



2D CFD パラメトリック PINNsモデル報告

株式会社アストライアソフトウェア

2025年2月21日

はじめに



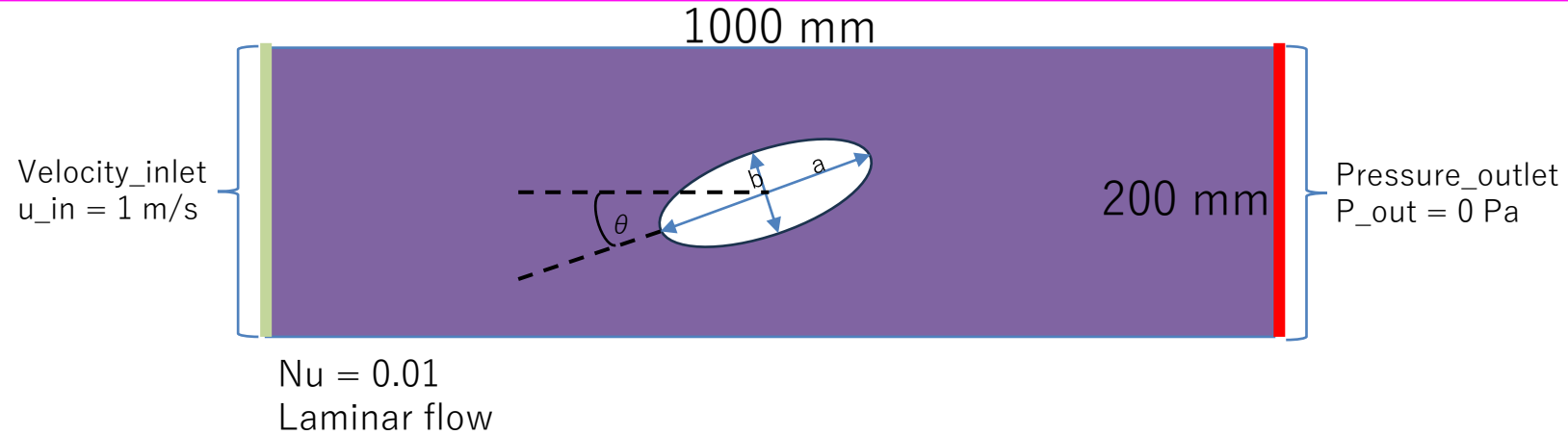
- AI × CAE活動の一環として、CFDアプリケーション用のPINNs (Physical Inform Neural Networks) モデルの調査と研究を行っており、流体力学の2Dパラメトリック問題に成功しています。
- 本報告書は、そのモデルの詳細について説明をします。
- 作成されたAIモデルは、以下の弊社デモサイトで公開されています。
- https://demo4.astraea-soft.com/2D_cfd.html

