

# 卒業論文要旨

## 風洞実験環境改善のための数値実験とその実証

### Simulation and experimentation for improving wind tunnel testing environments

システム工学群

航空エンジン超音速流研究室 1180004 有賀 寛純

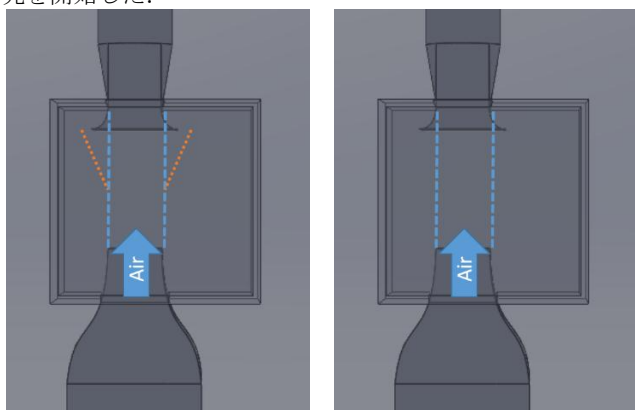
#### 1. 序論

2016年度の研究において、本学 A261 室の風洞装置を使用した実験者より、「計測室内の主流（計測流）が膨らんでいる」「計測値の乱れが大きい」という 2 点の報告がなされた。

まず、計測流の膨らみに関しては、タフトによる観測を根拠として、図 1(a)のような下流に向かって拡大する流れになっているのではないかと報告された。しかしながら、計測流は通常、図 1(b)に示すように平行に流れていると想定されている。

図 2 は計測室内の主流吹き出し口に設置されている L 字ピトー管を用いて、風洞の最大出力（風速 27[m/s]程度が出る）で風洞を運転した時に、30 秒間で 600 点の全圧のデータを取得した結果である（大気圧を 0[Pa]としてデータを取得している）。振幅 5[Pa]程度の振動が発生している。本学の風洞実験では、ピトー管の値を基に風速を算出するため、このように全圧値が振れていると風速を正確に設定することが困難であり、その結果として「計測値の乱れが大きい」という報告に繋がったと考えられる。そのため、今後の同じ環境で実験を行うにあたって、精度や再現性への影響が懸念された。

以上を受けて、①計測室内での空気の流れをシミュレーションすること、②シミュレーション結果を受けて、計測室改善案を検討すること、③実際にその改善法を適応して実験を行い、計測環境の改善を確認することの 3つを目的として研究を開始した。



(a) Suspected flow (b) Expected flow  
Fig.1 Flow patterns of test section

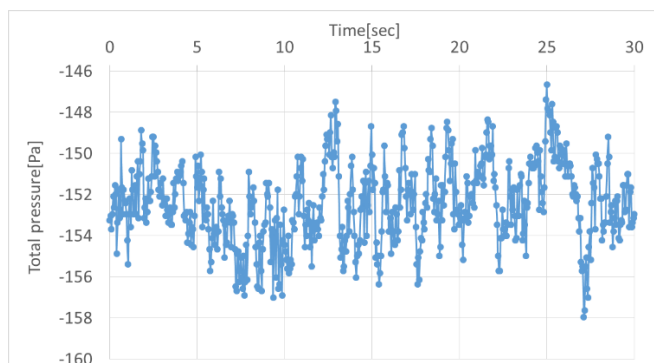


Fig.2 Pitot data of total pressure

#### 2. 数値流体解析

主流の流れの現状を把握する事と、改善案の設計と数値実験を行うという 2 つの目的のために、CFD（数値流体力学）解析を行うこととした。本研究では、3D モデリングに SolidWorks を使用し、SolidWorks Flow simulation を CFD 解析に使用した。

解析に当たっては図 3 に示すような実寸大の風洞設備 3D CAD モデルを製作して、風洞が設置されている本学 A261 室の環境を再現した。

解析の結果、図 4 のように計測流の上下左右にキャビティ渦が発生している事と、図 5 のように、特に計測流の下流領域において、吹き出し口が 1×1[m]の正方形であるにもかかわらず速度分布が丸形に変化していることから、上流と下流で流れに変化が生じていることが分かった。

このシミュレーションで見られた流れの変化や、実験での計測結果の乱れは、キャビティ渦の影響ではないかと考え、空気の層で計測流をキャビティ渦から保護することを期待し、図 6 のような二重吹出口を考案した。

