

K-1

## 円形空気噴流のサイドジェット形成に生じるヒステリシス現象

## Hysteresis Phenomenon of Side-jets Formation in a Round Air Jet

○森涼太<sup>1</sup>, 村松旦典<sup>2</sup>\*Ryota Mori<sup>1</sup>, Akinori Muramatu<sup>2</sup>

Side jets are radial ejections formed at the initial region of a jet. The formation of side jets is concerned with the velocity gradient of a jet and estimated by non-dimensional momentum thickness. The non-dimensional momentum thickness for the side-jets formation has upper and lower limits. The hysteresis phenomenon in the side-jets formation is confirmed by flow visualization.

## 1. 緒言

円形ノズルから噴出させた気体がノズル出口近傍において、噴出気体が主流方向の他に半径方向へ噴出する現象が起こる。この現象はサイドジェットと呼ばれている<sup>[1]</sup>。当初の研究では、周囲気体密度に比べて密度の小さい気体を噴出させることによって、出口近傍においてサイドジェットの発生が確認され、サイドジェットが形成される条件は噴出気体と周囲気体の密度比  $S$  が 0.7 以下とされていたが<sup>[1]</sup>、近年の実験で  $S=1$  の空気噴流でもサイドジェットの発生が確認されている<sup>[2]</sup>。サイドジェットの形成はノズル出口での噴流の速度勾配も関係し、速度勾配を運動量厚さで定量化しノズル出口直径で無次元化した無次元運動量厚さで評価されている。サイドジェットが形成する無次元運動量厚さの値には上限値と下限値がある<sup>[3]</sup>。また、噴流の噴出速度の設定方法によりサイドジェットが発生する無次元運動量厚さの閾値にヒステリシスがあることが確認された<sup>[3]</sup>が、現象の解明には至らなかった。本研究ではヒステリシス現象の解明に向けて実験を行う。ここでは、ヒステリシス現象を確認するために行った噴流の可視化実験について説明する。

## 2. 実験装置及び実験方法

実験装置の概略図を図1に示す。空気噴流を円形ノズルから静止空気中に鉛直上方へ噴出する。実験ではノズル出口直径  $D_0$  が 8 mm、縮流比が 68.1 のノズルを使用した。実験は噴流のレイノルズ数  $Re$  が 1,000 から 10,000 の範囲で行った。 $Re$  の代表速度はノズル出口中心での噴出速度  $U_{c0}$ 、代表長さは  $D_0$  である。

実験条件を表1に示す。ノズル出口での噴流の噴出速度は、ノズル出口付近に外径 1.2 mm のピトー管を置いて、デジタルマノメーターを用いて測定した。レーザーシートを使用して噴流を可視化するため、噴流にはミー錯乱粒子としてオイルミストを混入した。厚さ 1 mm のレーザーシートをシリンドリカルレンズによ

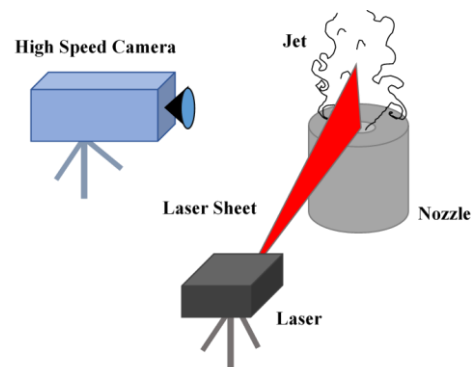


Figure 1. Experimental equipment

Table 1. Experimental conditions.

Gas	Air
Density ratio, $S$	1
Nozzle diameter, $D_0$ (mm)	8
Jet Reynolds number	1,000 – 10,000
Issuing velocity $U_{c0}$ for $D_0 = 8\text{mm}$ (m/s)	1.93 – 19.3
Shooting speed (fps)	5000
Shutter speed (sec)	1/5041
Resolution (pixel)	1024 × 512
Laser power (W)	2

り作成し、ノズル出口中心軸を通る噴流に照射した。可視化された噴流はハイスピードカメラを用いて撮影した。カメラに使用したレンズは、A1AF Micro-Nikkor 200 mm f/4D IF-ED である。

## 3. 実験結果

## 3.1 サイドジェット形成範囲

$Re$  が 1,000 から 10,000 の各  $Re$  において、サイドジェットが形成される範囲を確認する実験を行った。 $Re$  が 1,000 から 5,000 までの可視化画像を図2に、 $Re$  が

1 : 日大理工・学部・航宇 2 : 日大理工・教員・航宇

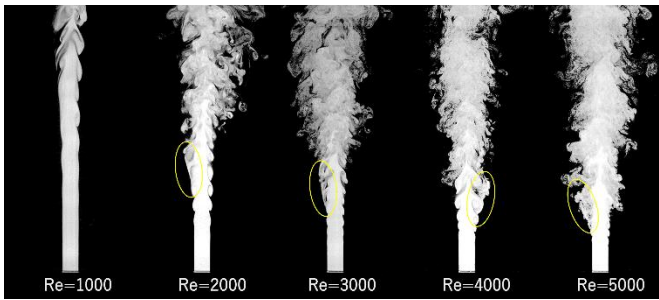


Figure 2. Visualization photograph( $Re=1,000\sim5,000$ )

