

# 多基連結型垂直軸型浮体式風車の弾性応答及び運動応答特性に関する研究

## 工学研究科海洋システム専攻 岩松幸花

### 研究背景

課題：養殖場の洋上における動力源の確保

① 垂直軸型風車を複数基搭載

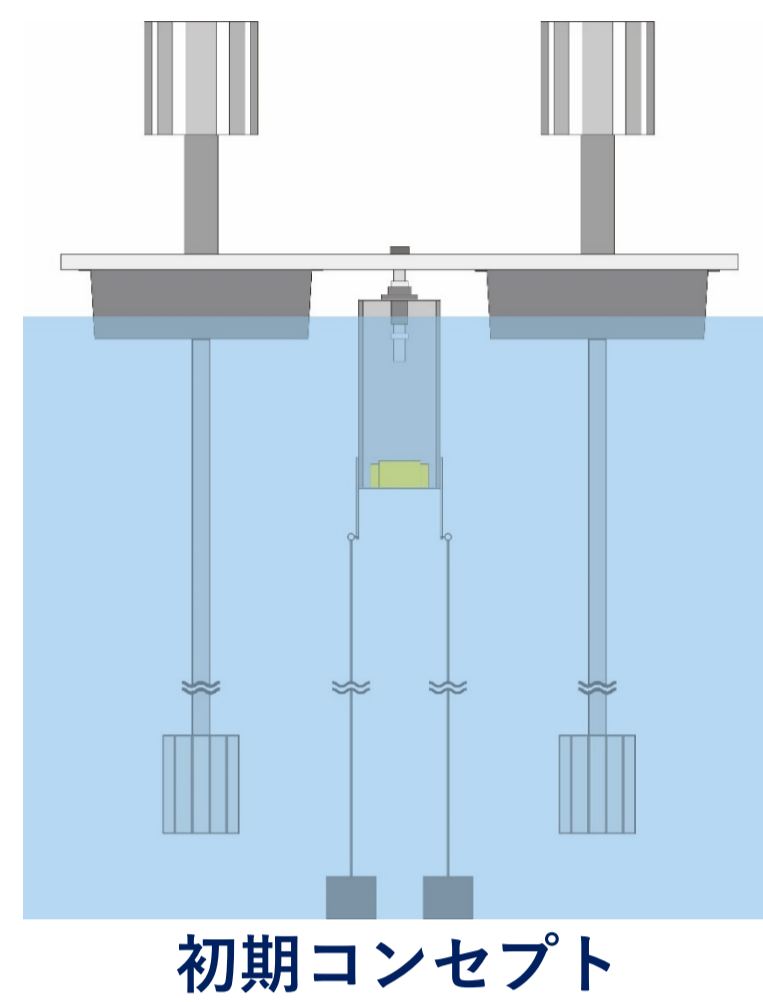
⇒1kwあたりのコストを削減

② 一点係留法による風追従可能

複数基の風車全てが風を受けることが出来る風向きに正対可能な一点係留法

③ 環境健全化装置を搭載

海水循環ポンプ等の搭載と電力供給を両立することにより漁場の健全化に貢献



初期コンセプト

### 研究課題

既存技術

- ✓ 一つの浮体と水平軸風車
- ✓ カテナリー係留
- 風車一基当たりの係留コスト及び海底の専有面積が必要なため、複数基設置した場合拡大

本研究の浮体式風車の特徴

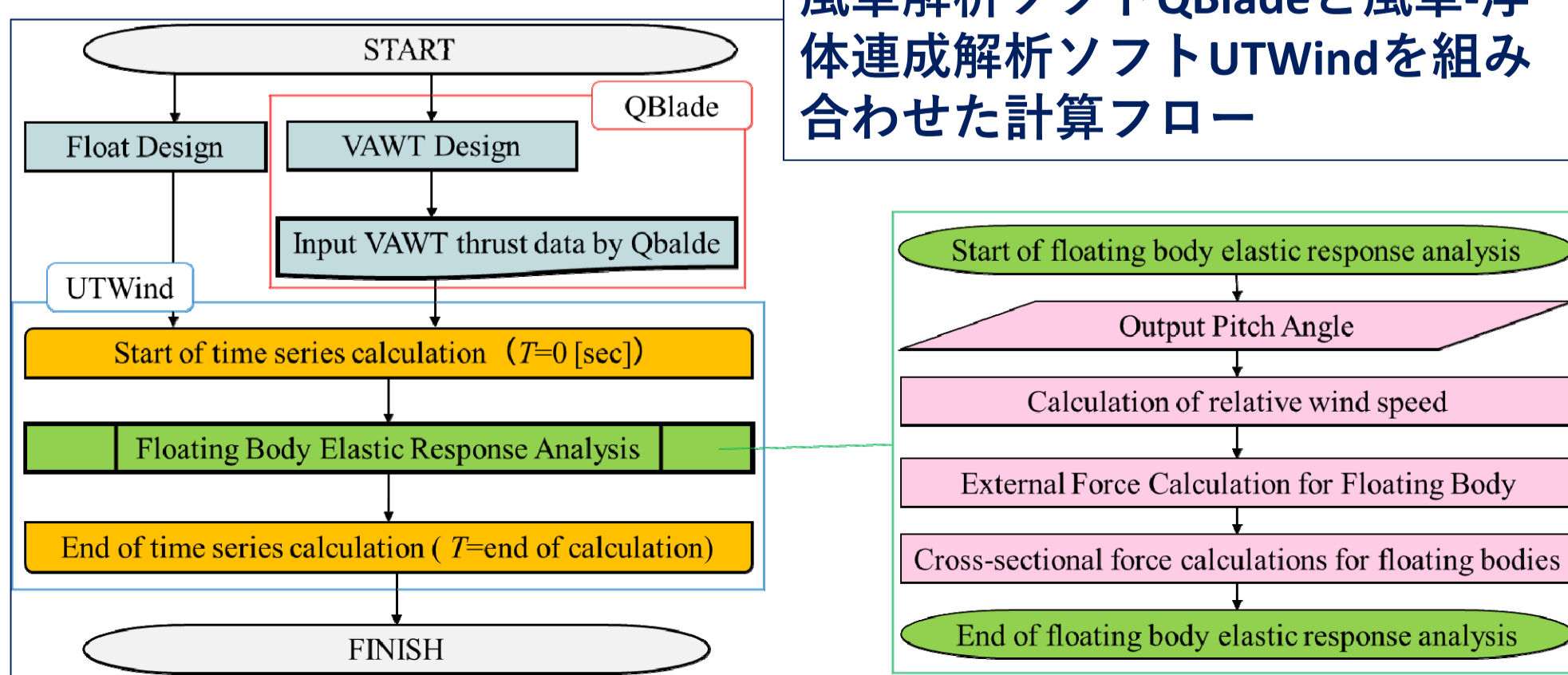
- ✓ 二基の垂直軸型風車を搭載
