

OpenFOAM を用いた 2 次元空気噴流の数値計算 (噴流の速度分布の影響)

Numerical simulations of a two-dimensional air jet using OpenFOAM (Influence of velocity profile at the nozzle exit)

○梅本浩敬¹, 村松旦典²*Hiroataka Umemoto¹, Akinori Muramatsu²

It is known that the spatial development process of a jet depends on the outflow conditions at the nozzle exit. However, the systematic study has not been found. A numerical simulation is suitable for investigating the spatial development process of a jet due to different outflow conditions. The final aim of this study is to investigate the effect of the velocity profile and the spatiotemporal distribution of disturbances at the nozzle exit on the spatial development of the jet. In the present paper, numerical simulations for the two different velocity profiles are conducted using OpenFOAM.

1. 緒言

速度を持った流体が、スリットやノズルなどの孔から空間に噴出する現象を噴流現象と呼んでいる。これは工業的に広く利用されている流れで、様々な研究がなされてきた^[1]。噴流の空間発達過程はノズル出口の流出条件に左右されることが知られているが、系統的な研究は見当たらない。また、近年では有限体積法をベースとしたオープンソースの数値解析ソフトである OpenFOAM^[2]が広く利用されるようになってきた^[3]。流出条件の違いによる噴流の空間発達過程を調べるには数値実験が適している。本研究は、OpenFOAM を使用して、流入条件を制御して、すなわち噴流の速度分布の形状や乱れの時空間分布を与え、それらの噴流の空間発達への影響を探ることを目標としている。ここでは、トップハット型とポアズイユ型の 2 種類の速度分布の影響を調べる。

2. 支配方程式および計算領域

Table.1 に計算条件, Figure.1, Table.2 に計算領域を示す。支配方程式は非圧縮性流体運動に対するナビエストークス方程式および連続式である^[3]。

$$\frac{\partial U}{\partial t} + (U \cdot \nabla)U = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \frac{\mu}{\rho} \Delta U \quad (1)$$

$$\nabla \cdot U = 0 \quad (2)$$

OpenFOAM の非定常解析ソルバーである pisoFoam を用いて 2 次元非定常計算を行った。これは非圧縮性流体に用いられる PISO 法を用いた非定常乱流解析ソルバーである。乱流モデルは壁面境界がない流れに適

するといわれている k- ω SST モデルを用いた。計算領域は、窪寺の研究^[4]で使用されていたノズル幅 4mm とし、ノズル幅に対し主流方向に最大 80 倍、主流と垂直方向に最大 120 倍の台形型の計算領域を用意した。また、OpenFOAM の標準ユーティリティである blockMesh を用いて、主流方向に 640 分割、主流と垂直方向に 128 分割の不等間隔な格子を作成した。なお、最小格子は 0.1mm 四方、下流に行くにつれて縦横最大 10 倍となるようにした。総セル数は 81920 個である。

Table.1 Calculation conditions

<i>Re</i>	1000
Gas	Air
Velocity	3.88 m/s
Nozzle height	4.00 mm
Kinetic viscosity	1.55×10^{-5} m ² /s ²
Turbulent model	k-OmegaSST
Algorithm	PISO

3. 計算結果

ここでは、トップハット型の速度分布を与えた計算結果について述べる。トップハット型の速度分布は次式で与える。

$$U = -0.5 \tanh\{18(y - 0.435)\} + 0.5 \quad (3)$$

である^[4]。

ノズル出口において乱れを与えなかった場合の速度のコンター図を Figure.2 に示す。また、噴流が計算領

域を抜けおよそ定常化が確認された 0.3 秒後からの 1 秒間のデータを時間平均化した速さ（速度の大きさ）の主流に直行する方向の分布分布及び中心軸上の速さを Figure.3 及び 4 に示す。Figure.3 はノズル高さで無次元化した主流方向距離 x/h を 0 から 26 まで 2 ごとに示した図ある。これを見るとノズルから遠ざかるにつれて剪断層が緩やかになり、速度勾配が小さくなっている様子がみられる。Figure.4 を見ると $x/h = 8$ 付近までほぼ速さが一定であることが見て取れ、これがポテンシャルコアの範囲である。

4. 今後の課題

現段階で適切な乱れを与えての数値計算に至っておらず、今後ノズル出口における乱れを適切に加えての計算を行う必要がある。

さらに、剪断層の様子をさらに細かく調べるために、計算要素の構成も含めた計算領域を再検討する必要がある。

5. 参考文献

- [1] 社河内敏彦：「噴流工学 基礎と応用」，森北出版株式会社，pp.222, 2004.
- [2] 一般社団法人 オープン CAE 学会：「OpenFOAM による熱移動と流れの数値解析」，森北出版株式会社，pp217, 2016.
- [3] 粕谷守，須川貴史，中村拓也，村松旦典，菊池崇将：「二次元噴流の初期領域の流れ場の数値解析」，日本大学理工学部学術講演会予稿集，pp789-790, 2017
- [4] 窪寺宏紀：「OpenFOAM を用いた 2 次元空気噴流の非定常数値計算」，日本大学理工学部航空宇宙工学科卒業研究報告書，2018

