

一方向から局所的に音響励起した円形噴流の発達過程

Spatial Development Process of a Round Jet added Locally Acoustic Excitation from One Direction

○中村宣明¹, 村松旦典²*Nobuaki Nakamura¹, Akinori Muramatsu²

Vortex rings are periodically formed in the initial region of a round jet. In this study, a round jet is locally excited by a local sound wave radiated from a loudspeaker inputting a sine wave. It is found that the acoustic excitation produces azimuthal deformation of vortex ring, so that the spatial development is different from that of an unexcited jet. The relationship between the input signal to the speaker and the spatial structure of the jet was investigated using visualization using PLMS.

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^[1]。これらの研究は流れ場全体に擾乱を加えることにより噴流の初期領域に発生する大規模渦構造の制御を試みたものが多く^{[2], [3]}、噴流初期領域の剪断層を一方向から局所的に励起した研究は見当たらない。そこで、円形噴流の剪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。昨年^[4]の研究では、ノズル出口直径 8 mm の噴流に対して、出口直径 10 mm の円管より音響擾乱を与えた。その結果、音波の入射方向の断面の噴流幅が狭くなり、その断面と直行する断面の噴流幅が広がり、空間的に異方性をもつ噴流を形成することができた^[4]。しかし、噴流中に発生する縦渦等の局所的な渦構造を制御するためには、剪断層をより局所的に励起する必要があると考えられる。本研究では、ノズル出口直径 12 mm、スピーカーの出口内径 2 mm のものを使用し、より局所的に擾乱を加え、噴流の周方向に人為的に縦渦を生成することを試みた。すなわち、初期領域の剪断層をより局所的に音響励起した噴流の周方向構造の変化とスピーカーへの入力信号との関係を、可視化実験を用いて実験的に調べた。

2. 実験装置及び方法^[4]

実験に使用した円形ノズルは出口が肉厚を 2 mm、出口直径 $D_0 = 12$ mm である。音響擾乱は、内径 2 mm、長さ 30 mm の円管を通して噴流に加えられる。音響擾乱を与える円管の出口中心が主流方向に 12 mm、周方向に 12 mm とそれぞれノズルの出口直径の 1 倍 (D_0) の位置に設置した。

上述のノズルより空気を静止空气中に噴出した。こ

のときの噴流のレイノルズ数 Re は、渦輪が発生し音響擾乱の効果が見やすい比較的に低速な 2000 に設定した。このときの噴流のノズル出口中心での流速 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 $f_v = 112$ Hz ($S_r = 0.527$) である。そこでスピーカーには周波数 f_s を $f_v = 112$ Hz とした正弦波を入力した。励起強度は円管出口での無次元速度変動 u'_s/U_{c0} で定義した。 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。励起強度は $u'_s/U_{c0} = 0.2$ の一定値に設定した。

煙発生装置により生成した微小な粒子を空気噴流中にトレーサー粒子として混入し、厚さ約 1 mm のレーザーシートを用いて、ミー散乱光により噴流中心軸上を通る鉛直（主流）方向の断面及び水平方向の断面の可視化を行った。鉛直方向断面の可視化は昨年^[4]と同様に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。可視化された噴流断面の撮影にはハイスピードカメラを使用し、8000fps で撮影した。

3. 実験結果及び考察

図 1 に励起していない噴流(a₁),(a₂)と、励起強度 $u'_s/U_{c0} = 0.2$ の場合について、ある瞬間の一枚の画像(b₁),(b₂)、20 枚の位相平均の画像(c₁),(c₂)及び 7 周期分 (500 枚)の時間平均の画像(c₁),(c₂)を示す。図 1 の上半分は音波の入射方向の断面 1 を示し、下半分は音波の入射方向に直交する断面 2 を示す。すなわち、図中の(a₁)等の添え字は断面の番号を示す。

可視化画像上の断面 1 に記した、青の矢印は、音波の入射位置の高さを示す。図中の x/D_0 はノズル出口直径 D_0 で無次元化したノズル出口からの主流方向距離である。励起なしの噴流(a₁),(a₂)では、 $x/D_0 = 3.0$ の位置

1 : 日大理工・院 (前)・航宇 2 : 日大理工・教員・航宇

で剪断層のロールアップが起り、 $x/D_0 = 4.0$ より下流で渦輪の形成が確認できる。励起された噴流では、励起なしの噴流と比べ、早期に渦の成長がみられ、渦輪が合体することなく崩壊している。位相平均された断面 1 の画像(c₁)は位相平均されていない(b₁)と比較してほぼ同じであり、励起周波数 $f_s = 112$ Hz にロックインした流れとなっていることがわかる。また、昨年の実験^[4]と同様の渦輪の傾きが見られ、位相平均画像においても渦輪の傾きが確認できる。断面 2 の画像(b₂),(c₂)では渦構造は対称に流れて行くことがわかる。どちらの画像も上流側 ($x/D_0 < 4.0$) の渦構造は明瞭であり、励起周波数にロックインした流れとなっている。断面 1 の 7 周期の平均の画像(d₁)では、 $x/D_0 = 3.0$ 付近から流れが励起方向側とは反対側に傾いていることがわかる。7 周期の平均の画像(d₁), (d₂)では共に、下流に行くにつれ半径方向外側で色の薄い剪断層の範囲が増え、噴流の幅が広がっている。

