

# OpenFOAMによる 回転機械(たらい式水車)の 気液混相流解析

---

2014年11月14日

富山県立大学大学院

氏名: 谷口達也

中川慎二(富山県立大学)、上坂博亨(富山国際大学)

伊藤宗康(川端鐵工)、佐藤弘規(川端鐵工)

# 背景

- ◆ 水力発電はクリーンで再生可能なエネルギーとして注目されている。
- ◆ 大規模な水力発電のみでなく、溪流や農業用水路、工場排水など、僅かな落差を利用した水力発電が行われている。(\*)



- ◆ たらい式水車は低落差での発電が可能であり、懸架式であるため、工事が不要な小水力発電機である。
- ◆ 現状で明らかになっていないこと
  - ✓ たらい内部の水の流れ、速度分布、圧力分布
  - ✓ 取り出せるエネルギーの算出方法
  - ✓ 効率的な羽根の形状、設置位置

# たらい式水車とは

- ◆ 排水時に発生する渦の力が、羽根を巻き込むようにして水車を回し、その回転エネルギーによって発電する小水力発電装置。



<http://www.lens.co.jp/archives/category/info>

# たらい式水車の利点、使用用途例

## 利点

- ✓ 従来の水車に比べ、低落差・小水量
- ✓ 軸受、発電機、変速機などが水中にないため腐食に強く、耐久性の高い装置
- ✓ ゴミなどの混合物がある水流にも、除塵装置なしで設置可能
- ✓ 魚などが自由に往来できる構造で、生態系への影響が小さい

## 使用用途例

- ✓ 養魚場などのオーバーフロー水
- ✓ 温泉など温浴施設からの排水
- ✓ 工場などの洗浄ラインからの排水
- ✓ 河川・農業用水などからの取水柵

各水車の適用落差(\*)