実装の詳細



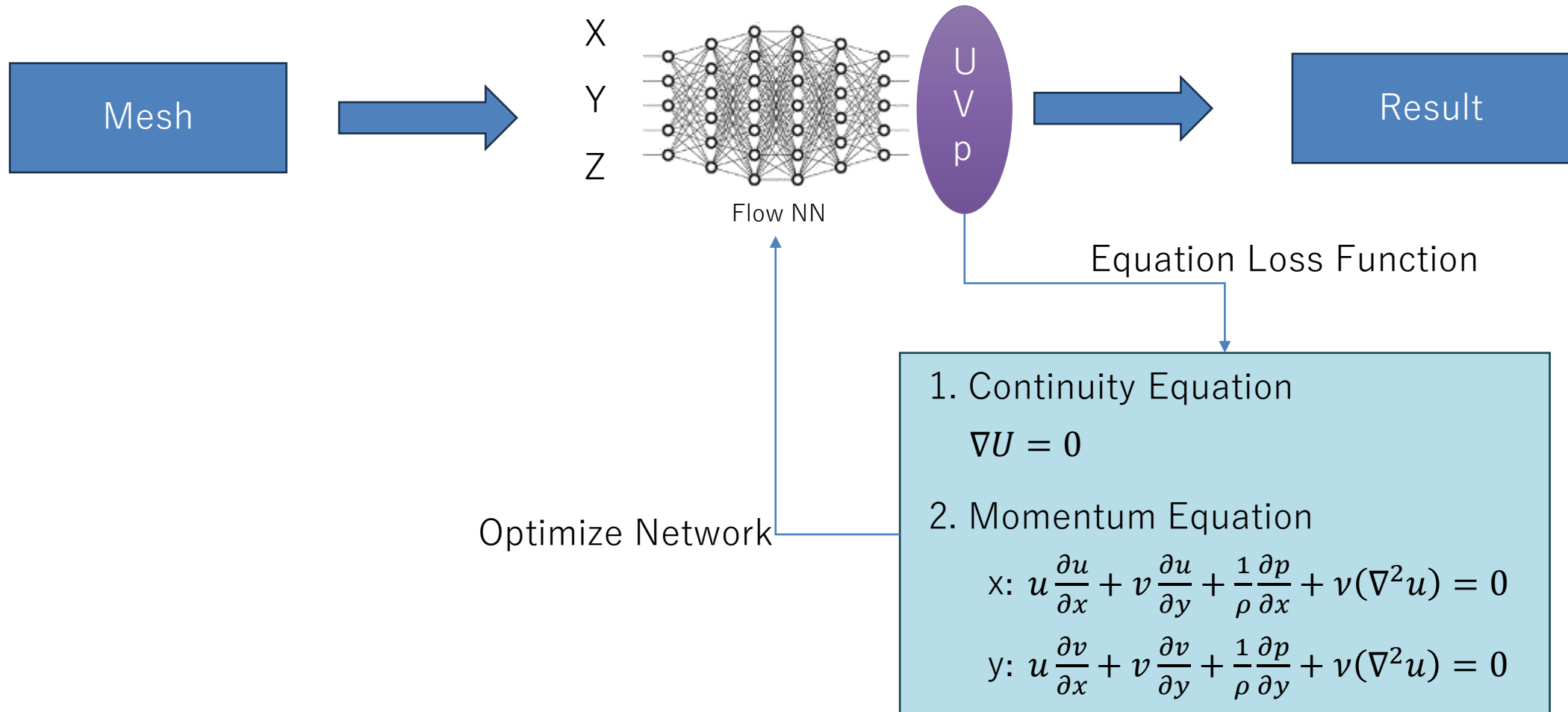
- PINNsを流体力学の問題に適用するために、パラメトリック障害物のある2Dパイプでモデルを検証しました。
- このPINNsはトレーニングにFEM結果の参照データを使用せず、結果の検証にのみ使用します。これは物理式のみで得られた結果が、実際のFEM結果を合致するか確認するためです。
- よって今回は1ケースのOpenFOAM解析結果のみが検証で使用されました。
- PINNsは入力にメッシュを作成せず、ポイントの位置のみが必要です。これにより、結果はメッシュの品質に依存しません。
- このパラメトリックスタディのDoE (実験計画) は離散的ではなく、設計範囲内で連続的です。

流体力学問題



- DoE (実験計画)
 - $a = 20 : 140 \text{ mm}$
 - $b = 20 : 140 \text{ mm}$
 - $\theta = -1 : 1 \text{ rad}$