これを用いたシミュレーション結果を図 7, 8 に示す。図 7 は図 4 と比較して大幅な違いは見られないが、図 8 に示す速度分布については図 5 と比較して後方部分の速度分布の改善が見られたため、これを実際に製作して実験を行った。

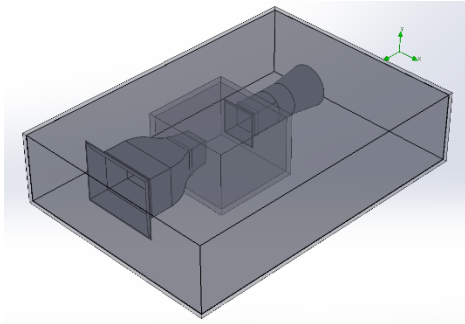


Fig.3 3D CAD model of wind tunnel and room

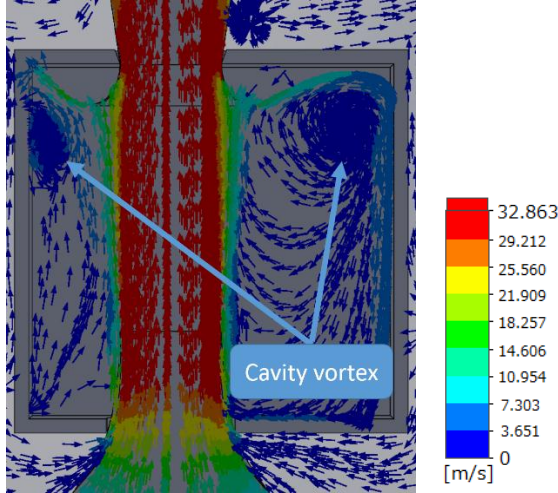


Fig.4 Result of velocity (Upper view)

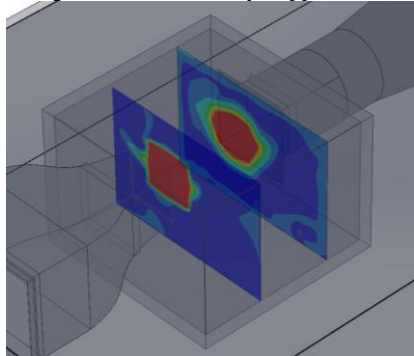


Fig.5 Velocity contour plot

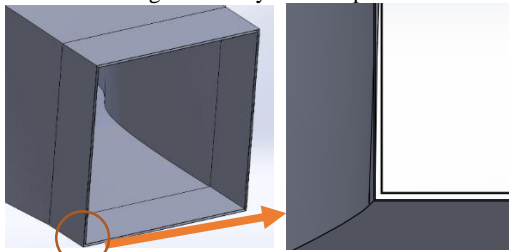


Fig.6 Dual wall (3D CAD model)

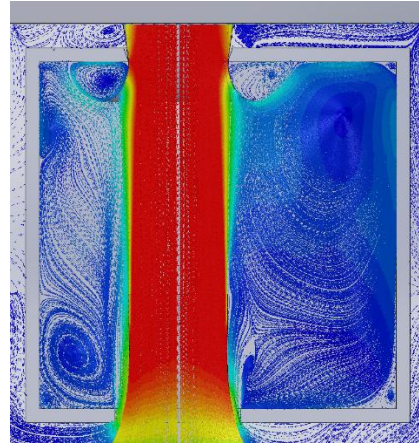


Fig.7 Velocity result of using double wind outlet (Upper view)

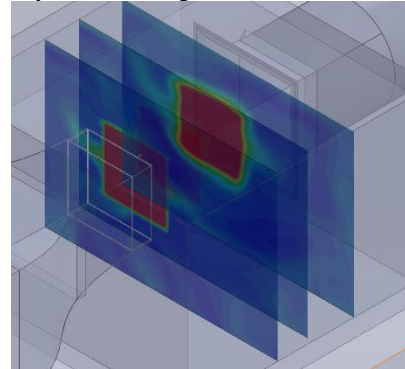


Fig.8 Velocity contour plot

### 3. 二重吹出口の製作と実験

#### 3.1 実験概要

シミュレーションで使用したモデルを参考にして、吹き出し口を実際に製作した。実験は、共同実験者と同じ方法<sup>(1)</sup>を採用し、その結果と比較を行うことで二重吹出口の効果を実証することとした。

