



開放型下掛け水車のOpenFOAMによる 気液二相流解析

Gas-liquid Two-phase Flow Simulation of
an Undershot Wheel Hydraulic Turbine with OpenFOAM

2017年12月15日

長野工業高等専門学校 機械工学科

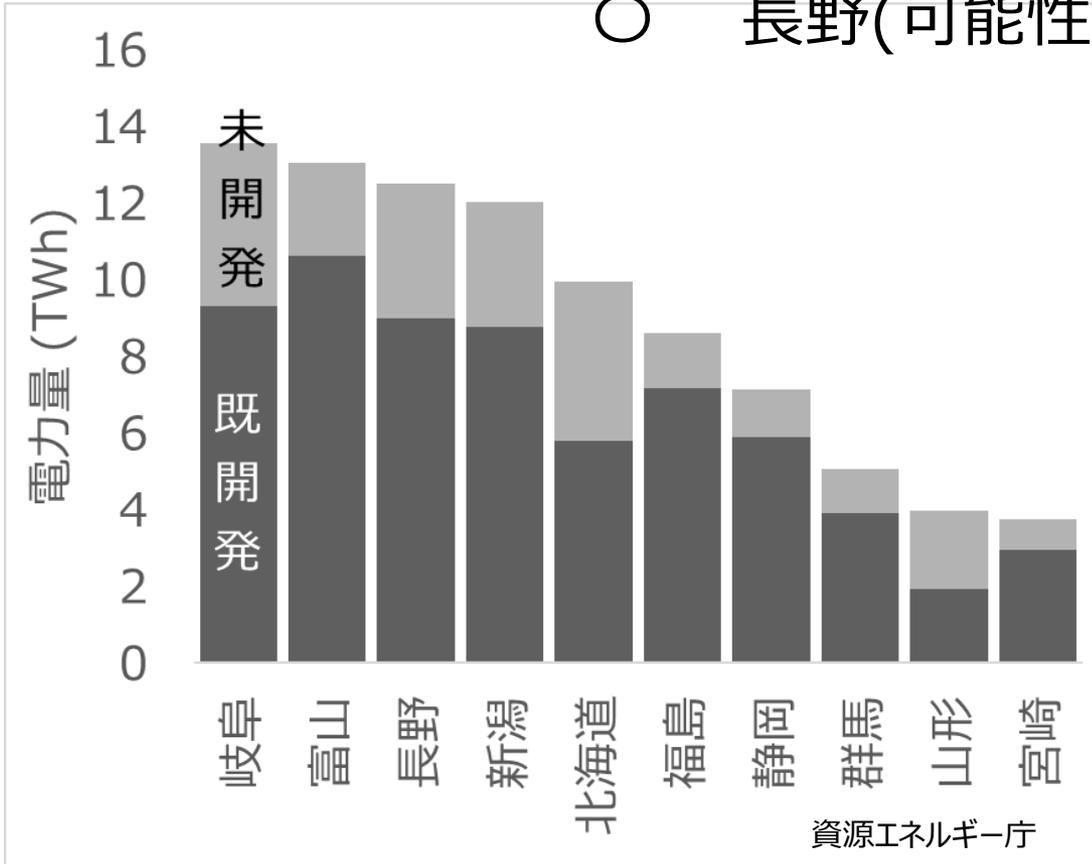
渡辺 昌俊

Masatoshi Watanabe

研究背景と現在までの研究(@長野高専)

- 2011(平成23)年 東日本大震災
- 2012(平成24)年 再生可能エネルギー特別措置法
- 2014(平成26)年 農山漁村再生可能エネルギー法

発電機 + 流体機械 ⇒ 水力, 風力 ▲ 長野(山岳, 平均風速)
○ 長野(可能性大)

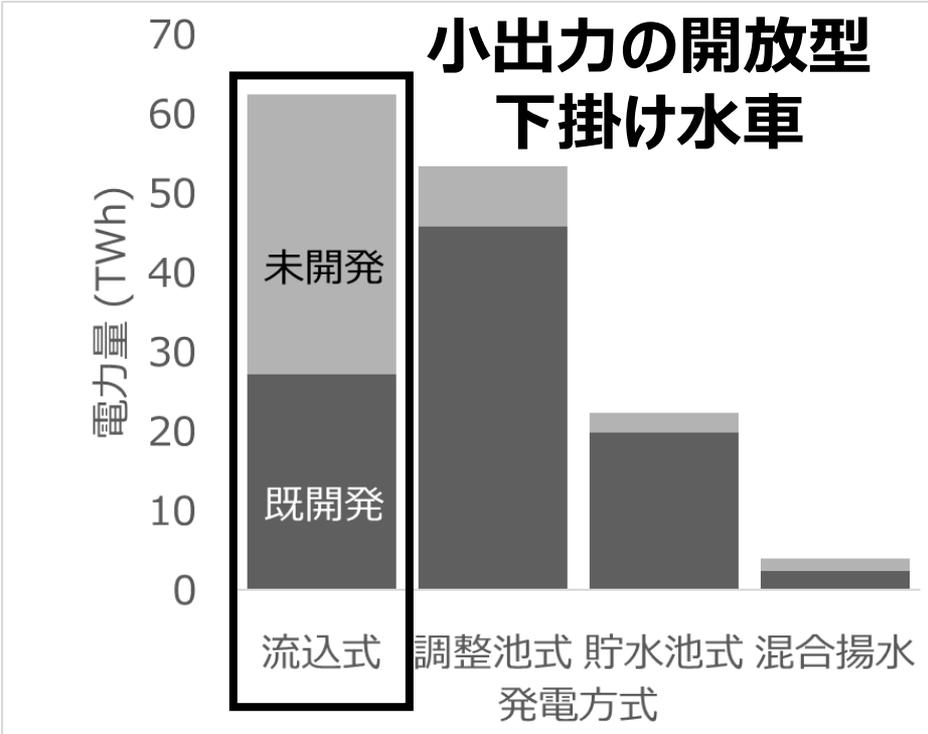
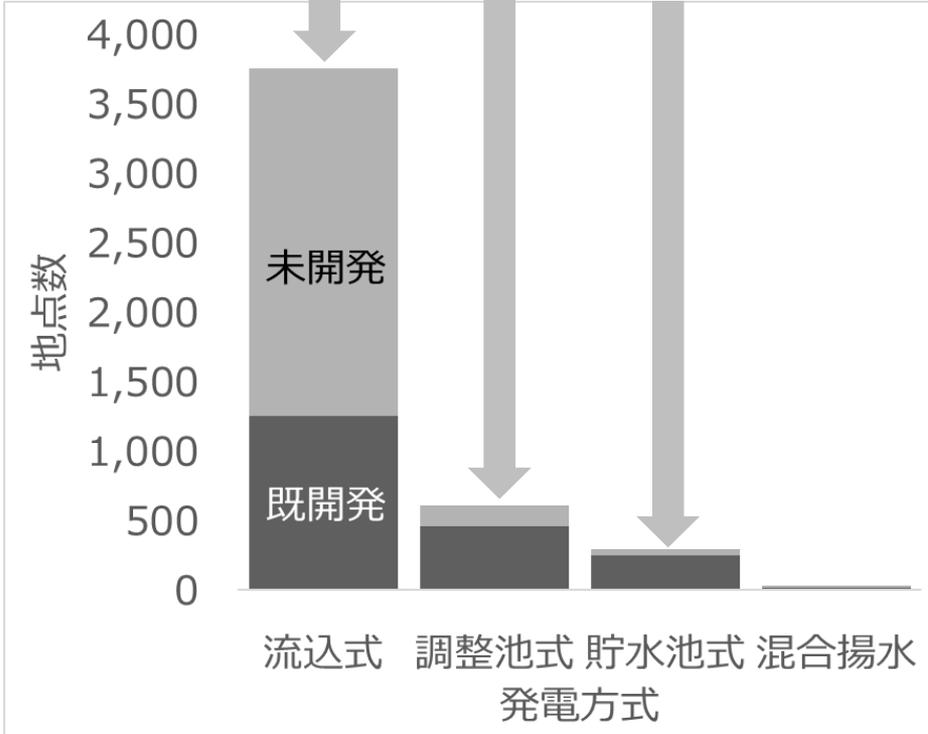


