

# Task56(洋上風車動的解析コードの検証) 進捗報告

## 第15回 IEA Windセミナー

2026.09.09

ジャパンマリンユナイテッド株式会社  
洋上風力プロジェクト部 吉本 治樹

- Task56 概要
- Phase2 結果
- Phase3 概要
- 日本としての取組み

## Task 56 : 洋上風車動的解析コードの検証 (Offshore Code Comparison Collaboration 7 Project – OC7)

### ▶Task取組み概要

- 洋上風力発電システムの設計に使用される**解析ツールの予測精度の評価・向上**
- 2024年～2027年の4年間で、**浮体式洋上風力発電設備を対象**とした3つの現象に焦点を当てた活動を実施予定
- 現在（2026年9月時点）、Phase3 実施中

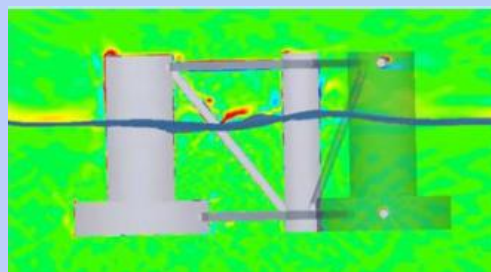
Task56 スケジュール

|        | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 |
|--------|------|------|------|------|
| Phase1 | →    |      |      |      |
| Phase2 |      | →    |      |      |
| Phase3 |      |      | →    |      |

### Phase 1 粘性流体力

さまざまな風車浮体構造の流体力学的粘性荷重モデルの検証

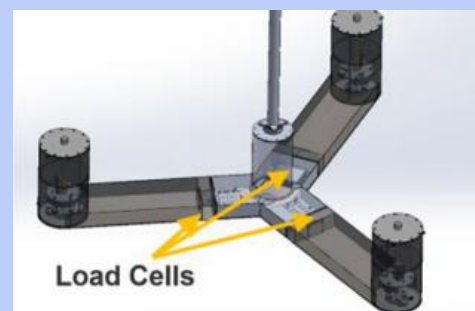
- CFDによるバリデーション
- モデル化方針の検討



### Phase 2 浮体弾性応答

水槽実験から得られた計測値との比較を通じて、風車浮体構造内のメンバーレベルの荷重の検証

- 浮体弾性検証
- 全体構造解析



### Phase 3 浮体式WFの空力

浮体特有の後流影響を考慮した、ウィンドファーム内の異なる場所の風車浮体荷重の検証

- ウィンドファームの空力検証
- CFD解析



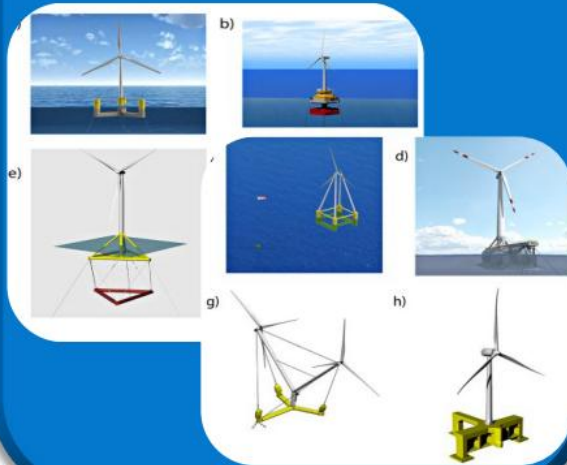
### 参加国

|                |
|----------------|
| Belgium        |
| CWEA           |
| France         |
| Germany        |
| Ireland        |
| Italy          |
| Japan          |
| Netherlands    |
| Norway         |
| Spain          |
| United Kingdom |
| United States  |

## ▶Taskが取り組む課題

### 多様化する浮体デザイン

#### Novel Floating Designs



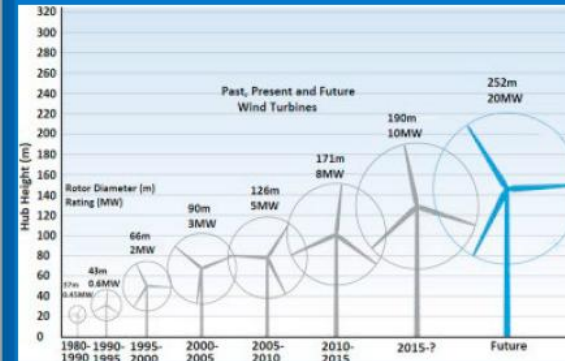
Innovation has brought new, unique floating wind designs → need to ensure we can accurately model them and continue innovation

*Addresses Wind Grand Challenge\* – hydrodynamics of enlarged wind turbines*

大型風車浮体の流体力推定  
→ Phase1

### 風車大型化

#### Increased Turbine Size



As we continue to grow turbine size to decrease cost, support structure has become more flexible → need to enable and validate flexibility in our tools

*Addresses Wind Grand Challenge\* – structural dynamics of enlarged wind turbines*