- ✓ 一点係留
- 風車二基に対して一つ係留を用いることでコスト削減

設計に必要な運動応答や設計荷重が不明

### 研究方法

- 多基連結型浮体式風車の回頭運動の解明及び数値シミュレーションの構築
  - ✓ 水槽にて風波中動揺試験の実施
  - ✓ 操縦方程式を用いて数値シミュレーションの構築
- 異なる垂直軸型風車及び浮体形状の運動応答の調査
  - ✓ 風車解析ソフトQbladeを用いて垂直軸型風車を設計及び製作
  - ✓ 2種類の浮体形状の浮体式風車で風波中動揺試験の実施
- 垂直軸型風車を二基搭載した浮体式風車の断面力特性
  - ✓ 風車解析ソフトQbladeと風車-浮体連成解析ソフトUTWindを組み合わせた数値シミュレーション
  - ✓ 弾性模型を製作し波浪中試験を実施

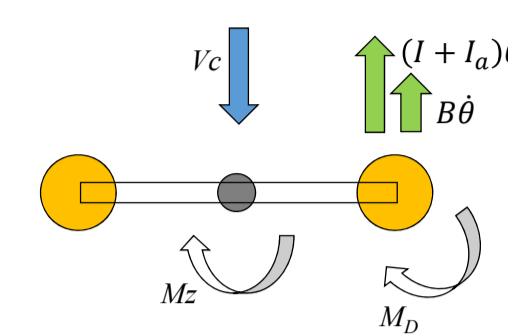
風車解析ソフトQbladeと風車-浮体連成解析ソフトUTWindを組み合わせた計算フロー