水力発電の分類

河川を流れる水を貯めることなく、
そのまま発電に使用。出力の小さい発電所(中部電力HP)

河川の流れをせき止めた小規模ダム
1日または数日間という短期間水量調整

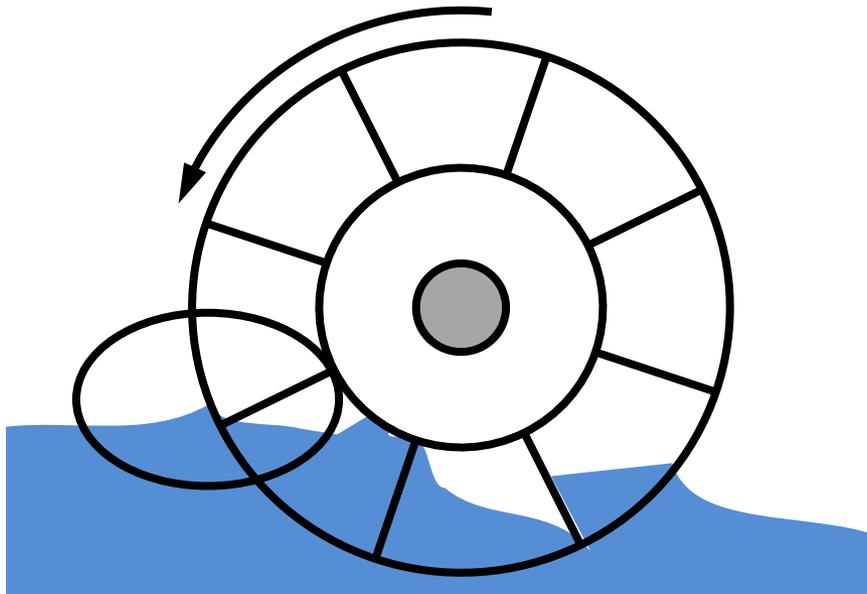
規模の大きいダム、春・秋などに貯水し、
夏・冬に発電。年間を通じた水量調節



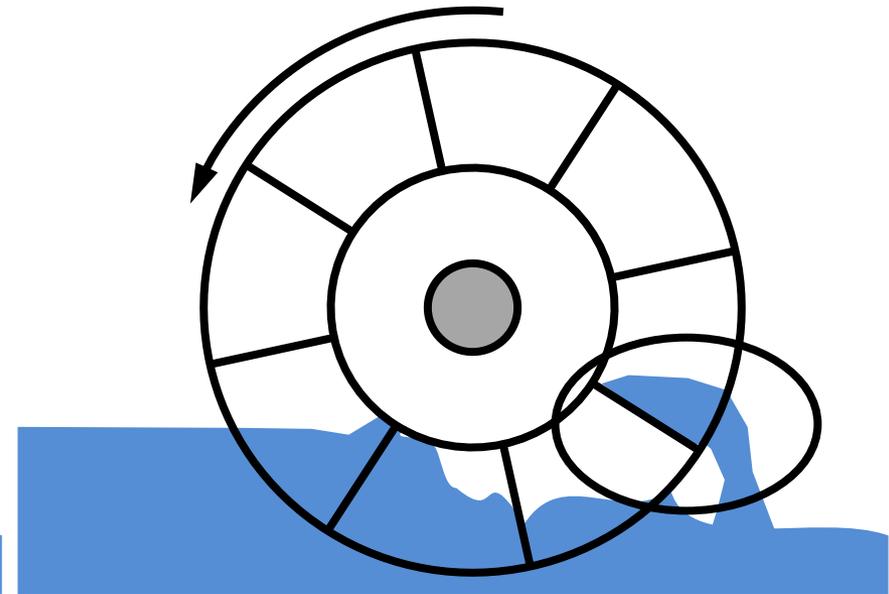
低落差も発電出力向上⇒発電効率の向上

- 入水時に水面を叩く⇒入水抵抗
- 離水時に水をまき上げる⇒離水抵抗

回転方向と逆の力⇒効率低下



入水時水面衝突

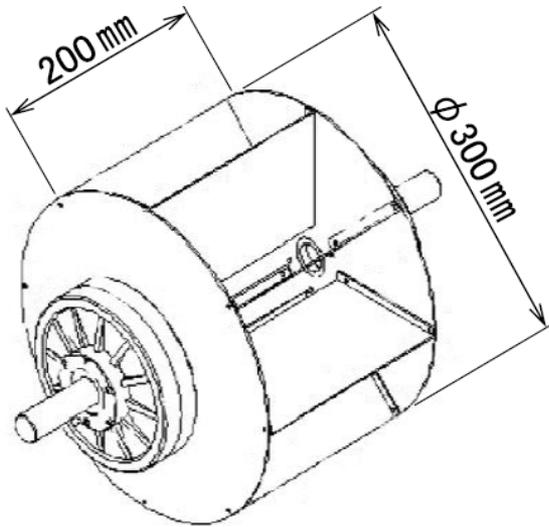


離水時水巻き上げ

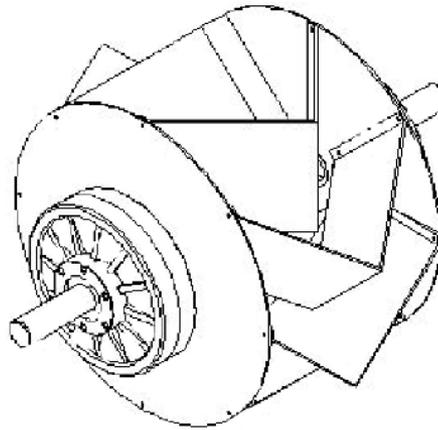
羽根形状による入水・離水時の抵抗低減

平板から三角，山形へ

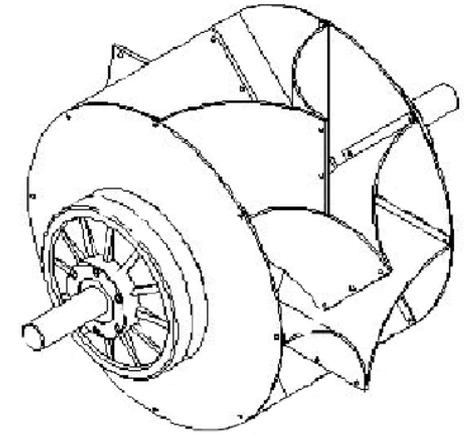
- 鋭角化による入水時抵抗低減
- 先端から左右に排水しながら離水



