

## 風洞設計のためのファンの回転を再現した数値流体解析の試み

### An Attempt at Computational Fluid Dynamics to Reproduce Fan Rotation for Wind Tunnel Design

○岡田時人<sup>1</sup>, 鈴木望美<sup>2</sup>, 長谷部寛<sup>3</sup>

\*Tokito Okada<sup>1</sup>, Nozomi Suzuki<sup>2</sup>, Hiroshi Hasebe<sup>3</sup>

Abstract : There is a demand for transporting wind tunnels and conducting experiments in various locations. To meet this demand, a portable multi-fan wind tunnel was developed. While this wind tunnel features the ability to easily change its shape using CAD, the performance of the wind tunnel with its altered shape must be evaluated separately. Therefore, an analysis was attempted using CFD to simplify the evaluation of the portable wind tunnel's performance. To reproduce the process of generating airflow through fan rotation, the rotating boundary method was applied. As a result, it was possible to generate the wind blowing out from the wind tunnel.

#### 1. はじめに

風洞実験は、風工学の諸問題を解決するための有力なアプローチであるが、大掛かりな設備が必要になる。一方で、風洞が設置されていない場所で風を発生させる実験を行いたい場合がある。また、教育的な観点や広報的な観点から、オープンキャンパスなどで風洞を用いて風の現象を来場者に披露する需要などもある。

本研究室では、このような需要に応えるため、持ち運びが容易な簡易風洞「ポータブル風洞」を開発した<sup>[1]</sup>。さらにその風洞を、消防学校の訓練施設に持ち込み、火災の延焼に及ぼす風の影響を計測する実験を行った<sup>[2]</sup>。

ポータブル風洞は、CAD上で容易にその形状を変えられることができ、3Dプリンターを活用することで、パーツも作成ができる。しかし、形状を変化させたあとの風洞の気流性状は、現状では製作後に計測して評価する必要があった。

そこで、形状を変化させたときのポータブル風洞の気流性状を、事前に数値流体解析によって評価する方法を考えた。本研究では、それを実現するための第一歩として、風洞形状を簡易的にモデリングした数値流体解析を行った。風洞はファンの回転により気流を生成するのが一般的であるが、それを数値流体解析で再現するため、オープンソース流体解析ソフトOpenFOAMのArbitrary Mesh Interface (AMI)<sup>[3]</sup>を活用してファンの回転を再現することとした。

#### 2. ポータブル風洞<sup>[1]</sup>

Figure 1にポータブル風洞の全体像を示す。この風洞は、縮流胴、整流胴、拡散胴の3つのパートが容易に分解・組み立てできるようになっている。吹き出し口

の寸法は一辺250mmの正方形であり、最大風速は約7m/s、乱れ強さは吹き出し口中央で0.5%程度である。

安価に構築ができるように、ファンはPC用ファンを用いており、吸い込み口に縦3段、横3段の計9個設置されている。また、CAD上での形状は、3DモデリングソフトRhinocerosのアドオンツールGrasshopperを用いて自由に変えられる仕組みを導入している。

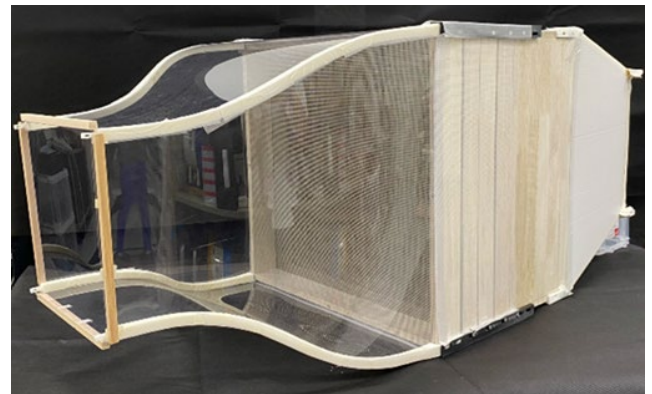


Figure 1 Portable wind tunnel

#### 3. 解析手法

ポータブル風洞を構築する前に数値流体解析により風洞の気流性状を評価するためには、ファンの回転により気流が生成される状況を再現する必要がある。そこで、OpenFOAMのArbitrary Mesh Interface (AMI)を活用した。AMIはプロペラの回転に伴う気流の解析などに用いられており、円筒形の回転領域を設定すると、その外側の領域と独立に指定した領域を回転させることができる。境界面でセルが整合しない状態が生じるが、近接するセル同士で物理量を補間してやり取りす

1: 日大理工・学部・土木 2: 日大理工・院(前)・土木 3: 日大理工・教員・土木

ることで、境界上での保存性を担保する。

今回解析に用いたファンを figure 2 に示す。解析領域を figure 3 に示す。風洞ファンのまわりを AMI と設定し、ファンの回転を再現した。ポータブル風洞ではファンを9台設置しているが、今回はこのような解析を実現させることを優先したため、ファンは1台とした。なお、回転数はポータブル風洞のファンに近い 60 Hz とした。ファンの上流側の吸い込み境界は、ファンの回転に伴って流れが流入するように、流速と圧力に共に勾配ゼロの条件を課した。風洞の壁面は slip 条件を課し、吹き出し境界は自由流出条件を課した。解析メッシュを figure 4 に示す。ポイント数は 128,787、セル数は 107,108 である。