大型風車浮体の構造動的特性把握  
→ Phase2

### 浮体式ウィンドファームの計画

#### Floating Wind Farm Design



Wind systems don't operate in isolation → need to ensure we can accurately predict loads throughout a wind farm, especially for unique floating wake conditions

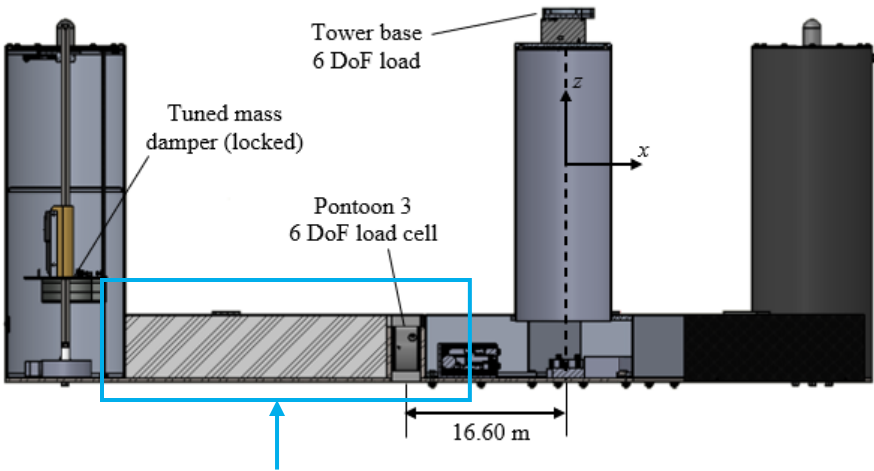
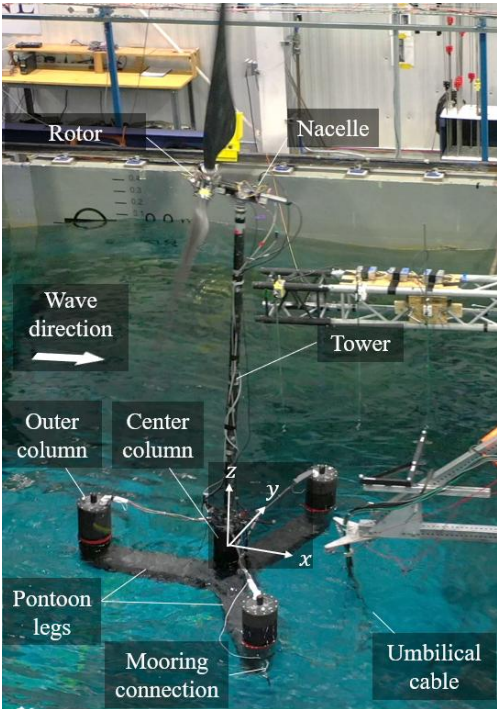
*Addresses Wind Grand Challenge\* – improved understanding of plant flow physics*

ウィンドファームの流れ場理解  
→ Phase3

# Phase2 結果

## ▶WP2.1 概要

- 目的:** 浮体式洋上風力構造物における部材レベル荷重の予測精度を検証・評価
- 背景:** 過去のOC3～OC6では構造物を剛体として扱っていたが、OC7 Phase IIでは柔軟性（弾性）を考慮
- 対象浮体:** IEA 15MW風車 + VoltturnUS-Sセミサブ型プラットフォーム（1:70スケール）
- 実験:** FOCALプロジェクトの実験データ
- 参加組織:** 11組織（BV, DNVなど船級協会、NREL, NTNU, CIMNEなど大学・研究機関、Principia, Sowentoなどコンサル）



柔軟性を持たせた構造

荷重ケース一覧

| Load Case       | Components included                                                         | Marine Conditions                                                                                                           | Initial Conditions          | Comparison Type               |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Static Analysis | 1.1 Platform pontoon (clamped at base <sup>a</sup> ) and outer column       | None                                                                                                                        | Fz = 1.345×107 N (downward) | Static response               |
|                 | 1.2 RNA, tower (+ wire), platform, moorings, umbilical cable                | Still water                                                                                                                 | Prescribed surge            | Static response               |
|                 | 1.3 RNA, tower (+ wire), platform, moorings, umbilical cable                | Still water                                                                                                                 | Prescribed sway             | Static response               |
|                 | 1.4 RNA, tower (+ wire), platform, moorings, umbilical cable                | Still water                                                                                                                 | None                        | Static response               |
| Eigen-analysis  | 2.1 Platform pontoon (clamped at base <sup>a</sup> ) and outer column       | None                                                                                                                        | None                        | Natural frequency and damping |
|                 | 2.2 Platform pontoon (clamped at base <sup>a</sup> ) and outer column       | Still water                                                                                                                 | None                        | Natural frequency and damping |
|                 | 2.3 RNA, tower (clamped at base), tower wire                                | None                                                                                                                        | None                        | Natural frequency and damping |
|                 | 2.4 RNA, tower (with tower base load cell and clamp underneath), tower wire | None                                                                                                                        | None                        | Natural frequency and damping |
|                 | 2.5 RNA, tower (+ wire), platform, moorings, umbilical cable                | Still water                                                                                                                 | None                        | Natural frequency and damping |
| Free-decays     | 3.1 RNA, tower (+ wire), platform, moorings, umbilical cable                | Still water                                                                                                                 | Surge = -6.10 m             | Time series (t = 600 s)       |
|                 | 3.2 RNA, tower (+ wire), platform, moorings, umbilical cable                | Still water                                                                                                                 | Heave = -3.05 m             | Time series (t = 250 s)       |
|                 | 3.3 RNA, tower (+ wire), platform, moorings, umbilical cable                | Still water                                                                                                                 | Pitch = -6.21 deg           | Time series (t = 350 s)       |
| Wave-Only       | 4.1 RNA, tower (+ wire), platform, moorings, umbilical cable                | Regular waves: H = 10.85 m, T = 13.5 s<br>Irregular waves: JONSWAP H <sub>s</sub> = 3.1 m, T <sub>p</sub> = 8.9 s, γ = 1.80 | None                        | Time series (t = 2,568 s)     |
|                 | 4.2 RNA, tower (+ wire), platform, moorings, umbilical cable                | Irregular waves: JONSWAP H <sub>s</sub> = 8.1 m, T <sub>p</sub> = 12.8 s, γ = 2.75                                          | None                        | Time series (t = 9,294 s)     |
|                 | 4.3 RNA, tower (+ wire), platform, moorings, umbilical cable                |                                                                                                                             | None                        | Time series (t = 9,754 s)     |