(a) 平板形



(b) 三角形



(c) 山形

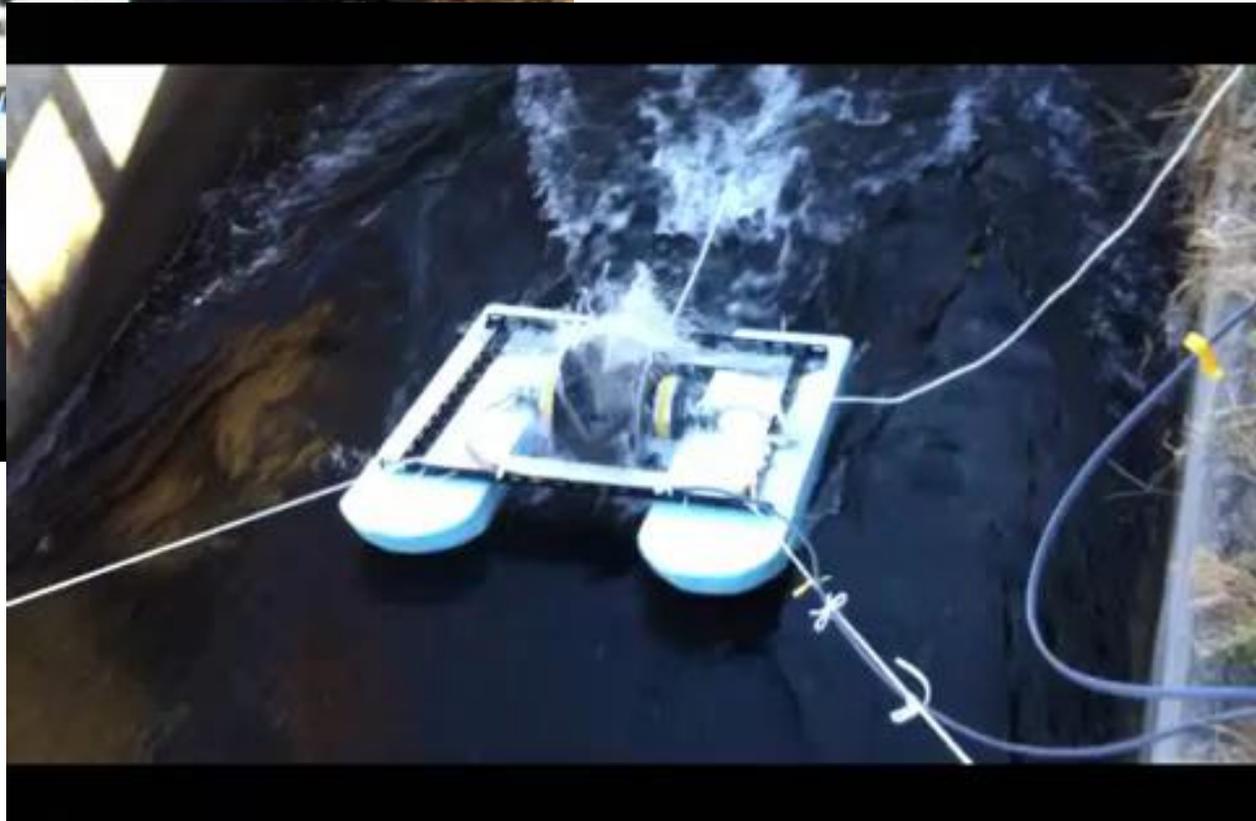
フィールド試験結果



平板試験動画

試験条件

- 流速 $\approx 2\text{m/s}$
- 回転数 $\approx 100\text{rpm}$

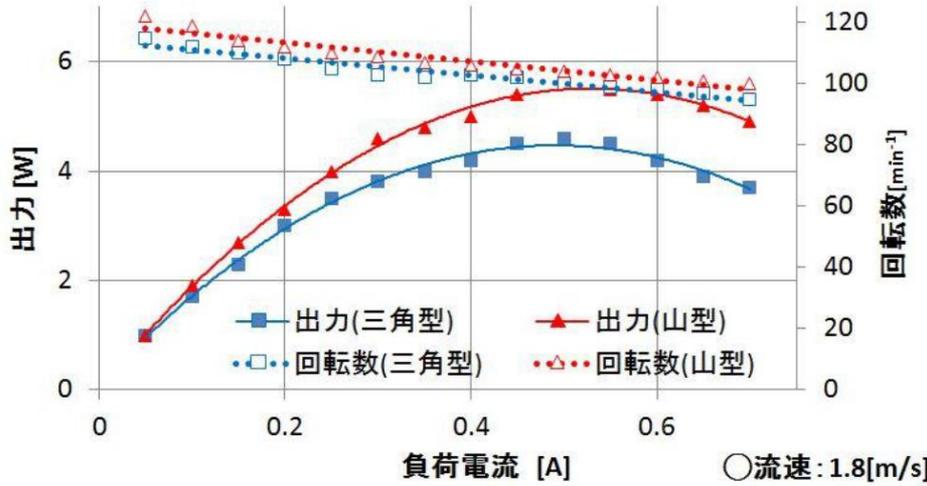
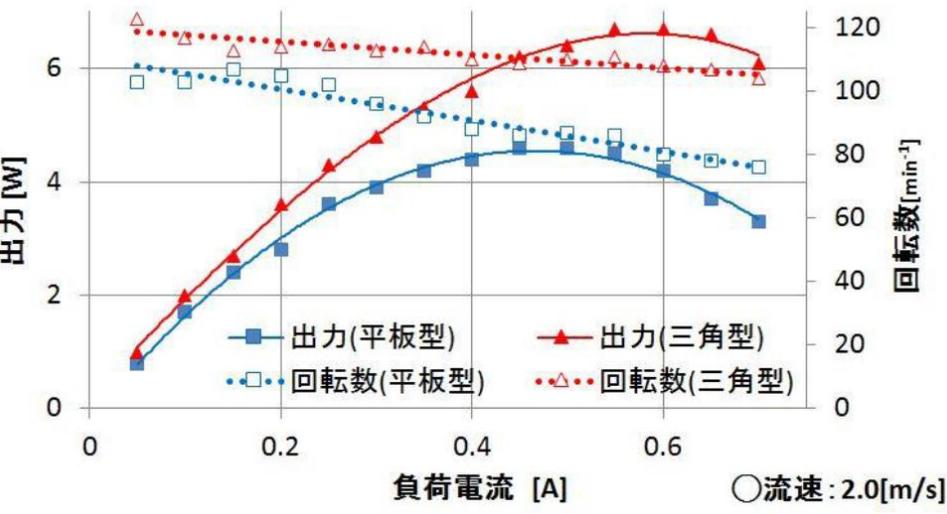


三角試験動画

発電装置としての性能

平板から三角，山形へ

- 同条件で三角出力 = 1.5 × 平板出力 (地点A)
- 同条件で山形出力 = 1.2 × 三角出力 (地点B)



結果良好，なぜ向上したか・・・

更なる改良研究の課題(フィールド試験と性能改善に向けて)

フィールド試験を主とした現状アプローチの課題

- 場所の確保(権利, 安全対策, 計測器設置等)
- 安定環境
(水量, 水位, 流速, 水面変動, 落差, 気候, 浮体姿勢等)
- 流れの計測・観測が難しい
(定量性, 改善効果の定性的確認)

