

K3-11

## 一方向から局所的に励起された円形噴流の初期領域の発達過程 Development process of a round jet which locally excited from one direction

○中村宣明<sup>1</sup>, 村松旦典<sup>2</sup>\*Nobuaki Nakamura<sup>1</sup>, Akinori Muramatsu<sup>2</sup>

An acoustic excitation is popular as methods of active control for a jet. In this study, a round jet is locally excited by a local sound wave radiated from a loudspeaker inputting a sine wave. The jet was visualized using planar laser Mie scattering. Mean velocity and velocity fluctuation were measured using a hot wire anemometer. As a result, it is found that the acoustic excitation produces anisotropy to the spatial development of the jet, and changes of the flow structure by the frequency of the sound wave.

### 1. 緒言

円形噴流中には、流れ場の特性を支配する周期的な渦輪列が存在し、噴流現象の解明や制御を目的とし、渦構造に注目した研究が多くなされている<sup>[1]</sup>。従来の研究では、噴流の軸方向および周方向の擾乱を加えることで、大規模渦構造の制御を試みたものが多い<sup>[2]</sup>。一方近年の研究では、プラズマアクチュエータ、フラップ型アクチュエータ、ミニチュア噴流アクチュエータなどの制御デバイスをノズル出口に設置し、噴流切断層に直接擾乱を与えることにより噴流を制御する試みが増えている<sup>[3]</sup>。しかし、円形噴流の半径方向外側一方向から局所的に励起した研究は見当たらない。

本研究では、音響スピーカーを使用して、噴流の切断層を半径方向の一方向から局所的に励起することを試みた。すなわち、切断層を音響励起した噴流を可視化し、熱線風速計による速度分布の測定を行った。

### 2. 実験装置及び方法

図 1 に実験装置<sup>[4]</sup>の概略図を示す。空気を出口直径  $D_0 = 8 \text{ mm}$  の円形ノズルより静止大気中に鉛直上方へ噴出する。ノズル出口の肉厚は  $2 \text{ mm}$  である。スピーカーボックスは、噴流切断層に局所的に擾乱を加えるため、先端に長さ  $30 \text{ mm}$ 、内径  $10 \text{ mm}$  の円管が設けられている。スピーカーボックスは、円管の出口中心が主流方向に  $24 \text{ mm}$ 、周径方向に  $24 \text{ mm}$  と、それぞれノズルの出口直径の 3 倍 ( $3D_0$ ) の位置に設置した。図 2 に示すように、可視化は二つの断面で行った。すなわち、断面 1 は音波の入射方向に平行な面、断面 2 は断面 1 と直交する面である。噴流のレイノルズ数  $Re$  は、音響擾乱の効果が見やすい噴流の切断層にくびれが生じ始める  $1500$  に設定した。このときの噴流の噴出速度  $U_{c0}$  は  $2.81 \text{ m/s}$  である。あらかじめ求めた  $Re = 1500$  での噴流コラムの自然遷移での渦の形成周波数は  $f_v = 180 \text{ Hz}$  であるので、励起周波数  $f_s$  を  $0.5 f_v = 90 \text{ Hz}$ 、 $f_v = 180 \text{ Hz}$ 、及び  $2 f_v = 360 \text{ Hz}$  とした。噴流に加える乱れ

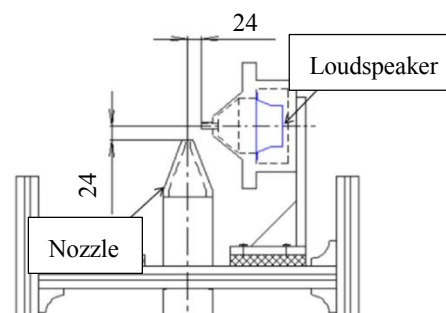


Fig. 1 Experimental devices.