H: regular wave height  
H<sub>s</sub>: significant wave height  
T: regular wave period

T<sub>p</sub>: peak-spectral wave period  
γ: peak-enhancement factor  
t: time

<sup>a</sup>See Figure 6



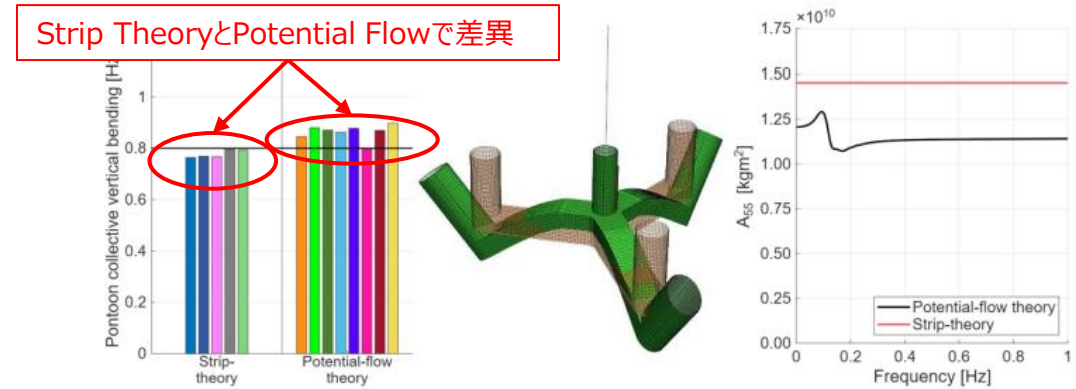
## ▶ 主な結果

- ① 固有振動数
  - 付加質量の影響が大きい
  - Strip TheoryとPotential Flowで差異
- ② 浮体動揺・係留張力
  - Surge, Heave, Pitch, 係留張力は、Strip TheoryとPotential Flowいずれも実験と良好に一致
- ③ 部材荷重
  - 曲げ・せん断力は概ね再現
  - 大波高時は瞬時没水面変化など高次流体力が重要
  - 評価位置や荷重条件により、Strip TheoryとPotential Flowの差異の傾向は異なる