対応

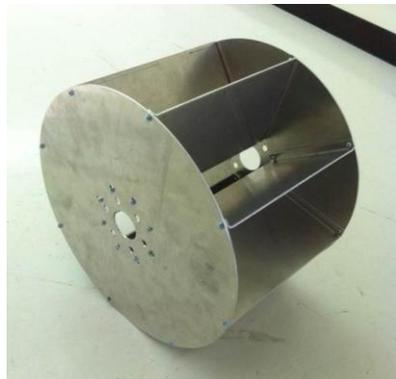
- ・回流水槽によるモデル実験(コスト)
- ・数値シミュレーションによる数値実験

⇒OpenFOAMの活用

目的：どの程度現象を再現でき, 分析に役立つか

検証：平板と山形水車で

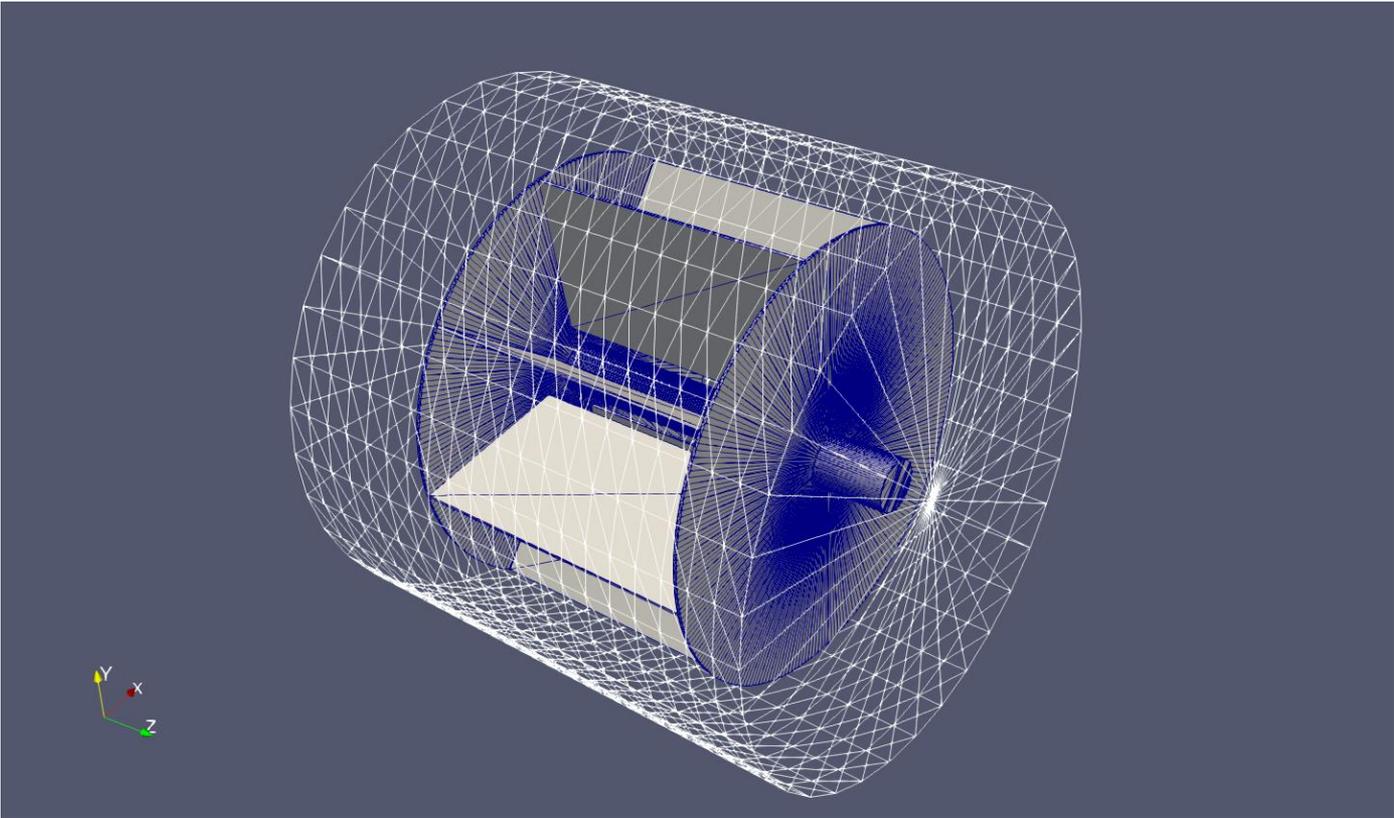
- ・入水, 離水時の挙動
- ・トルク, 効率の変化



解析準備 (1)

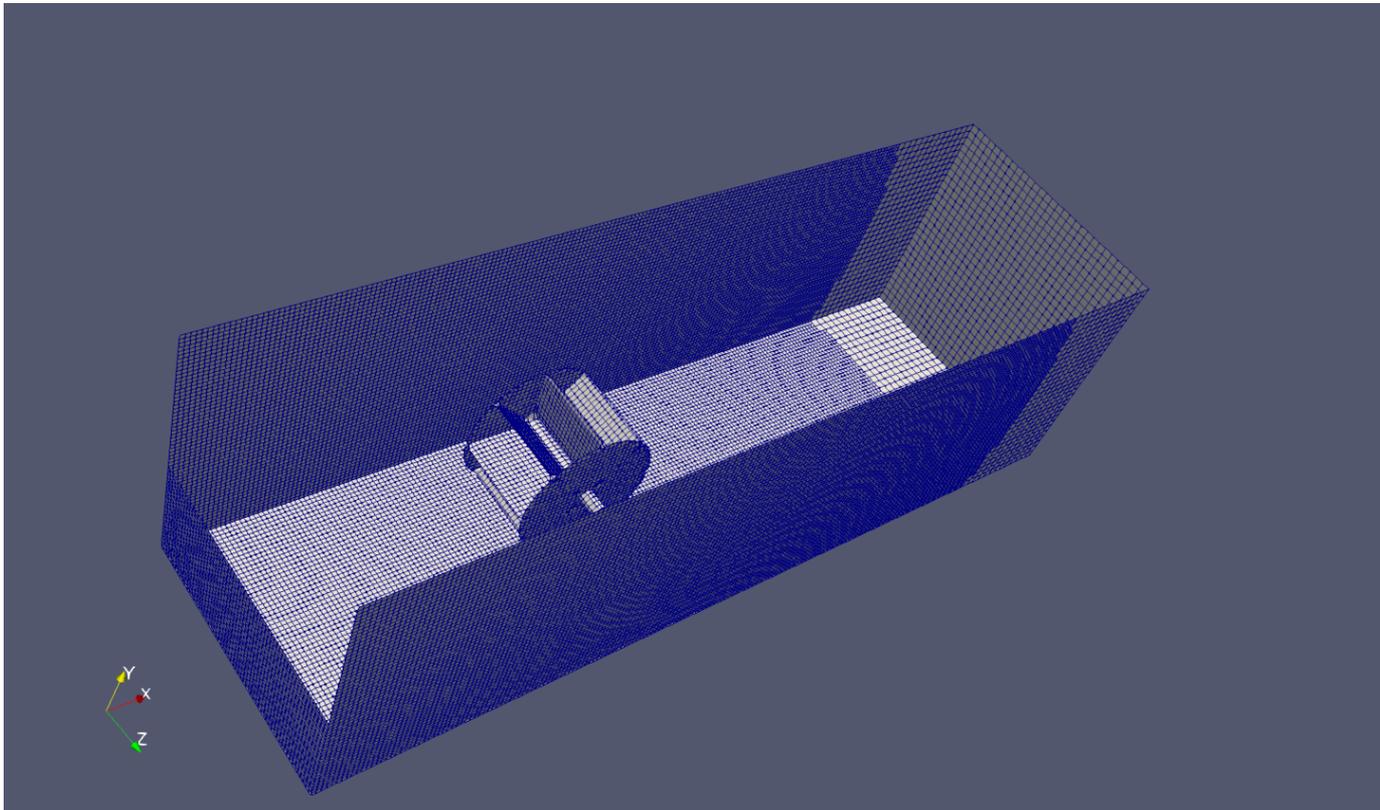
OpenFOAMの環境で実施

□ 水車羽根車, 羽根車を包括する回転領域のSTLデータ



解析準備(2)

