

K3-13

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

Measurement of velocity and vorticity fields in the initial region of a round jet with side-jet formation using a PIV

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

The mixing effect changes with the densities of fluid. When the issuing gas is lower than the ambient gas, the side jets are formed in the initial region of the jet. The side jets are radial ejections of the jet fluid and enhance the mixing between the jet and the ambient fluids. Helium gas and air were vertically discharged from a round nozzle into the still air. The velocity fields in the initial region of the helium gas and air jets were measured using a 2C-2D PIV.

1. 緒言

噴流は燃焼器や混合装置など様々な工業機器に使われていて、これらの工業機器の性能を向上させるために噴流の流れの性質、特に噴流の初期領域の性質を知ることが重要であり、多くの研究がなされている^[1]。ヘリウムガスのような周囲気体より密度が低い気体を噴出させると、半径方向外側に噴出現象が起こる。これらの噴出現象はサイドジェットと呼ばれている^{[2][3]}。サイドジェットの形成メカニズムは未だによくわかっていない。ここでは PLMS による噴流初期領域の断面の可視化と、PIV による噴流の初期領域の速度場と渦度場の計測を試みた。

2. 実験装置及び方法^[4]

ノズルは出口直径 D_0 が 12 mm で、面積縮流比が 30 の円形ノズルを使用した。表 1 に実験条件を示す。レイノルズ数の定義式 $Re = U_{c0}D_0 / \nu_0$ より空気動粘性係数 ν_0 とノズル径 D_0 から、噴出速度 U_{c0} を設定し、ノズルから鉛直上方に空気とヘリウムガスをそれぞれ噴出する。ヘリウムガスのレイノルズ数をサイドジェットが発生する 800 に設定し、空気噴流ではヘリウムガスの Re と U_{c0} にそれぞれ合わせて設定し比較を行う。

可視化実験では、直径 1 μm のオイルミストをトレーサー粒子として用いた。波長 532nm の連続 Nd:YAG レーザーをシリンダリカルレンズを通して約 1 mm の厚さのシート光にし、噴流の中心を通るように照射した。粒子からの散乱光は解像度が 1024 \times 512 pixel のハイスピード C-MOS カメラによって記録した。ここで、シャッター速度は 1/5026 s でフレームレートは 5000 fps である。カメラには F 値を 4.0 にした 200 mm の Micro Nikkor のレンズを取り付けた。撮影された画像はソフトウェア PFV を用いて編集した。

PIV の実験では、可視化に使用したものと同一のオ

イルミストをトレーサー粒子として噴流及び周囲空気中に混入した。周囲空気にシードさせたトレーサー粒子が拡散しないように、260 \times 260 \times 1000 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。粒子は、波長 532 nm で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用いて照射した。レーザービームはシリンダリカルレンズを通して約 1 mm の厚さにし、噴流の軸に沿って照射した。粒子からの散乱光は解像度が 2024 \times 2024 pixel の CCD カメラによって記録した。カメラには F 値を 2.8 にした 105 mm の Micro Nikkor のレンズを取り付けた。撮影された画像はソフトウェア DynamicStudio を用いてオーバーラップを 50% に設定して、検査領域 64 \times 64 pixel で処理をした。サンプリング枚数は 100 枚とし、Trigger rate は 7.4 Hz に設定した。本計測における画像分解能は 0.16 mm/pixel である。パルス間隔は流速に合わせて設定した。パルス間隔を表 1 に示している。

なお、昨年度の学術講演会での要旨では、トレーサー粒子として水滴を用いることを提案したが^[5]、追従性などが悪かったためオイルミストに変更している。

3. 実験結果

図 1 に噴流の可視化写真を示す。ヘリウムガス噴流では図 1(a)より、 $x/D_0 = 1.5$ 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

Table 1. Experimental conditions

Jet Fluid	Helium	Air	
Density ratio	0.14	1.0	
Reynolds number Re	800	800	6310
Issuing velocity U_{c0} [m/s]	8.13	1.03	8.13
Time between pulses [μs]	30	164	30

1 : 日大理工・院 (前)・航宇 2 : 日大・教員・航宇

レイノルズ数の空気噴流は図 1(b)より層流噴流であり、同一の噴出速度の空気噴流では図 1(c)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。