#### 3.2 実験方法

まず、データの取得と評価方法について述べる。取得する対象は計測流の風速とし、風速データの取得には熱線風速計を用いた。ある座標 1 点につき 6 秒間で 600 個の計測データを取得し、この 600 個の測定データの標準偏差を同データの算術平均で割った変動係数を「乱れ度」と定義し、この値の大小で流れの乱れ具合を比較した。

計測座標の定義に関しては、原点と 3 次元座標は図 10 のように定義し、YZ 平面を 20[mm]のグリッドに区切って、その格子点でデータを取得した。実際の熱線風速計の座標移動には 3 軸トラバース装置を使用した。

最後に、結果の比較方法を述べる。前項で述べた YZ 平面のデータ取得を複数の X 座標で行う。そのうえで、1000×1000[mm]の計測範囲に対して、端部から 200[mm]分のデータを除いた 600×600[mm]の部分での乱れ度の算術平均を取り、その値をある X 座標での乱れ度とした。これを比較することで、X 座標と乱れ度の相関や、二重吹出口の効果を議論する。

#### 3.3 実験結果

X 座標と乱れ度の相関を図 11 に示す。二重吹出口は吹き出し口から後方 X=1.4 [m]まで約 2[%]の乱れ度を保つことが分かった。この結果、現状の風洞の乱れ度と比較すると、X=0.9 [m]よりも前方部での乱れ度が若干の増加となる一方で、X=0.9 [m]以降では乱れ度の大幅な減少となる。これにより二重吹出口による計測流後方の乱れ低減効果が実証された。



Fig.9 Dual wall

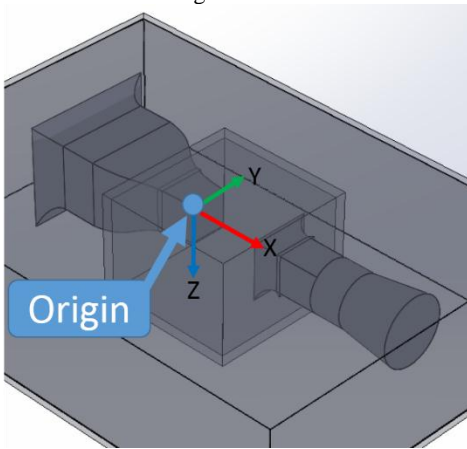


Fig.10 Definition of axis and origin

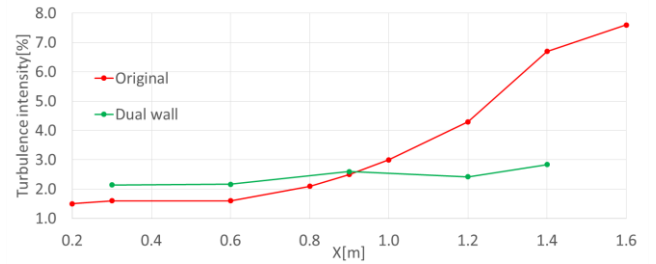


Fig.11 Turbulence intensity by X axis

#### 4. 結論と考察

本研究では、まず計測室内での空気の流れのシミュレーションにより、キャビティ渦の発生を把握した。それを受けて、計測流の外側に空気の層を作ることでキャビティ渦から計測流を保護することを目指し、二重吹出口を考案し、シミュレーションでその効果を予測した。

さらに実際に二重吹出口を製作し、実験を行ったところ、二重吹出口の設置により特に後方の計測流の乱れが低減された。

以上のように、本研究で目的としていた、①計測室内での空気の流れをシミュレーションすること、②シミュレーション結果を受けて、計測室改善案を検討すること、③実際にその改善法を適応して実験を行い、計測環境の改善を確認することのすべてを実施することができた。

一方で、乱れを低減するメカニズムを解明するには至らなかった。今後はこの結果を踏まえて、吹出口を二重にすることで計測流後方の乱れ度が低減されるメカニズムを解明するための継続的な研究を行う必要がある。

#### 文献

- (1) 遠藤太喜, 開放型風洞の測定部乱れ度低減に向けた吸込口の改善, 学士論文, 2018.