- blockMesh(-0.65,-0.3,-0.3)-(1.35,0.3,0.3)m
- ベース格子サイズ2cm(100×30×30分割)
- snappyHexMesh
- 回転領域の設定(createBaffles,mergeOrSplitBaffles)
- 川の部分を設定(topoSet,createPatch, 回転軸から5cm)

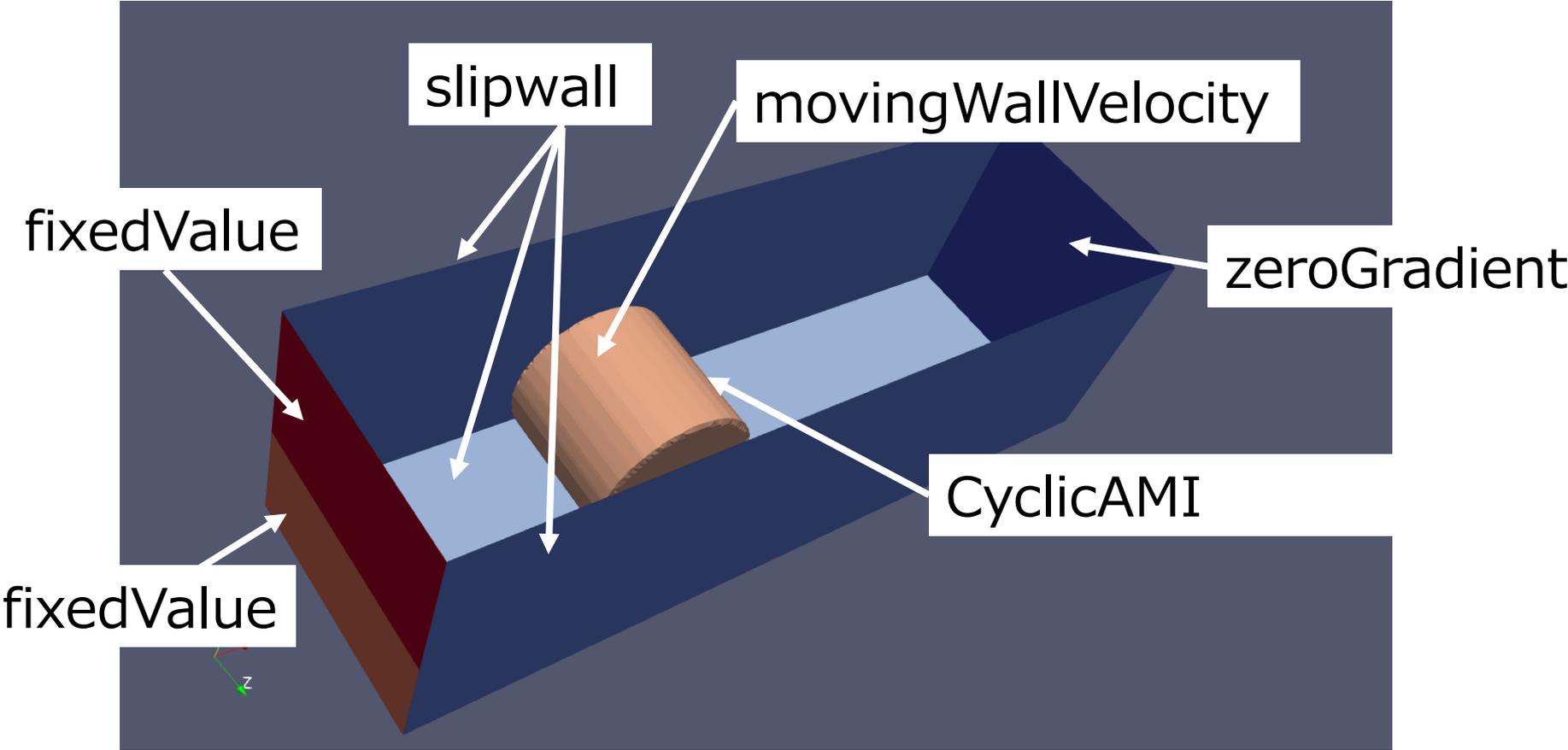


解析準備(3-1)