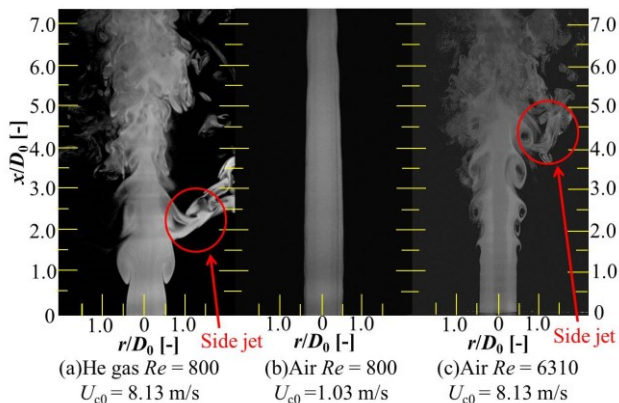


Figure 1. Visualized jets

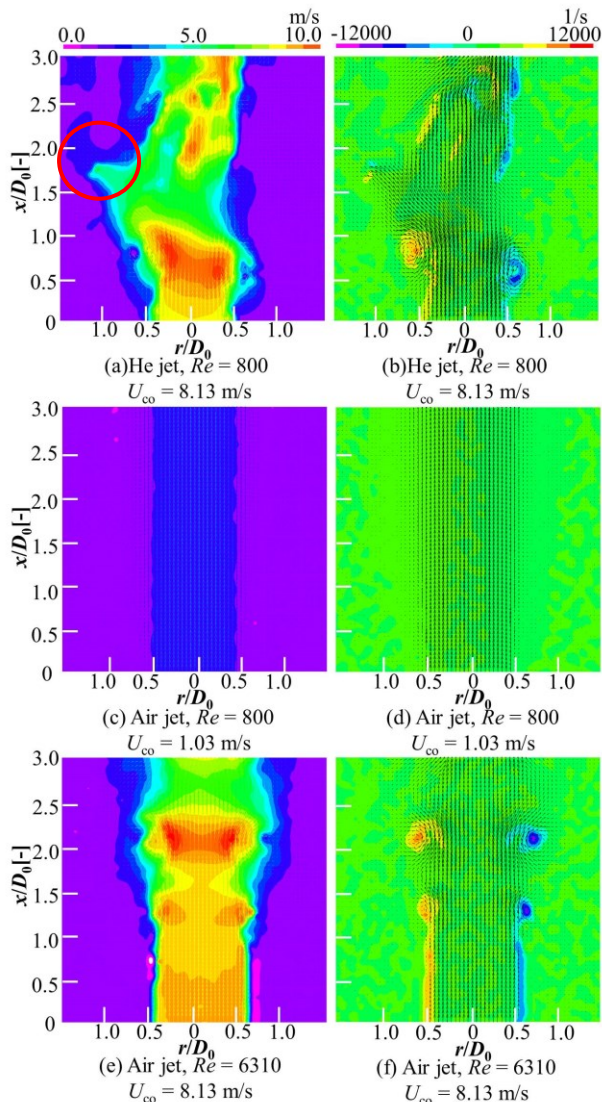


Figure 2. Velocity and vorticity fields of He gas and air jets

PIV で測定した速度場と渦度場をそれぞれ図 2 の左側と右側に示す。空間分解能の関係からノズル出口から $x/D_0 = 3.0$ の位置までが計測範囲となっている。速度場のコンター図は速度の大きさを示している。ヘリウムガス噴流 $Re = 800$ ($U_{c0} = 8.13$ m/s) の場合、図 2 (a)と (b)より、図 1 のときと同様にケルビンヘルムホルツ不安定性により発生した渦輪が確認でき、それにより主流内での速度が大きく変化していることがわかる。 $x/D_0 = 0.7$ 付近より渦輪が発生し、 $x/D_0 = 1.75$ 付近での左側の赤い丸で囲っている場所で、サイドジェットの発生が確認できる。サイドジェットより上流にある渦輪が傾斜し、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。 $Re = 800$ ($U_{c0} = 1.03$ m/s) の空気噴流の場合を示した図 2(c)と(d)より渦輪やサイドジェットの発生がなく、層流噴流となっていることが確認できる。最後に空気噴流 $Re = 6310$ ($U_{c0} = 8.13$ m/s) の場合、図 2 (e)と(f)より、可視化画像で確認したように、 $x/D_0 = 3.0$ までの領域ではサイドジェットの発生は確認できない。また、図 2 (f)より渦度の位置から、それぞれの渦輪の位置は、ノズルに対してほぼ平行となっていることが確認できる。以上よりサイドジェットの形成を伴っている噴流が蛇行していることから、サイドジェットの形成は渦輪の形成だけではなく、噴流の蛇行が関係しているように思われる。

4. 今後の課題

よりサイドジェットについて理解を深めるために、ノズルに対して水平方向の断面で PIV を用いて噴流の速度分布と渦度場の計測を行い、渦輪および縦渦とサイドジェットとの関連性について調べる必要があると考えている。

5. 参考文献

- [1] 豊田国昭：噴流の渦，ながれ，24，pp.151-160，2005.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Takeo Toi, Akinori muramatsu : Measurement of velocity field in the Initial Region of a Round and Low Density Jet Using a 2C-2D PIC, 6th PACME, 2017
- [5] 戸井健夫, 村松旦典, 菊池崇将 : PIV による噴流の速度場の計測, 学術講演会要旨, 2016