

高速度シンセティックジェットの流体解析について

Numerical fluid analysis about high speed synthetic jets

- 木村 友美, 龍谷大, 滋賀県大津市瀬田大江町横谷 1-5, t18m028@mail.ryukoku.ac.jp
 大津 広敬, 龍谷大, 滋賀県大津市瀬田大江町横谷 1-5, otsu@rins.ryukoku.ac.jp
 Yumi KIMURA, Ryukoku University, Yokotani 1-5, Seta Oecho, Otsu, Shiga, 5202194, Japan
 Hirotaka OTSU, Ryukoku University, Yokotani 1-5, Seta Oecho, Otsu, Shiga, 5202194, Japan

A synthetic jet actuator is a fluid control device that creates a flow by oscillation. A piezoelectric element or a loud speaker are generally used for the oscillation part of the synthetic jet actuator. But the output velocity or flow rate was limited due to the small amplitude of the oscillation part. In this research, we focused on the synthetic jet actuator that produces a supersonic flow using an oscillation part with a large amplitude. A numerical fluid analysis model was created based on experiments conducted by Hiroyuki Sugawara, Tomoaki Watanabe, Koji Nagata.⁽¹⁾ The detailed flow characteristics about the frequency and velocity distribution of the oscillation were investigated using unsteady CFD analyses. From CFD results, we found that the output velocity has a lower limit. Additionally, the optimal frequency was predicted from the rate of change of maximum and minimum output velocity.

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で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 Fig.1 の形状で解析を行った。Fig.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(圧力出口(ゲージ圧 0hPa)、二重線上で静止壁(滑りなし)、実線上を振動部とした。振動部は $A\omega\sin(\omega t)$ の速度を付与した (A:振幅、 $\omega:2\pi/T$ 、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、紙面の短辺方向が Y 軸方向で長辺方向が X 軸方向として座標を定めた。解析モデルの回転中心軸上の紙面の下側から 11.4 mm の高さの Fig.1 において二重丸で示した点を原点としている。X 軸において 13~11.4 mm の部分がアクチュエータの形状を模擬している。

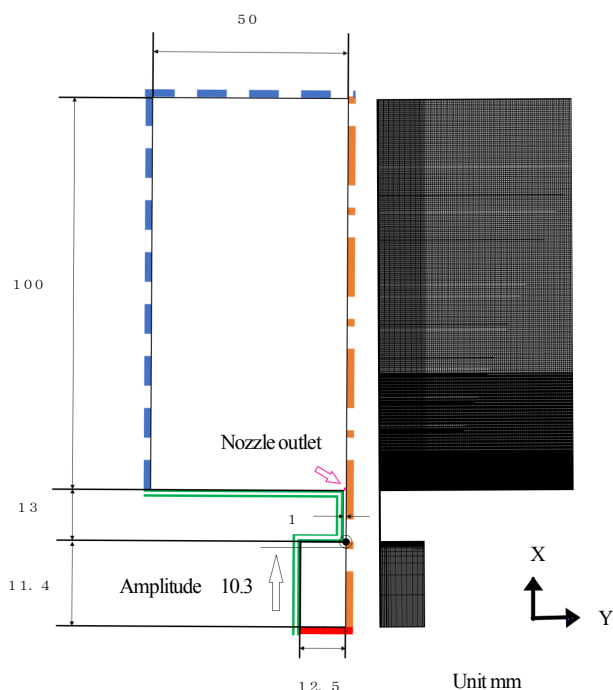


Fig. 1 Numerical analysis model shapes and partitioning of boundary conditions

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 Fig.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、30mm (X=23,43 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 Fig.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。

