

K7-53

シンセティックジェットにより渦輪を周方向に変形させた円形噴流初期領域の渦構造

Vortex structures in the initial region of a round jet with an azimuthally deformed vortex ring by small synthetic jets

○田中恒平¹, 中村宣明², 村松旦典³*Kohei Tanaka¹, Nobuaki Nakamura², Akinori Muramatsu³

Vortex rings are periodically formed in the initial region of a round jet and they change to a wavy shape in the azimuthal direction. In order to investigate the relation between the azimuthal deformation of the vortex ring and the formation of the streamwise vortexes, we attempted to artificially deform the vortex ring in the azimuthal direction by synthetic jets. The vortex rings azimuthally deform by introducing disturbances through the small holes at a nozzle exit, so that the streamwise vortexes are constantly generated in the round jet.

1. 緒言

噴流は各種混合装置や燃焼器など工業分野で利用されており、これらにおいて噴流を有効活用するためには流体力学的な特性を理解する必要がある。円形噴流中の初期領域には、周期的な渦輪列が形成される。その後、その渦輪列同士が合体し周囲気体を巻き込むことで大規模渦となる^[1]。渦輪はポテンシャルコア領域末端において周方向に波状に変形し小規模な渦輪列に分裂し崩壊するモデルが提案されており^[1]、この周方向の変形には流れ方向に軸を持つ縦渦が影響していると考えられている^[2]が、渦輪の周方向の変形と縦渦の関係については未だに不明な点がある。本研究では、渦輪の周方向の変形と縦渦の形成の関係を調べるため、ノズル出口付近の側面に孔を設けた孔付ノズルを用いて、そこから噴流をシンセティックジェットにより励起し周方向に変形させる。励起された噴流について、主流方向と水平方向における断面の可視化および PIV による計測を行い、流れ場の構造を実験的に調べた。

2. 実験装置および方法

図 1 にスピーカーと接続した孔付円形ノズルの概略図を示す。ノズルの出口直径 $D_0=12$ mm であり、参考文献 [3] の実験装置を参考にノズル上部に側面に直径 2 mm の孔を設けた厚さ 12 mm の円筒部を取り付けた。ノズルの孔は等間隔に 6 個をあけたものを用意した。スピーカーは図 1 のようにスピーカーボックス内に取り付け、内径 5.5 mm、長さ 30 mm の円管と内径 8 mm、長さ 390 mm のビニールチューブを通して直径 2 mm の孔から噴流に擾乱を与えた。スピーカーに入力する電気信号波形は正弦波とし、入力する電圧の実効値 E_{RMS} は 0.2 V とした。噴流のレイノルズ数 Re は渦輪列が形成され、低速となる 2000 に設定し、このときの噴流の噴出速度 (ノズル出口での噴流の中心軸上の速度) U_{c0} は 2.55 m/s である。 $Re=2000$ の自然遷移での渦輪の形成周波数は $f_v = 120$ Hz ($St = 0.565$) で

あるので、スピーカーへの入力信号の周波数は $f_s = 120$ Hz とした。

噴出気体の空気に微小な粒子を混入させノズルから静止大気中に鉛直上方へ噴出し、厚さ約 1 mm のレーザーシートを用いて、ミー散乱光によりノズルの出口中心を通る主流方向断面と流れに直交した水平方向断面の可視化を行った。主流方向断面の可視化は、図 2 に示すように励起孔を通る断面 (Section

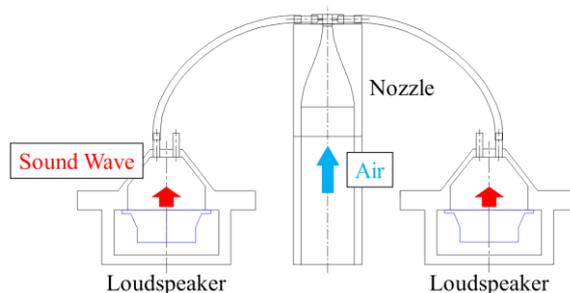


Fig. 1 Experimental apparatus

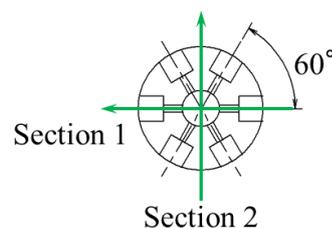
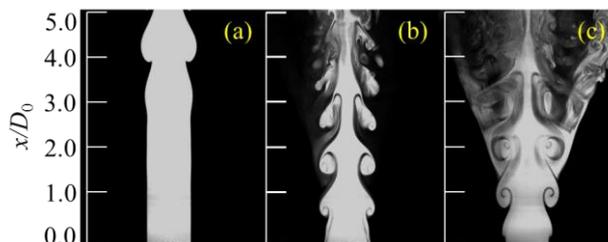


Fig. 2 Nozzle top with 6 holes and visualized sections

Fig. 3 Visualized streamwise cross-sections for jets
(a) Unexcited, (b) Section 1, (c) Section 2