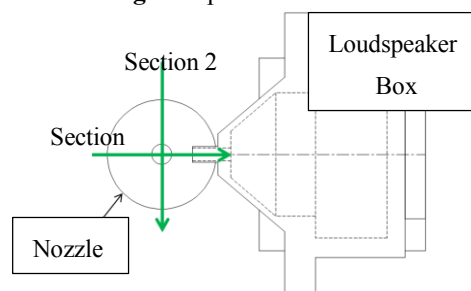


Fig. 2 Two Visualized sections.

の大きさはスピーカーボックスの円管出口での無次元速度変動  $u'_s/U_{c0}$  で表わす。ここで、 $u'_s$  は熱線風速計により測定した速度変動の実効値である。励起強度  $u'_s/U_{c0}$  は  $0.362$  と一定となるようにスピーカーに加える正弦波の電圧を調整した。

### 3. 実験結果及び考察

図 3 に可視化された噴流の 2 つ方向から見た流れ方向の断面を示す。図 3 の上半分は音波の入射方向の断面 1 を、下半分は音波の入射方向に直交する断面 2 を示す。図中の  $x$  と  $r$  は、主流方向及び半径方向の座標であり、その座標原点はノズル出口中心である。励起された噴流では、断面 1 において音波の入射側の渦の発達が促進されることで渦輪が傾く。励起周波数が  $f_s = 180$  および  $360 \text{ Hz}$  の場合には、断面 2 で噴流の空間的な発達とともに幅が断面 1 よりわずかに広がる。すなわち、空間的に異方性をもつ噴流が形成できるこ

とを示している。  $f_s=90\text{ Hz}$  で励起された場合、断面 1 で蛇行がみられ、その後噴流が左右に広がるように流れ、ほぼ一定の高さで渦から噴流流体がはがれ、渦が崩壊する。一方、断面 2 においては、渦が対称的な構造で下流へ流れていくのが分かる。この場合は噴流の構造に顕著な異方性が生じていることになる。

図 4 と 5 に、噴流の中心軸上の無次元した平均速度の分布  $U/U_{c0}$  及び変動速度  $u_c'/U_{c0}$  の分布を示す。音響励起した噴流では、励起しない噴流に比べて  $u_c'/U_{c0}$  が増加し、 $U/U_{c0}$  が噴出速度のまま維持されるポテンシャルコアが短くなる。 $f_s=90\text{ Hz}$  の場合、ポテンシャルコアの長さをもっとも短く  $x/D_0=4.0$  の位置から  $U/U_{c0}$  が減衰している。 $f_s=180\text{ Hz}$  と  $360\text{ Hz}$  ではそれぞれ  $x/D_0=5.0, 8.0$  の位置から  $U/U_{c0}$  の減少が見られる。図 3 に示した可視化写真でも噴流の変化が大きく見られた  $f_s=90\text{ Hz}$  の場合が  $U/U_{c0}$  は最も大きく減少している。噴流の初期段階 ( $x/D_0 < 3$ ) では、可視化画像から確認された剪断層の発達に伴い速度変動  $u_c'/U_{c0}$  は、 $f_s=180\text{ Hz}$  で空間的に大きく増幅している。 $f_s=90$  と  $180\text{ Hz}$  の場合、速度変動  $u_c'/U_{c0}$  は  $x/D_0 > 4$  で大きく増幅している。 $f_s=360\text{ Hz}$  ではほとんど増幅が見られず、 $x/D_0=8.0$  以下の範囲では、励起しない噴流と  $u_c'/U_{c0}$  の値は同程度の値を示している。

図 6 に、励起していない噴流と  $f_s=180\text{ Hz}$  で励起した噴流の断面 1 と 2 での半値幅を示す。励起しない噴流では、測定した範囲内では図 6 の左右で半値幅に変化が見られず、等方的に空間発達することを示している。励起した噴流の場合、音波の入射方向の断面 1 では、音波の入射位置である  $x/D_0=3$  の位置で励起側の剪断層の半値幅が減少する。また、 $x/D_0=4$  の位置で左右の半値幅は減少し、その後、 $x/D_0=6$  の位置では噴流の流れが左に傾いている。しかし、断面 2 においては、下流に行くにつれて半値幅が顕著に増加する。半値幅の結果からも、噴流の発達過程の異方性が示される。励起周波数の変化による噴流の空間発達の異方性を定量的に明らかにするためにも、今後  $f_s=90$  と  $360\text{ Hz}$  で励起した噴流の半値幅の測定を行う必要がある。

