

Task56(洋上風車動的解析コードの検証) 進捗報告

第14回 IEA Windセミナー

2025.09.24

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
- Phase1 結果
- Phase2 進捗
- 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（2025年9月時点）、Phase2に取り組み中

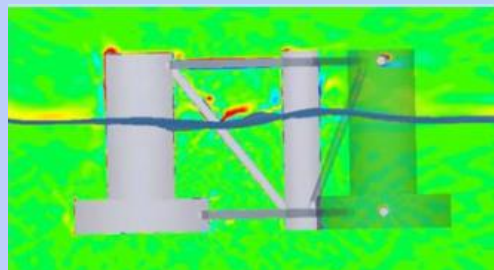
Task56 スケジュール

	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

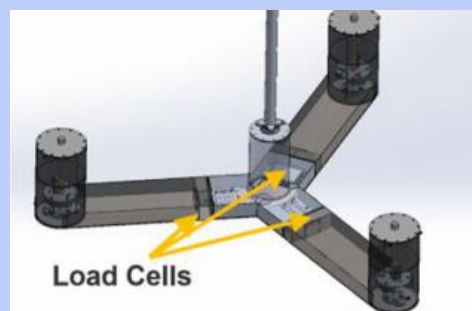
- CFDによるバリデーション
- モデル化方針の検討



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



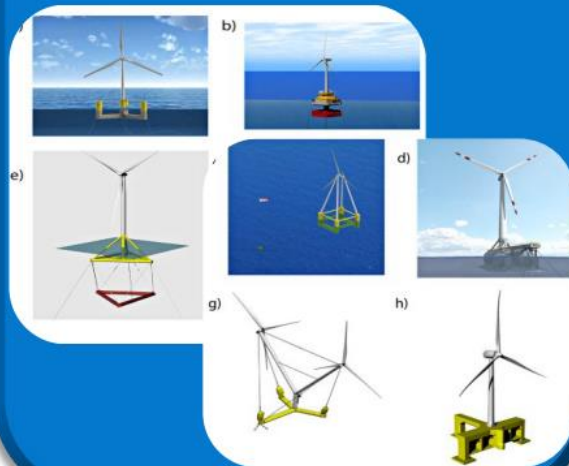
参加国

Belgium
CWEA
France
Germany
Ireland
Italy
Japan
Netherland
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



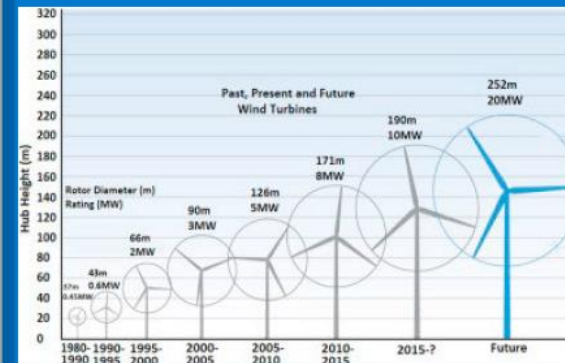
Innovation has brought new, unique floating wind designs → need to ensure we can accurately model them and continue innovation

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

Phase1 結果

▶Phase1の概要

- 目的:** 浮体式洋上風力タービンプラットフォーム（FOWT）の粘性流体荷重のモデリング精度向上を目指す。
- 対象:** 中程度の精度（mid-fidelity）モデリングツールを主に対象とし、一部の現象については高精度CFDも実施。
- 期間:** 2024年1月～2025年3月