形式	有効落差[m]
多段フランシス水車	400~1500
フランシス水車	40~900
デルリア水車	25~200
カプラン水車	5~25
たらい式水車	1

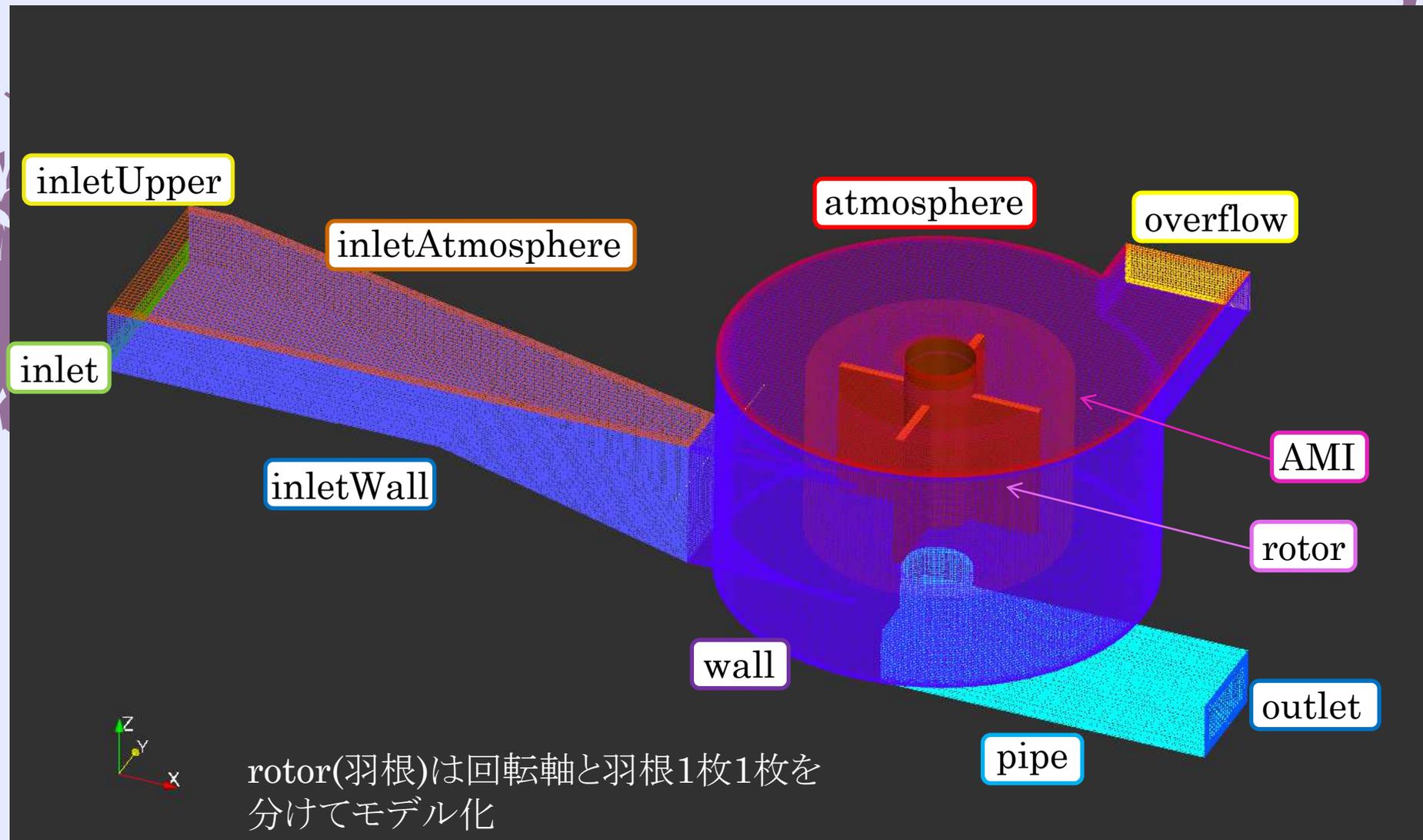
(\*)大橋秀雄 (2003) 流体機械 改定・SI版 森北出版

# 目的

CFD解析を用いて、たらい式水車内部の現象を明確化し、最適な羽根の設計を行う。

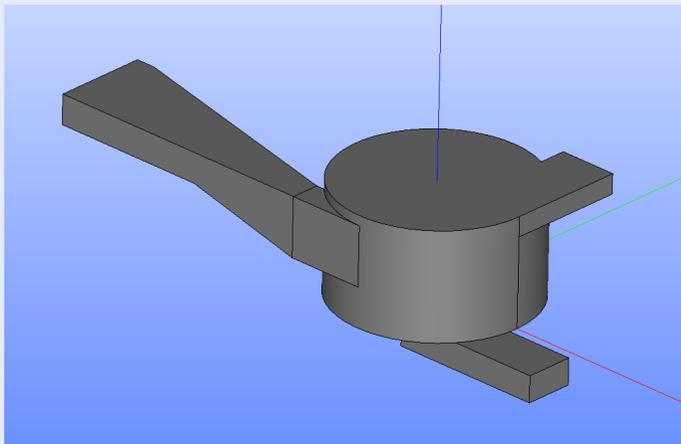
- ✓ OpenFOAMを用いて回転体と気液混相流の解析を行う。
- ✓ 実験装置と同様のモデルで解析を行い、水の流れ、速度分布、圧力分布を明らかにする。
- ✓ 取り出せるエネルギーの算出方法の検討
- ✓ トルクを算出し、解析結果と実験結果の比較
- ✓ 効率の良い羽根の形状、設置位置の検討

# モデル概要

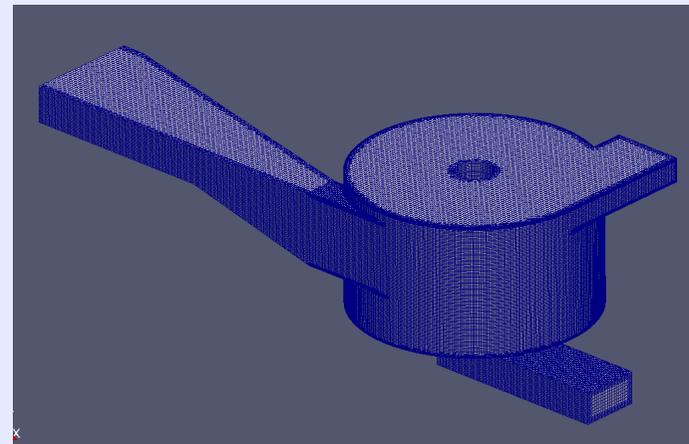
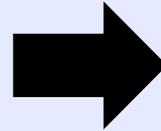


# モデルの作成方法

1. Salome-Mecaを用いて形状STLファイルの作成
2. OpenFOAMでsurfaceFeatureExtractで特徴線を抽出
3. blockMeshで基本メッシュを作成
4. snappyHexMeshで形状に適合したメッシュを作成



