

令和2年(第20回)海上技術安全研究所研究発表会

# 11 海技研の模型試験技術と将来展望



洋上風力発電プロジェクトチーム  
羽田絢、中條俊樹



# 浮体式洋上風力発電（FOWT）の開発状況

\* FOWTは国内外で多様な形式の開発が進行しており、主としてスパー型、セミサブ型、バージ型の3種に大別される。

## スパー型



## セミサブ型



## バージ型



国外



国内

# FOWT大規模展開に向けた技術開発

\*FOWTは大規模展開に向けて様々な技術開発が行われている

浮体の低コスト化  
(新しい浮体形式等)

発電効率の高効率化  
(ブレードピッチ制御等)

係留配置の合理化  
(隣接浮体との  
アンカー共用化等)



\*数値解析による事前の評価が重要

→FOWT単体の基礎的な数値解析技術は確立、より広範な開発が進行中  
(新しい浮体形式への対応、係留破断や衝突など特殊な状況への対応)

# FOWT開発における水槽模型試験の役割

1. 数値解析プログラムの検証用データの取得
2. 極値状態における設計値の取得

海上技術安全研究所では、主要なFOWT浮体形式の波浪中応答に関する試験に加えて、多様な状況を想定した模型試験実施の実績

事例1：新しい浮体形式FOWTの応答把握を目的とした模型試験

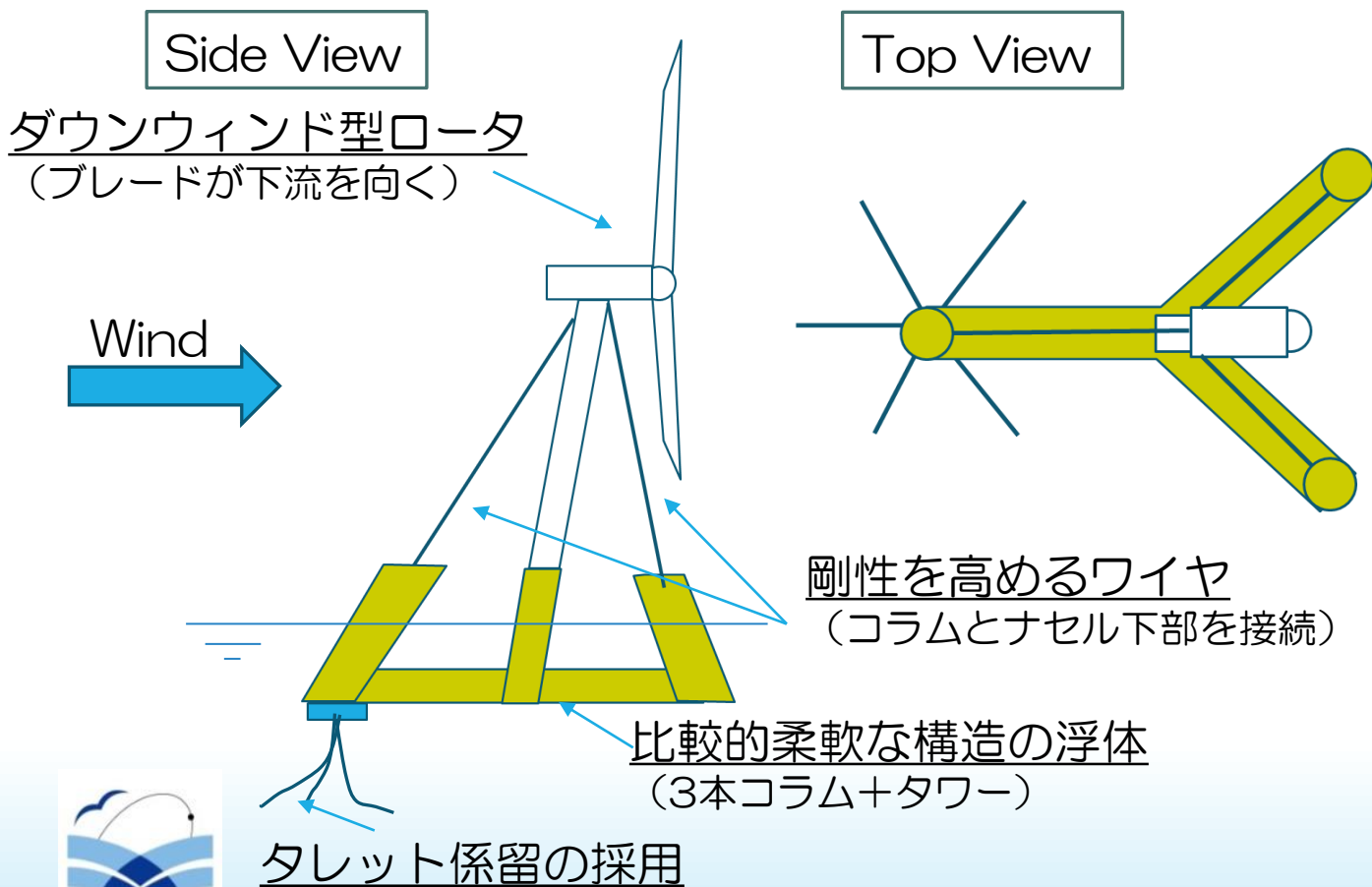
事例2：ロータと浮体の空力連成応答に着目した模型試験

空力連成応答：浮体動揺による相対風速の変動に起因して、ロータスラストと浮体動揺が相互に作用する応答

事例3：FOWTと船舶の衝突現象を再現した模型試験

# 建造コスト削減を目的とした新しい浮体形式の例

\* 大規模展開に向けたFOWT開発は、コスト削減のための様々な工夫を取り入れている。



- タレットの採用により、風向変化に対して **FOWT全体が回頭**し、適切な位置を保持  
→ **ナセルの軽量化 (ナセルヨー制御機構の廃止)**
- **柔な主構造**+ワイヤ (コラム頂部-ナセル直下間) により、FOWT全体の剛性を確保  
→ **材料費の削減**