▶Phase1スケジュール

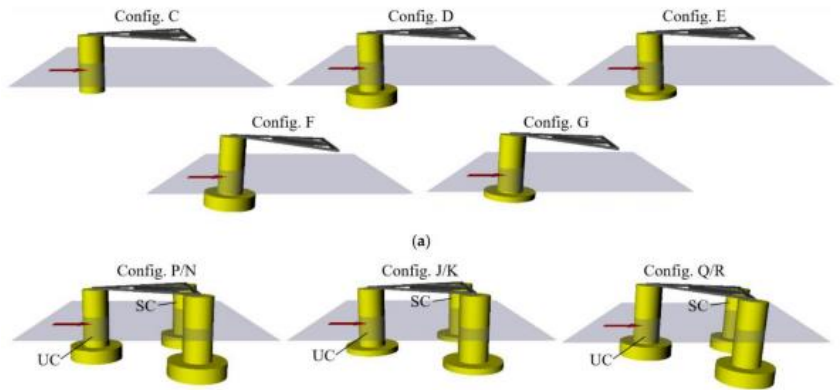
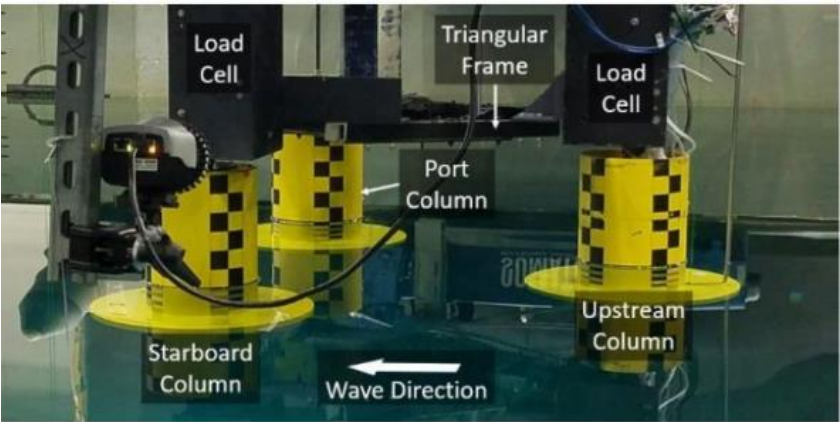
- 使用するツールや対象となる浮体を変え、複数の取組みを実施
- 主な取り組みは4つ（Phase 1a、1b、1c、CFD）
 - いずれも複数の組織により実施される数値解析結果と、事前に実施された水槽試験結果を**比較検証**し、解析手法の影響を調査

Table 1. Overall project timelines for OC7 Phase I.

		2024												2025		
WP	Tasks	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar
	Phase 1a: Component-level test campaign															
1.1	Phase 1b: WINDMOOR Campaign															
	Phase 1c: FOCAL Campaign IV															
1.2	Develop suggested modeling and tuning practices (Joint publication planned)															
	CFD Part I: Pontoon loads under forced oscillation															
1.3	CFD Part II: Vortex-induced motion (Tentative)															

►Phase1a 解析条件

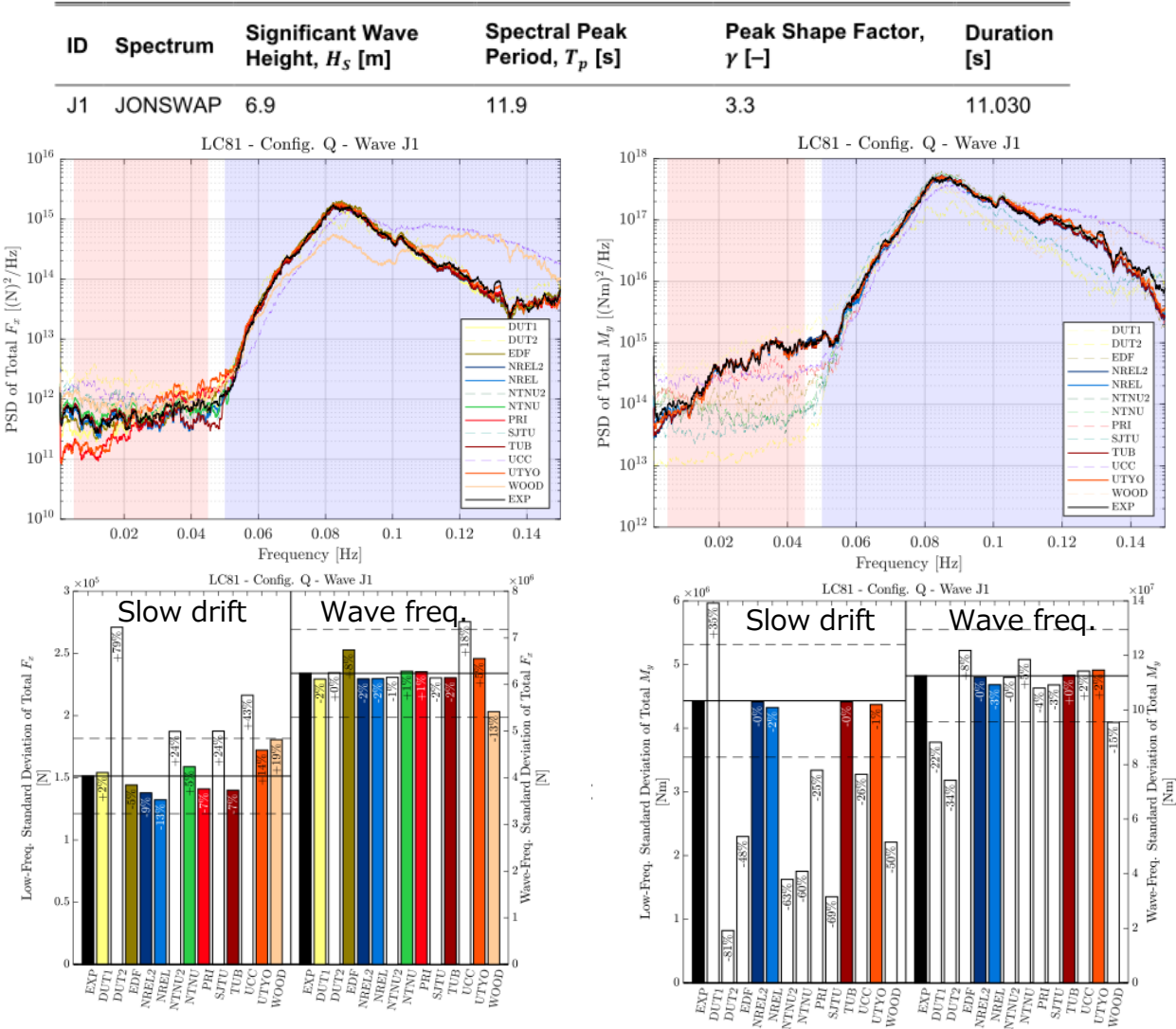
対象浮体: 固定構造（セミサブ型DeepCwind由来の円柱+円形ヒーププレート）
目的: 粘性荷重が波力の低周波励起（Low-frequency hydrodynamic excitation）に与える影響の調査
実験: メイン大学の水槽実験（コンポーネント単位）