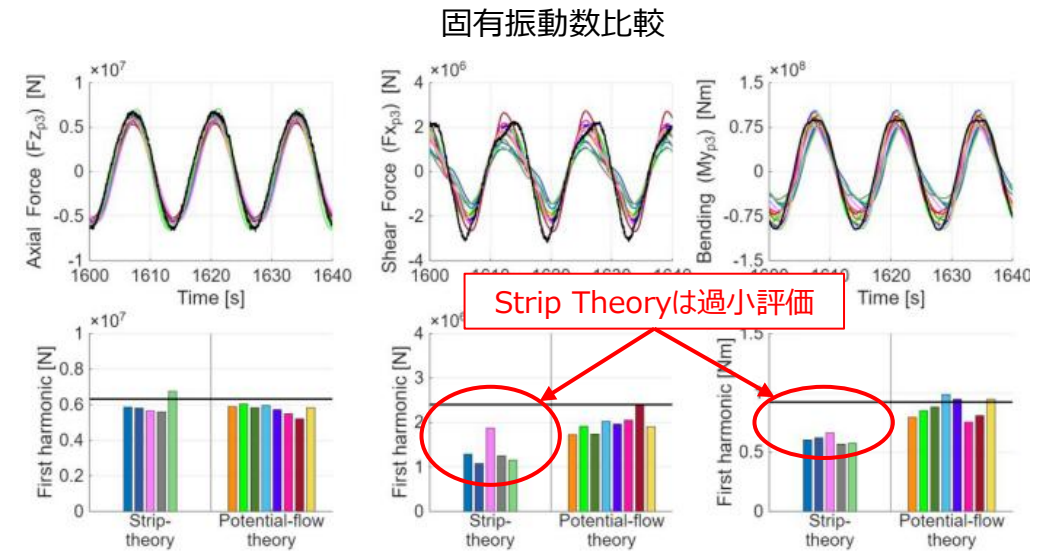
## ▶ FOWT設計への示唆

- ✓ 大型浮体では弾性モデルによる連成解析が重要
- ✓ 浮体全体の運動が合っている、構造設計に必要な部材荷重が合っていると限らない → 連成解析のみでの構造設計には課題
- ✓ 高次流体力を考慮した解析手法の高度化が今後の課題

Bergua, R. et al. (2026), OC7 Project Phase II: Code Comparison and Experimental Validation of Hydroelastic Effects and Member-Level Loads in Floating Structures, Journal of Physics: Conference Series, Vol. 3224, 082024.



**Figure 4.** (left) Pontoon collective vertical bending mode frequency in Load Case 2.5. Comparison between models and measurements. Same legend as Figure 3. (middle) Mode shape provided by BVMO participant. (right) Added mass in pitch ( $A_{55}$ ) due to surrounding water.

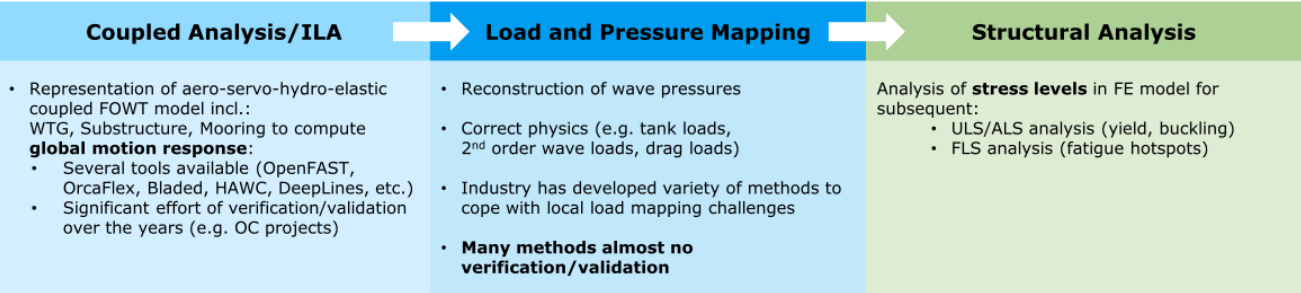
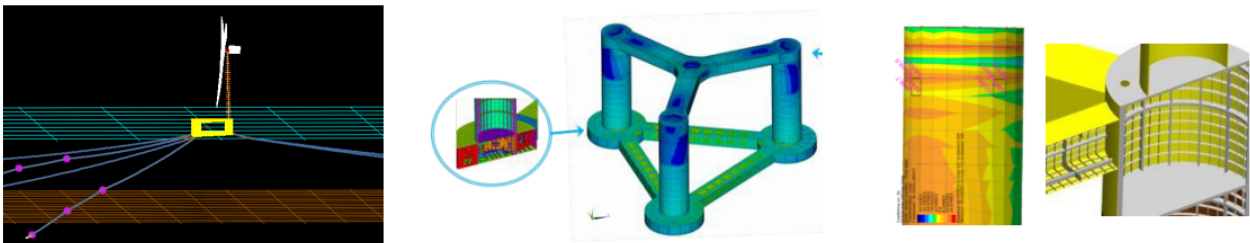


**Figure 8.** (top) Pontoon 3 loads during the regular wave condition: axial force, vertical shear force, and vertical bending moment. (bottom) Corresponding first-harmonic amplitude. Comparison between models and measurements. Same legend as Figure 5.

ポンツーン荷重比較 (H10.85m, T13.5s, 規則波)