## POINT

- 非対称形状による複雑な6自由度応答
- 弾性応答と、それに伴うワイヤの張力変動
- 風向変化に対する追従性能の効果



# 水槽試験事例 1-A 新浮体のコンセプト成立性の検討（6自由度応答の把握）



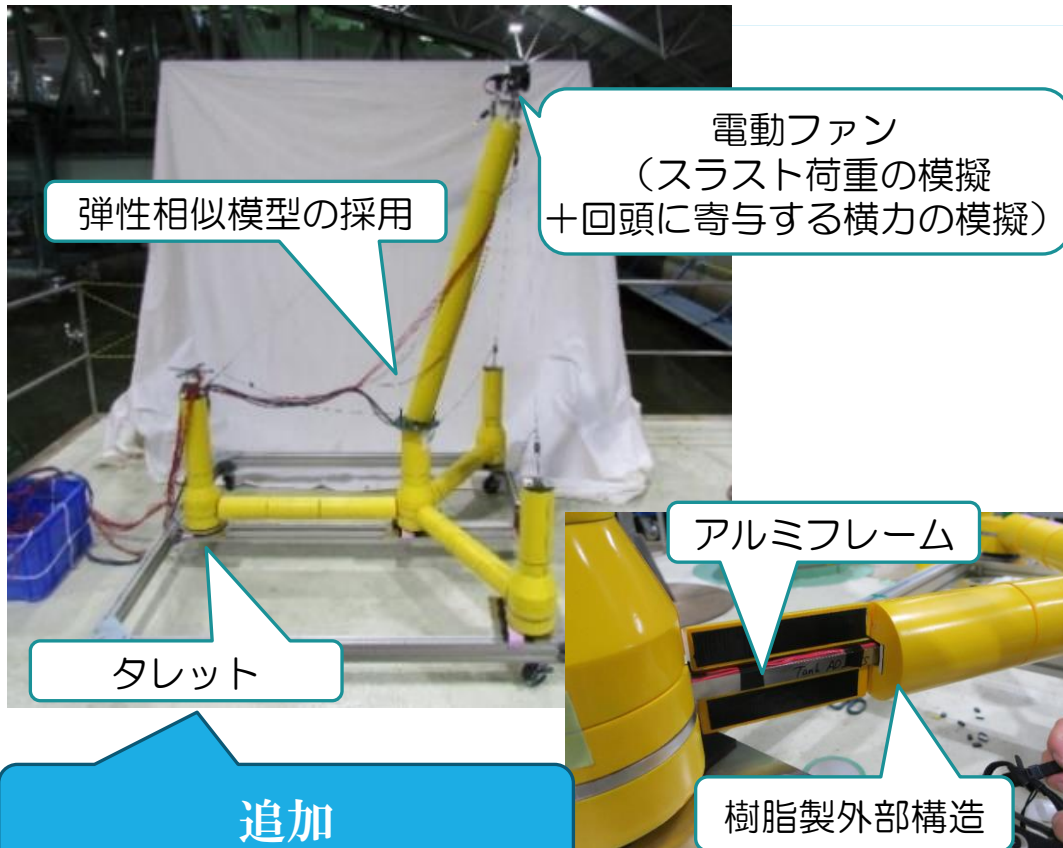
## 模型の特性

- 縮尺1/30 (全高3m超)
- 剛体模型