境界条件

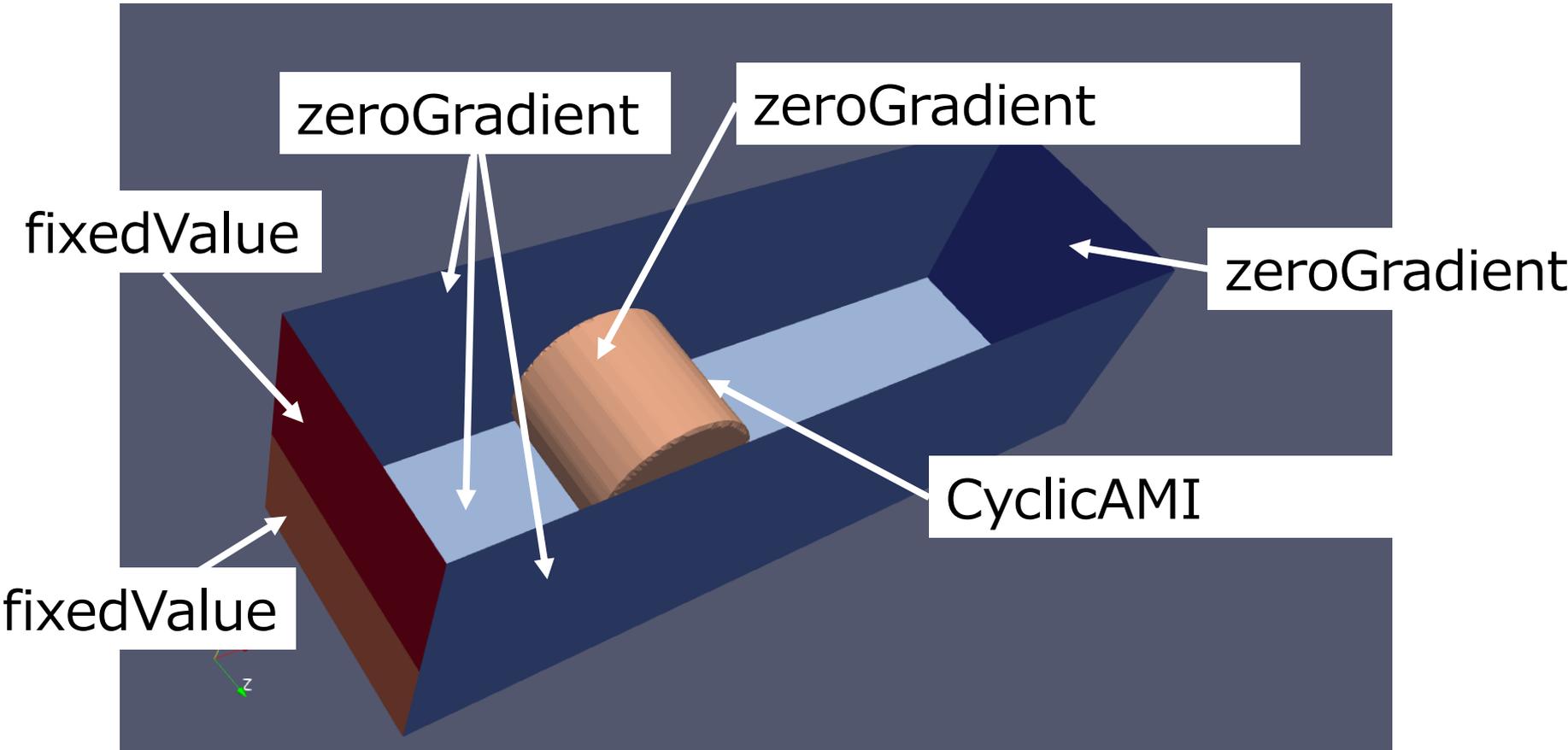
□ 速度

液相 2m/s, 気相 0m/s
回転速度 : 10.5rad/s(1.6m/s)

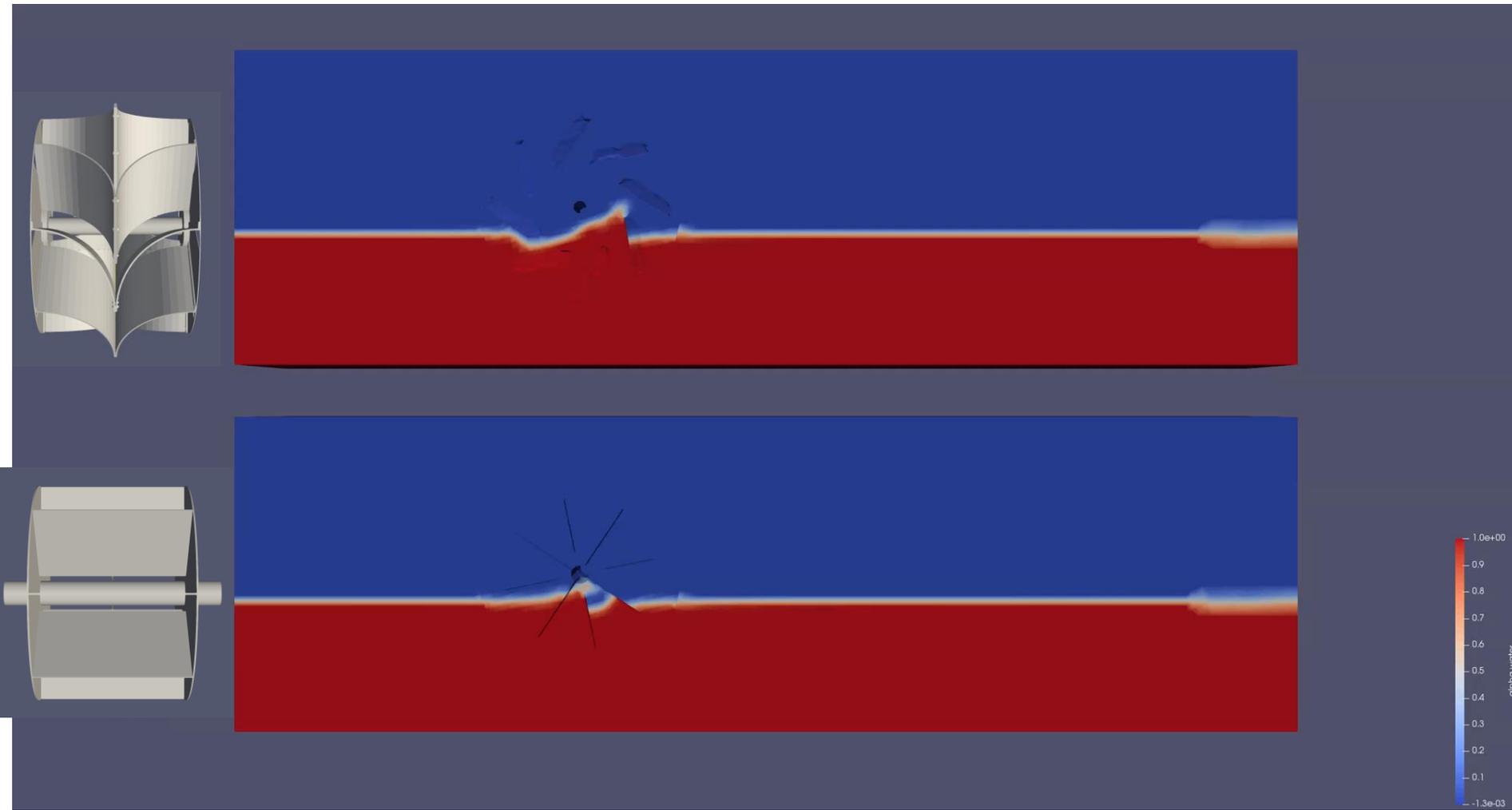


解析準備(3-2)

