K3-38

２次元噴流におけるサイドジェット

Side jets in a two-dimensinal jet with low density

○須川貴史[1]，矢﨑亮助[1]，五百川森樹[1]，川辺健太[2]，村松旦典[3]，大竹智久[3]，菊池崇将[3]
*Takafumi Sugawa[1], Ryousuke Yazaki[1], Shigeki Imokawa[1], Kenta Kawabe[2] Akinori Muramatsu[3], Tomohisa Otake[3]
Takamasa Kikuchi[3]

Side jets are formed in a two-dimensional jet as similar to a round jet, when the density of jet fluid is sufficiently lower than that of ambient fluid. Self-excited oscillations are observed in the initial region of the jet, if the side jet is formed in the jet. Moreover, the jet flows are computed to research an effect on baroclinic torque of instability in the jet shear layer by means of the finite volume method.

１．緒言

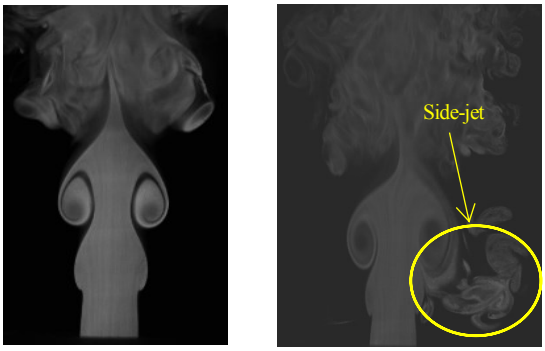
サイドジェットとは，噴流の主流の一部が枝分かれし主流とは異なる方向へ噴流が噴出する現象である．これまで，サイドジェットの形成は低密度流体の円形噴流でのみ確認されており，渦輪の周方向の不安定性とノズル付近での局所絶対不安定性による自励振動が関係していると考えられている[1]. 周囲気体に比べて噴流気体の密度が十分に低い場合，２次元噴流においても局所絶対不安定性が生じることが知られている[2]. 円形噴流の周方向の変形がサイドジェットの形成の本質的な要因でなければ，２次元噴流においてもサイドジェットを形成することになる．また，サイドジェットの形成要因として，密度勾配と圧力勾配の外積によって生じるバロクリニックトルクが示唆されている[3].

本研究の目的は文献［２］で示された局所絶対不安定となる条件下でサイドジェットの形成の有無を実験的に確認することと，剪断層の不安定性へのバロクリニックトルクの影響を数値計算により調べることである．

２．可視化実験

２次元噴流を形成するために出口が 4 mm×12 mm の矩形で，面積縮流比が 6 のノズルを製作した．ノズル出口では，噴流は双曲正接関数で表わされる Top-Hat 型の速度分布になっている．噴出気体には空気とヘリウムガスを使用しそれぞれ静止空気中に鉛直上方に噴出した．噴流には SAFEX Fog Generator により発生させた煙を散乱粒子として混入し，厚さ約 1 mm のレーザーシートにより噴流の流れ方向断面を可視化した．図 1 にヘリウムガス噴流の可視化結果を示す．噴流の Re が 500 と 800 の場合の結果である．ここで Re の代表長さはノズル出口の短辺の長さ $h = 4$ mm であり，代表速度はノズル出口中心線での噴出速度 U_{C0} である．Re が 500 および 800 のとき U_{C0} はそれぞれ 14.4 m/s と 23.1 m/s となる．

図１の（ｂ）の ○で囲んだ領域で示されるように，サイドジェットが形成することが示された．ヘリウムガス噴流では，図１（ａ）のように Re が 500 ではサイドジェットは形成されないが，$Re \geqq 800$ ではサイドジェットが形成される．一方，空気噴流では Re によらずサイドジェットは形成されない．また，熱線風速計の速度変動の測定結果から，ヘリウムガス噴流中でサイドジェットが形成されるとき，自励振動が生じていることも確認している．



(a)　Re = 500　　(b)　Re = 800

Figure. 1 Visualized He gas jets

3. 数値計算

汎用の CFD ソフトウェア Fluent を用いて２次元噴流の非定常計算を行う，設定した計算領域を図２に示す．計算の妥当性を実験から調べることを想定し，実験に使用した２次元風洞をもとに計算領域を設定した．スリット幅 h が 4mm なので，計算領域はバッファ領域を含めてその 10 倍となる 40 mm×40 mm とした．その中に要素サイズが 0.1 mm×0.1 mm となるコア領域が

20 mm×20 mm となっている．流入境界条件として（1）式で表される Top-Hat 型の速度分布[4] を壁面上にあいたスリット部に与えた．

$$U_{(r)} = \frac{U_{C0}}{2}\left[1 - \tanh\left\{\frac{1}{4}\frac{R}{\theta_0}\left(\frac{r}{R} - \frac{R}{r}\right)\right\}\right] \qquad (1)$$

