により、作動流体

の塗布範囲の調整が可能と判断される。

図 27 は空気側圧力を変化させたときの噴霧角と高濃度領域角を示す。いずれの空気側圧力においても噴霧角はおよそ  $70^\circ$  であった。一方、空気側圧力の増加に伴い高濃度領域角は増加した。空気側圧力の調整により、作動流体を集中して塗布する領域の調整が可能と判断される。



(a)1 枚の噴霧画像

(b)平均噴霧画像

図 22 噴霧画像と 100 枚の噴霧画像から作成した平均噴霧画像, Nozzle C

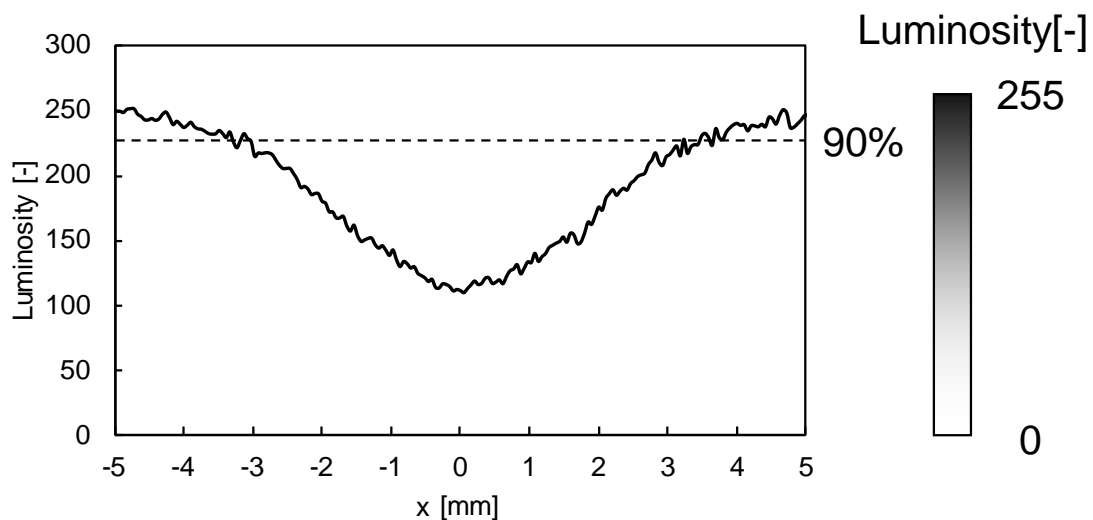


図 23 平均噴霧画像の  $z=10\text{mm}$  における輝度の空間分布, Nozzle C

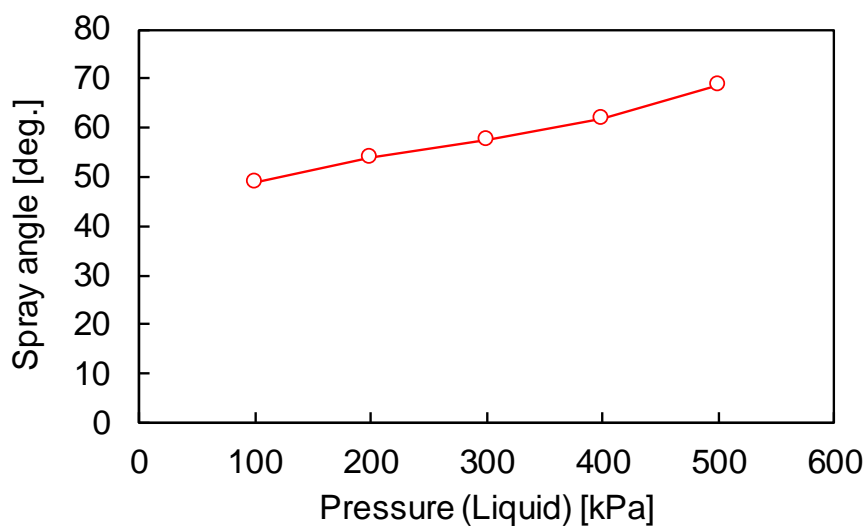


図 24 液側圧力を変化させたときの平均噴霧画像の噴霧角, Nozzle C

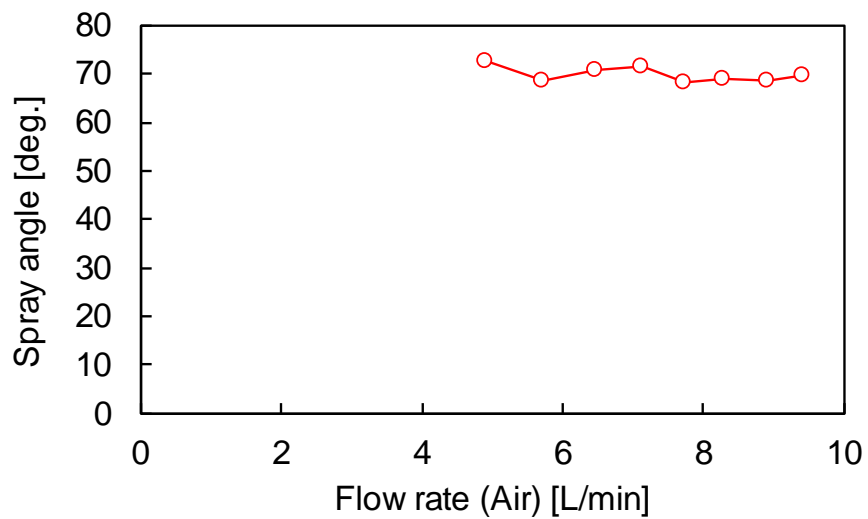


図 25 空気側圧力を変化させたときの平均噴霧画像の噴霧角, Nozzle C

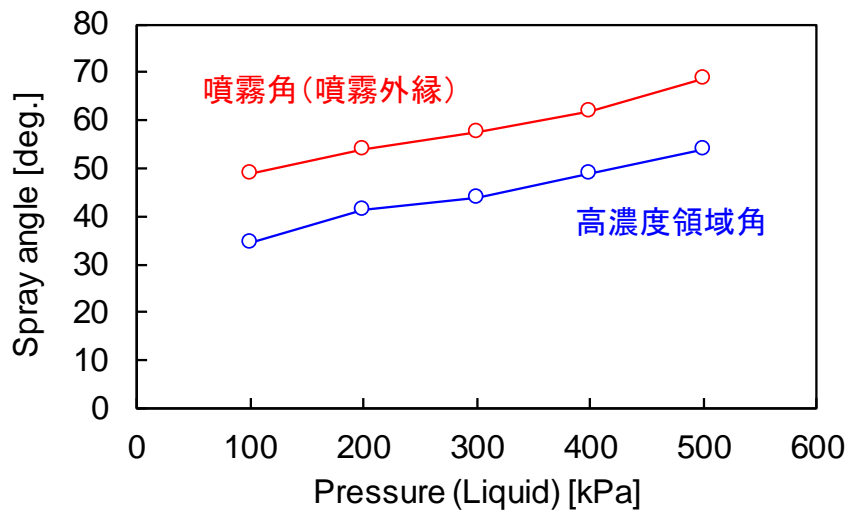


図 26 液側圧力を変化させたときの噴霧角と高濃度領域角, Nozzle C

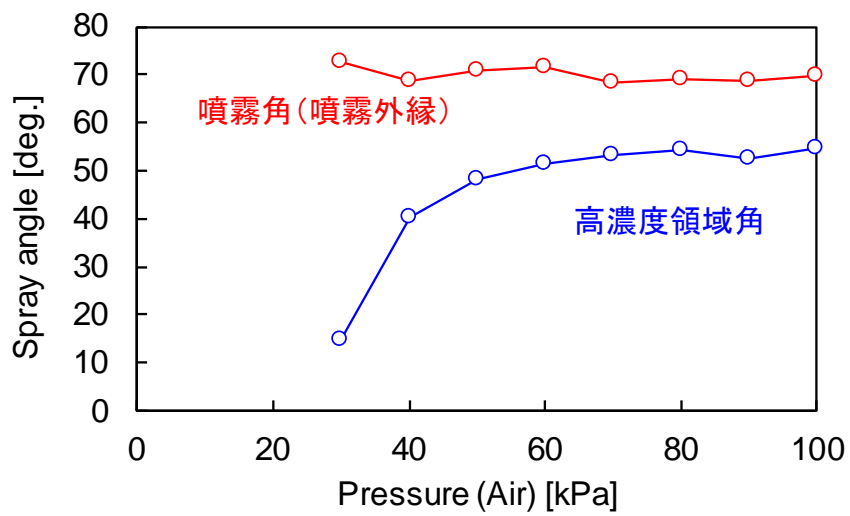


図 27 空気側圧力を変化させたときの噴霧角と高濃度領域角, Nozzle C

## 第5章 まとめ

本研究では1流体ノズルおよび2流体ノズルから噴射された液体の噴霧を、高速度カメラを用いて計測した。

- 1流体ノズルから40MPaの圧力で噴射した場合の最大噴霧角が50度程度であった。一方、2流体ノズルの液体側圧力を0.1から0.5MPaの範囲で変化させ、気体側圧力を0.03から0.1MPaの範囲で変化させた場合の噴霧角は50から75度程度であった。作動流体が異なるものの、2流体ノズルを用いることで1流体ノズルに比べて広い噴霧角が得られると考えられる。
