

K3-60

サイドジェットの発生条件

Initial conditions for side-jet formation in a round jet with variable density

○熊野真之¹, 小林弘明¹, 村松旦典², 大竹智久²*Masayuki Kumano¹, Hiroaki Kobayashi¹, Akinori Muramatsu², Tomohisa Otake²

If the mass density of the jet gas is sufficiently lower than that of the ambient gas, radial ejections of the jet gas may be generated near the nozzle exit. These radial ejections are referred to as side jets. Side-jet formation may depend on instability of shear layer in the jets and absolute instability. The domain for side-jet formation consists of density ratio of the jet gas and the ambient gas and non-dimensional momentum thickness and Mach number.

1. 研究目的

円形噴流において噴出気体密度が周囲気体の密度に比べて低いなどの条件の下で、噴流の出口中心において噴流半径方向への噴出現象が起こる。これはサイドジェットと呼ばれ、噴出気体と周囲気体の混合を促進する働きがあると考えられている。図1にサイドジェットの可視化写真を示す。Monkewitz ら^[1]や Kyle ら^[2]は実験により、それぞれ周囲気体に対する噴出気体の密度比 S が 0.73 または 0.6 以下でサイドジェットが発生することを示している。この密度比 S は Monkewitz ら^[3]の線形安定解析によると局所絶対不安定となる領域である。また、ノズル出口に形成される噴出気体と周囲気体との間に生じる噴流剪断層の不安定性が考えられ、剪断層の速度勾配が関係する。これを定量化するためにノズル出口での剪断層の運動量厚さ θ_0 とノズル出口直径 D_0 の比を用いる。⁽⁴⁾さらに Monkewitz ら^[3]の安定解析によると局所絶対不安定は、噴流の噴出速度と周囲気体の音速で定義されるマッハ数 M により変化し、マッハ数 M が増大するとサイドジェットは形成しないことが分かっている。

したがって、本研究の目的は密度比 S 、運動量厚さの無次元量 D_0/θ_0 、マッハ数 M の3つのパラメータによるサイドジェットの発生条件を探ることである。

2. 実験方法

ヘリウムガス、空気とヘリウムガスの混合気体、空気、炭酸ガスをそれぞれ、ノズル出口直径 $D_0 = 4$ mm

で面積縮流比 $CR = 39.1$ とノズル出口直径 $D_0 = 8$ mm で面積縮流比 $CR = 9.8$ と 68.1 の円形ノズルから、静止空気中に鉛直上方に噴出させた。また、噴流にミエ散乱のための微小な粒子を混入させて厚さ 1 mm のレーザーシートを用いて可視化した。運動量厚さ θ_0 は、ノズル出口での速度分布を測定し、それを逆正接関数で近似して(1)式より求めた。^[4]ノズル出口では層流境界層を形成して噴出するので無次元運動量厚さ θ_0/D_0 とレイノルズ数 Re の関係は(2)式である。

$$\theta_0 = \int_{\delta} \frac{U_0}{U_{c0}} \left(1 - \frac{U_0}{U_{c0}} \right) d\delta \quad (1)$$

ここで、 U_0 , U_{c0} , δ はそれぞれノズル出口での噴流の速度、中心軸上の速度、せん断層の厚さである。

$$\begin{aligned} \theta_0/D_0 &= 1.09 (1/(Re)^{0.5}) (CR=9.8) \\ &= 1.2304(1/(Re)^{0.5}) (CR=39.1) \\ &= 0.837 (1/(Re)^{0.5}) (CR=68.1) \end{aligned} \quad (2)$$

3. 実験結果

図2は密度比 S とマッハ数 M のグラフで、中央の黒線は Monkewitz らが示した線形安定解析による局所絶対不安定性が生じる領域(左側)、生じない領域(右側)を分ける中立曲線である。図3は無次元運動量厚さ D_0/θ_0 と密度比 S のグラフで、2つの黒線は Kaneda ら^[4]が示した D_0/θ_0 と S のそれぞれのサイドジェット

1: 日大理工・学部・航宇 2: 日大理工・教員・航宇

発生の下限を示している．また，図中の点線は Kyle ら^[2]が示した流れの中に自励振動が生じている領域である．図 4 は無次元運動量厚さ D_0/θ_0 とマッハ数 M のグラフである．図 2 から図 4 の ●▲× と ○△× は，それぞれ $CR = 9.8$ と $CR = 39.1$ のノズルを用いた場合の実験でサイドジェットが発生した点，うまく判別できなかった点，発生しなかった点を示している．

図 2 より Monkewitz らが示した局所絶対不安定が生じる領域（左側），生じない領域（右側）と可視化結果がほぼ一致したため，局所的な絶対不安定がサイドジェット発生要因の 1 つであることが実験的に確認できた．また，図 3 より実験でサイドジェット発生が確認できた領域の中に Kyle らが示した流れの中に自励振動が生じている領域が含まれることが分かる．したがって，流れの中の自励振動もサイドジェット発生要因の 1 つとして実験的に確認できた．