形状STLファイルの作成

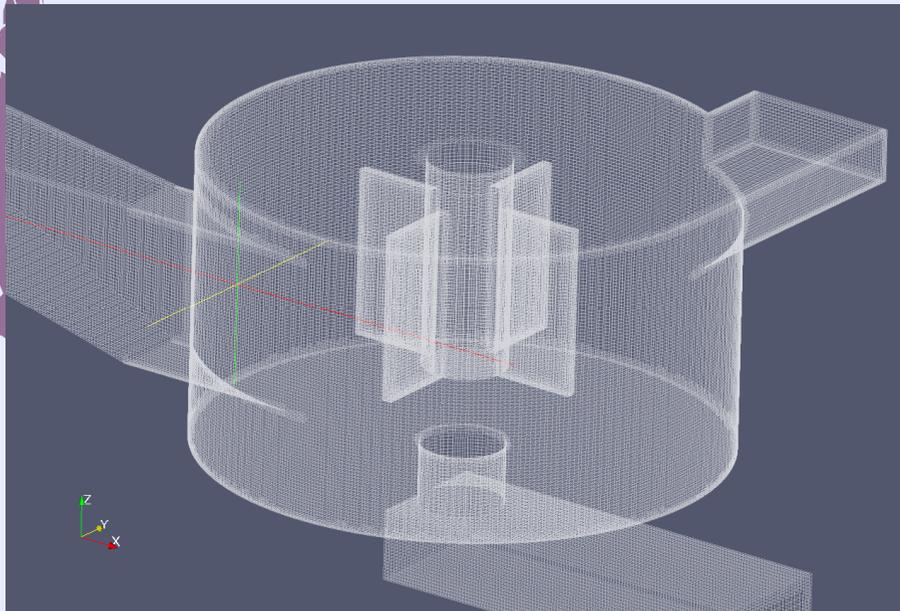


snappyHexMesh

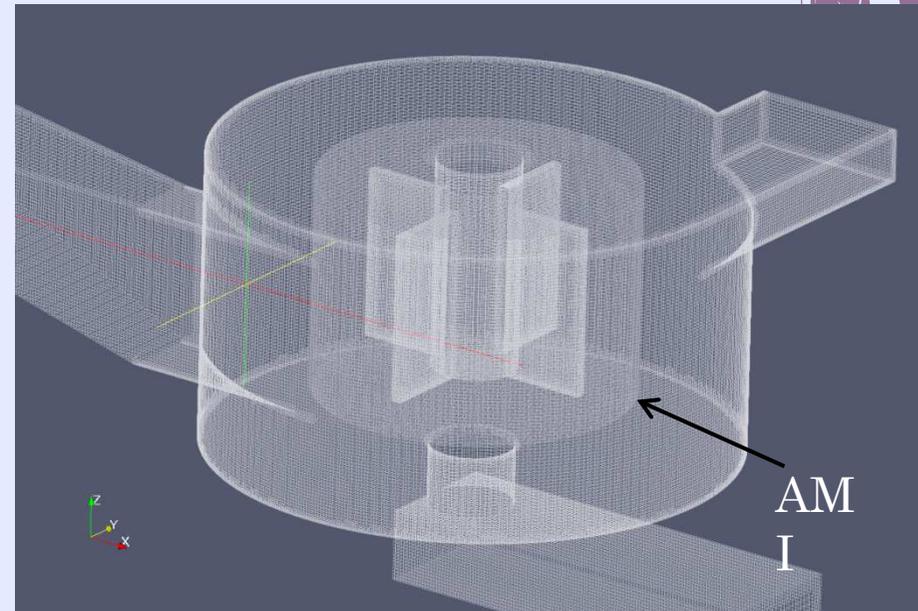
形状ファイルから形状を切り出し、  
メッシュを作成

# 回転体の扱い方

- ◆ OpenFOAMでは羽根だけを回転させることが出来ず、羽根を含む領域を回転させるため、回転領域の設定し、AMIを用いる必要がある。



回転:×



回転:○

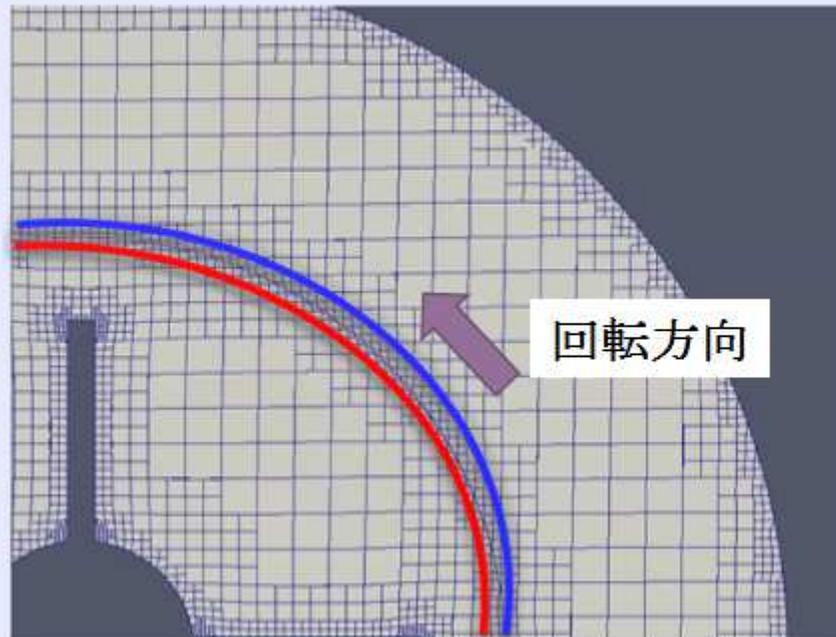
# AMIとは

- ◆ AMI(Arbitrary Mesh Interface)