### 研究成果-1

回頭運動中の浮体に作用する流体力の解明

回頭運動中の浮体に作用する付加慣性モーメント及び減衰力係数を調べるために強制動揺試験を実施した。実験から得られた値を運動方程式に代入し、曲げモーメントを計算すると実験値とほぼ一致する結果が得られた



$$(I + I_a)\ddot{\theta} + B\dot{\theta} + M_D = M_z$$

$$M_D = \frac{1}{2}\rho A V_a^2 C_D \sin \phi_{ca} L$$

$$\varepsilon = \phi_{M_z} - \phi_{motor}$$

$$M'_z = (I + I_a)\ddot{\theta} + B\dot{\theta}$$

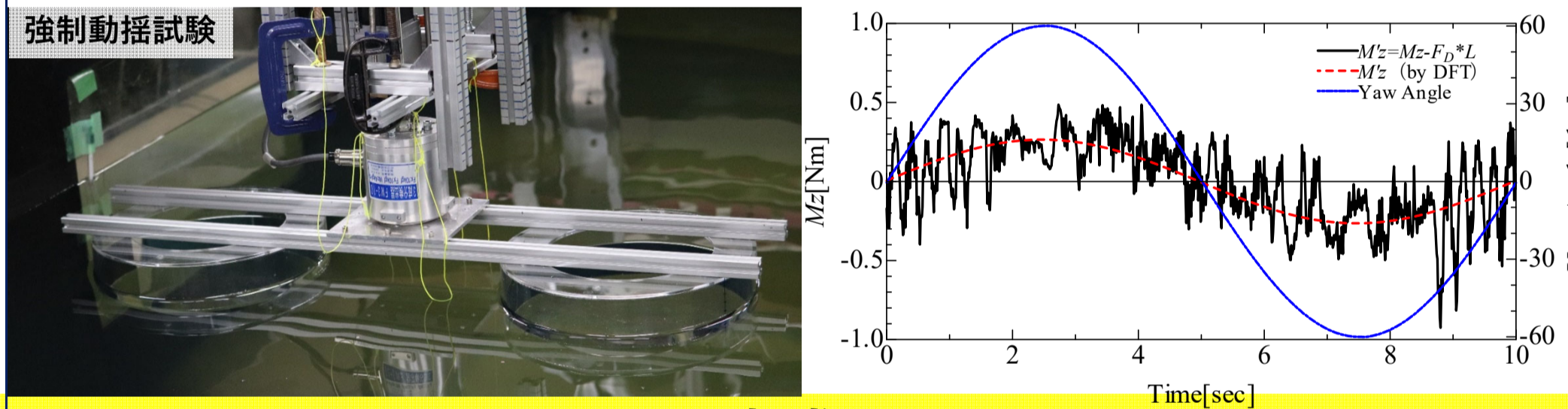
$$M'_z = M \sin(\omega t - \varepsilon)$$

$$I_a = -\frac{M}{A\omega^2} \cos \varepsilon - I$$

$$B = -\frac{M}{A\omega} \sin \varepsilon$$

$I$  : 慣性モーメント (=0.2525 kg・m<sup>2</sup>)  
 $I_a$  : 付加慣性モーメント  
 $B$  : 減衰力係数  
 $M_D$  : 抗力によるヨーモーメント  
 $V_a$  : 相対流速 (モーター基準)  
 $\varepsilon$  : モーターとMzの位相差  
 $A$  : 回頭振幅  
 $M$  : Mzの1次振幅  
 $\omega$  : 回頭角周波数

強制動揺試験



### 研究成果-2

風追従システムを考慮した力学的モデルの構築

操縦方程式を用いてクロスフロー型風車を搭載した多基連結型浮体式風車における旋回運動の数値シミュレーションを構築した。計算はSurge, Sway, Roll, Pitchの4次運動を考慮している。実験より、本モデルはそのような初期角度にあっても常に風に対して追従する結果が得られた。また、数値シミュレーションにおいても実験との誤差は10%未満であり、概ね良好な結果が得られた。

- $m$  : 質量
- $m_x, m_y$  : 付加質量
- $I_{xx}, I_{yy}$  : 慣性モーメント
- $J_{xx}, J_{yy}$  : 付加慣性モーメント
- $u, v$  : 速度
- $p, r$  : 角速度