#### 4. 解析結果

Figure 5 に解析して得られた流速と圧力の分布を示す。ファンの回転に伴って流れが流入し、吹き出し口から流れ出ることが確認できた。吹き出し口中央の流速は約 2.0 m/s であった。ファンの回転数が同程度の場合のポータブル風洞の風速は 7 m/s であるので、風速は過小評価された。これは、ファンの数が少ないこと、風洞の形状を直線的に簡易化したことで圧力損失が大きくなったことが要因と考えられる。ただし、ファンの回転に伴う流れの生成が実現できたことから、同じ方法でファンの数を増やせば結果は改善される可能性がある。

#### 5. まとめ

本研究では、ポータブル風洞の生成する気流性状を、風洞を製作する前に評価するため、ファンの回転を再現した数値流体解析を実施した。ファンの回転による気流の生成を再現できたが、実際の風洞よりも風速は過小評価された。今後はファンの数、風洞の形状を実際の形状に合わせた解析を実施する予定である。

#### 参考文献

- [1] 中村優介, 長谷部寛 : ポータブルマルチファン風洞の風速制御と乱れ強さの低減, 日本風工学会年次研究発表会梗概集, pp.91-92, 2023.
- [2] Hiroshi Hasebe, Yusuke Nakamura : Development of a simple experimental method for wind and fire interaction problems, Proceedings of the 9th European African Conference on Wind Engineering, pp.262-265, 2025
- [3] OpenFOAM User Guide : <https://www.openfoam.com/> (閲覧日 2025 年 7 月 22 日) .

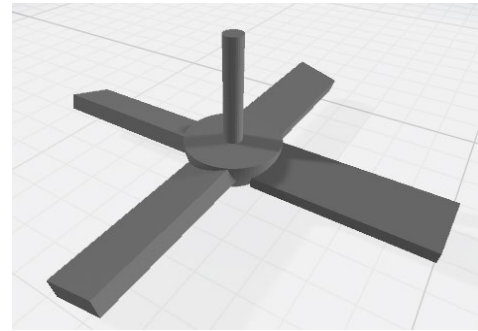


Figure 2 3D model of the fan

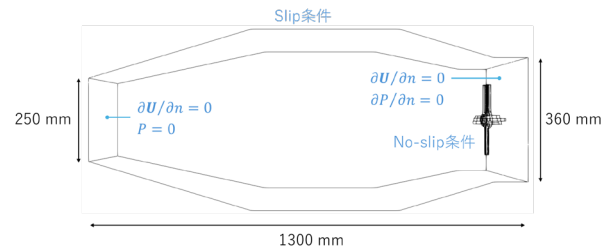


Figure 3 Computational domain

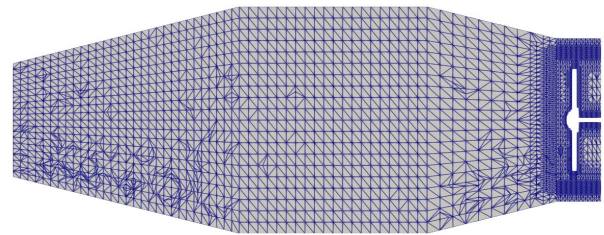


Figure 4 Computational mesh

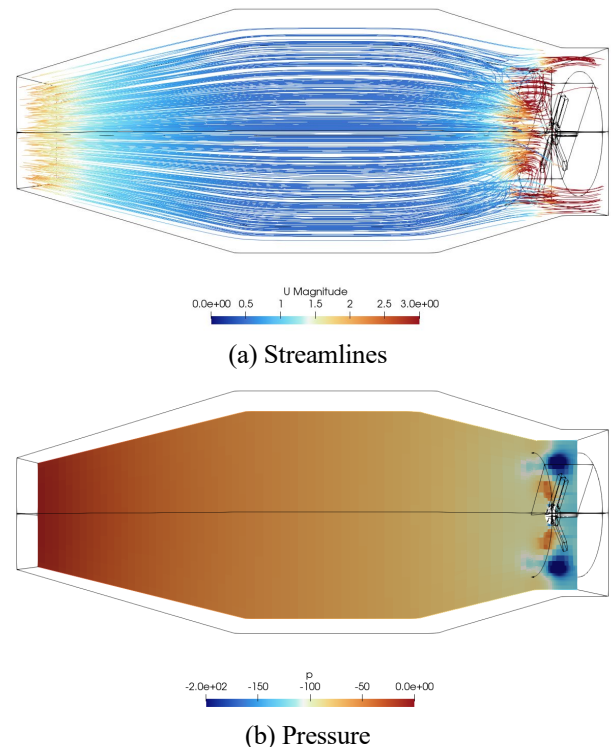


Figure 5 Computational result