OpenFOAMで回転体を扱う際に用いるユーティリティー  
回転領域と非回転領域の情報の補間を行う。

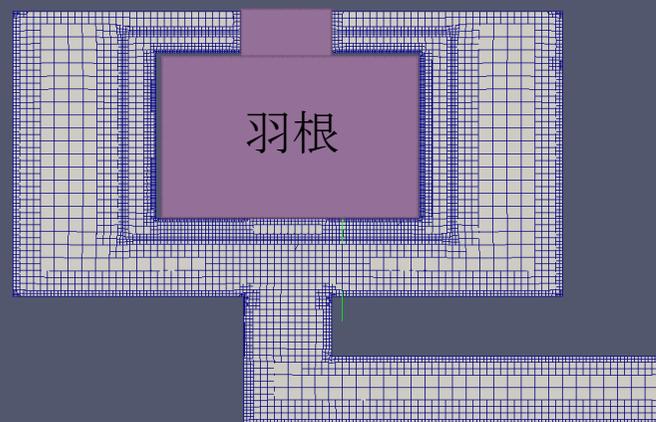
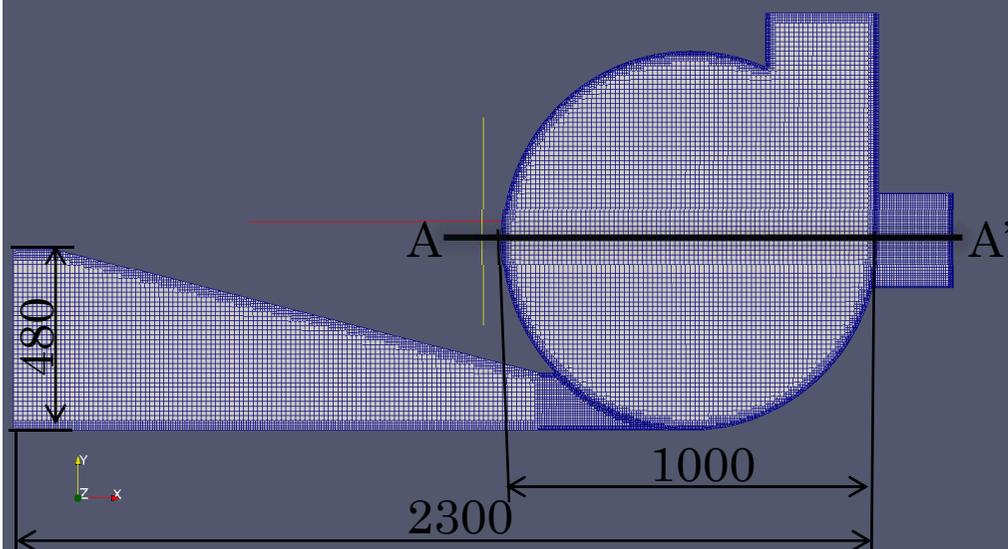
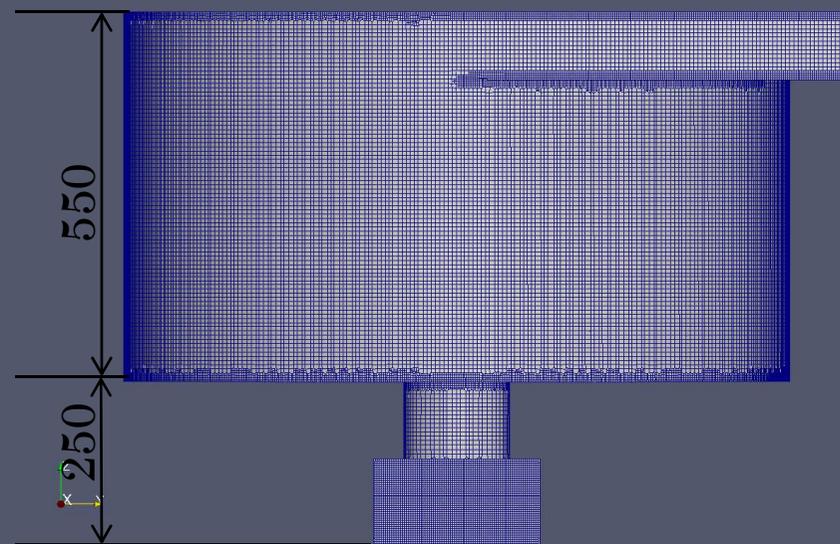
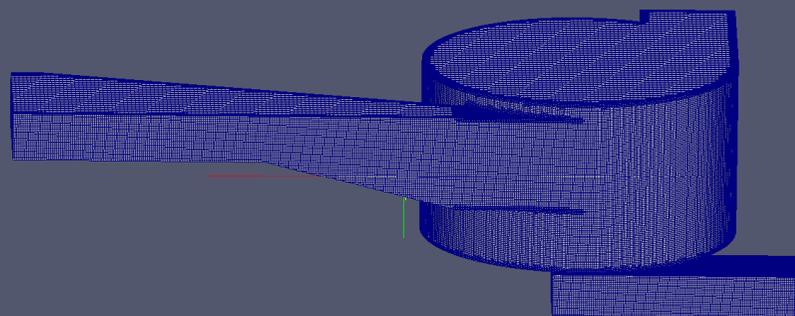
- 一つの面を、回転する面と静止する面の二つの面に分割。
- 片方の面が回転することで、ずれが発生する。
- 回転によって生じたずれを補完する。

AMI面 { 静止面  
          回転面



# メッシュ詳細と主要寸法

Unit[mm]

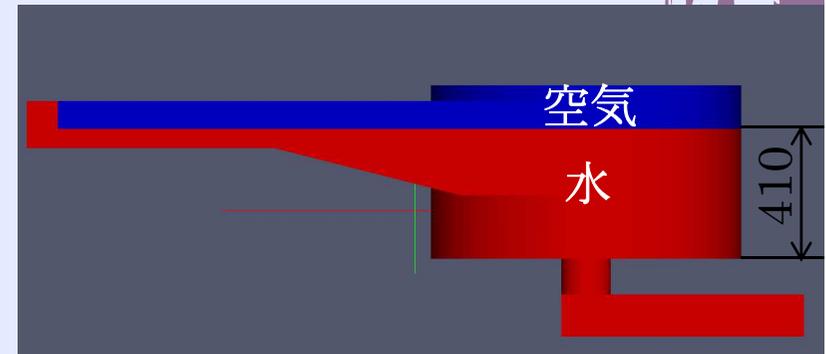


A-A'面

# 解析ソフト・条件

- ◆ 解析ソフト: OpenFOAM ver2.3.x
- ◆ ソルバ: interDyMFoam
- ◆ セル数: 約66万
- ◆ 乱流モデル: k-εモデル
- ◆ 流量: inletから水を30ℓ/s(0.03m<sup>3</sup>/s)で流入
- ◆ 初期の水位: たらい下面から高さ410mm(定格の高さ)
- ◆ 羽根の回転数: 20rpm = 2.0944rad/s

Unit[mm]



Material properties

	Air	water
Density [kg/m <sup>3</sup> ]	1	1000
Kinetic viscosity [m <sup>2</sup> /s]	1.48e-5	1e-6
Surface tension [N/m]	0.07	