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

1) と励起孔を通らない断面 (Section 2) の 2 通りで可視化した。

微小な粒子を噴流および周囲空气中に混入させ、厚さ約 1 mm のレーザーシートを照射し、主流方向断面 (Section 2) と水平方向断面で PIV を用いて計測した。主流方向断面では、ハイスピードカメラを解像度 1024×1024 pixel, 12500 fps に設定し撮影し、撮影した画像はソフトウェア DynamicStudio を使用してオーバーラップ 50 %, 検査領域 32×32 pixel で処理を行った。水平方向断面では、解像度が 2048×2048 pixel の CCD カメラによって記録し、オーバーラップ 75 %, 検査領域 64×64 pixel で処理を行った。どちらも測定領域は 36×36 mm とした。

3. 実験結果および考察

励起していない噴流と励起した噴流について、主流方向の断面可視化画像を図 3 に示す。 x/D_0 はノズル出口直径で無次元化したノズル出口からの主流方向距離である。励起していない噴流では、 $x/D_0 = 3.0$ の位置までに剪断層のロールアップが起り、 $x/D_0 = 4.0$ より下流では明瞭な渦輪を形成している。励起した噴流では、Section 1 の励起孔がある断面では、下流に行くにつれて主流が狭まっている。渦輪は $x/D_0 = 1.0$ の位置で形成された後、合体せず $x/D_0 > 3.0$ の位置で崩壊しているように見える。また、Section 2 の励起孔がない断面では、 $x/D_0 = 2.0$ 付近の渦輪の周りで外側方向への流れが生じ始め、下流の渦輪の位置ではより外側に広がり、主流から分かれていく流れが生じている。

図 4 に $x/D_0 = 2.0$ での水平方向断面の可視化画像を示す。励起周波数 f_s の 1 周期 $T = 1/120$ s を 8 分割し時系列に並べた。図中右上の矢印はシンセティックジェットの孔の位置を示している。 r/D_0 はノズル出口直径で無次元化したノズル出口中心からの半径方向距離である。渦輪の構造が六角形に変形し、その角からマッシュルーム状の渦構造が常に発生しており、励起孔と励起孔の間で孔の個数に対応した一对の渦構造が確認できる。また、噴流の内部には励起孔のある位置で同様に一对の渦構造が確認できる。

図 5 に主流方向断面の PIV による測定結果を示す。(a) は速さ、(b) は半径方向の速度 V_r 、(c) は渦度を示す。渦輪の上下で半径方向内向きと外向きの流れが交互に現れる。 $x/D_0 = 1.5 \sim 2$ で外向きの速度が強くなり、その場所で主流から枝分かれする流れが生じ、下流に行くにつれて離れていく。

図 6 に $x/D_0 = 2.0$ での水平方向断面の速度、渦度、

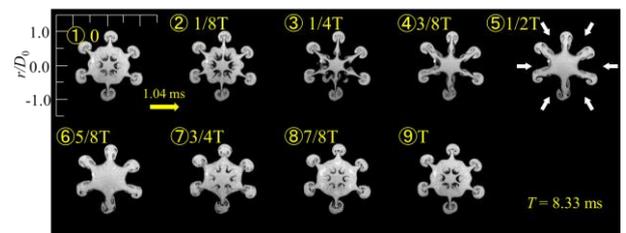


Fig. 4 Visualized horizontal cross-sections for jet

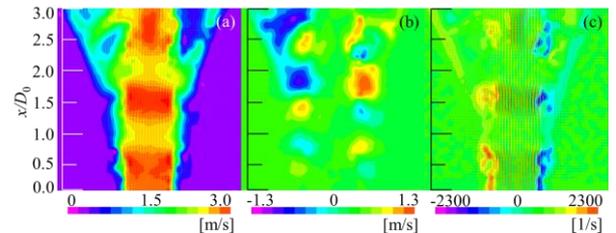


Fig. 5 Measured values on the jet centerline by PIV

(a) Speed, (b) radial velocity, (c) Vorticity

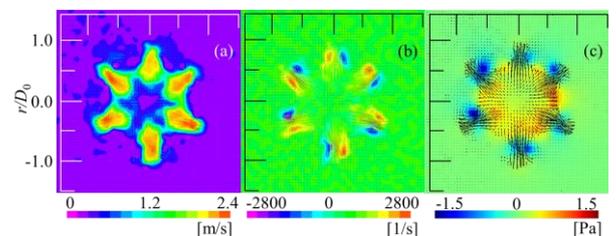


Fig. 6 Measured values horizontal cross-sections

at $x/D_0 = 2.0$ by PIV

(a) Speed, (b) Vorticity, (c) Pressure

圧力のコンター図を示す。中心から外側方向に速度をもち、主流から外側に広がり変形している。マッシュルーム状の渦構造部分では一对の回転方向の異なる渦度が確認できる。すなわち渦輪が周方向に六角形に変形することにより、励起孔と励起孔の間で発生する縦渦対が確認できる。(c) は PIV の測定結果を用いてポアソン方程式より求めた圧力場である。縦渦対の部分では負圧になり、六角形に変形した渦輪の部分では圧力が高くなっている。

4. 参考文献

- [1] 豊田国昭:「噴流の渦」, 日本流体機械学会誌 ながれ, Vol.24, pp.151-160, 2015
- [2] 森集人, 他 3 名:「軸対称噴流中の渦輪と縦軸の干渉」, 日本機械学会論文集 B 編, Vol.70, No.697, pp.27-33, 2004.
- [3] 齋木悠, 他 3 名:「ミニチュア噴流アクチュエータによるメタン・空気同軸噴流の混合および燃焼の能動制御」, 日本機械学会論文集 B 編, Vol.79, No.807, pp.56-68, 2013.