- 電動ファンを用いて一定スラスト荷重を模擬

## 計測項目/試験施設

- 波浪中の基礎応答、タワー基部荷重、係留張力
- 海洋構造物試験水槽にて実施

# 水槽試験事例1-B 新浮体の弾性応答、回頭応答（風向変化への追従性能）の調査



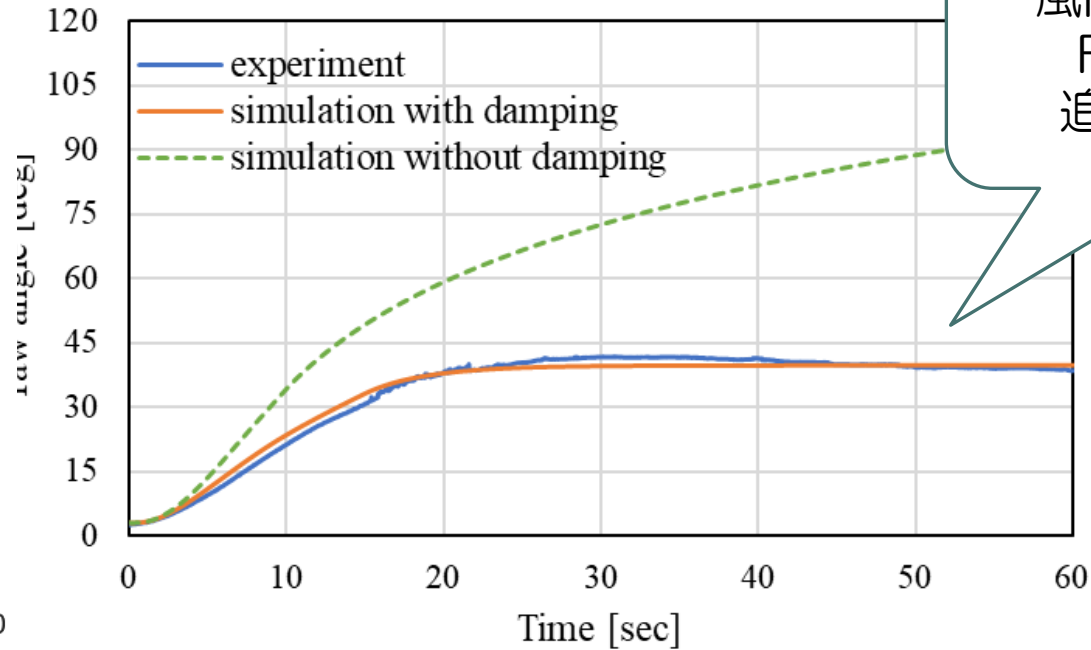
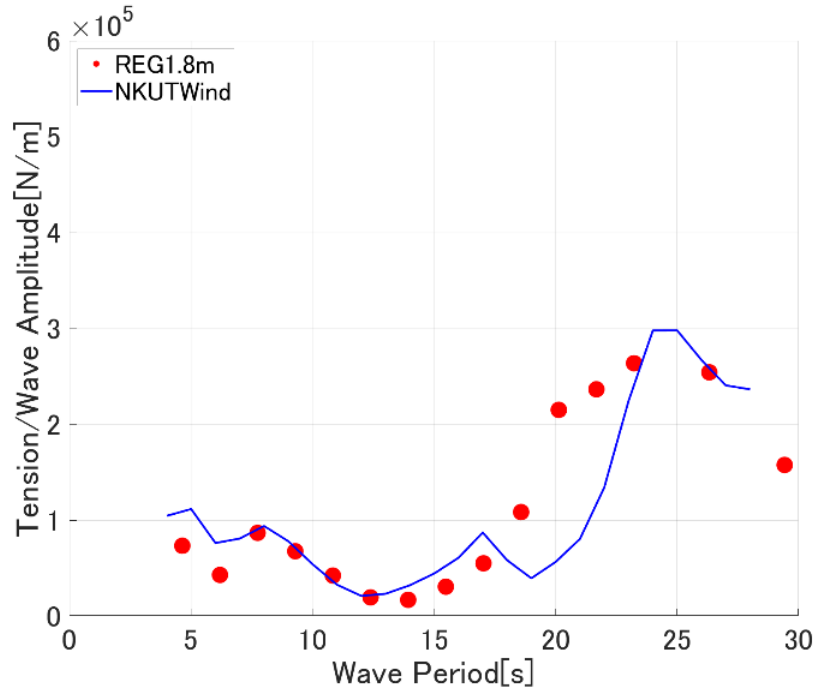
## 模型の特性