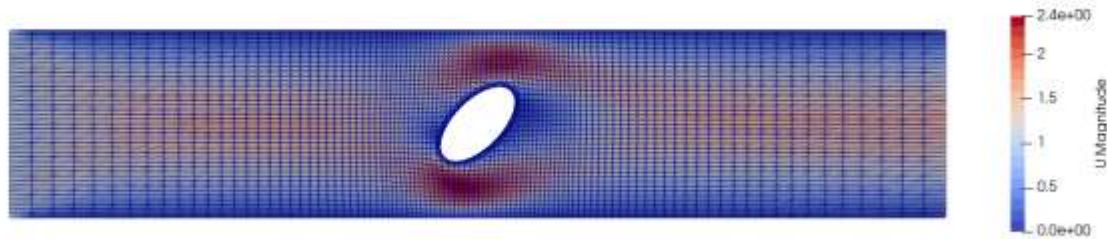
PINNsモデル詳細



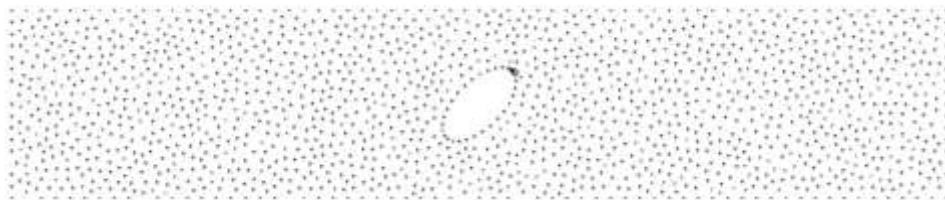
入力データと参照データ



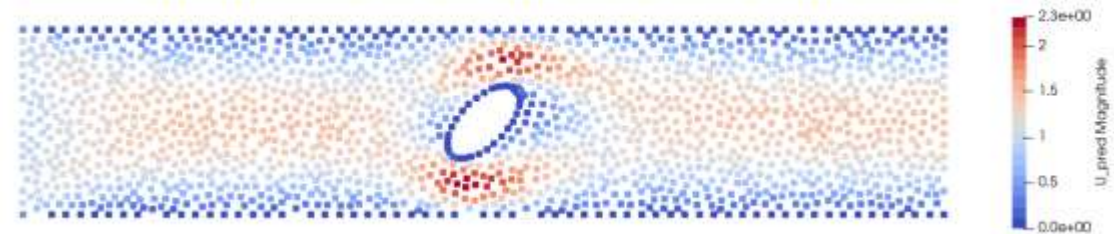
OpenFOAM 検証用参照データ



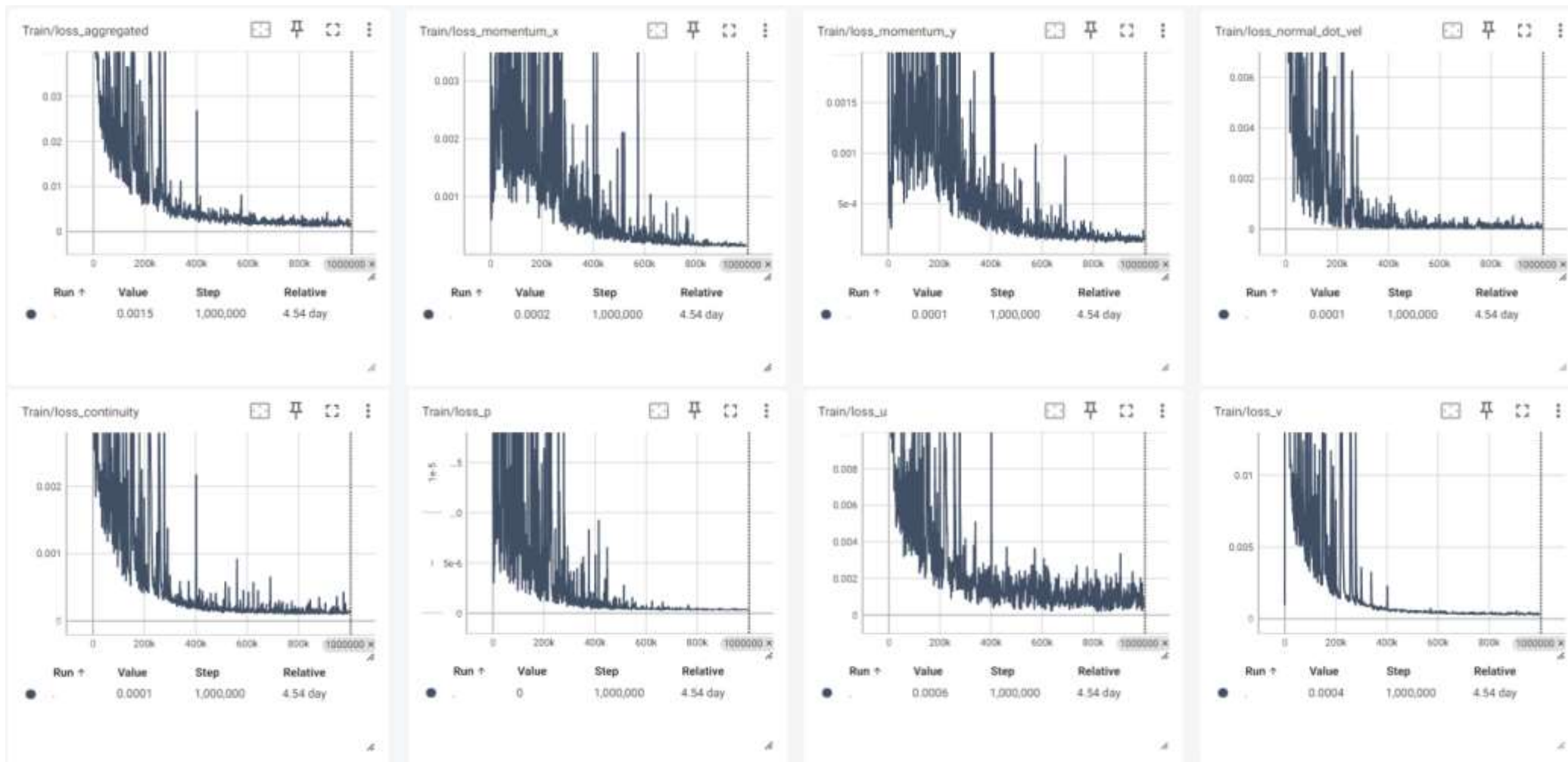
ネットワークのPINN入力データ