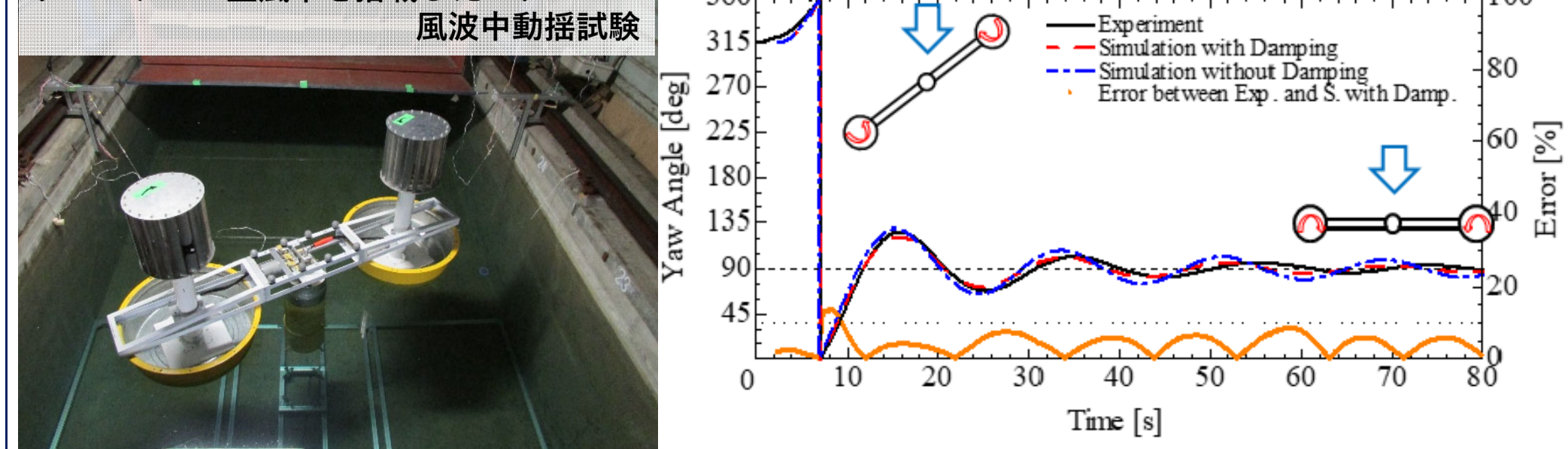
$$(m + m_x)\dot{U} - (m + m_y \cos^2 \phi + m_z \sin^2 \phi)V\dot{\psi} = F_x$$

$$(m + m_y \cos^2 \phi + m_z \sin^2 \phi)\dot{V} + (m + m_x)U\dot{\psi} + 2(m_z - m_y) \sin \phi \cos \phi \cdot V\dot{\phi} = F_y$$

$$(I_{xx} + J_{xx})\ddot{\phi} - \{(I_{yy} + J_{yy}) - (I_{zz} + J_{zz})\} \sin \phi \cos \phi \cdot \dot{\psi}^2 = M_x - mgGM \sin \phi$$

$$\{(I_{yy} + J_{yy}) \sin^2 \phi + (I_{zz} + J_{zz}) \cos^2 \phi\} \ddot{\psi} + 2\{(I_{yy} + J_{yy}) - (I_{zz} + J_{zz})\} \sin \phi \cos \phi \cdot \dot{\psi}\dot{\phi} = M_z$$