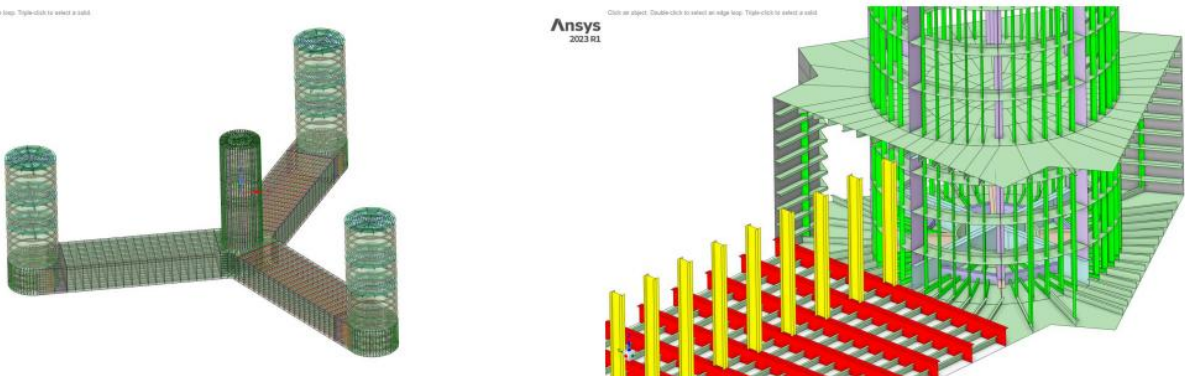
## ▶WP2.2 解析条件

**目的:** 浮体式洋上風力（FOWT）の連成解析を用いた荷重マッピングによる荷重・応力を検証・評価  
**対象浮体:** IEA 15MW風車 + VoltturnUS-Sセミサブ型プラットフォーム  
**参加組織:** 9組織（BV, DNV、NREL, CIMNE、CENER, Principia, Ramboll, Akseos, JMU）



荷重ケース一覧

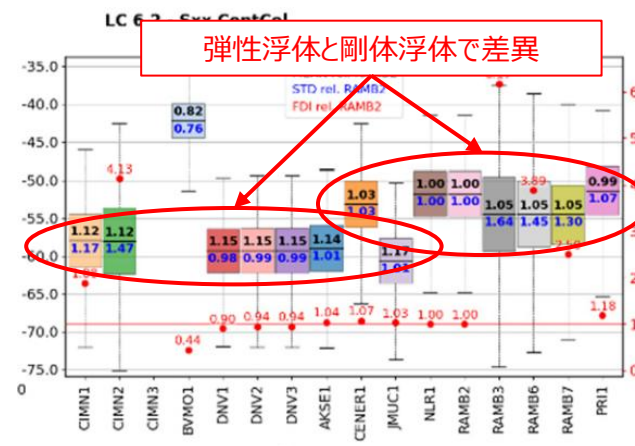
| Focus Area         | DLC ID | Description                                                        |
|--------------------|--------|--------------------------------------------------------------------|
| Mass/Interia Check | 1.1    | Mass/Inertia Check                                                 |
| Static Load Checks | 2.1    | Static Hub Load Check                                              |
|                    | 2.2    | Static Gravity Load Check                                          |
|                    | 2.3    | Static Freely Floating Check                                       |
|                    | 2.4    | Static Freely Floating Check                                       |
| Frequency Analysis | 3.1    | Natrual Frequency Analysis - unconstrained - Floater only          |
|                    | 3.2    | <del>Natrual Frequency Analysis - constrained - Floater only</del> |
|                    | 3.3    | Natrual Frequency Analysis - unconstrained - Floater and WTG       |
|                    | 3.4    | Natrual Frequency Analysis - constrained - Floater and WTG         |
|                    | 3.5    | Natrual Frequency Analysis - floating in water                     |
|                    | 3.6    | Natrual Frequency Analysis - floating in water                     |
|                    | 3.7    | Free Decay Surge                                                   |
|                    | 3.8    | Free Decay Heave                                                   |
|                    | 3.9    | Free Decay Pitch                                                   |
| RNA loads          | 4.1    | Time Varying RNA Load                                              |
| Regular Waves      | 5.1    | Regular Waves - Constrained                                        |
|                    | 5.2    | Regular Waves - Freely Floating                                    |
| Irregular Waves    | 6.1    | Irregular Waves - Waves Only - Constrained                         |
|                    | 6.2    | Irregular Waves - Waves Only - Freely Floating                     |
|                    | 6.3    | Irregular Waves - Waves + RNA Load - Freely Floating               |



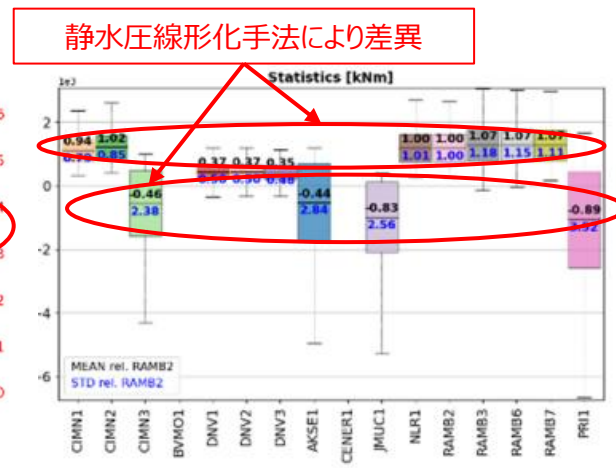


## ▶ 主な結果

- ① Global解析（連成解析）の精度確保が最重要
  - Local応力評価の精度はGlobalモデルに強く依存
  - ILA精度が不十分だとFEAを高度化しても改善効果は限定的
- ② 構造動的効果が疲労に影響
  - Hull flexibilityを考慮すると疲労損傷(FDI)が大きく変化
  - 特に低波高海象で顕著、高波高時は波荷重が支配的になり、構造弾性による二次的な影響が相対的に小さくなる
- ③ 静水圧線形化手法が構造応力に影響
  - 静水面付近の圧力を単純線形化した場合と、非線形圧力で表現した場合で、構造の応力分布が変化