List of load cases to be simulated.

Load Case	Model Configuration	Wave Condition
LC 1.1	C (1 × Upper Column at UC position)	J1 ($H_S = 7$ m, $T_p = 11.9$ s)
LC 1.2	C (1 × Upper Column at UC position)	J2 ($H_S = 5$ m, $T_p = 11.9$ s)
LC 2.1	D (1 × Upper Column and Heave Plate 1 at UC position)	J1 ($H_S = 7$ m, $T_p = 11.9$ s)
LC 2.2	D (1 × Upper Column and Heave Plate 1 at UC position)	J2 ($H_S = 5$ m, $T_p = 11.9$ s)
LC 3.1	E (1 × Upper Column and Heave Plate 2 at UC position)	J1 ($H_S = 7$ m, $T_p = 11.9$ s)
LC 3.2	E (1 × Upper Column and Heave Plate 2 at UC position)	J2 ($H_S = 5$ m, $T_p = 11.9$ s)
LC 4.1	F (1 × Upper Column and Heave Plate 1 at UC position)	J1 ($H_S = 7$ m, $T_p = 11.9$ s)
LC 4.2	F (1 × Upper Column and Heave Plate 1 at UC position)	J2 ($H_S = 5$ m, $T_p = 11.9$ s)
LC 5.1	G (1 × Upper Column and Heave Plate 2 at UC position)	J1 ($H_S = 7$ m, $T_p = 11.9$ s)
LC 5.2	G (1 × Upper Column and Heave Plate 2 at UC position)	J2 ($H_S = 5$ m, $T_p = 11.9$ s)
LC 6.1	K (3 x Upper Column and Heave Plate 2)	J1 ($H_S = 7$ m, $T_p = 11.9$ s)
LC 6.2	K (3 x Upper Column and Heave Plate 2)	J2 ($H_S = 5$ m, $T_p = 11.9$ s)
LC 7.1	P (3 x Upper Column and Heave Plate 1)	J1 ($H_S = 7$ m, $T_p = 11.9$ s)
LC 7.2	P (3 x Upper Column and Heave Plate 1)	J2 ($H_S = 5$ m, $T_p = 11.9$ s)
LC 8.1	Q (3 x Upper Column and Heave Plate 1)	J1 ($H_S = 7$ m, $T_p = 11.9$ s)
LC 8.2	Q (3 x Upper Column and Heave Plate 1)	J2 ($H_S = 5$ m, $T_p = 11.9$ s)

▶Phase1a 解析結果例



- 23組織が比較解析に参加（日本からは**東大**）
- 浮体にかかる波荷重スペクトル(PSD)の解析結果を長周期成分、波周期成分に分け、水槽実験結果との整合性を比較
- 解析手法と解析精度との関係性を整理

Models that agree with the experiment in total low- and wave-frequency pitch moment on all three columns