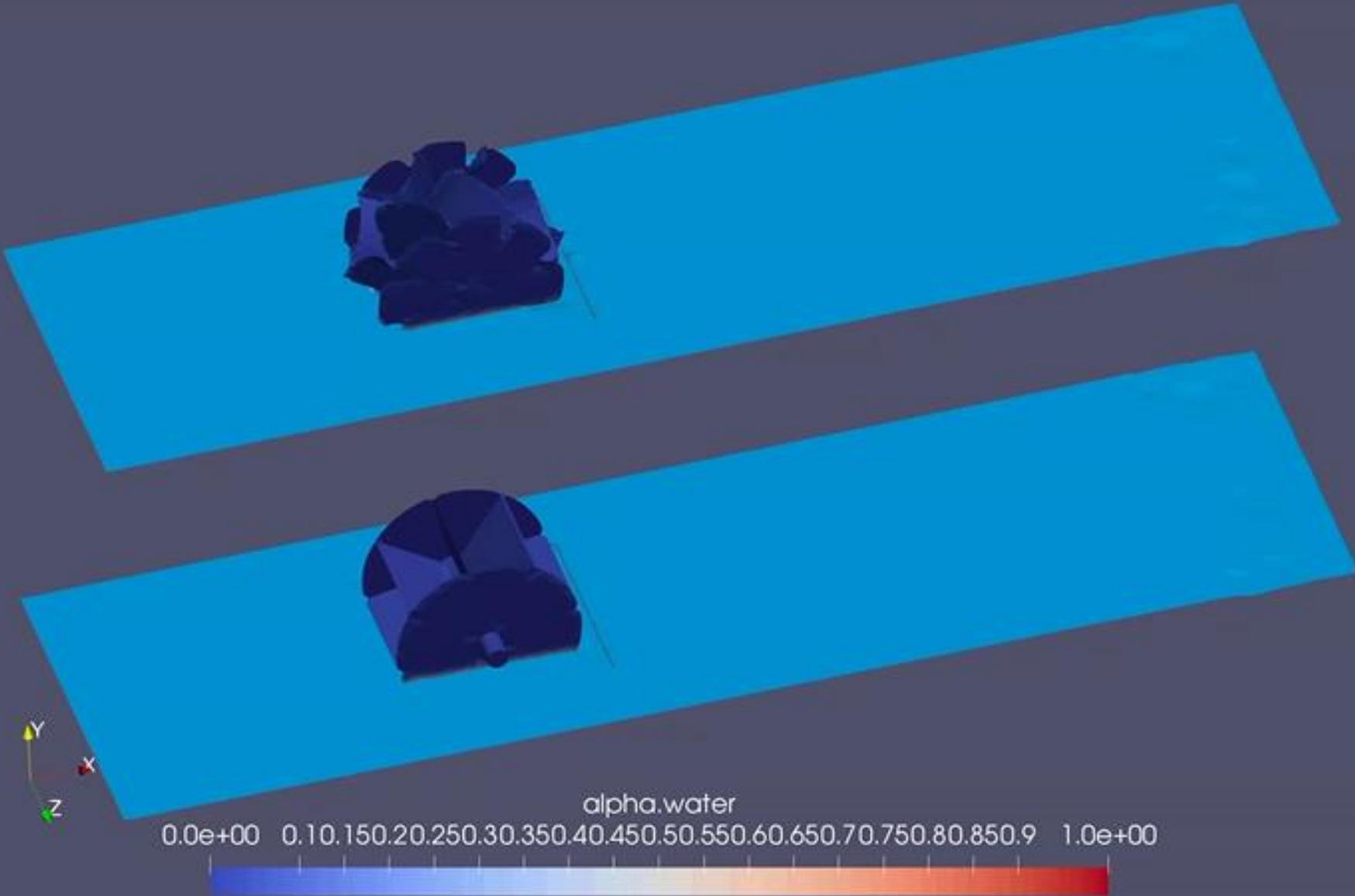
境界条件	液相		気相	
□ 相	動粘性係数	1e-06	動粘性係数	1e-05
	密度	1000	密度	1.2
			表面張力係数	0.07