センターコラムホットスポット応力標準偏差  
(DLC: Low irregular wave, Wave only)



Foreコラム曲げモーメント  
(DLC: RNA Load only)

## ▶ FOWT設計への示唆

- ✓ Global→Local構造モデル荷重伝達は設計上の重要工程
- ✓ Hull flexibilityは疲労評価に対して無視できない影響を及ぼす
- ✓ Hydrostatic/Hydrodynamic圧力の扱いで応力分布が変化
- ✓ OC7はGlobal-to-Local解析の国際ベンチマークを提供

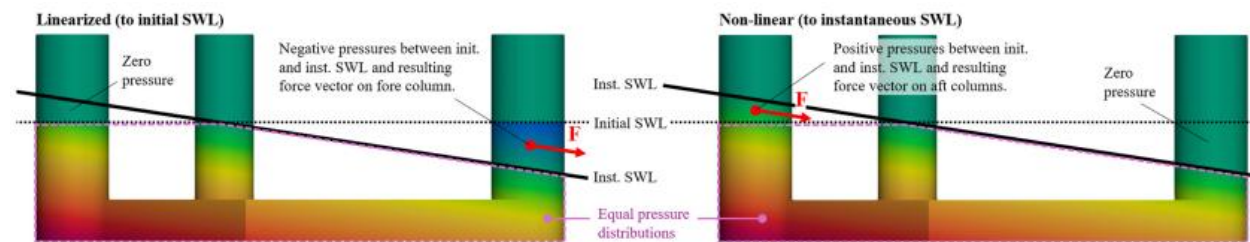


Figure 12: Impact of the linearization of hydrostatic pressures on the load paths distribution within the hull structure

水線面付近圧力の線形化影響

Source: Karch et al. (2026), OC7 Phase II WP2.2 Global-to-Local Load Transfer Benchmark (WES-2026-78).

# Phase3 概要

## ▶目的

風車浮体運動がWake・下流風車荷重へ与える影響を評価

## ▶実験

- PoliMiによるNETTUNO
- 1/75 DTU 10MW模型
- 上流風車のみ運動
- 下流風車荷重計測

## ▶想定解析手法

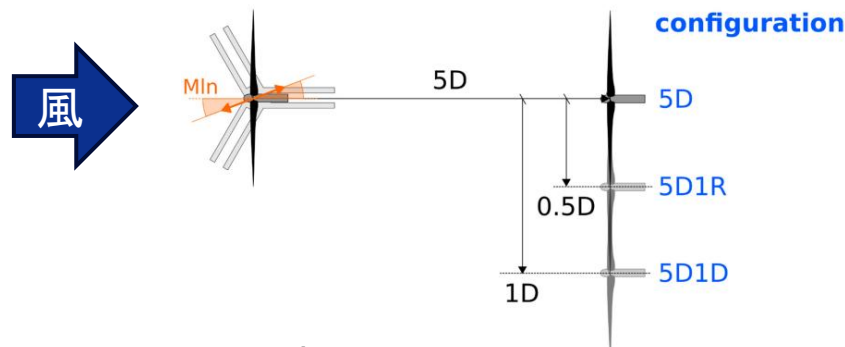
- Engineering Models (Actuator Disk, BEM)
- Vortex-based Models (Lifting Line, Free Vortex Wake)
- CFD (URANS, LES)

## ▶上流風車 運動条件

- Surge
- Surge + Sway
- Surge + Blade Pitch制御

## ▶比較項目

- 上流風車荷重  
浮体運動 (Surge/Sway/Pitch制御) がロータ推力・トルク・ブレード荷重に与える影響を評価。
- Wake特性  
Wake速度欠損、速度分布、乱流強度、Wake Recoveryを評価。
- 下流風車性能・荷重  
後流の変化が下流風車の出力および荷重に与える影響を評価。



2風車配置 (5D1Dは対象外)

Figure 13: Turbine placement during tests. Motion misalignment direction shown in orange. Positive misalignment corresponds to rotation of motion vector around z1 axis.

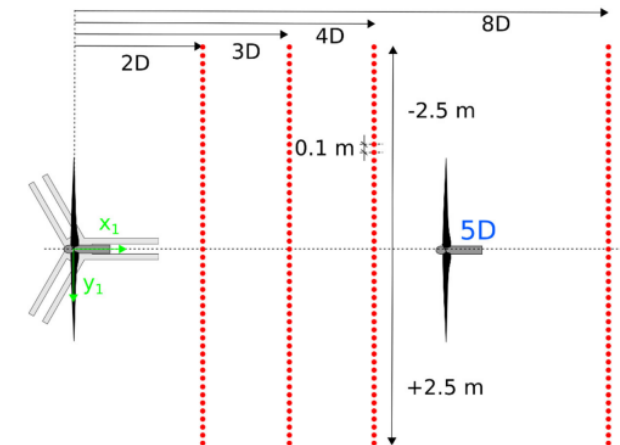


Figure 14: Sketch of position of monitor lines for output. Lines are parallel to y-axis and located at hub height.