- 2流体ノズルにおいて、液体側圧力の調整により液体の塗布範囲の調整が、気体側圧力の調整により集中して作動流体を塗布する領域の調整が可能である。

また、噴霧内部液滴の計測を目的にレーザー2焦点流速計を製作した。

- 1流体ノズルから噴射された噴霧において、噴霧中心を含む噴霧液滴の計測を実施し、噴霧内部の質量分布を評価した。
- 噴霧内部の質量分布から求めた噴射量と重量法で求めた噴射量がほぼ一致することを確認した。

今後は2流体ノズルから噴射された噴霧液滴をレーザー2焦点流速計を用いて計測し、2流体ノズルにおける液滴の分裂特性の解明を目指す。



参考文献

- (1) 谷口淳, ナノインプリント用金型作製技術, 精密工学会誌, Vol. 76, 2010
- (2) 天野憲広, 井澤龍介, 佐々木英人, 青山俊三, 吉田誠, 岡田裕二, アルミニウム合金ダイカストの離型剤, 鑄造工学, Vol. 87(11), 2015
- (3) 青山俊三, 砂田昌弘, 坂本勝美, 梅村晃由, アルミニウム合金ダイカストの鑄物と金型間の摩擦係数, 軽金属, Vol. 41, 1991
- (4) 佐々木英人, ダイカストの最新技術動向, 素形材, Vol. 74, No. 10, 2010
- (5) Moon, S., Huang, W. and Wang, J., First observation and characterization of vortex flow in steel micronozzles for high-pressure diesel injection, Journal of experimental thermal and fluid science, Vol. 105, pp. 342-348(2019)