

K3-36

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）

Side-jet formation in a round jet with external counter flow

○原郁生¹，川辺健太²，村松旦典³，大竹智久³，菊池崇将³*Ikuro Hara¹，Kenta Kawabe²，Akinori Muramatsu³，Tomohisa Otake³，Takamasa Kikuchi³

It is thought that side jets are generated by self-excited oscillations in the jet column. The self-excited oscillations are caused by the local absolute instability. We think that the absolute instability is generated in the jet column by a feedback effect generated by counter flow. It is confirmed that the side jet is formed in a round jet with external counter flow.

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、噴流の半径方向外側への噴出流体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]。これは、ノズル出口近傍において噴出気体と周囲気体との混合を著しく促進する効果があり、工学的応用が期待される。

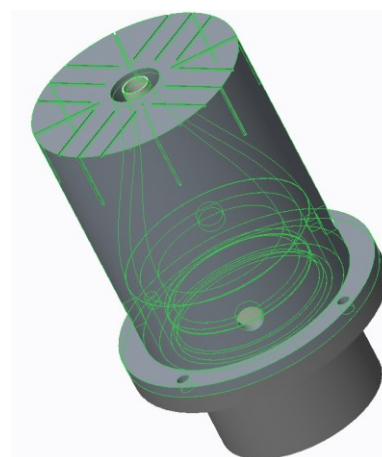
Monkewitz ら^[2]による線形安定解析によると、噴出気体と周囲気体の密度比 S とマッハ数 M により安定性は変わり $S \leq 0.73$, $M \leq 0.67$ で対称モードが局所絶対不安定となることが示されている。対称モードが局所絶対不安定になるときに、噴流中に自励振動が生じ、サイドジェットが形成されることが実験的に確かめられている^[3]。また、翼型周りの後流において、逆流が形成される領域で局所絶対不安定が生じることが知られている。これは対流不安定により空間発展した流れが逆流によりフィードバックされ絶対不安定になることと考えられる。ここでは、噴流の初期領域に逆流を形成することによって、噴流にサイドジェットを形成することを試みた。

2. 実験装置

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を製作した。図 1 に製作したノズルの概略図と内側および外側のノズルを示す。ノズルの曲面は三次曲線の式^[4]を使用した。内側のノズルからは貯気槽にためた空気を流量計を介して噴出する。外側の環状ノズルからはインバータによって制御された送風機により周囲空気を吸入させる。

3. 実験方法および実験結果

まず最初に、外側の環状ノズルから一様に周囲気体を吸い込んでいることを確認するために、スモークワイヤ



(a) Schematic diagram



(b) Inner nozzle



(c) External nozzle

Figure 1. Coaxial double circular nozzle

Table 1. Experimental conditions

D_1 [mm]	12
D_2 [mm]	26
S	1.0
M	0.003
Re	800
U_{01} [m/s]	1.03
f [Hz]	11~15

法により環状ノズルの上面に形成される流れを可視化した。可視化結果の 1 例を図 2 に示す。図 2 では、スモークワイヤはノズルの出口から 3 mm 下流に張られ、送風機のインバータの周波数 f を 45 Hz に設定した場合の結果である。可視化した写真から、流れが一様に吸い込まれていることがわかる。実験は f が 20 から 50 Hz の範囲で行い、いずれの場合も同様の結果となった。

次に、噴流の周囲に逆流を与えて、噴流の可視化を行った。実験条件を表 1 に示す。表 1 の M は周囲気体（空気）に対する内側ノズルの噴出速度 U_{01} のマッハ数である。 Re は内側のノズルの噴出条件（ U_{01} と内側のノズルの直径 D_{01} 、空気の動粘性係数）によって、決まるレイノルズ数であり、層流噴流となる $Re = 800$ に設定した。また、表 1 の f は送風機のインバータの決定した周波数である。Fog Generator で発生した散乱粒子を混入した噴流に厚さ約 1 mm のレーザーシートを入射し、ミー散乱光により噴流の流れ方向の断面を可視化した。可視化した噴流は現象の変化が速く肉眼での観察ができないので、可視化された噴流断面をハイスピードカメラを使用して記録した。撮影速度は 20,000 fps とした。