モニターライン配置

## ▶ 目的

サージ運動によるWake Recovery促進現象を解明

## ▶ 実験

- University of Oldenburg, TUHH 実施
- 2枚翼ロータ\*
- 最大10D下流まで後流計測

\*2枚翼の高TSR運転により、3枚翼風車と類似した後流渦構造を再現しつつ、高周波サージ運動試験と高精度荷重計測を実現



## ▶ 比較項目

- ロータ空力応答  
スラスト、ロータ荷重、運動と空力の相互作用
- 後流構造 (Wake Characteristics)  
Wake速度欠損、速度分布、乱流強度、渦構造
- Wake Recovery予測精度  
サージ運動によるWake Recoveryの再現性および物理メカニズム評価



Figure 1.1. – Impression of the wind tunnel setup. Picture from Gabriele Centurelli.

風洞写真

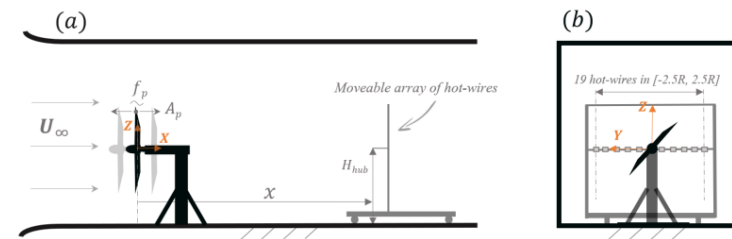


Figure 2.2. – Schematic of the set up used. (a) side view. (b) front view pointing downstream. Not to scale

実験レイアウト

## WP3.2スケジュール

| 2026                         |     |     |     |              |     | 2027         |     |     |     |               |     |
|------------------------------|-----|-----|-----|--------------|-----|--------------|-----|-----|-----|---------------|-----|
| Jul                          | Aug | Sep | Oct | Nov          | Dec | Jan          | Feb | Mar | Apr | May           | Jun |
| Setup and steady simulations |     |     |     |              |     |              |     |     |     |               |     |
|                              |     |     |     | Slow motions |     |              |     |     |     |               |     |
|                              |     |     |     |              |     | Fast motions |     |     |     |               |     |
|                              |     |     |     |              |     |              |     |     |     | Paper writing |     |

# 日本としての取組み



# 日本としてのTaskへの取り組み

- 各登録有識者のご協力により、各WPの比較解析に参加し、結果をTaskに提供。
- 対面会議を含む定例会議に出席、継続的に日本のプレゼンスを発信

## ▶Phase1への取り組み

- WP1.3 CFDにて、CFD解析結果を共有。成果発表論文において共著。  
【東京大学 平林先生、JMU担当】
- WP1.5 Vortex-induced Motionsを立ち上げ、研究活動をリード  
【東京大学 Rodolfo先生、平林先生ご担当】

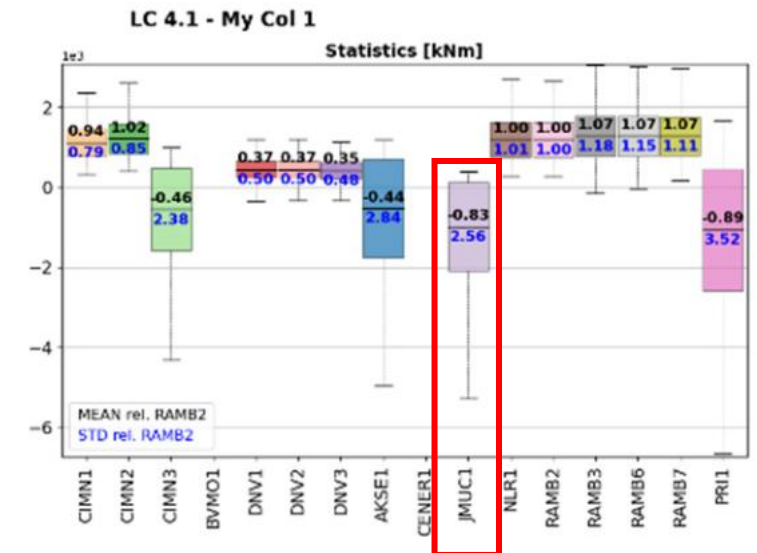
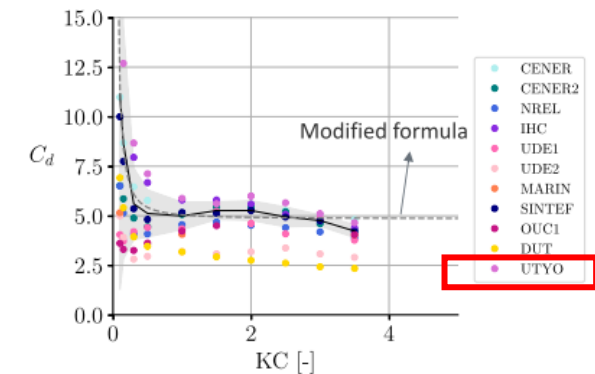
## ▶Phase2への取り組み