- 縮尺1/60 (全高1.5m超)
- 弾性相似模型 (バックボーン模型)
- 電動ファンを用いて一定スラスト荷重を模擬
- 電動ファンを制御し、回頭時の横力を模擬 (風向変化に対する追従性の検討)

## 計測項目/試験条件

- 波浪中の基礎応答、タワー基部荷重、浮体各部ひずみ、係留張力、ワイヤ張力
- 海洋構造物試験水槽にて実施 (流れの発生→流れ・風共存時の回頭性能検討)

# 水槽試験事例1-B 新浮体の弾性応答、回頭応答（風向変化への追従性能）の調査



風向変化に対する  
FOWT全体の  
追従性能の調査

\* 弾性応答/回頭の数値解析との検証データとして活用

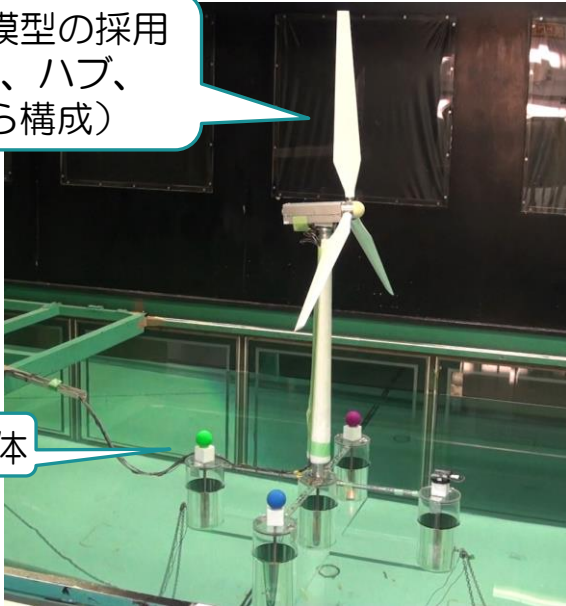


# 水槽試験事例2

## 浮体・風車の空力連成応答影響、ブレード制御応答計測

### ロータと浮体の空力連成応答に着目した模型試験

小型ロータ模型の採用  
(ブレード、ハブ、  
ナセルから構成)