#### 4. 参考文献

- [1] 豊田, ながれ, Vol. 24, pp. 151-160 (2005).
- [2] Reynolds, W. C. and Parekh, D. E., *Annu. Rev. Fluid Mech.*, Vol.35, pp.295-315 (2003).
- [3] 齋木, 田中, 服部, 石野, 日本機械学会論文集 B 編, Vol. 79, No. 807 pp. 56-68 (2013).
- [4] 中村, 村松, 日本機械学会 2017 年次大会講演論文集, (2017).

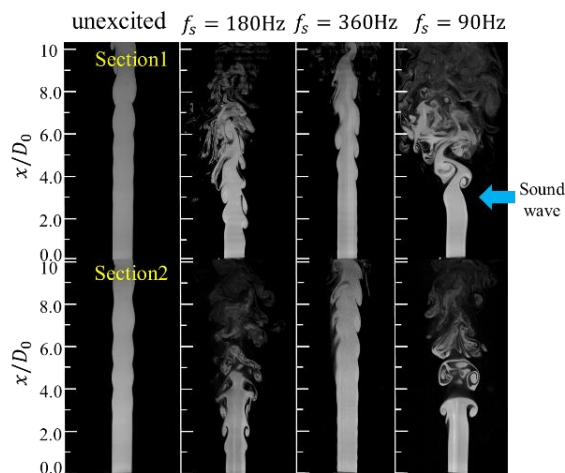


Fig. 3 Visualized air jets.

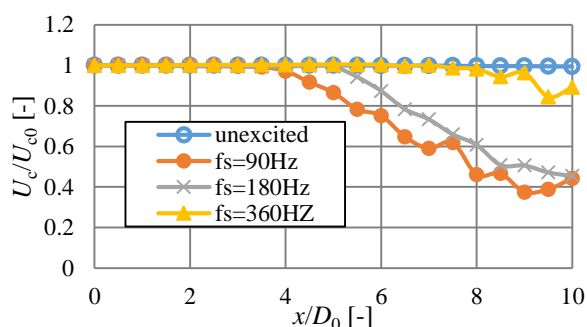


Fig.4 Axial distributions of mean velocity on the jet centreline.

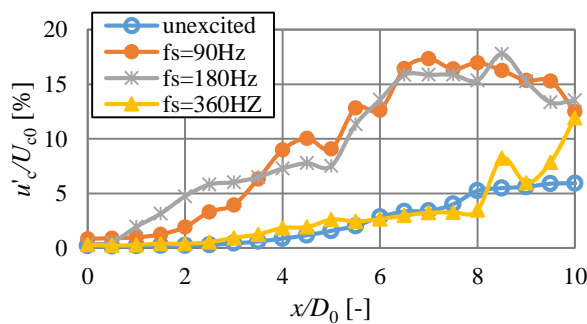


Fig.5 Axial distributions of velocity fluctuation on the jet centreline.

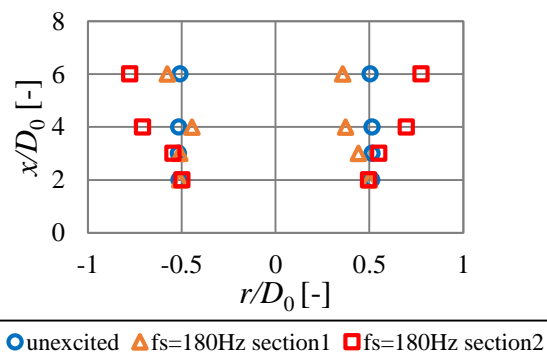


Fig.6 harf widths of the jets.