K3-53

噴流外側に付加した逆流による円形噴流のサイドジェットの形成

Side-jets formation in a round jet with an external counterflow

○湯浅貴祥[1]，原郁生[2]，村松旦典[3]，大竹智久[3]，菊池崇将[3]
*Takayoshi Yuasa[1], Ikuo Hara[2], Akinori Muramatu[3], Tomohisa Otake[3], Takamasa Kikuchi[3]

Radial ejections in the initial region of a round jet are called side jets. The side jets are generated by adding an external counterflow to the initial region of a round jet when the round jet has no side-jets. If the speed of the counterflow is approximately equal to the convective velocity, the side jets are generated.

１．緒言

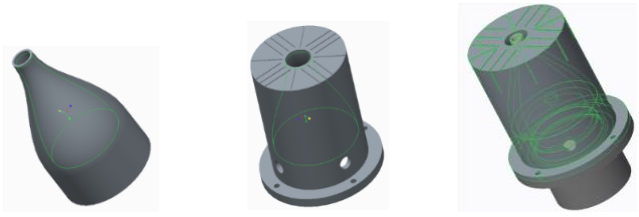
周囲気体に対して低密度の気体を噴出した円形噴流のノズル出口近傍において，噴流の主流方向とは異なる半径方向外側へ枝分かれする噴流の噴出現象が起こる．この現象はサイドジェットと呼ばれている[1]．

噴流の線形安定解析によると，噴出気体と周囲気体の密度比とマッハ数により安定性は変わり[2]，対称モードが時間及び空間的に不安定な局所絶対不安定になるときに，サイドジェットが形成されることが実験的に確かめられている[1]．また，円柱などの鈍頭物体の後流には逆流領域が形成され，後流は Re が約 280 を超えると自励振動が始まり，絶対不安定性の出現による全体不安定が起きることが知られている[3]．

ノズルから噴出した空気噴流は一般的に撹乱が下流に向かって増幅しながら伝播する対流不安定である．上述の鈍頭物体の後流の例のように流れ場内に逆流が形成されると，擾乱は下流側からさかのぼって伝搬することになり，流れ場のある点では時間・空間的に不安定な局所絶対不安定が生じさえることができると考えられる．噴流周囲に吸い込みをかけることにより，逆流を付加することでサイドジェットを形成することを試みた．その結果，本来ならサイドジェットが発生しない条件でサイドジェットが形成されることが確認できた[4]．本研究では，サイドジェットの形成と逆流の大きさの関係について調べる．

２．実験装置および方法

ノズル出口近傍で逆流領域を形成させるため，内側の出口直径 $D_1 = 12$ mm，外側の出口直径 $D_2 = 26$ mm，内側ノズルの出口肉厚 $t = 1$ mm の同軸二重円形ノズル[4]を用いて実験を行った．図 1 に実験で用いたノズルの内側および外側のノズルとそれを組み立てたものを示す．内側のノズルからは貯気槽に貯めた空気を流量計を介して噴出し，外側の環状ノズルからはインバータで制御された送風機によって，ノズル出口付近の周囲空気を吸入させている．



(a) Schematic diagram　(b) External nozzle　(c) Inner nozzle

Figure 1. Coaxial double circular nozzle

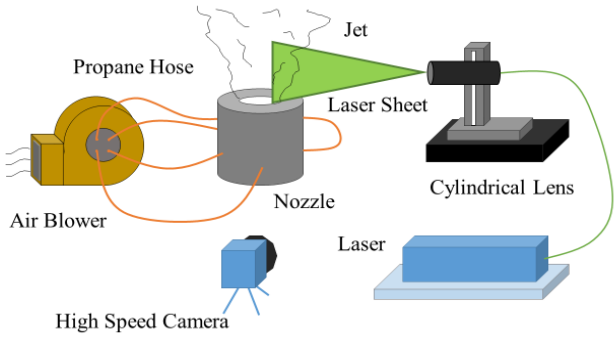


Figure 2. Schematic diagram for the flow visualization

図 2 に噴流の可視化実験の概略図を示す．日本レーザー社製の 5 W DPSS Green Laser を用いて，シリンドリカルレンズを介し，厚さ約 1 mm のレーザーシートを噴流（Fog Generator で発生した散乱粒子を混入させたもの）に入射させ，流れ方向断面の可視化を行った．可視化した噴流はハイスピードカメラ（FASTCAM SA-X2）を用いて記録した．

３．実験結果及び考察

図 3 については図 1 のノズルを用いて，レーザー出力を 3.18 W，撮影速度を 5000 fps に設定し，$Re = 1300$ として，インバータの周波数（a）0 Hz [吸込の流速は 0 m/s]，（b）8 Hz [0.23 m/s]，（c）9 Hz [0.26 m/s]，（d）10 Hz [0.32 m/s]に変化させたときの可視化画像を示す．こ

１：日大理工・学部・航宇　２：土木管理総合試験所　３：日大理工・教員・航宇

の Re では黄色の〇印で示したようにすべての場合にサイドジェットが形成されている．吸込速度が速くなるごとに渦輪の形成位置，サイドジェットの形成位置ともに下がっていることがわかる．これはサイドジェットの形成が渦輪の形成と関連しているからである．

