

K3-17

空気およびヘリウムガス噴流に形成されるサイドジェットの PIV による計測

PIV Measurements of Side Jets in Helium Gas and Air Jet

○戸井健夫¹, 村松旦典²*Takeo Toi¹, Akinori Muramatsu²

Side jets are radial ejections of the jet fluid in the initial region. Helium gas and air were vertically discharged from a round nozzle into the still air. The velocity and vorticity fields in the initial region of the helium gas and air jets with side-jets formation were measured using a PIV in order to investigate a relationship between side-jet formation and vortex structures.

1. 緒言

サイドジェットは噴流初期領域において主流と別れて外側方向に噴出する現象^{[1][2]}であるが、サイドジェットの発生条件および構造は未だによくわかっていない。本研究では、サイドジェットが生じる条件で静止空气中に円形ノズルより空気またはヘリウムガスを鉛直上方に噴出した噴流の初期領域で、サイドジェットの形成過程と噴流剪断層で形成される渦輪と縦渦との関係を調べるため、PLMS を利用して主流方向の断面の可視化と、PIV を利用して主流方向とそれに直交する方向の断面について速度場と渦度場の測定を行った。

2. 実験装置および方法

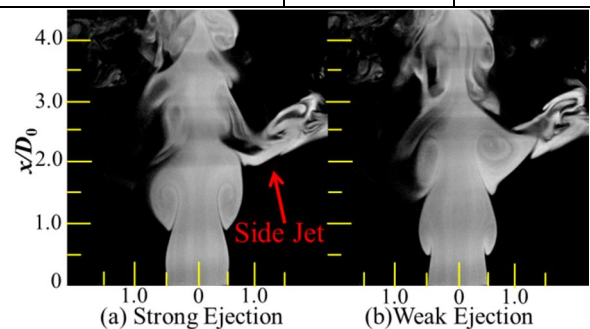
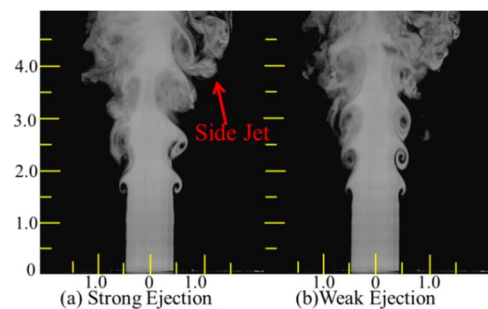
噴流は出口直径 D_0 が 12 mm で、面積縮流比が 30 の円形ノズルを使用して形成した。ヘリウムガス噴流のレイノルズ数 Re はサイドジェットが発生する下限に近い 800 に設定し、空気噴流ではヘリウムガス噴流の U_{c0} に合わせて設定し、それぞれを静止空气中に鉛直上方へ噴出するした。PLMS と主流方向 PIV 計測の実験装置および方法はこれまでのものと同様である^[3]。水平方向 PIV の実験では、オイルミストをトレーサー粒子として噴流及び周囲空气中に混入した。周囲空气にシードさせたトレーサー粒子が拡散しないように、水平方向断面の測定では $260 \times 260 \times 440$ mm のアクリルダクトをノズルを取り囲むように設置した。パルスエネルギーが 65 mJ、パルス幅が 6~8 ns の Nd:YAG ダブルパルスレーザーを、シリンダカルレンズを通して厚さ約 1 mm のレーザーシートにして照射した。粒子からの散乱光は解像度が 2048×2048 pixel の CCD カメラによって記録した。画像はソフトウェア DynamicStudio を用いてオーバーラップを 50 % に設定し、検査領域 64×64 pixel で処理を行った。測定範囲はそれぞれ 36×36 mm とした。本計測における画像分解能は 0.16 mm/pixel である。レーザーのパルス間隔は表 1 に示すように計測断面流速に合わせて設定した。

3. 実験結果

図 1 に主流（鉛直）方向の可視化画像を示す。ヘリウムガス噴流では図 1 より、 $x/D_0 = 1.0$ 付近で渦輪が形成し始め、 $x/D_0 = 2.0$ 付近でサイドジェットが発生しているが、同一噴出速度の空気噴流では図 2 より $x/D_0 = 1.5$ 付近で渦輪が形成し始め、 $x/D_0 = 4.0$ 付近でサイドジェットが発生している。図 1, 2 はそれぞれサイドジェットの流速が大きい場合と小さい場合の画像を示している。

Table 1. Experimental conditions

Jet Fluid	He	Air
Density ratio	0.14	1.0
Reynolds number Re	800	6310
Issuing velocity U_{c0} [m/s]	8.13	8.13
Time between pulses [s] (Horizontal direction)	29	10

Fig.1 Visualized He gas jets ($Re = 800$, $U_{c0} = 8.13$ m/s)Fig.2 Visualized air jets ($Re = 6310$, $U_{c0} = 8.13$ m/s)

1 : 日大理工・院 (前)・航宇 2 : 日大・教員・航宇

図 3 と図 4 に主流（鉛直）方向に計測したヘリウムガスと空気噴流の速度と渦度を示す。図 3, 4 のそれぞれ上側の図が速度，下側の図が渦度を示している。また，上下の速度と渦度は同じ時間である。ヘリウムガス噴流の場合，図 3 の(a)と(b)より $x/D_0 = 1.75$ 付近の左側の赤丸の場所でサイドジェットが，その上流にある渦輪が傾斜して先行する渦輪の下側から比較的高速（噴出速度の 60 %以上の速度）で噴出している。また，0.135 s 後の図 3(c)と(d)では，渦輪の一部が剥がれてサイドジェットが低速で噴出している。空気噴流では，図 4 の(c)と(d)より， $x/D_0 = 4.0$ 付近での左側の赤丸の場所で，サイドジェットが確認でき，ヘリウムガス噴流と同様，サイドジェットは先行する渦輪の下側から高速に噴出している。また，0.135 s 前では渦輪の一部が剥がれて低速で斜め上方向に速度を持つ部分がある。ヘリウムガスと空気噴流の両者ともサイドジェットの形成は渦輪の変形と移動が関わっている。