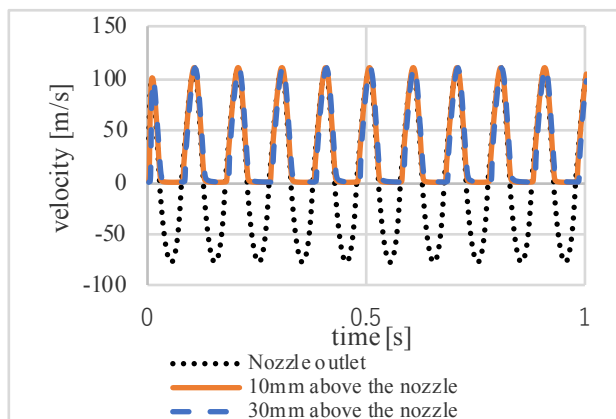


Fig. 2 Nozzle width average velocity in the X-axis direction (10 Hz)

10 Hz の場合、Fig.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。

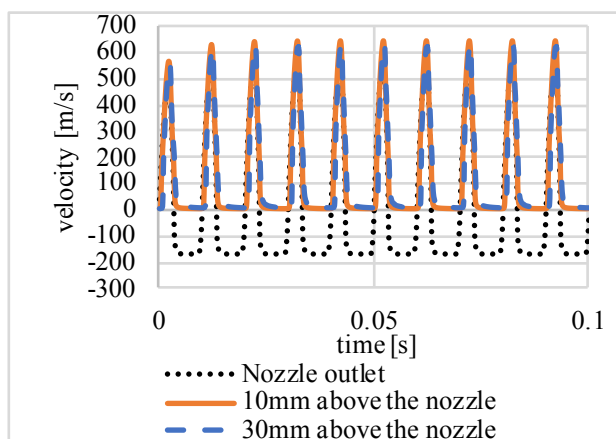


Fig. 3 Nozzle width average velocity in the X-axis direction (100 Hz)

100 Hz 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 Fig.4,5 にまとめている。

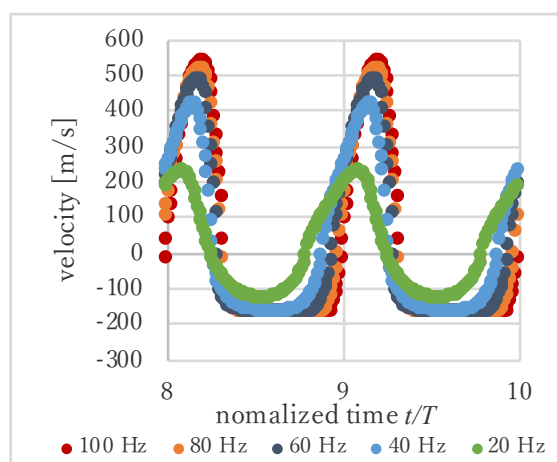


Fig.4 Relationship between output velocity and frequency

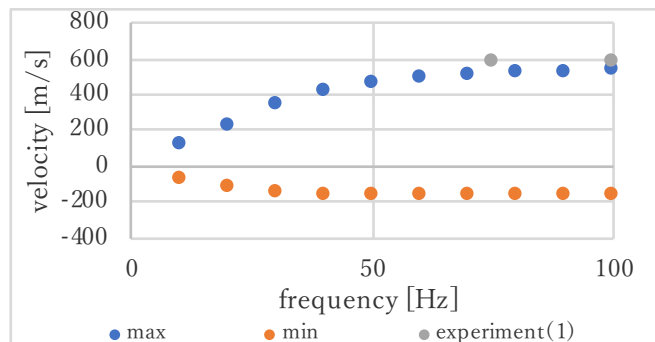


Fig.5 Maximum and minimum values in 10 cycles of each frequency by numerical analysis and Measured value⁽¹⁾

Fig.4 から下限値があるのは明らかである。また Fig.5 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。そのためアクチュエータから流出する質量流量も減少することになる。

しかしながら空気が大気圧から得られる速度より振動板が下降したとしても、外部から与えられる圧は大気圧のみなので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。

また、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板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。数値解析においての周波数変化は比較的容易であるが、実機においての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、最小値の変化量が -0.01 以上となる 70~80 Hz で変化率の遷移が起こっていると考えられる。

参考文献

- (1) Skakibara, H. and Watanabe, T. and Ngata, K., "Supersonic piston synthetic jets with single/multiple orifice", Experiments in Fluids (2018), pp59-76