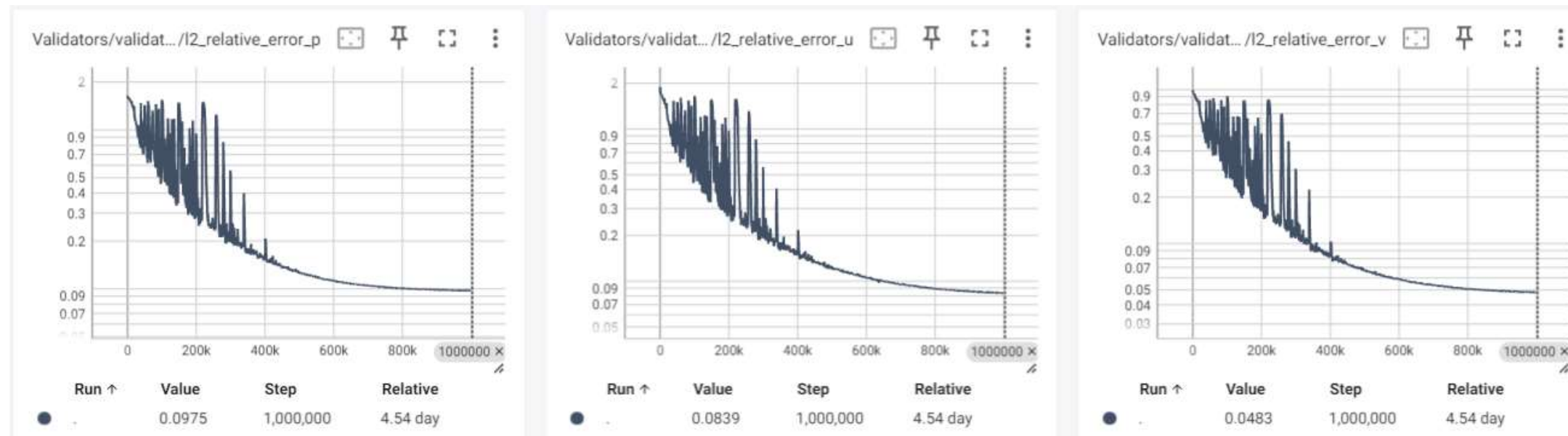
ネットワークからのPINN出力データ



トレーニング曲線の履歴



検証曲線の履歴

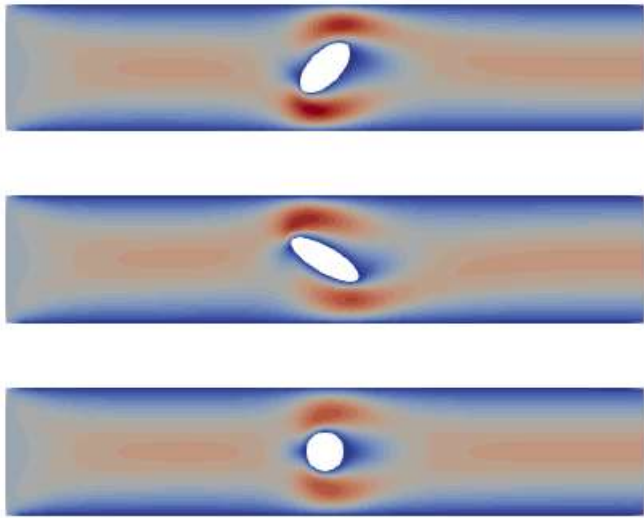


ニューラル ネットワーク予測と OpenFOAM 参照値の相対誤差は小さく、PINNs予測結果が一致していることを意味します。

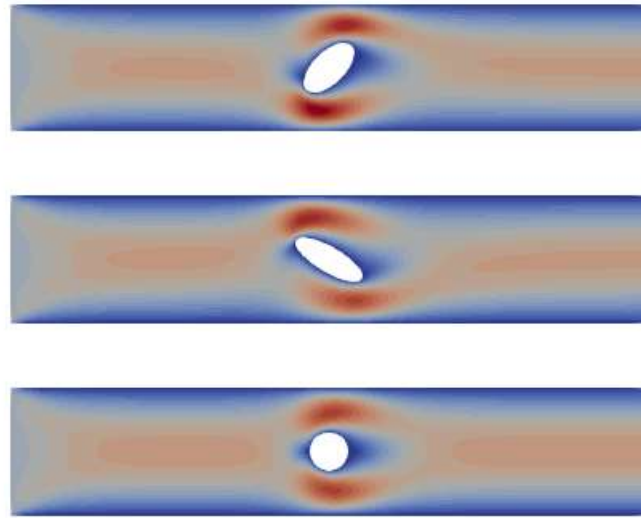
結果比較



