D15 環状シンセティック・ジェット・アクチュエータによる 円形噴流の混合促進（励起周波数の影響）

Enhanced Mixing of a Circular Jet Using an Annular Synthetic Jet Actuator – Effect of Excitation Frequency –

正 高 曾 徹 (九州大)

○学 木下 卓也 (九州大)

Toru KOSO, Institute for Materials Chemistry and Engineering, Kyushu University, 6-1 Kasuga-koen, Kasuga-shi, Fukuoka
Takuya KINOSHITA, Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University

Key Words: Synthetic Jet, Turbulent Jet, Mixing Enhancement, Piezoelectric Actuator

1. はじめに

シンセティック・ジェット・アクチュエータ (Synthetic Jet Actuator) とはスリットから高周波数の往復振動流を噴出・吸引させて、噴流を発生させる装置である⁽¹⁾。正味の流出流量は零であるが流れ場に平均流や乱れを生じさせる。この装置を離れの能動制御⁽²⁾、噴流の方向制御⁽³⁾、流れの混合促進⁽⁴⁾⁽⁶⁾など応用するための研究が進められている。

著者ら⁽⁴⁾⁽⁶⁾は先に円形噴流に同軸の環状シンセティック・ジェット・アクチュエータを取り付けて実験し、噴流の混合が促進されることを示した。一般に、噴流は高乱流で混合能の高い流れであるが、レイノルズ数が低下すると混合層の発達開始が下流に移行するためノズル近くでの混合は小さくなる。そのためマイクロ・バーナなどの小形流動装置の混合促進にこのアクチュエータが有効と期待される。

本報告では比較的に低レイノルズ数の円形乱流噴流に同軸の環状シンセティック・ジェット・アクチュエータを取り付けて実験した。特に、アクチュエータを駆動する周波数を変えて実験し、円形噴流の平均速度場に及ぼす影響を調べた。

2. 実験装置および方法

図1に本実験で用いた噴流装置⁽⁴⁾⁽⁶⁾の形状を示す。図1(a)に噴流ノズルの側面の断面図を、図1(b)に正面図を示す。中央に円形噴流（主噴流）用の円管があり、その周りにシンセティック・ジェット・アクチュエータ（圧電振動板、空洞、環状隙間）が設置されている。円形噴流は内径 $d=5.0\text{mm}$ 、外径 $d_1=6.0\text{mm}$ 、長さ 76mm のステンレス円管から噴出させた。内側径 $d_1=6.0\text{mm}$ （円管の外径）、外側径 $d_2=7.9\text{mm}$ の環状隙間から往復脈動流を流出させた。環状隙間の板厚は 0.85mm である。圧電振動板の振動によって空洞内空気が駆動され、環状隙間に往復脈動流が発生する。圧電振動板は直径 31.2mm 、厚さ 0.1mm の鉄ニッケル板にピエゾ・セラミックを貼り付けたものである。これに正弦波交流電圧を印加した。

I 形熱線プローブをトラバースして噴流中の速度 u の分布を計測した。熱線流速計の出力電圧信号はアンチ・エイリアシング・フィルタに通した後 16 ビット AD 変換ボードで 10kHz でサンプリングしてパソコンに取り込んだ。サンプル長は 3.2 秒であり、それから平均速度、乱れ速度を求めた。

Fig. 1 A circular jet with a coaxial annular synthetic jet actuator.

3. シンセティック・ジェット・アクチュエータの周波数特性

まず始めにアクチュエータを駆動する周波数（励起周波数）が環状隙間の往復脈動流に及ぼす影響を調べた。圧電振動板への印加電圧を $\text{AC } 42.0\text{V}$ に保ち、励起周波数を $50 \sim 2000\text{Hz}$ で変化させ、環状隙間中央での脈動速度（速度 rms 値） u_s' を計測した。

図2に往復脈動流の脈動速度に及ぼす励起周波数の影響を示す。周波数によって脈動速度が大きく変化することが分かる。 750Hz のピークは圧電振動板の共振振動数であり、 1050Hz 付近の山はヘルムホルツ共鳴によるものと考えられる。

図2の周波数特性を基に脈動速度がほぼ同じ 600Hz 、 800Hz 、 1000Hz の3条件についてシンセティック・ジェットの速度分布を調べた。図3にノズルから 25mm 離れた位置での速度分布を示す。いずれも噴流の流れ場が形成されており、その速度の大きさ・分布はほぼ同じであることが分かる。シンセティック・ジェットの強さは脈動速度が同じであれば周波数によって変化しないものと考えられる。

Fig. 2 Effect of excitation frequency on the rms velocities of alternating flow in the annular gap.

Fig. 3 Velocity profiles generated by annular synthetic jet actuator.