セミサブ型浮体

#### 模型の特性

- 縮尺1/100 (全高1.0m)
- 剛体浮体模型
- 小型のロータ模型  
(実機と同等の仕組みでスラスト・トルクが発生)  
→ブレードピッチ制御機構搭載 (ブレードは同時に動作)

#### 計測項目/試験条件

- 波浪中の基礎応答、タワー基部荷重、係留張力、  
スラスト荷重
- 変動風水洞にて実施  
(風洞としての利用に加えて、水槽付き風洞としての利用が可能)

## 事例2：発展

# 3枚のブレードを個別に動作可能なロータ模型を用いた試験

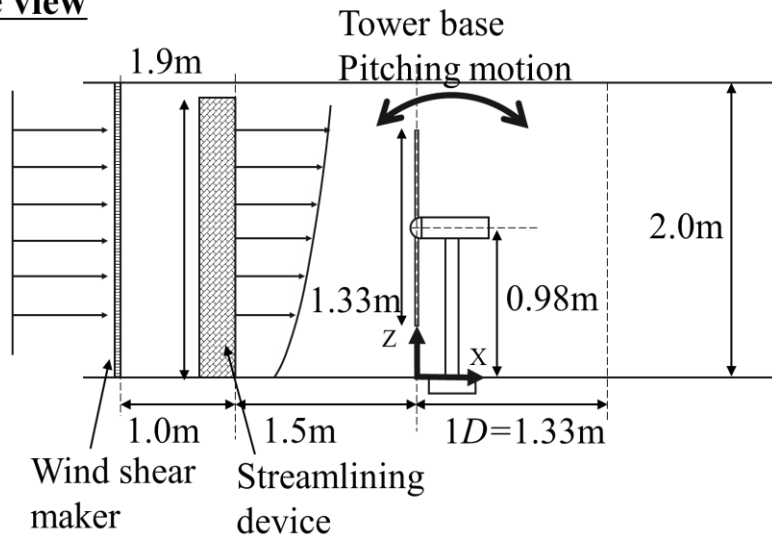
風速の鉛直分布を考慮した制御を施した時の風車後流影響に着目した模型試験

### 模型の特性

風速の鉛直分布を考慮したときに、より効果的な制御効果

- 縮尺1/100 (全高1.0m)
- 剛体浮体模型
- 小型のロータ模型
- 新型のナセル：3枚のブレードに個別の指令値を与えることが可能
- 従来の模型と同等の質量を維持 (浮体模型への搭載可能)
- タワー下端を強制動揺装置に接続し、浮体動揺を模擬