# 支配方程式

- ◆ 連続の式

$$\nabla \cdot \vec{V} = 0 \quad (1)$$

- ◆ Navier-Stokes方程式

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \nabla) \vec{V} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu_{eff} \nabla^2 \vec{V} + f + \sigma \kappa \nabla \gamma \quad (2)$$

- ◆ VOF (Volume of Fluid) 法

$t$  : 時間[s]

$\rho$  : 密度[kg/m<sup>3</sup>]

$\nu_{eff}$  : 動粘度[m<sup>2</sup>/s]

$\sigma$  : 表面張力[N/m]

$\vec{V}$  : 速度ベクトル[m/s]

$p$  : 圧力[kg/m<sup>3</sup>]

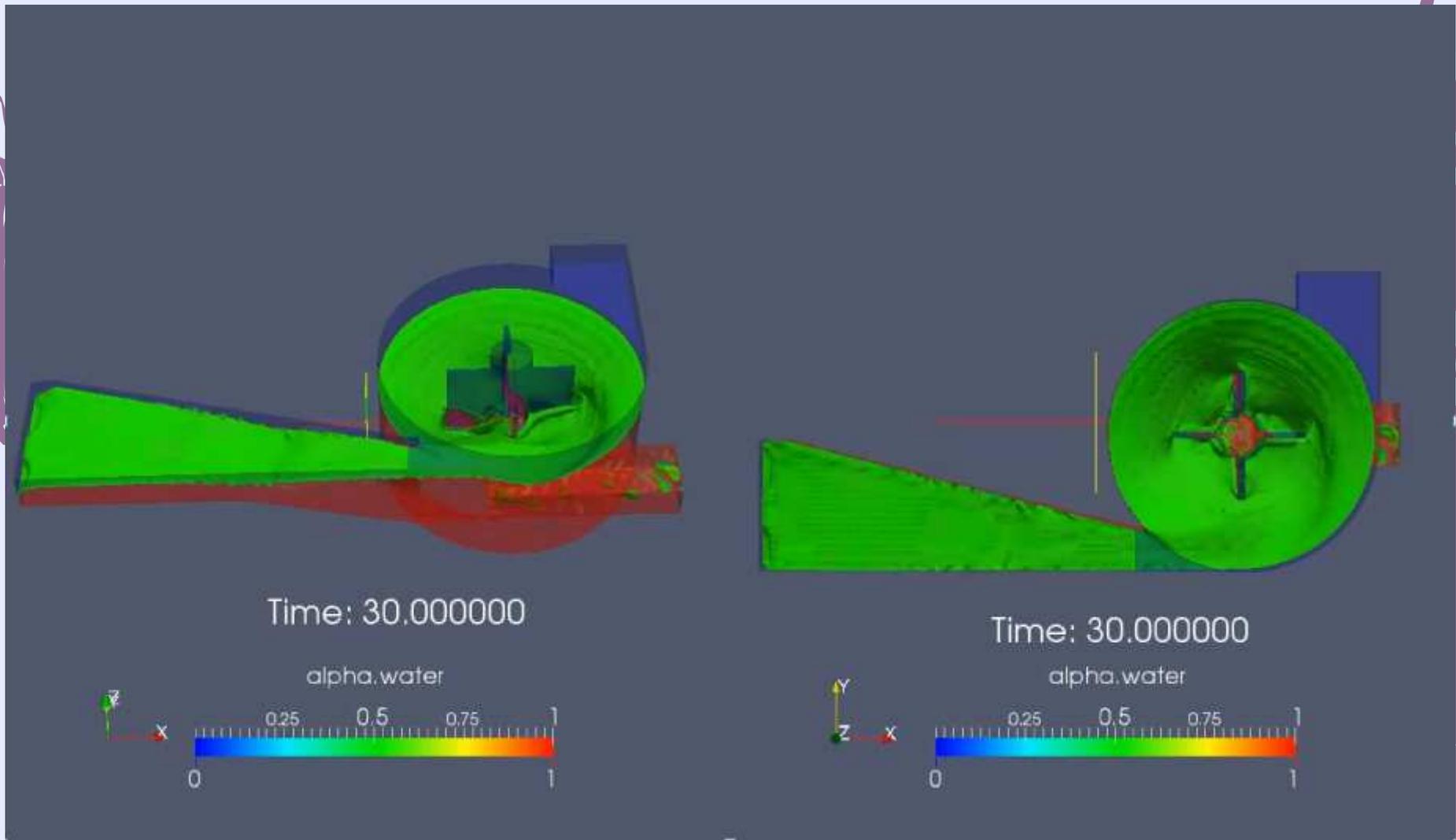
$f$  : 体積力による加速度[m/s<sup>2</sup>]

$\kappa$  : 界面曲率

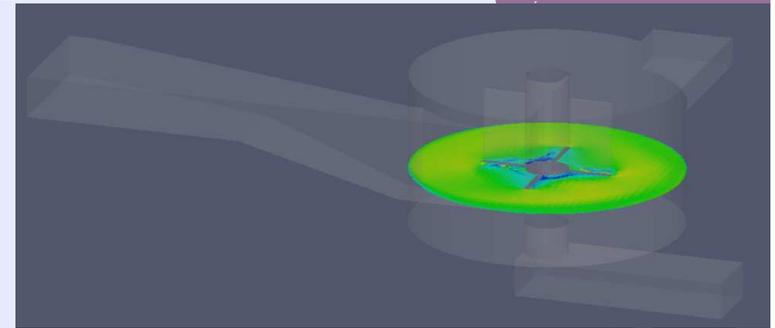
# 境界条件

	alpha.water	p-ρgh	U	nut	ε	k
wall, inletWall, pipe	勾配0	fixedFlux Pressure	(0 0 0) 固定	壁関数		
wing1~4, rotateAxis			movingWall Velocity			
inlet	1 固定	勾配0	(1.041667 0 0) 固定	0 固定		
Atmosphere, inletAtmosphere	inletOutlet	全圧固定	pressure InletOutlet Velocity	inletOutlet		
overflow, outlet		0 固定	勾配0			
AMI1 AMI2	cyclicAMI					