図 2 に励起していない噴流と $u'/U_{c0} = 0.2$ で励起した噴流の水平方向断面の可視化画像を示す。図 2 の r/D_0 はノズル出口直径 D_0 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。励起なしの噴流では、 $x/D_0 = 4.0$ の位置で渦輪が形成され、 $x/D_0 = 5.0$ の位置で周方向に渦輪が変形し、二つの外側に突き出た渦対構造を確認することができる。励起強度 $u'/U_{c0} = 0.2$ の噴流では、 $x/D_0 = 2.0$ の位置において励起方向側から渦輪の凹みが生じることで渦輪の変形が起こっている。 $x/D_0 = 3.0$ の位置では渦輪の外側に二つと内側に一つの渦対の構造を確認できる。位相平均画像とある瞬間の画像を比較しても $x/D_0 = 3.0$ までの構造は大きな変化は見られず噴流の周方向の構造についても励起周波数にロックインしていることが分かる。 $x/D_0 = 4.0, 5.0$ のより下流では、渦輪の変形が激しくなり励起方向側だけでなく、励起方向の反対側からも渦対と見られる構造が確認することができ、この構造の数は時間的に変化する。 $x/D_0 = 4.0, 5.0$ の位相平均画像は、全体の構造がぼやけており、周期的な構造が崩れランダムな構造に遷移していることを示している。

4. まとめ

噴流初期領域の剪断層を局所的に励起した実験から以下の知見が得られた。

- (1) 励起された噴流は、音波の入射方向側の渦の発達が促進されることで渦輪が傾く。
- (2) 噴流を音響励起することで、励起位置に対応した位置で渦輪を変形させることができる。

5. 参考文献

- [1] 豊田, ”噴流の渦”, ながれ, Vol. 24, pp. 151-160 (2005).
- [2] Corke, T.C., and Kusek, S.M., “Resonance in axisymmetric jets with controlled helical mode input”, J. Fluid Mech, Vol. 249, (1993), pp. 307-335.
- [3] Reynolds, W.C., and Parekh, D.E., “Bifurcating and Blooming jets”, *Annu. Rev. Fluid Mech.*, Vol.35, (2003), pp.295-315.
- [4] 中村宣明, 村松且典, “剪断層の局所的な音響励起による円形噴流の混合操作”, 日本機械学会 2017 年次大会講演論文集(2017).

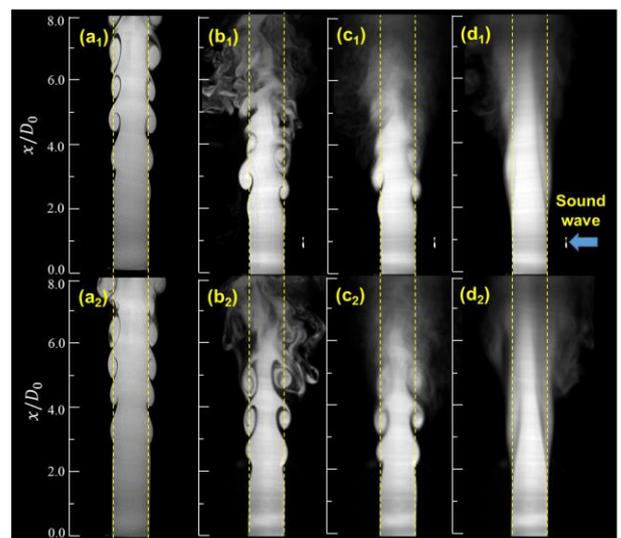


Fig.1 Visualized unexcited jet and excited jet at $u'/U_{c0}=0.2$
 (a₁) Unexcited image, Section1, (a₂) Unexcited image, Section2 (b₁) Single image, Section1 (b₂) Single image, Section2, (c₁) Phase averaged image, Section1, (c₂) Phase averaged image, Section2, (d₁) Averaged image of 7 cycle images (500 images), Section1, (d₂) Averaged image of 7 cycle images (500 images), Section2

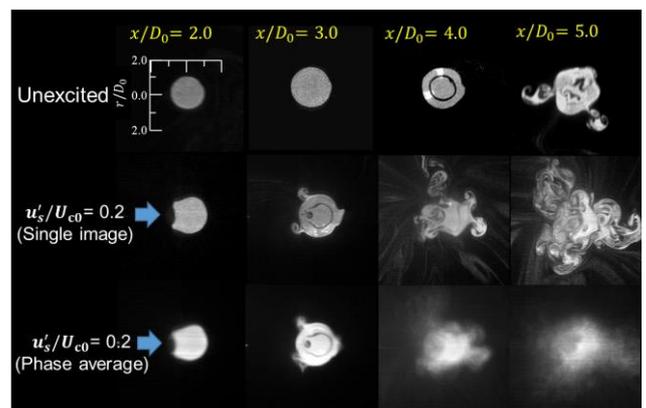


Fig.2 Visualized horizontal cross-sections of jets