### Side view

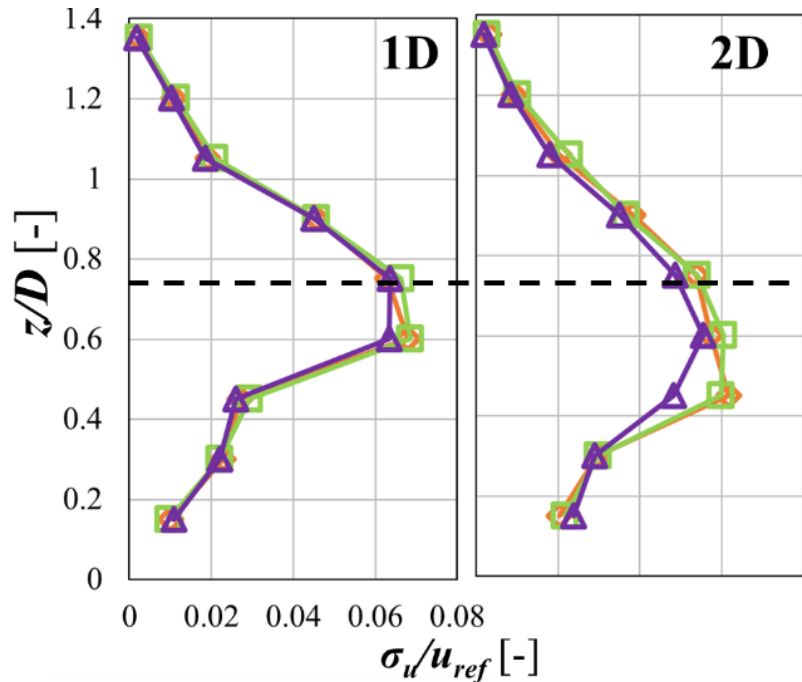


# 事例2：発展

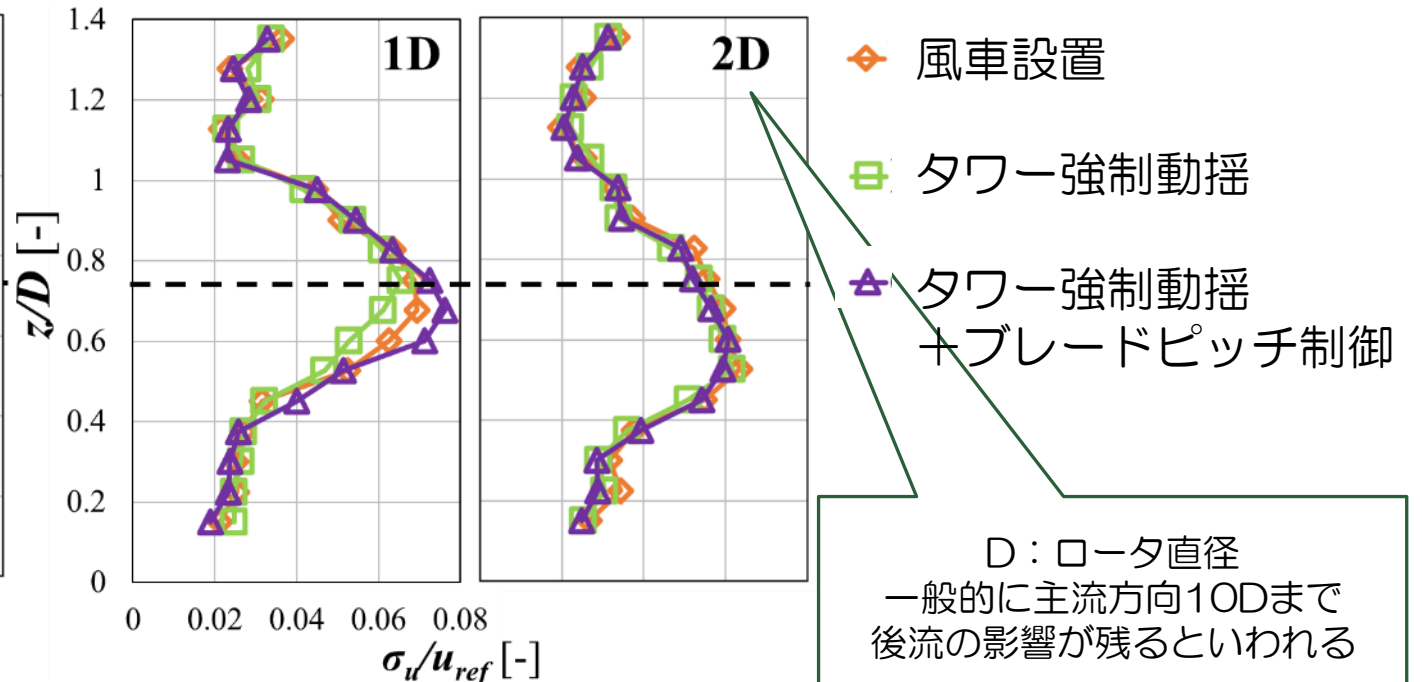
## 3枚のブレードを個別に動作可能なロータ模型を用いた試験

### 風速の鉛直分布を考慮した制御を施した時の風車後流影響に着目した模型試験

一様流中の風車後流の乱れ

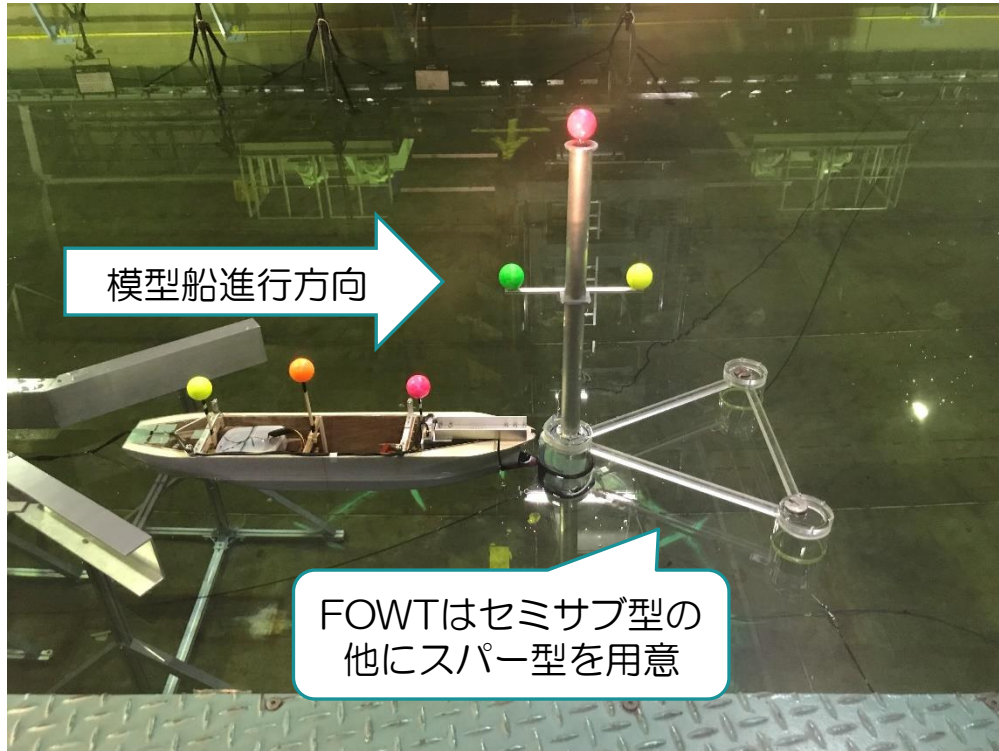


風速鉛直分布中の風車後流の乱れ



# 水槽試験事例3

## 船舶・FOWT衝突時応答の計測



### 模型の特性

- 縮尺1/100
- 剛体の模型船（自航可能）
- 局所弾性FOWT模型（スパー型/セミサブ型）
- スラスト荷重考慮なし

### 計測項目/試験条件

- 模型船・FOWT模型の衝突前後の運動、模型船首部作用荷重
- 平水に加えて、波浪中の衝突影響



- \* 損傷時復原性に関するガイドライン改訂を目的として実施
- \* その他の特殊な状況として、係留破断時の過渡応答計測や、小型模型を用いた高波浪下の応答計測の実施実績がある



# FOWT水槽試験のこれまでと高度化

## 実施実績

- \* 大型の浮体模型を用いた、新しい浮体形式の詳細な応答を調査する試験
- \* 小型のロータ模型を用いた、空力連成応答や後流を調査する試験
- \* 特殊な状況を再現する試験（衝突/係留破断等）

## 今後の発展

→FOWT特有の空力連成応答と新しい浮体形式特有の応答の関係の把握（本事例でいえば、弾性応答や回頭）に与える影響も調査が必要



# FOWT関連技術の水槽試験展望

\* 今後のFOWT展開拡大のためには、設置・維持管理費の削減も重要な課題となっている。

→建設手法の最適化、CTV性能の向上、曳航手法の最適化などを模型試験を通じて実施する。

建設作業船の運用手法の検討



清水建設

CTV（作業員輸送船）の  
運用手法/設計開発



Njord Offshore

最適な曳航手法の検討



Fukushima Offshore Wind Consortium

三菱重工

# まとめ

- \*水槽試験は、FOWTの大規模展開に向けて重要な技術
- \*浮体だけではなく、ロータについても高い試験技術を保有
- \*今後のターゲット
  - FOWT単独の水槽試験の高度化
  - FOWT関連の作業船を対象とした水槽試験の実施