中央断面での入水・離水時の液面変化



入水，離水時の巻き上げ違い



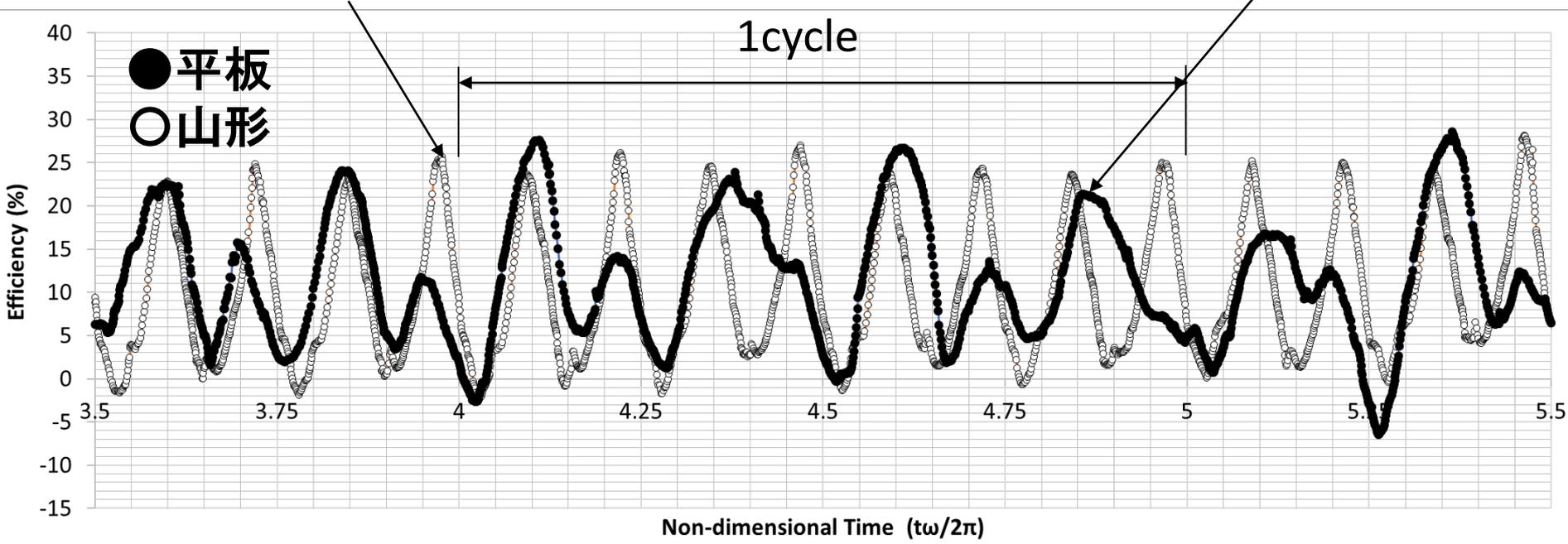
入水・離水による出力変動の有無

平板

- 羽根の出力+入水抵抗+離水抵抗+上流水位, 循環渦複雑波形
- 山形
- 平板の出力と比べ規則正しい波形

明瞭な8枚羽根

8枚羽根+入水, 離水ノイズ



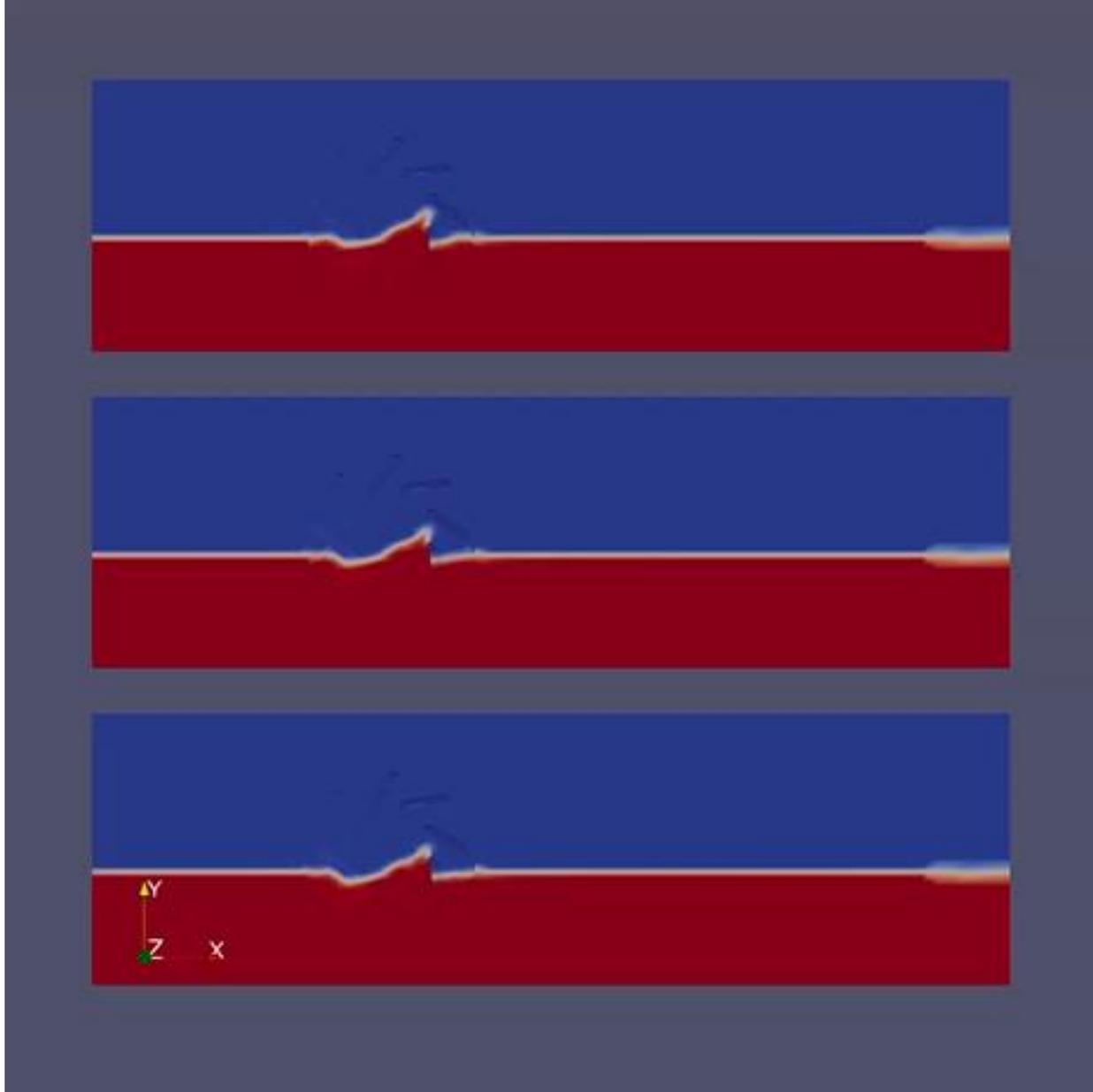
山形水車での流れの回転数依存

液相 2m/s
気相 0m/s
回転速度

6.0rad/s
($TSR = u_T / u_W = 0.45$)

8.0rad/s
($TSR = 0.60$)

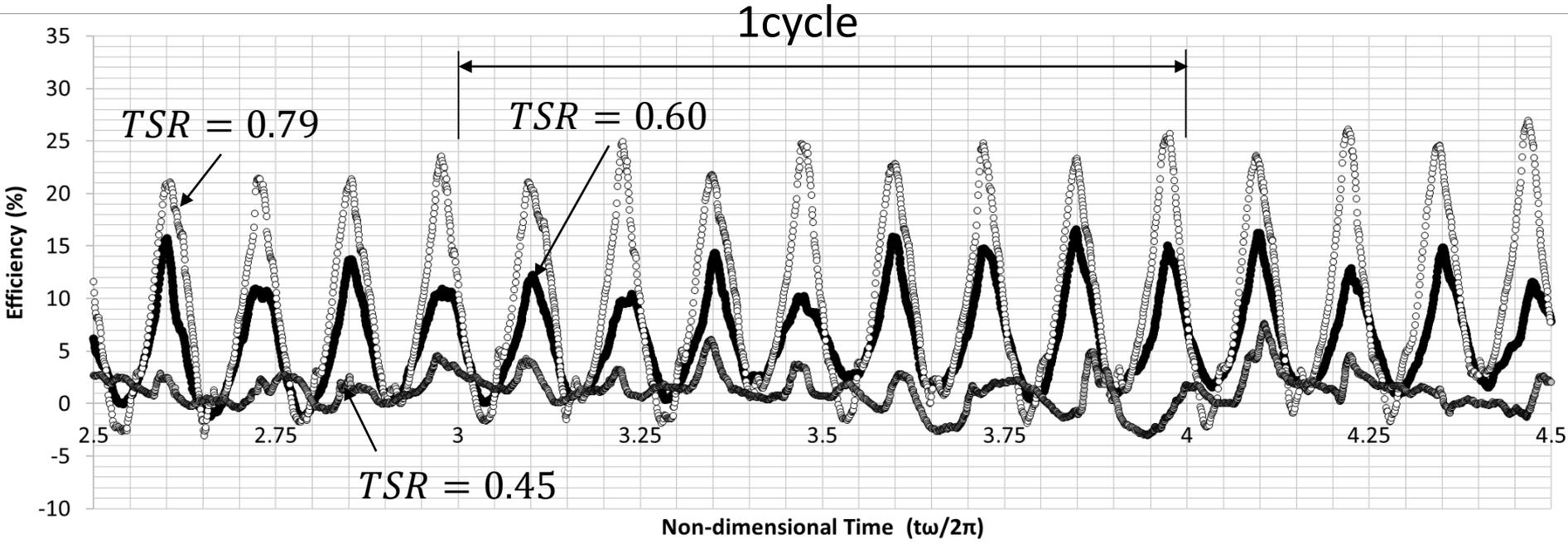
10.5rad/s
($TSR = 0.79$)



入水・離水による出力変動の変化

状態変化

- 周速度低減に伴い，上流での水位上昇，逆流(循環渦)発生
- 下流巻き上げ量も増加傾向



- 周速度比(羽根先端周速/水流速)0.6までは，羽根1枚ごとのトルク変動が確認できる。

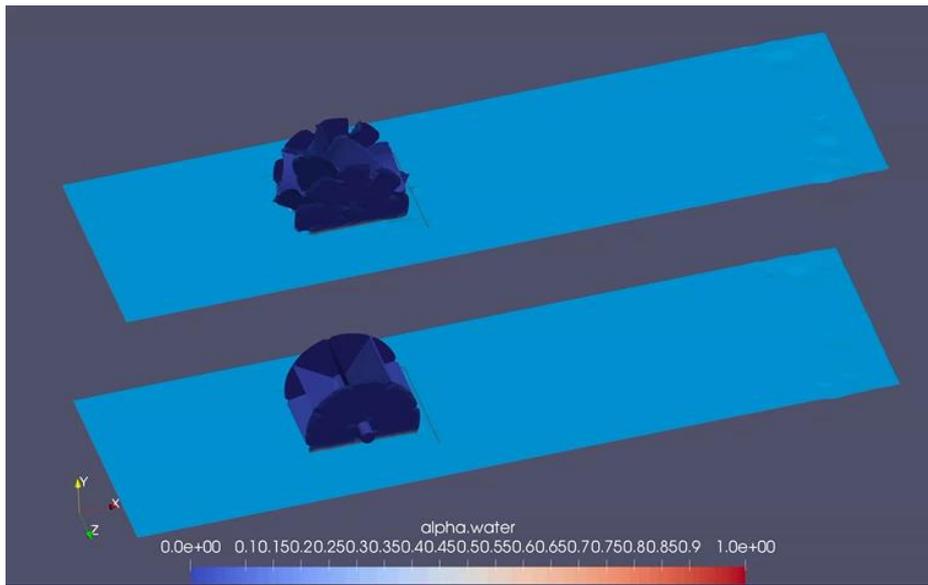
まとめ

下掛け水車周りの二相流解析をOpenFOAM(interDyMFoam)で実施

- フィールド試験にみられた入水・離水時の水面変化を定性的に再現
- 山形(三角)の羽根車にすることで，入水時の水面抵抗，離水時の巻き上げによる抵抗を低減できることを解析で確認
- 上流側での水面上昇は，山形水車でも低周速度比で発生，下流巻き上げ量も増加傾向にある。

今後

- 定量的な効率予測
- 浮体(今回触れなかった)との挙動との連成



**長野高専
機械工学科**