このとき，U_{C0} をスリット中心での流速，R を半値半幅，θ_0 を境界層の運動量厚さ，r はスリット中心からの距離である．また $\theta_0 = 0.045D$ とし $R/\theta_0 = 10\sim20$ の範囲で値をとるように R の値を調整した．流出および側方の境界条件は大気圧とした．U_{C0} と最小要素サイズの 1 辺の大きさ 0.1 mm からクーラン数 C を求め C<1 となるように時間間隔を調整した．計算方式には SIMPLE 法を用いた．Re = 500 の空気噴流（$U_{C0} = 1.79\ m/s$）の主流方向の速度コンター図を図３に示す．流れは層流状態であることが確認でき，計算の妥当性が確認できた．

次に，ヘリウムガス噴流（Re = 500）でも前述の空気噴流と同様の計算条件を設定し計算を行った．主流方向の速度コンター図と密度コンター図を図４に示す．図４（b）より下流にいくにつれ流れが大きく蛇行していくことが示されている．また，密度コンター図からノズル出口近傍にヘリウムガスが滞留している様子が確認できている．図４（a）の実験結果ではそのような流れになっていないので，実験結果を再現するように計算条件などを精査する必要がある．

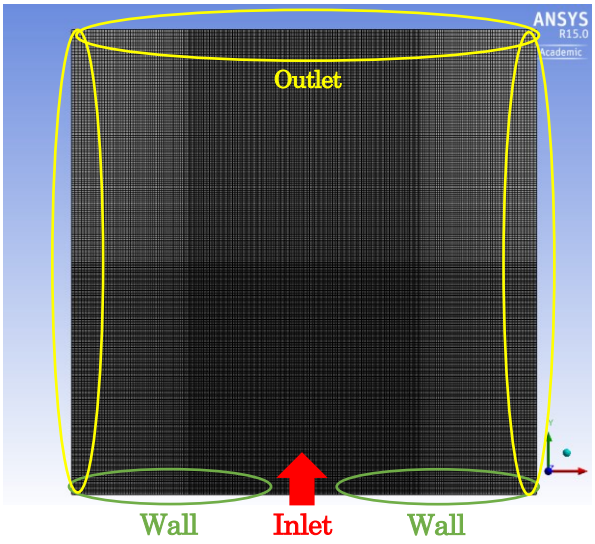


Figure. 2　Computational domein

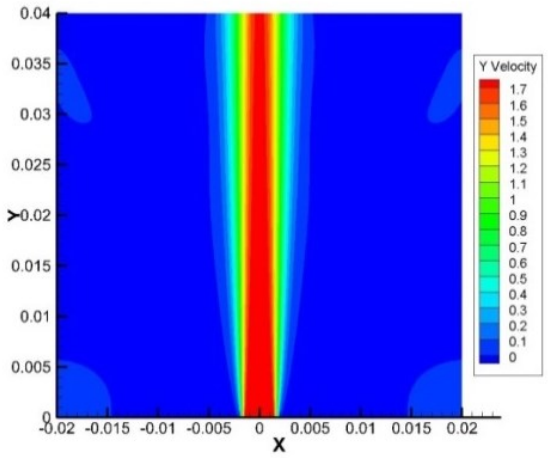
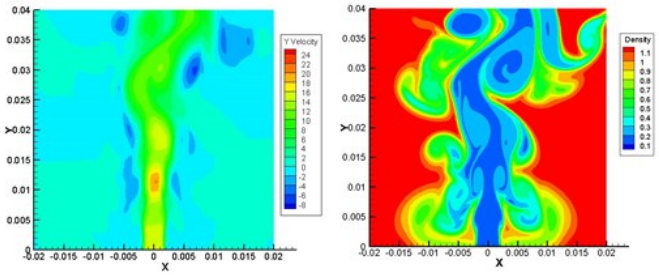


Figure. 3　A Contour of　streamwies velocity of air jet at Re = 500, Time = 0.5 [s]



(a)　Velocity　　(b) Density

Figure. 4　Contour of He gas jet at Re = 500, Time = 0.05 [s]

4.　参考文献

[1] Muramatsu A., Gamba, M., and Clemens, T. N., Proceeding of 2nd international Conference on Jets, Wakes, and Sepatated Flows, 1996.

[2] L.Raynal, J-L.Harion, M.Favre-Marinet, and G.Binder, The oscillatory instability of　plane variable-density , Phy. Fluid, vol.8 ,No4, pp 993-1005,1995

[3] Chassaing, P., Antonia, R.A., Anselmet, F., Joly, L., Sarkar, S. Variable Density Fluid Turbulence, pp 205, 2002.

[4] 竹内　伸太郎, 三宅　裕, 梶島　岳夫,「全体安定性解析による円形噴流の崩壊過程」, 日本機械学会論文集(B編), 68 巻 665 号, pp 30, 2002.

1：日大理工・学部・航宇　　2：日大理工・院（前）・航宇　　3：日大理工・教員・航宇