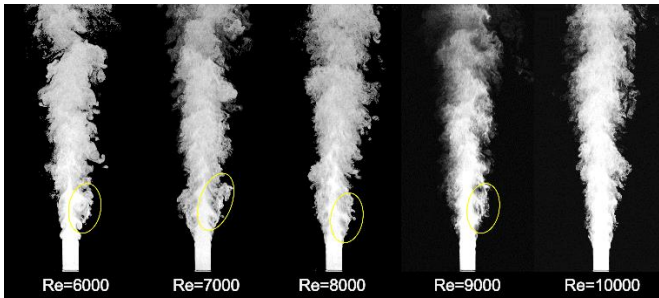


Figure 3. Visualization photograph ( $Re=6,000\sim10,000$ )

6,000 から 10,000 までの可視化画像を図 3 に示す.  $Re$  が 2,000 から 9,000 において, 黄色丸で示した部分にサイドジェットと思われる現象が発生している. このことから,  $Re$  が 1,000 から 2,000 及び 9,000 から 10,000 の間にサイドジェットが発生, 消失する  $Re$  がある.

### 3.2 サイドジェット形成のヒステリシス現象

サイドジェットのヒステリシス現象の再現性を調べる実験を行った.  $Re$  を 1,000 に設定し, サイドジェットが確認できるまで徐々に流速を上げた. また,  $Re$  を 2,000 に設定しサイドジェットが消失するまで徐々に流速を下げた. サイドジェットの発生, 消失を確認できた可視化画像を図 4 と 5 に示す. サイドジェットの形成と  $Re$  の関係を表 2 に示す. サイドジェットが発生しない  $Re$  を 1,000 から流速を上げた場合とサイドジェットが発生する  $Re$  を 2,000 から流速を下げた場合とで, サイドジェットの形成する  $Re$  に違いが生じる. すなわち, 噴流の噴出速度の設定方法によってサイドジェットが発生する  $Re$  の閾値にヒステリシス現象があると考えられる.

### 4. 今後の予定

サイドジェットにヒステリシス現象があることを再現できた. 今回は下限の  $Re$  について実験を行っているが, 上限の  $Re$  についても同様に調べる. ノズルの出口直径や縮流比を変えたノズルを使用して同様の実験を行い, 無次元運動量厚さで閾値のヒステリシスを調べる.

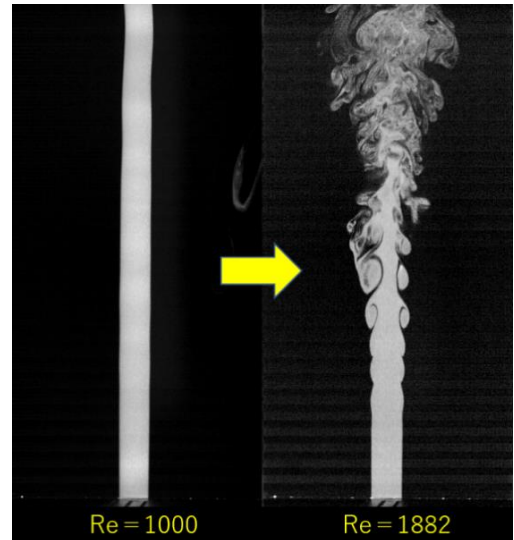


Figure 4. Visualization photograph

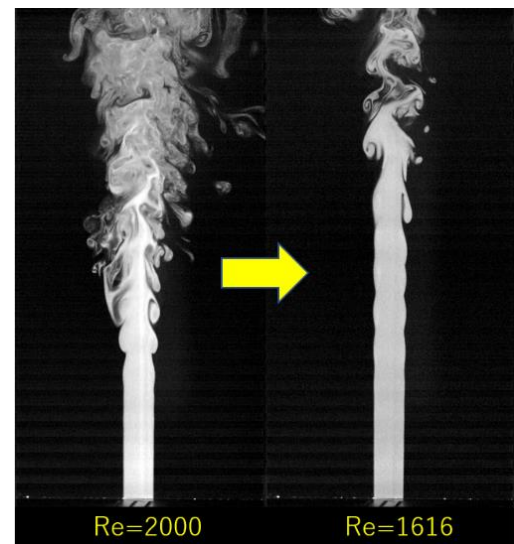


Figure 5. Visualization photograph

Table.2 Relationship between  $Re$  and Side-jets formation.

$Re$	Side-jets	$Re$	Side-jets
1,000	×	2,000	○
1,882	○	1,616	×

○ : サイドジェット形成, × : 形成しない

### 5. 参考文献

- [1] 金田康宏, サイドジェット発生のための噴出条件と非対称構造, 日本大学大学院修士論文, (2012).
- [2] 村松 旦典, 齋藤 真興, 川邊 健太, 菊池 崇将, 円形等密度気体噴流中に形成されるサイドジェット, 日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集, (2015) .
- [3] 加藤優志, 円形・等密度噴流のサイドジェットの形成と速度勾配の関係, 日本大学大学院修士論文, (2019) .