

K3-78

FLUENT による低レイノルズ数における 2 次元噴流の数値解析

Numerical Analysis of Two-Dimensional Jet at Low Reynolds numbers using FLUENT

土谷 北斗¹, 中川 雄介², 村松 且典³
 Hokuto Tsuchiya¹, Yusuke Nakagawa², Akinori Muramatsu³

The development process and the critical Reynolds number of a jet have not been known well, because an experiment for the jet at low Reynolds numbers is very difficult. Numerical simulation is adopted to investigate the characteristics of two-dimensional jet at low Reynolds numbers. Commercial software, that is FLUENT, is used for numerical simulation.

1. 緒言

低レイノルズ数領域における噴流の研究は少なく、理論的な研究においては、Bickley^[1]による境界層近似による層流噴流の解析解が示され、また Kakutani ら^[2]によって線形安定解析により臨界レイノルズ数が示されている。実験的な研究においては、Sato ら^[3]による研究が知られているが、実験が難しいため噴流の遷移についての詳細は不明のままである。本研究では、汎用の CFD ソフトである ANSYS FLUENT を使用して数値解析を行い、低レイノルズ数での噴流の特性を調べることが目的である。ここでは、噴出レイノルズ数が 100 の 2 次元噴流の非定常解析を行ったので、その結果について報告する。

2. 計算領域および計算条件

支配方程式は、2 次元の直交座標系で表された連続の式と非定常非圧縮性ナビエ・ストークス方程式である。FLUENT ではこれらの支配方程式を有限体積法により離散化し、SIMPLE 法により解いている。

計算領域を表 1 および図 1 に示す。計算要素は全て長方形とした。空気噴流は幅 D_1 ($= 1\text{mm}$)、長さ L_1 ($= 1\text{mm}$) の平行流路(ノズル)から、ノズル幅 D_2 ($= 81\text{mm}$)、長さ L_2 ($= 180\text{mm}$) の静止空气中(噴射部)へ噴出される。座標系は図 1 に示すようにノズル出口中心を原点とし、流れ方向に x 軸、それに直交する方向に y 軸とした。

計算領域の数および分割方法を図 2 と表 2 に示す。噴射部においては、計算要素があまり多くならないように、公比 7.3 の等比級数により外部境界へ向けて計算要素を拡大した。境界条件は図 1 に示されるように、入り口の Velocity Inlet で平面ポアズイユ流れ(放物型)の速度分布を与えた。流出境界条件では Pressure Outlet とし、静圧が大気圧となるようにした。その他の計算条件は表 3 に示す。噴出レイノルズ数の代表速度はノズル出口の断面平均速度 U_0 、代表長さは D_1 である。

Table 1. Dimensions of calculating area

D_1	1 mm
D_2	81 mm
L_1	1 mm
L_2	180 mm

Table 2. Number of divisions for each direction

		分割数
ノズル部	主流方向	1
	垂直方向	10
噴射部	主流方向	300
	垂直方向	300

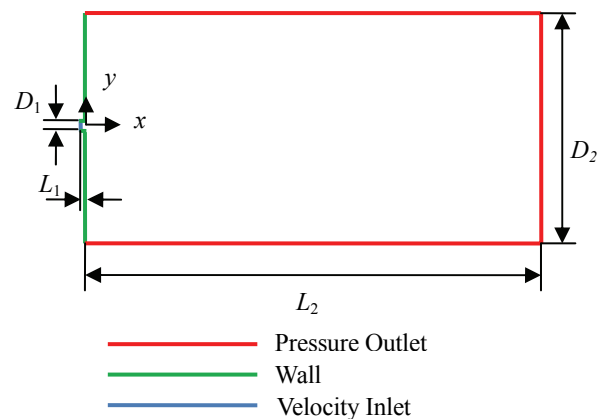


Figure 1. Geometry condition and boundary conditions

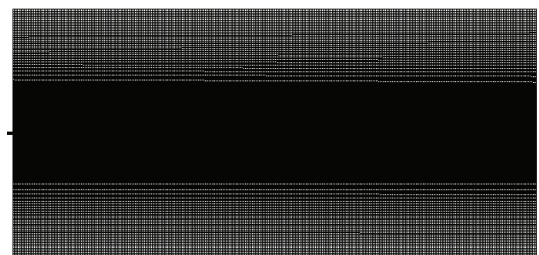


Figure 2. Element systems for calculation

1 : 日大理工・学部・航宇 2 : 日大理工・大学院・航宇 3 : 日大理工・教員・航宇

Table 3. Calculating Condition

計算アルゴリズム	SIMPLE 法
乱流モデル	層流モデル
離散化スキーム	2 次精度風上差分
レイノルズ数 Re (噴出平均速度 U_0)	100 (1.583 m/s)
噴出気体	空気
動粘性係数 ν	15.83 mm ² /s
時間刻み幅 Δt	0.001 s
無次元残差	10 ⁻⁶
最大反復回数	20 回
計算回数	5000 回