	LC 6.1	LC 6.2	LC 7.1	LC 7.2	LC 8.1	LC 8.2
EDF						
NREL						
NREL2						
NTNU2						
TUB						
UCC						
UTYO						

►Phase1b 解析条件

対象浮体: INO WINDMOOR (円柱+ 三角形に配置された矩形ポンツーンのセミサブ浮体)
目的: 海象条件 (波高・周期) による流体力係数の変化を調査
実験: SINTEF Ocean提供のWINDMOOR実験データ (波 + 流れ)

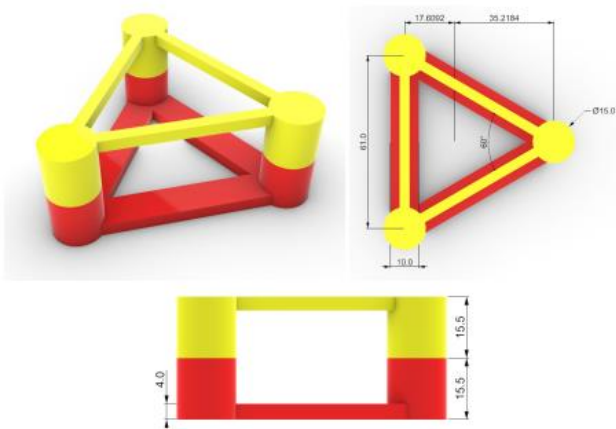


Figure 8. The INO WINDMOOR 12-MW floating offshore wind turbine platform. The section in red is below the still water level. All dimensions at full scale in meters and degrees.

Irregular-wave (JONSWAP) load cases for model tuning.						
Load Case	H _s [m]	T _p [s]	γ [-]	Wave Dir. [deg]	Duration [s]	
5.1	3.74	7.0	4.90	0	TBD	
5.2	6.19	9.0	4.90	0	TBD	
5.3	11.0	12	4.90	0	TBD	
5.4	3.74	12	1.00	0	TBD	
5.5	6.19	9.0	4.90	90	TBD	
Irregular-wave (JONSWAP) load cases for validation.						
Load Case	H _s [m]	T _p [s]	γ [-]	Wave Dir. [deg]	Duration [s]	Notes
6.1	3.74	9.0	1.49	0	TBD	
6.2	6.19	9.0	4.90	0	TBD	LC 5.2 with alternative wave realization LC 5.3 with alternative wave realization
6.3	11.0	12	4.90	0	TBD	
6.4	6.19	12	1.23	0	TBD	
6.5	14.97	14	4.90	0	TBD	
6.6	6.19	12	1.23	90	TBD	
6.7	6.19	12	1.23	0	TBD	With a constant body-fixed thrust of 1.57×10 ⁶ N at the tower top

比較対象量		
Degree of freedom	Quantity	Description
Surge	ϕ_{sd}	Mean drift in surge
	ϕ_{sr}	Standard deviation of surge resonance motion
	ϕ_{sw}	Standard deviation of wave-frequency surge motion
Heave	ϕ_{hr}	Standard deviation of heave resonance motion
	ϕ_{hw}	Standard deviation of wave-frequency heave motion
Pitch	ϕ_{pr}	Standard deviation of pitch resonance motion
	ϕ_{pw}	Standard deviation of wave-frequency pitch motion

►Phase1b 解析結果

Percentages of successful predication, defined as within +/-15% of experiment.								
		Surge			Heave		Pitch	
		ϕ_{sd}	ϕ_{sr}	ϕ_{sw}	ϕ_{hr}	ϕ_{hw}	ϕ_{pr}	ϕ_{pw}
Model calibration	LC 5.X	58.6%	87.1%	95.7%	77.1%	98.6%	68.6%	85.7%
Model validation	LC 6.X	64.5%	77.4%	94.6%	73.1%	94.6%	61.3%	67.7%
All cases	-	62.0%	81.6%	95.1%	74.8%	96.3%	64.4%	75.5%

不規則波解析と水槽試験の比較結果

- 高い整合性： Surge・Heave波周期動揺
- 低い整合性： Surge定常波漂流、ピッチピーク動揺

►Phase1c 解析条件

対象浮体: VoltturnUS-S (円柱+Y字型ポンツーンのセミサブ浮体)