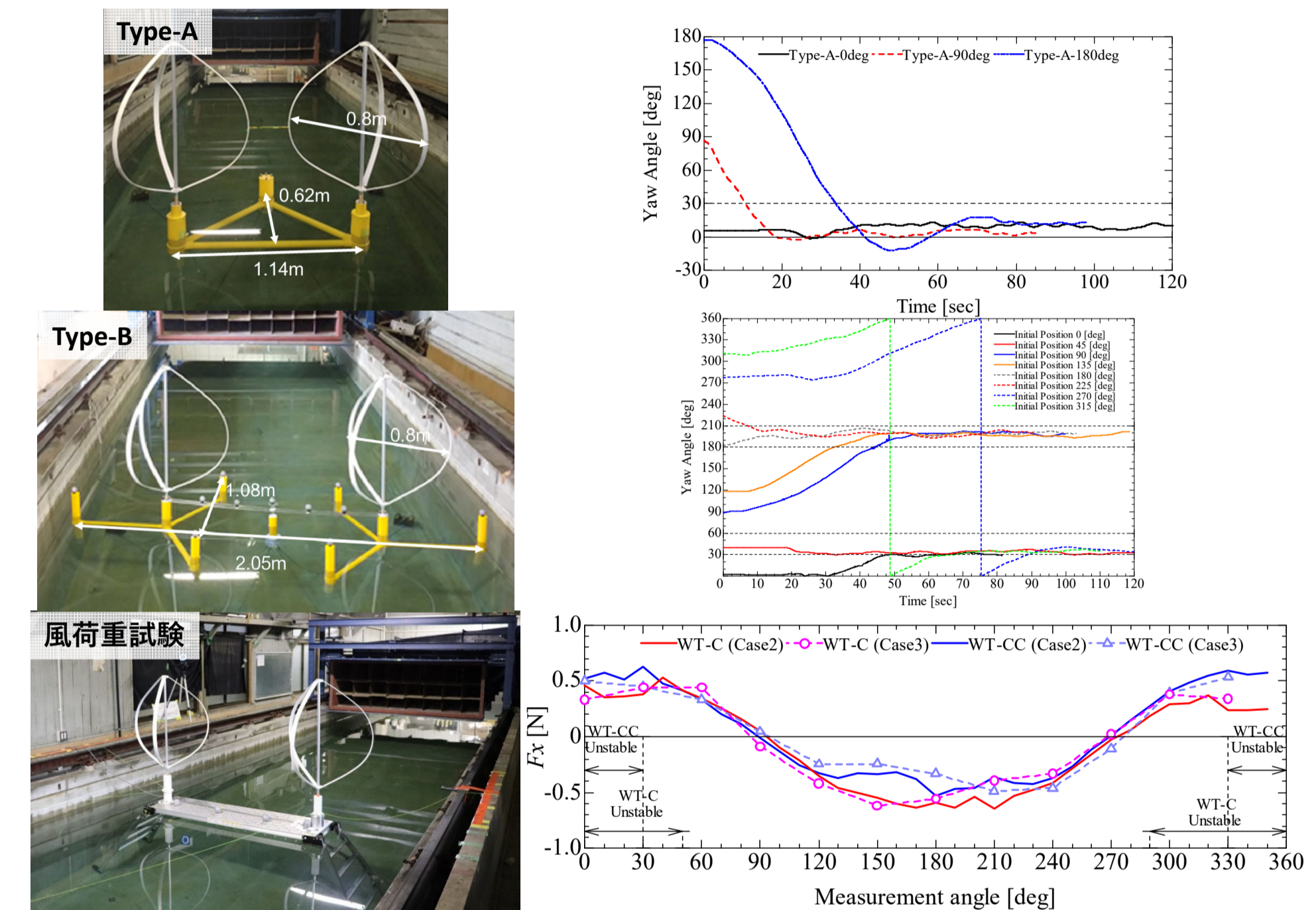
クロスフロー型風車を搭載したモデルの風波中動揺試験



### 研究成果-3

異なる形状を用いた場合の運動応答特性の調査

異なる形状においても同様の結果が得られることができるか調べるために、ダリウス型風車を搭載した2種類の半潜水型浮体を設計及び製作し、風波中動揺試験を実施した。研究成果-2と同様にどちらも風に対して追従し、浮体式風車としての有用性を示した。さらに、ダリウス風車を二基並べた場合の風荷重を計測し、二基に発生する風荷重が釣り合う地点に浮体は留まることを明らかにした。



### 研究成果-4

垂直軸型風車を二基搭載した場合の断面力特性

垂直軸型風車を二基搭載した場合の断面力への影響を調べるために、弾性模型を製作して、波浪中動揺試験を実施した。模型は実機スケールの1/100で製作し、曲げ剛性を合わせている。また、風車のスラストはダクトファンで模擬した。数値シミュレーションは風車-浮体連成解析UTWindを用いて行い、実機スケールで実験と数値シミュレーションの比較を行った。