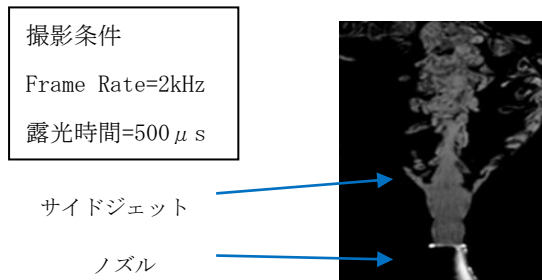


Figure1. Visualization photograph(He $Re=800$)

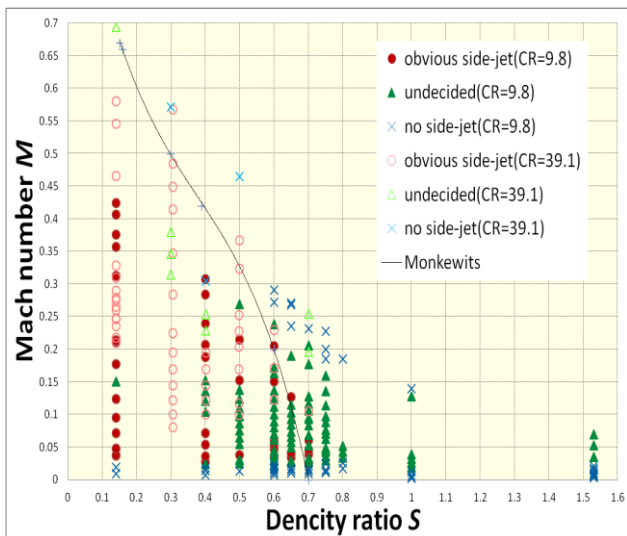


Figure2. A domain for side-jets formation by M and S

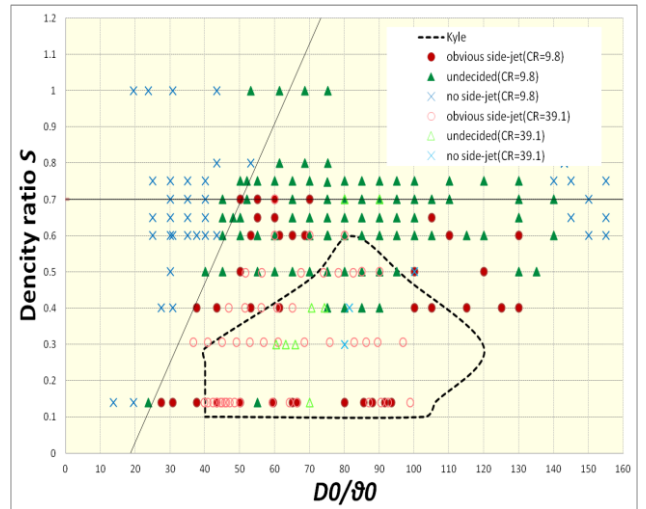


Figure3. A domain for side-jets formation by S and

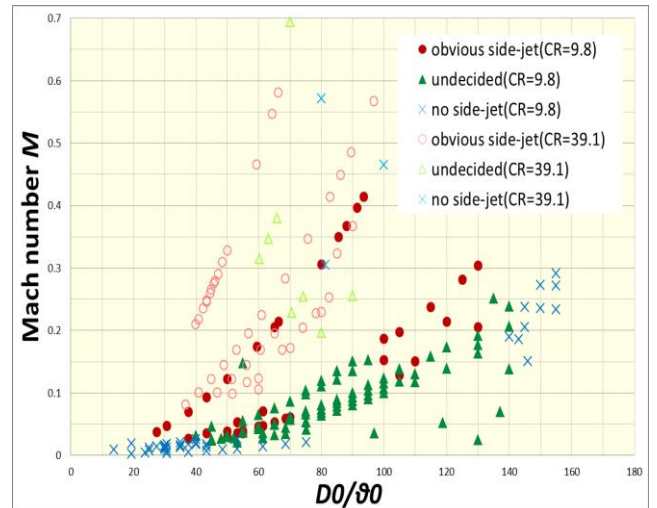


Figure4. A domain for side-jets formation by M and D_0/θ_0

4. 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.
- [2] Kyle, D. M. and D. M. Sreenivasan, K. R., J. Fluid Mech., vol. 249, pp. 619-664, (1993).
- [3] Monkewitz, P. A. and Sohn, K. D., AIAA J., Vol. 26, No. 8, pp. 911-916, (1988).
- [4] Kaneda, Y. and Muramatsu, A., Proceedings of ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2011, AJK 2011-21004, (2011)