図 5 と図 6 に水平方向断面で計測したヘリウムガス及び空気噴流の(a)速さ，(b)渦度，(c)半径方向速度のコンター図をそれぞれ示す。計測位置はそれぞれサイドジェットが発生する $x/D_0 = 1.5$ と $x/D_0 = 4.0$ である。ヘリウムガス噴流では図 5 より 2ヶ所の部分でサイドジェットが半径方向外側に強く出て，サイドジェットの両脇で渦度の大きさが正負で高くなっている部分を確認できる。これらの構造からサイドジェットは正負の縦渦対によって外側への流出が生じ，縦渦そのものが伸長してサイドジェットになっているように見える。空気噴流では図 6 より複数箇所噴流の中心から離れた位置で，半径方向外側へ強い速度を持った部分を確認でき，その両脇に渦度が高くなっている部分を確認できる。これらはヘリウムガス噴流の場合と同様であるが，流出領域がかなり小さく，空気噴流の半径方向への流出する流れがサイドジェットなのかは検討が必要である。また，よりサイドジェットの詳細な構造を調べるために，様々な高さで水平方向断面の PIV 計測を行う必要があると考えている。

参考文献

[1] P. A. Monkewitz, W. B. Bechert, B. Barsikow, and B. Lehmann: Self-excited oscillations and mixing in a heated round jet, *J. Fluid Mech.*, 213, pp.611-639, 1990.
 [2] Kyle, D. M. and Sreenivasan, K. R.: The Instability and breakdown of a round variable density jet, *J. Fluid Mech.*, 249, pp.619-664, 1993.
 [3] 戸井健夫, 村松旦典: PIV を用いたサイドジェットを伴う円形噴流初期領域の速度場と渦度場の計測, 日本大学理工学部学術講演会予稿集, 2017

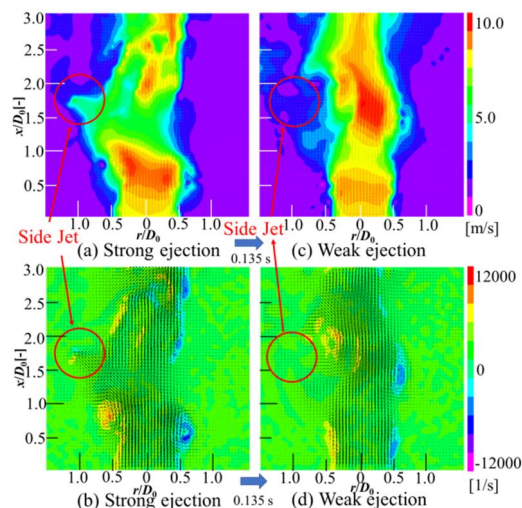


Fig.3 Velocity and vorticity fields of He gas jet ($Re = 800, U_{c0} = 8.13$ m/s, side view)

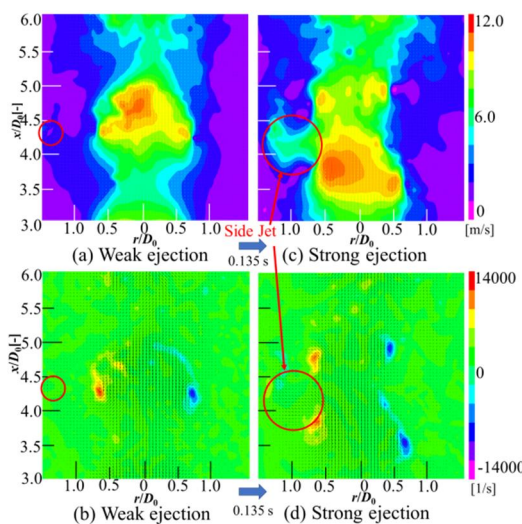


Fig.4 Velocity and vorticity fields of air jet ($Re = 6310, U_{c0} = 8.13$ m/s, side view)

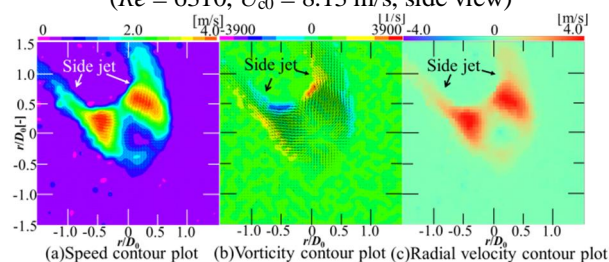


Fig.5 Velocity and vorticity fields of He gas jet ($Re = 800, U_{c0} = 8.13$ m/s, top views)

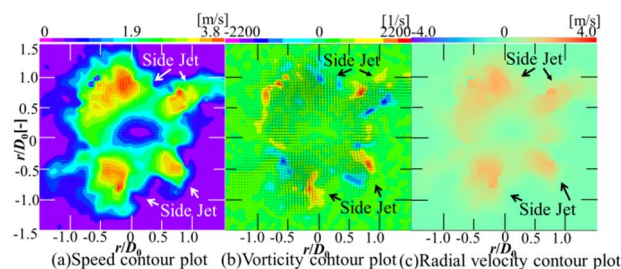


Fig.6 Velocity and vorticity fields of air jet ($Re = 6310, U_{c0} = 8.13$ m/s, top views)