OpenFOAM



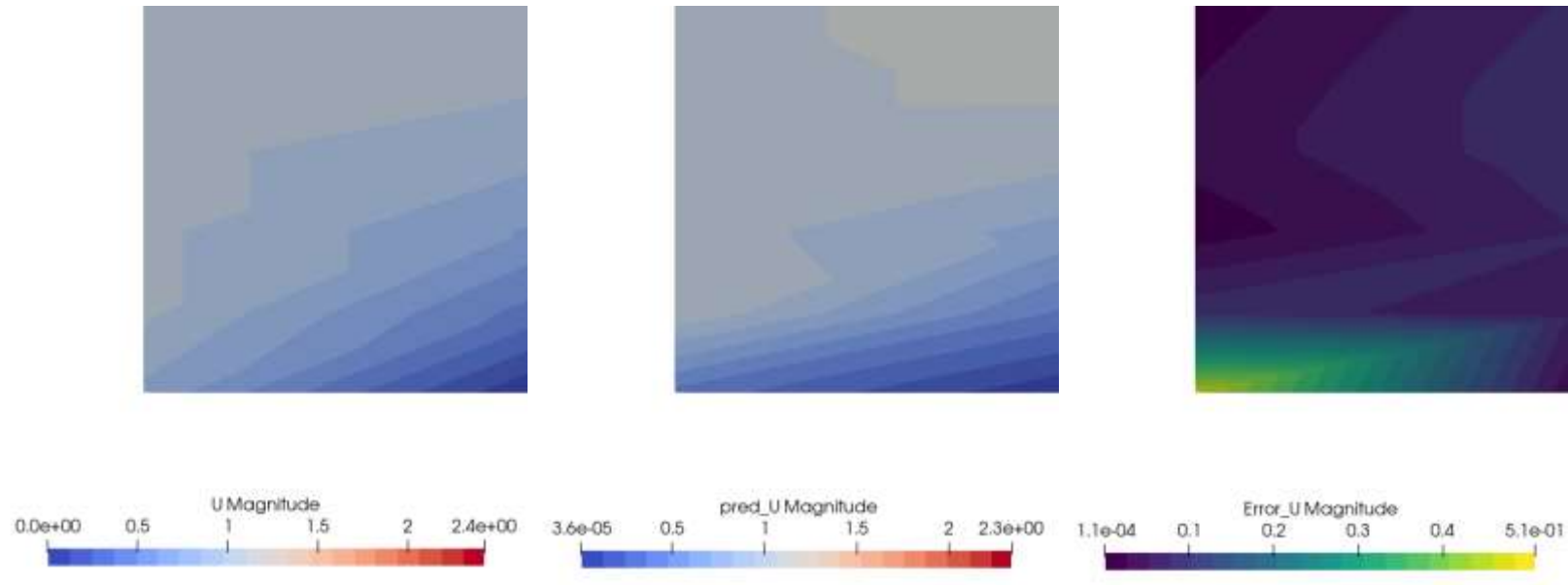
PINN Result



Velocity Error



最大エラー箇所



- 最も高い誤差は入口コーナーにあります。この現象は、OpenFOAMの結果ではポイントが入口値 (1 m/s) と壁値 (0 m/s) の半分として扱われることによって説明されます。
- 一方、PINN では、そのコーナーポイントは入口値 (1 m/s) として扱われます。



以上