- WP2.1の連成解析比較に参画。解析結果を共有。【ClassNK ご担当】
- WP2.2の構造解析比較に参画。設定された全解析を実施、共有し、成果発表論文において共著。
  - 静水圧線形化手法が構造応答に影響を与える点については議論を主導 【JMU担当】

## ▶会議出席

- In-Person Meetingを含むPhase 1, 2の全ての会議に日本から出席。
  - 2024年6月13日 @シンガポール
  - 2025年1月17日 @ノルウェー
  - 2025年6月26日 @カナダ
  - 2025年10月27日 @フランス
- Phase3における今後の対面会議予定は未定

VoltturnUS-S pontoon heave T=20s



WP2.2 コラム荷重（非線形圧力影響が顕著なケース）

## ▶WP1.5 概要

- 目的:** CFDによるVIM予測精度向上のため、実験結果を用いたベンチマークを実施
- 背景:** 浮体式風車の多柱式浮体では、海流により Vortex-Induced Motions (VIM) が発生  
VIMは係留索・電力ケーブル疲労やナセル加速度増加の要因となる
- 対象浮体:** Jappaku Floating Offshore Wind Turbine (東京大学・サンパウロ大学 (USP) 共同開発)
- 参加組織:** 東京大学, MARIN, blueOASIS, NREL, Convergent Science, IFP Energies Nouvelles (予定)

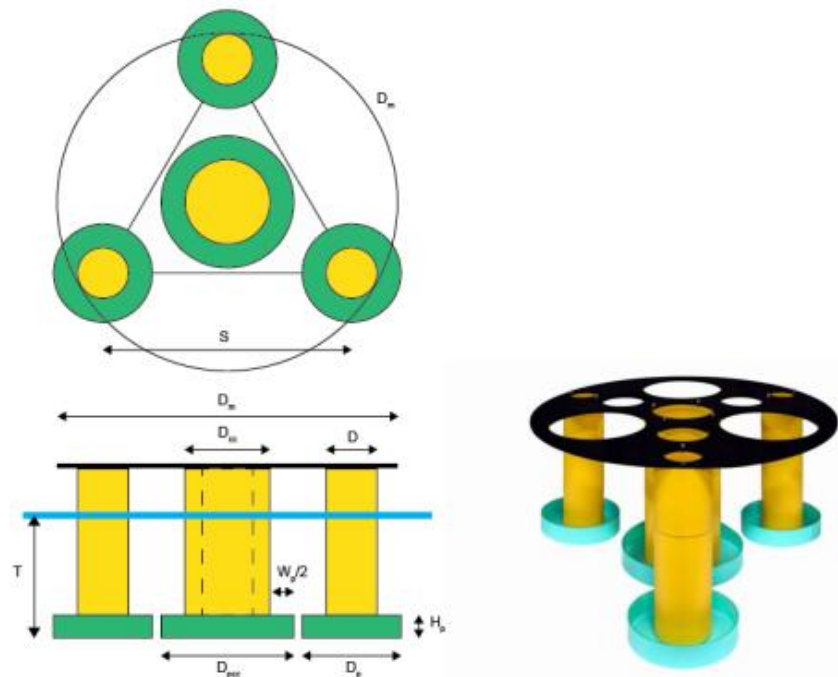
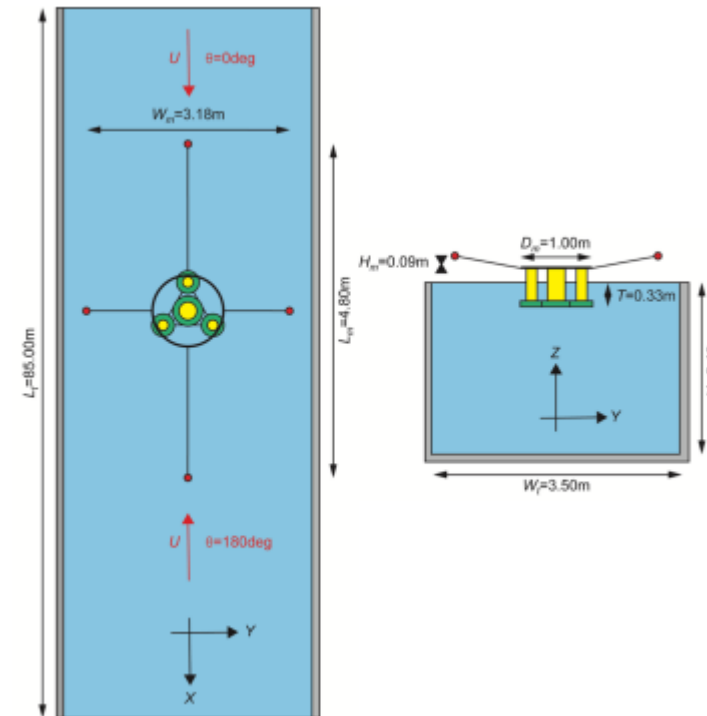


Figure 2: JPK reduced scale model parameters and picture of the tested model.

対象浮体外形図



水槽試験

ご清聴ありがとうございました