また、無次元残差は、解の残差が指定した値に収束した場合に反復を終了させるパラメータであり、今回は 10⁻⁶ のオーダーに設定した

3. 計算結果と考察

図 3 に各中心軸上における主流速度成分 u の時間履歴を示す。 $x=0\sim 100$ mm においては、時間 $t=1$ s ではほぼ定常になっていることがわかる。 $t=5$ s において噴流が十分に発達したと考え、 $x=0\sim 50$ mm までの速度分布を図 4 に示す。横軸は半値半幅 b で、縦軸は中心軸上の速度 u_c で無次元化した。図 4 中に実線で示された Bickley による二次元噴流の解析解^[1]と比較すると、計算値では流速が負となる領域の存在など、解析解とは若干異なった結果が示された。図 5 に速度コンター図を示す。図 6 の実験による可視化された画像^[4]と比較すると、どちらも下流で流れが蛇行しながら発達していることがわかる。

今後は実験データなどとの比較を行ないながら、境界条件や計算要素などについて検討していく。

4. 参考文献

- [1] Bickley, W. G, "The Plane jet", Phil. Mag., Vol. 7, pp. 7 27-731, 1937.
- [2] Kakutani, T. and Tatsumi, T., "The stability of a two-dimensional laminar jet", JFM, vol. 4, pp261-275, 1958.
- [3] Sato, H. and Sakao, F., "An experimental investigation of the instability of a two-dimensional jet at low Reynolds numbers", JFM, Vol. 20, pp. 337-352, 1964.
- [4] 生板 翔平, 「低レイノルズ数領域における二次元噴流の発達過程」日本大学理工学研究科修士論文, 2009.

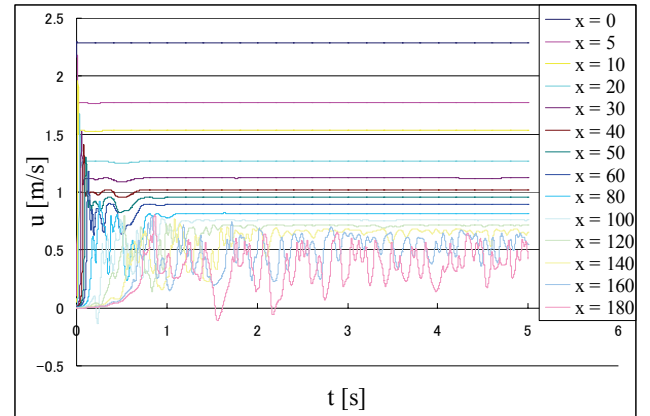


Figure 3. Time progress of the velocity at the center of the jet at $Re = 100$

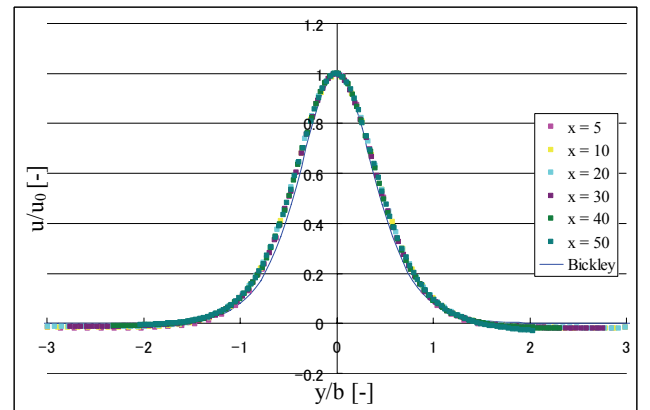


Figure 4. Non-dimensional velocity profiles at the center of the jet at $Re = 100$

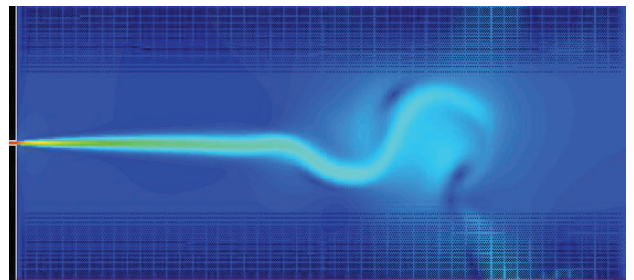


Figure 5. Contour of velocity at $Re = 100$ ($t = 0.52$ s)

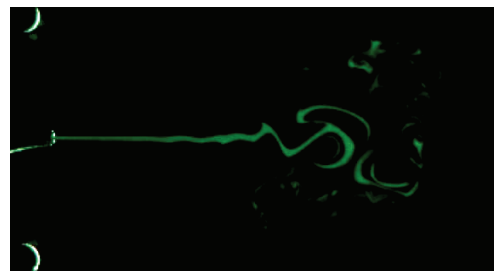


Figure 6. Visualization of two dimensional Jet at $Re = 100$ ($t = 0.5$ s)