# 水車の回転の様子

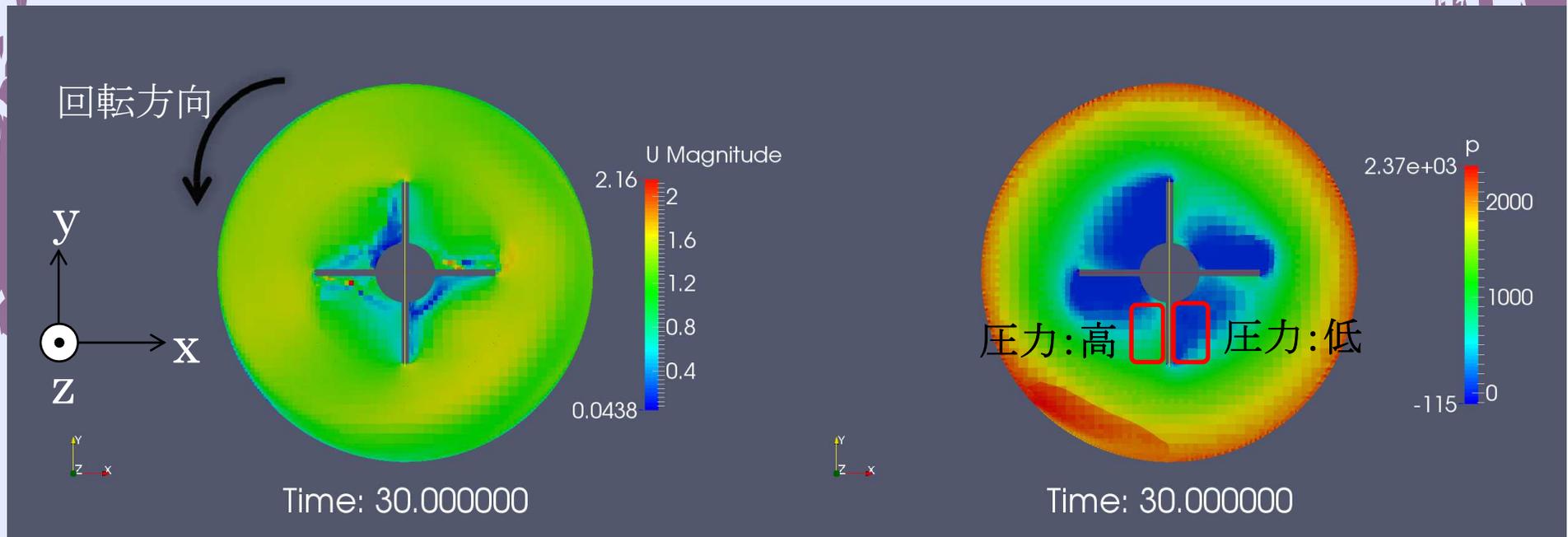


# 容器底面から0.2mの断面の速度、圧力



速度

圧力

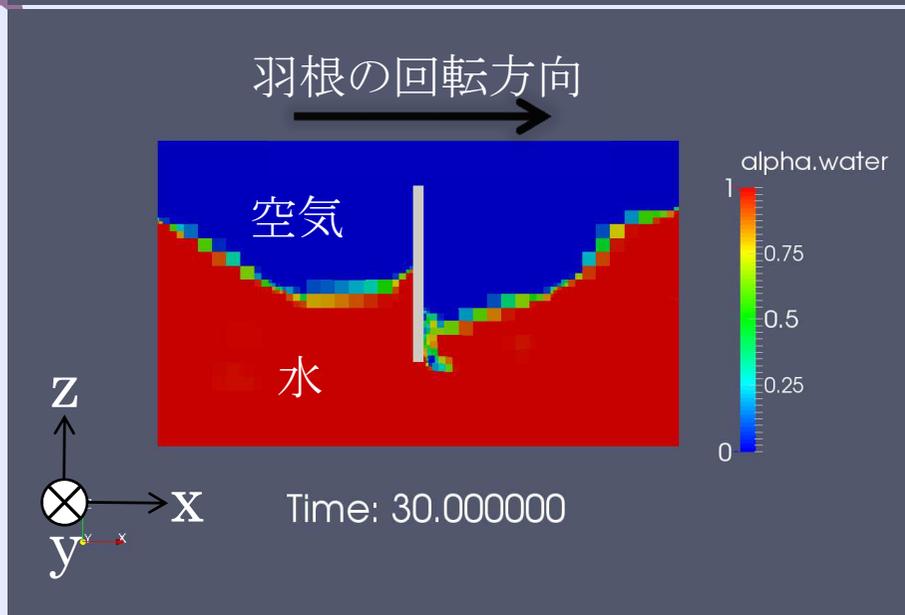
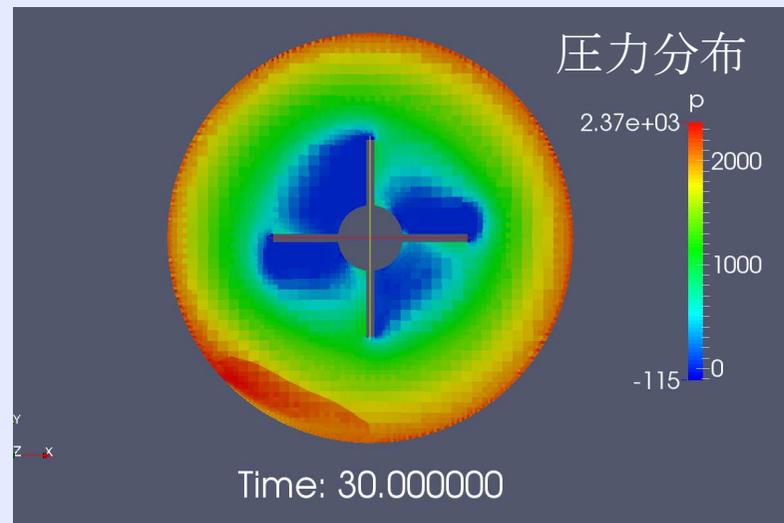
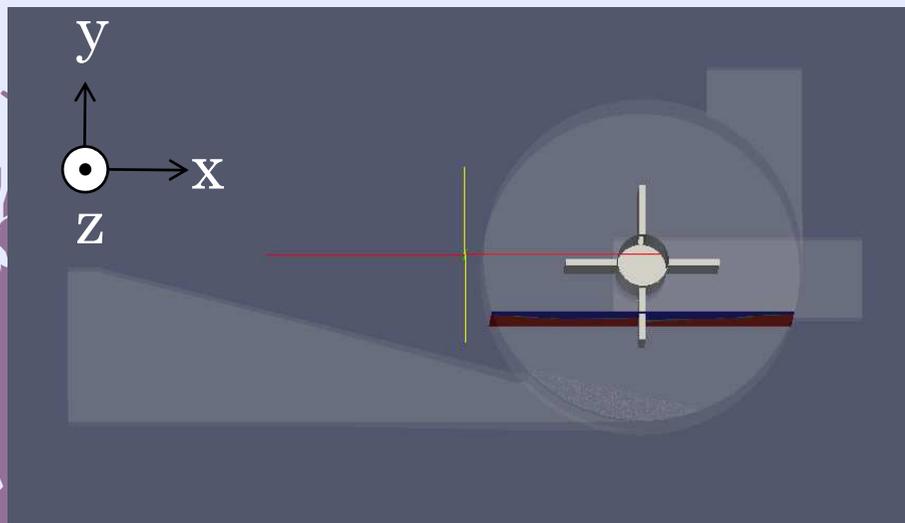


✓ 速度はたらい側面の壁付近より羽根の外周部で速いことが確認できた。