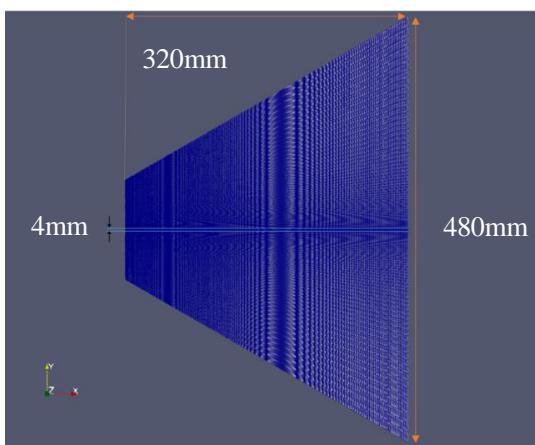


Figure 1. Calculation domain

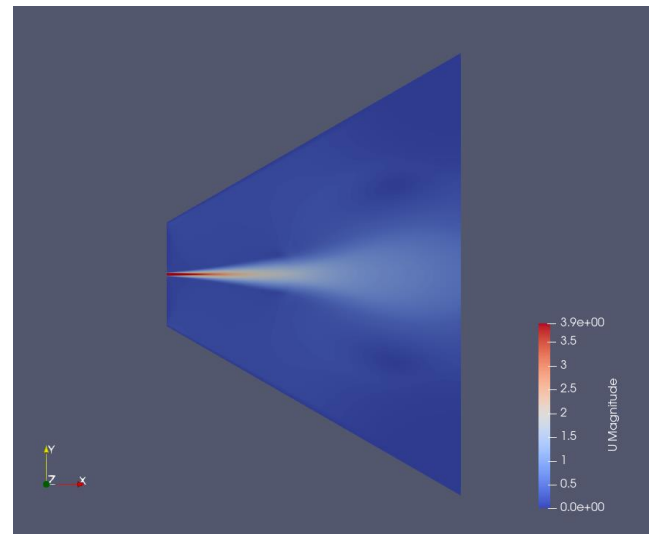


Figure 2. Contour of velocity at 0.5s

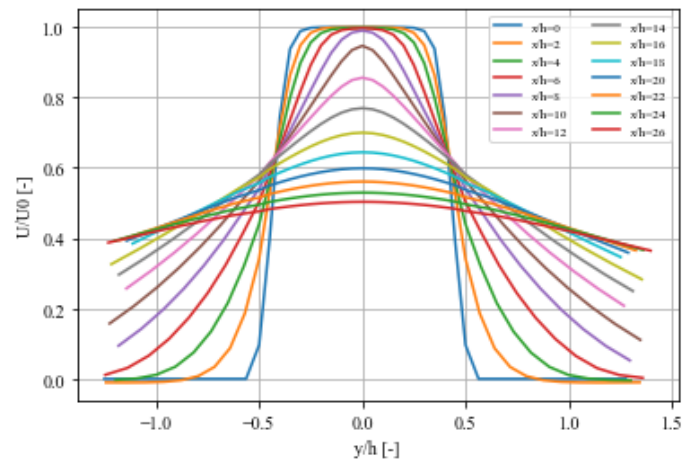


Figure 3. Non-dimensional velocity profiles
($x/h = 0 \sim 26$)

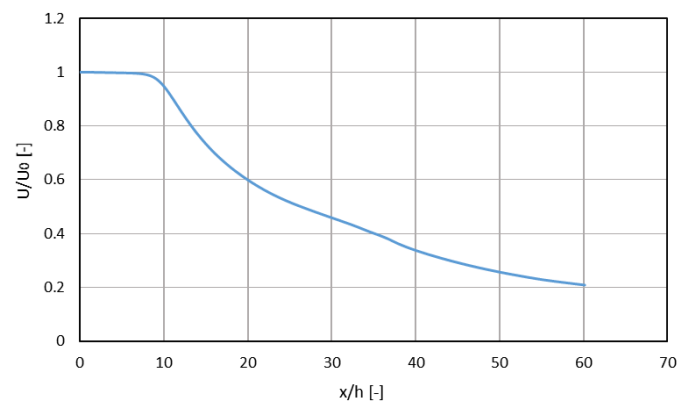


Figure 4. Non-dimensional velocity distribution on the jet centerline