

高速度シンセティックジェットの流れ解析について

木村 友美
Yumi KIMURA

機械システム工学専攻修士課程 2019 年度修了

1. はじめに

近年、電子デバイスの発達により種々の新しい流体制御装置（アクチュエータ）が考案されている。これらのアクチュエータは燃焼制御、マイクロポンプなどの多分野での応用を期待されている。特に、航空機や自動車への境界層制御については環境問題への関心の高まりから省エネルギーにつながると期待されている。応用についての研究は多くされているものの、基本的な流体特性について未解明な部分も多くある。シンセティックジェットアクチュエータは振動によって流体の流れを作り出すアクチュエータであり、振動部をスピーカー、圧電素子など多様な形で再現できることから、いくつかのタイプが発案されている。その中でも、本研究ではエンジンと同様の機構で振動部を再現しているものについて注目した。通常のシンセティックジェットでは圧電素子などの部品で振動を起こすため、振幅が小さく得られる速度を大きくすることが難しい。本研究では、比較的容易に高速流を作り出すことができる振幅の大きいシンセティックジェットアクチュエータに着目した。本研究では、数値流体解析を渡邊らによって行われた実験（1）に基づき数値流体解析をおこなうことでシンセティックジェットの詳細な流動特性を明らかにすることを試みた。

2. 解析条件

解析ソフトは ANSYS Fluent を用い、渡邊らによって行われた実験⁽¹⁾に基づき図 1 の形状で解析を行った。図 1 に示す一点鎖線を中心に軸対称回転モデルでの解析を行った。境界条件は破線上では圧力出口（ゲージ圧 0 hPa）、二重線上で静止壁（滑りな

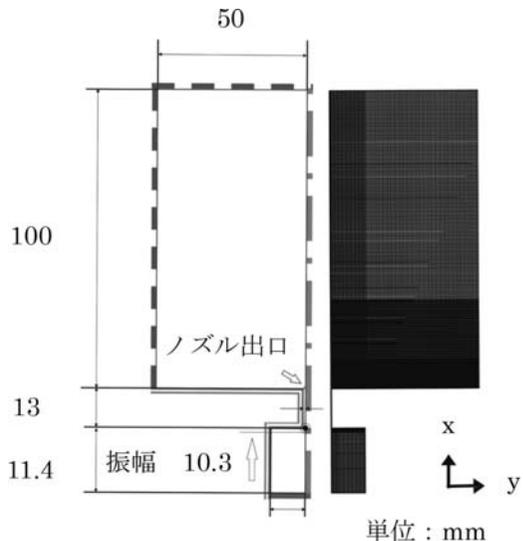


図 1 数値流体解析条件

し）、実線を振動部とした。振動部は $A\sin(\omega t)$ の速度を付与した（ A ：振幅， ω ： $2\pi/T$ ， T ：周期， t ：時間）。振幅 A の値は 10.3 mm とし、刻み時間は $T/20$ とし、10~100 Hz までの周波数を 10 Hz ごとに 10 周期分の解析を行った。また、11.4 mm の高さの図 1 において二重丸で示した点を原点としている。

3. 解析結果

シンセティックジェットアクチュエータの出口部であるノズル出口を図 1 にノズル出口としてピンクの線で表している。また、比較対象としてノズル上方 10 mm、30 mm のノズル幅部分も同じように代表速度を算出した。この線上の X 軸方向の速度を刻み時間ごとに平均した速度をその時間の代表速度としてグラフ図 2 に示した。上限値について 100、70 Hz において概ね渡邊らによって行われた実験（1）に近い値が得られた。

10 Hz の場合、図 2 に示すようにノズル出口では振動板の速度を与えている正弦波に似たような関数を示している。しかし、ノズル上方 10、30 mm については 0 m/s 以下の値は示さずにノズル出口付近の正の値とほぼ同じような関数となっている。100 Hz

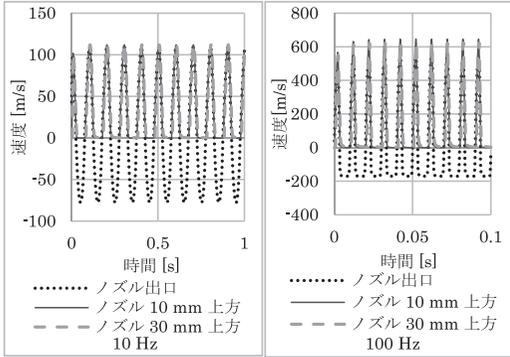


図2 ノズル幅の x 方向速度 (左から 10 Hz, 100 Hz)

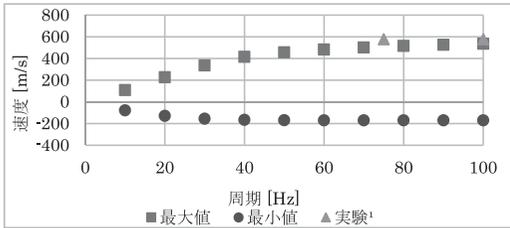


図3 周波数と速度の最大値と最小値の関係と実験⁽¹⁾の値

場合、10 Hz とはノズル出口での X 軸方向のグラフが大きく異なっている。10 Hz ではパルス波のような形になっている。また、下限値のようなものが表れているのが分かる。ここから各周波数について最大値、最小値について以下の図3にまとめている。

図3から最小値が下限値に近づくにつれて、速度の最大値の変化量が緩やかになっているのが分かる。また、実測値⁽¹⁾ともおおよそ近い値になっていることが分かる。速度の最大値、最小値について周波数ごとに傾きを算出すると、80~70 Hz の変化量が最大値については1.5以下、最小値については-0.01以上の値をとるようになっている。このことから最大値と最小値の値は関連があると考えられる。最大値、最小値の変化量の値が変化することについてはアクチュエータの振動板が下降する際に大

気圧によってアクチュエータ内部に外部の空気が吸入される。その大気圧に空気が押される速度より振動板の下降速度が遅い場合、大気圧により空気が付与された速度が減速してしまうためアクチュエータが吸気を行う工程で十分な質量流量が得られない。しかしながら空気が大気圧から得られる速度より大きい速度で振動板が下降したとしても、吸気過程において大気圧によって与えられる以上の速度は得られない。したがって最小値には下限値が存在すると考えられる。上限値についても質量流量が増加していくことにより大きな変化量が低周波数ではみられるが、高周波数においては質量流量の変化によって速度が増加するわけではなく純粋に振動から与えられる速度によって増加量が増えていると考えられる。この移行が40~80 Hz で起こっていると考えられる。数値解析における周波数変化は比較的容易であるが、実機における高周波数の運用は振動などの問題も考慮されるため、本研究結果から吸入過程で十分な質量流量が得られる70~80 Hz で速度の最大値について変化率が大きく変化していると考えられる。

4. まとめ

実験に基づいて行った数値解析について概ね結果が一致した。また、数値解析において速度の最大値と最小値の値には関連があると考えられる。またこのことから本研究で使用したアクチュエータ形状については、70~80 Hz で変化率の遷移が起こっていると考えられる。今回の学会では外部の先生方から貴重なご意見をいただき、他分野の研究に触れられ刺激になった。

参考文献

- (1) Sakakibara, H. and Watanabe, T. and Nagata, K., "Supersonic piston synthetic jets with single/multiple orifice", Experiments in Fluids (2018), pp 59-76