✓ 圧力は羽根の回転方向後部が高くなり、回転方向前部が低くなっている。

✓ 圧力差は、羽根の位置で変化する。流入部に近い位置で大きい。1周して小さくなっている。

# 羽根周りの水位



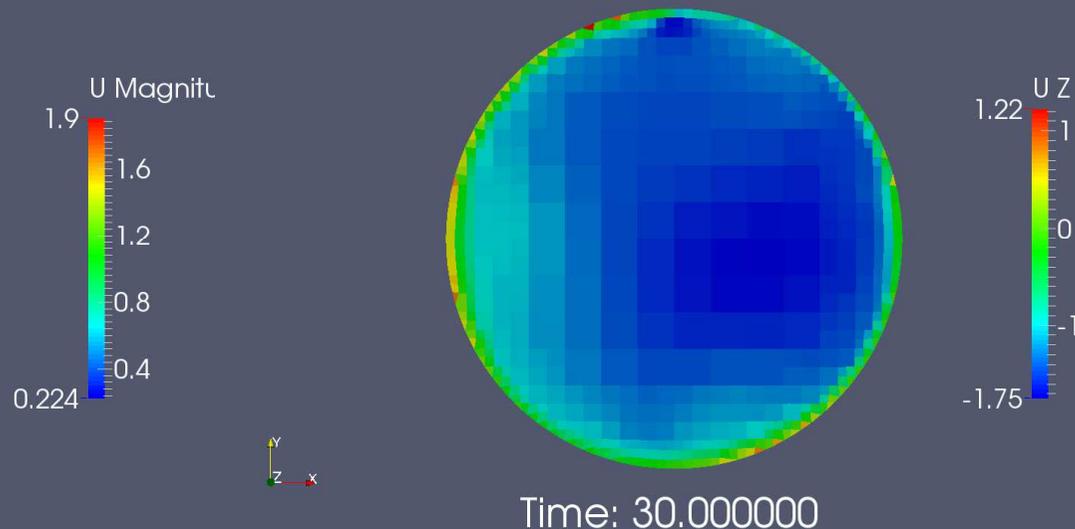
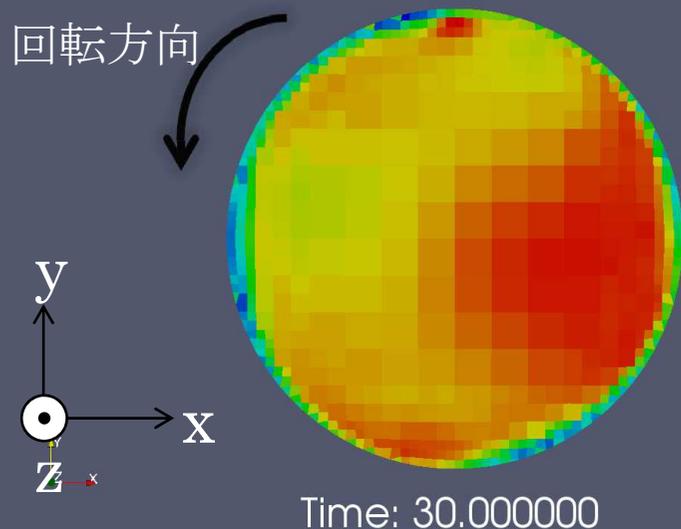
水位は羽根の回転方向前部が高く、後部が低い。  
→圧力差が生じる。