4. 円形噴流の混合促進実験

主噴流の噴出速度は $U=7.89\text{m/s}$ で行った。その噴出レイノルズ数は $Re=Ud/\nu=2760$ であり、乱流円管流を噴出させた。円管出口中心での平均速度は $\bar{u}_{m0}=10.4\text{ m/s}$ で、相対乱れ度は $u'/\bar{u}_{m0}=0.057$ であった。アクチュエータの励起周波数は $f=600, 800, 1000\text{ Hz}$ で実験した。その脈動速度、ストローハル数はそれぞれ $u_s'=13.0, 13.9, 12.9\text{ m/s}$, $St=f\bar{u}_{m0}/u_s'=0.288, 0.385, 0.481$ である。励起しない円形噴流のスペクトル計測からこの噴流の大規模渦構造の周波数は $f=840\text{ Hz}$ 程度と考えられる。図3のシンセティック・ジェット速度分布に主噴流の分布も示す。本実験条件のシンセティック・ジェットは主噴流の流れと同程度の強さを有していることがわかる。

4.1 平均速度場 図4～7に主噴流だけと励起した噴流の等速度分布を示す。図中の数字は速度 $\bar{u}\text{ (m/s)}$ を表している。なお、熱線流速計では瞬間的な逆流を正しく計測できないので、環状隙間直後での速度は示していない。

図4に主噴流だけ（励起なし：脈動速度 $u_s'=0$ ）の平均速度の等速度分布を示す。噴流の幅は $x=15\text{mm}$ ($x/d=3$) 程度まで一定で、その後拡大することがわかる。

図5～7に主噴流をシンセティック・ジェット・アクチュエータで励起した噴流の等速度分布を示す。励起周波数はそれぞれ $f=600, 800, 1000\text{ Hz}$ である。いずれの励起周波数の場合も噴流は流れ場全域で拡がることわかる。また、励起周波数の影響は $x=15\text{mm}$ ($x/d=3$) 程度までの分布に見られるが、それより下流ではほとんど同じ分布を示す。800Hzの励起は噴流の大規模渦構造の周波数と近いにもかかわらず他の周波数の励起と同じであった。このことから、大規模渦構造を強化するような作用は生じなかったと考えられる。

また、 $x=40\text{mm}$ ($x/d=8$) の分布を図4の励起のない噴流と比較すると中心速度はほぼ同じであるが噴流幅が広がっていることが分かる。これは、シンセティック・ジェットの運動量の付与によって流れの運動量が増したためと考えられる。

4.2 最大速度・半値幅 噴流中心軸上の最大速度（図示なし）と半値幅（図8）の流れ方向の変化を検討した。励起噴流は励起しない噴流より、最大速度は小さいか同じであり、半値幅は広がった。励起周波数による最大速度・半値幅の違いは $x=15\text{mm}$ 程度まで見られたが、下流では同じになった。

5. まとめ

シンセティック・ジェット・アクチュエータで励起した円形噴流は噴流幅が大きくなり混合促進された。励起の脈動速度が同じ場合、励起された噴流の幅は励起周波数によらずほぼ同じであることがわかった。また、噴流の大規模渦構造の周波数に近い800Hzの励起に違いは認められなかった。

参考文献

- (1) Glezer, A. and Amitay, M., Synthetic Jets, *Ann. Rev. Fluid Mech.*, **34**, (2002) 503-529.
- (2) Gilarranz, J.L. and Rediniotis, O.K., Compact, High-Power Synthetic Jet Actuators for Flow Separation Control, *AIAA paper* 2001-0737 (2001).
- (3) Smith, B.L. and Glezer, A., Jet vectoring using synthetic jets, *J. Fluid Mech.* **458** (2002) 1-34.
- (4) 高曾・ほか, 円形噴流に及ぼす同軸環状シンセティック・ジェットの影響, 機講論 No.04-25(2004), 238, CD-ROM.
- (5) 高曾・白石, シンセティック・ジェットによる二次元噴流の混合促進, 機講論 No.058-1(2005), 353-354.
- (6) Koso, T., Enhanced Mixing of a Circular Jet Using an Annular Synthetic Jet Actuator, *Jets, Wakes and Separated Flows, JSME No.05-201* (2005), 385-390.

Fig. 4 Iso-velocity contour map for time-averaged velocity of a jet without excitation.

Fig. 5 Iso-velocity contour map for time-averaged velocity of a jet with excitation (excitation frequency $f=600\text{ Hz}$)

Fig. 6 Iso-velocity contour map for time-averaged velocity of a jet with excitation (excitation frequency $f=800\text{ Hz}$)

Fig. 7 Iso-velocity contour map for time-averaged velocity of a jet with excitation (excitation frequency $f=1000\text{ Hz}$)

Fig. 8 Growth of half-width of the jet.