図 4 には付加した逆流の大きさとサイドジェットの形成の関係ついて調べたものを示す．縦軸はU_{02}/U_{01}，横軸は Re である．ここで，U_{01}は噴流の噴出速度，U_{02}は吸込速度である．図中の〇印がサイドジェットが形成したことを，×印がサイドジェットが形成しないことを表している．図 3 に示されたように Re が 1300 を超えると逆流を付加しなくてもサイドジェットは形成されるが，Re が 1200 以下では適当な大きさの逆流が付加された場合にサイドジェットが形成されている．Re によってばらつきがあるが，サイドジェットが形成されるのはU_{02}/U_{01}の値がおおよそ 0.2 から 0.5 の範囲である．

擾乱の空間伝搬の速度として渦輪の渦中心の移流速度U_{cv}を仮定する．渦輪の移流速度U_{cv}は撮影された可視化画像の動画から画像解析ソフト PFV を用いて渦輪の移動量を求め，撮影速度から画像間の時間がわかるので，これらからU_{cv}を求めた．図 5 に縦軸をU_{02}/U_{cv}とし，横軸を Re として，図 4 と同様にサイドジェットの形成との関係を示す．U_{02}/U_{cv}が Re = 800 では 0.85～1.35 の範囲内で，Re = 1000 の場合では 0.50～1.84 の範囲内で，Re = 1200 の場合では 0.57～1.0 の範囲内ではサイドジェットの発生が確認された．Re によって多少のばらつきはあるが，U_{02}/U_{cv}がおおよそ 0.5～1.5 の範囲でサイドジェットが形成されることがわかる．なお，吸込みをかけない状態で噴流にサイドジェットが生じる Re = 1300 の場合，U_{02}/U_{cv}が 1.5 を超えるとサイドジェットは形成されなくなっている．

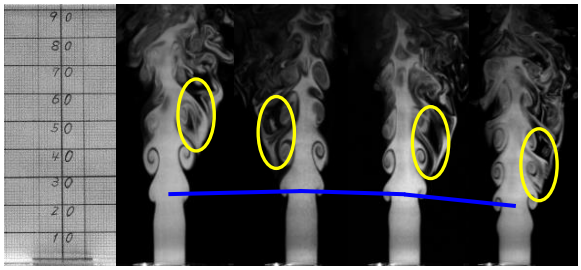
４．まとめ

渦の移流速度に対する吸込み速度がおおよそ 0.5 から 1.5 の範囲の逆流を噴流初期領域の周囲に付加することでサイドジェットが形成されない噴流にサイドジェットを形成することができる．

今後は不足しているデータを補い，次に熱線風速計を用いて噴流の発達過程の速度分布や乱れを調べ，サイドジェットの形成過程を調べる．

５．参考文献

[1] P. A. Monkewitz, D. W. Bechert, B. Barsikow and B. Lehmann, J. Fluid Mech.Vol. 213,pp. 611- 639,1990.



(a) 0 Hz　(b) 8 Hz　(c) 9 Hz　(d) 10 Hz

Figure 3. Visualized air jets with a counter flow(Re = 1300)

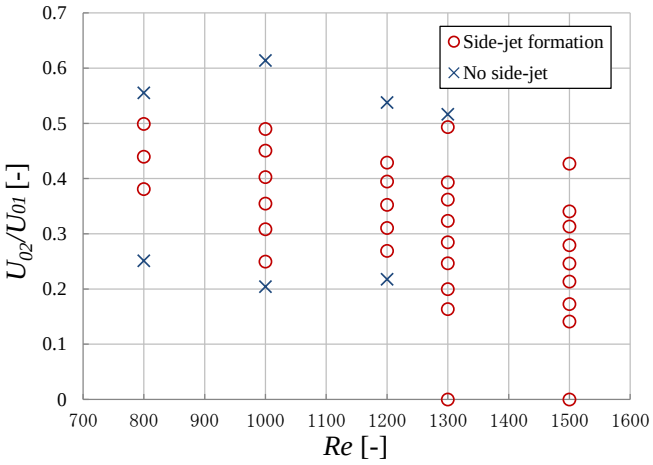


Figure 4. Domain for side-jets formation with counter flow by U_{02}/U_{01} and Re.

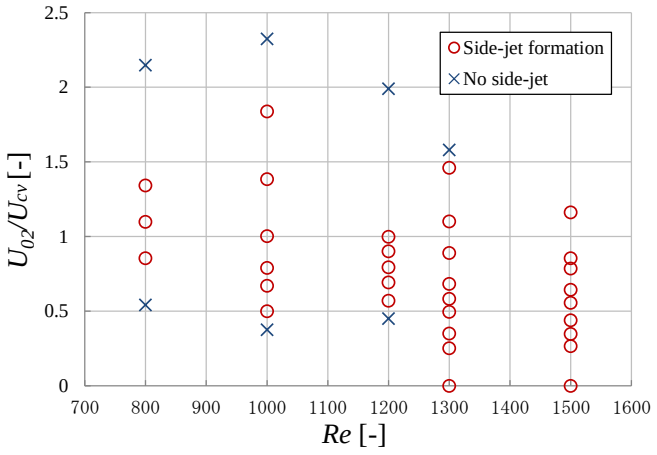


Figure 5. Domain for side-jets formation with counter flow by U_{02}/U_{cv} and Re.

[2] P. A. Monkewitz and K. D. Sohn, AIAA J, Vol. 26, pp. 911-916, 1988.

[3] Asai M, Inasawa A, Konishi Y, and Hoshino S, Takagi S, J. Fluid Mechanics, Vol. 675, pp. 574-595, 2011.

[4] 原 郁生 他4名, ノズル出口で逆流を伴う円形噴流（サイドジェットの形成），日本大学理工学部学術講演会, 2016.