# 流出口の速度



速度の絶対値

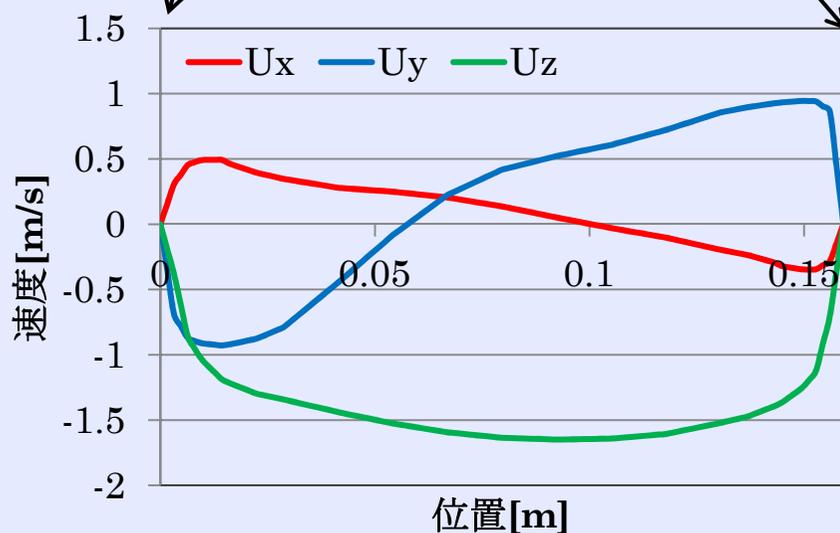
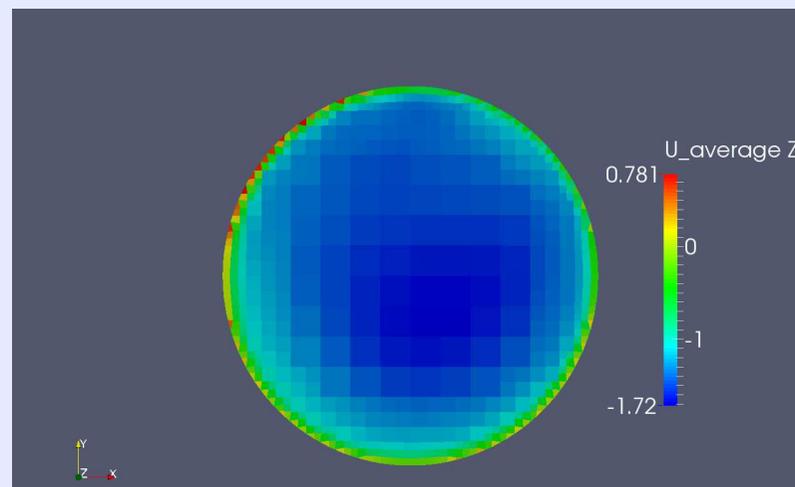
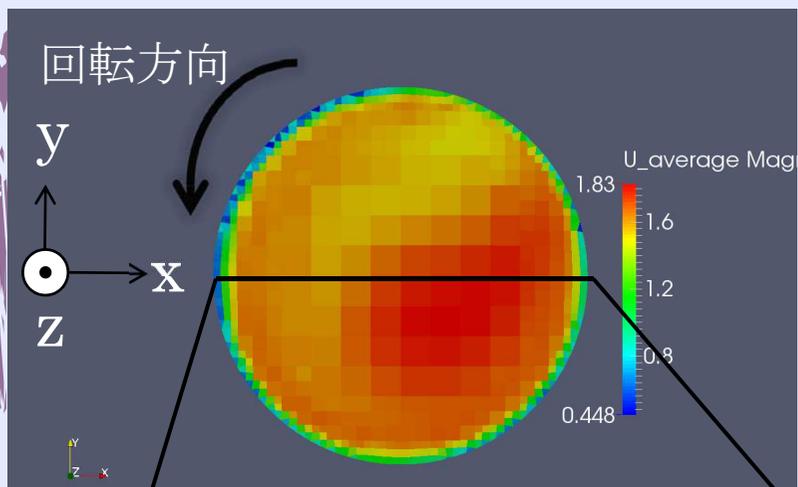
鉛直方向速度



水は渦を巻きながら流出しており、羽根の位置により水位が変動している。  
回転方向の速度(周方向速度)がどのくらいの値なのか確認を行う。  
→1周分のデータを平均し、結果の確認を行う。

# 流出口の速度 (平均)

羽根が1周(1周=3秒)する間のデータ(0.05秒間隔)を平均した結果(27s~30s)



# 結言

- ◆ OpenFOAMを用いて回転体と気液混相流の解析をした。
- ◆ 解析結果を可視化することにより確認できたこと
  - ✓ たらいの壁面付近より羽根の外周部の速度が速い。
  - ✓ 水は流出口から回転しながら流出する。
  - ✓ 回転の中心は流出口の中心ではない。