図 3 に示されるように、逆流を形成しない場合、噴流は層状に流下する層流噴流となっている。図 4 に $f = 12$ Hz で逆流を形成した場合の可視化写真を示す。噴流の剪断層がロールアップし渦輪を形成し、あたかもレイノルズ数が高く乱流噴流に遷移する噴流のように、噴流の流れ場が大きく変わる。また、図 3 の○印で示したようにサイドジェットが出現することも確認できた。表中に示した f のいずれでも同様の流れ場になっていることが確認できている。すなわち、逆流により乱れをフィードバックすることにより、乱れを大きくしサイドジェットを形成することができたと考えられる。

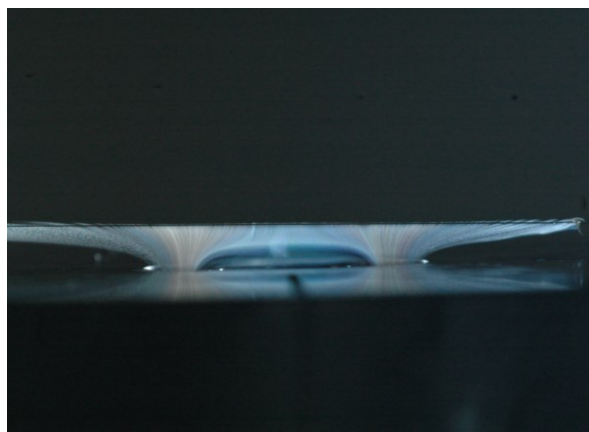


Figure 2. Visualized suction flow by a smoke-wire

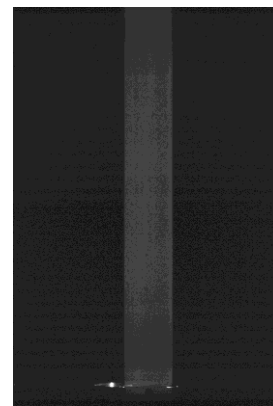


Figure 3. Visualized air jet ($Re = 800$)

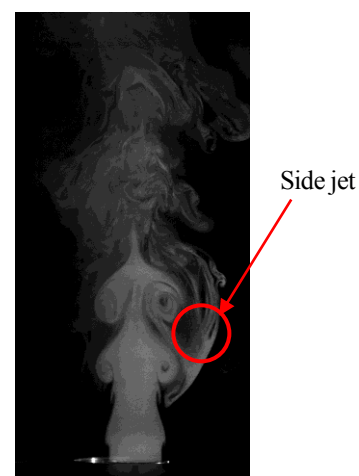


Figure 4. Visualized air jet with counter flow
($Re = 800, f = 12\text{Hz}$)

4. 今後の課題

今後は、実際に吸込速度を測定し、噴出速度と吸込速度の速度比（運動量比）を求め、サイドジェットが発生する上限値、下限値を決定したい。また、サイドジェットが形成する場合としない場合について、乱れの発達過程の違いを調べる。

5. 参考文献

- [1] Muramatsu A., Gamba, M., and Clemens, T. N. 2nd International Conference on Jets, Wakes, and Separated Flows, CD-R., 2008.
- [2] P. A. Monkewitz and K. D. Sohn: AIAA J., Vol. 26, No. 8, pp. 911-916, 1988.
- [3] P. A. Monkewitz, D. W. Bechert, B. Barsikow and B. Lehmann, J. Fluid Mech., Vol. 213, pp. 611-639, (1990).
- [4] 日本流体力学学会編, 流体力学ハンドブック, pp.1171-1176, 1998.