目的: Ia・Ibで得られた流体力係数モデルのブラインド検証

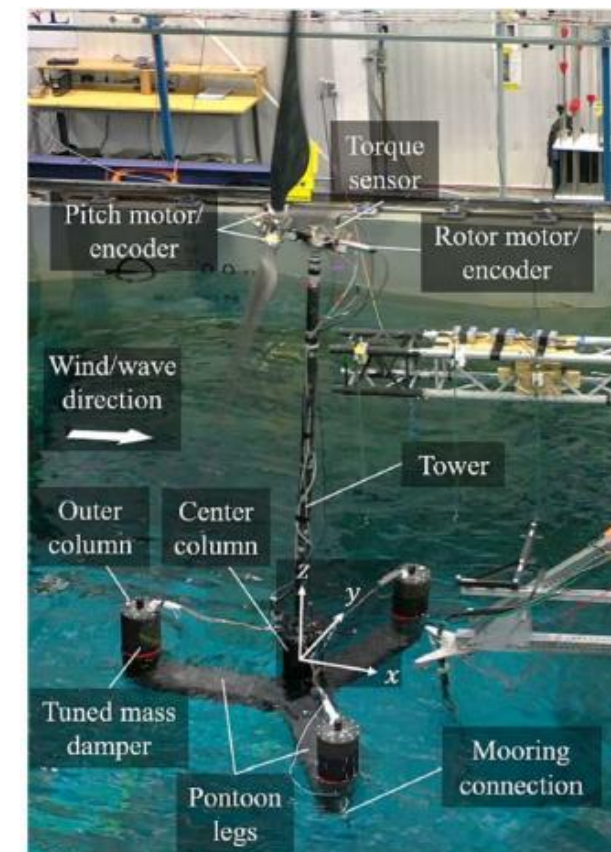
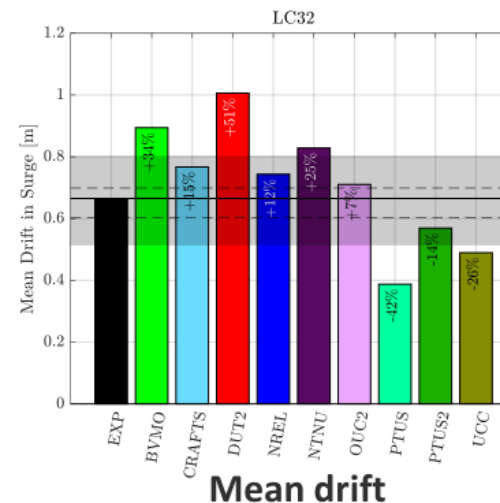
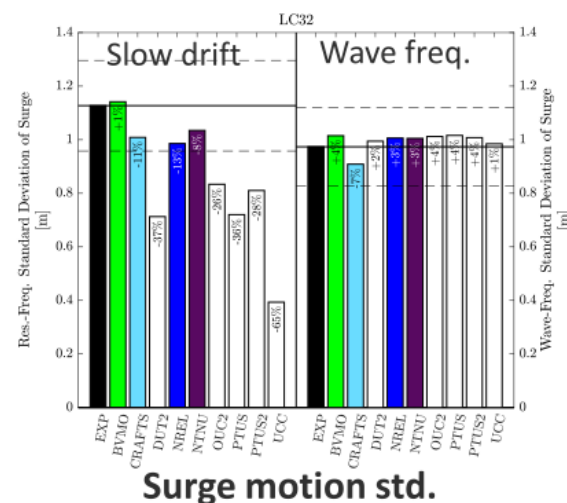
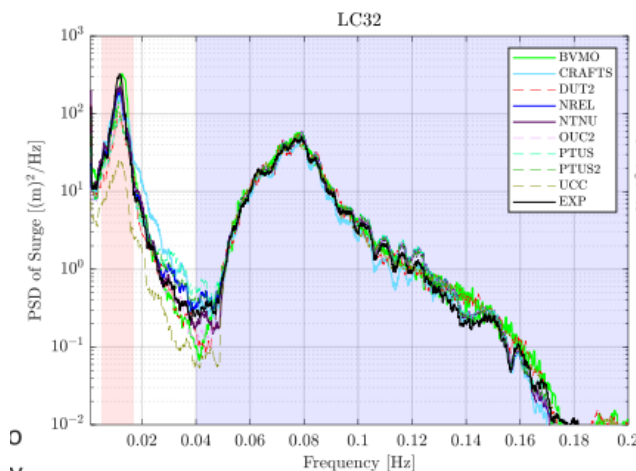
実験: FOCALプロジェクトの実験データ

Table 30. Irregular-wave (JONSWAP) load cases for blind validation.

Load Case	H_s [m]	T_p [s]	γ [-]	Duration [s]
3.1	3.1	8.96	1.80	9,294.6
3.2	8.1	12.8	2.75	9,754.4

►Phase1c 解析結果

- 同様の C_{dw} を用いた4組織が比較的よくSurge長周期動揺を再現
- 類似のデザインに対しては、共通の流体力係数モデルを適用できる可能性がある

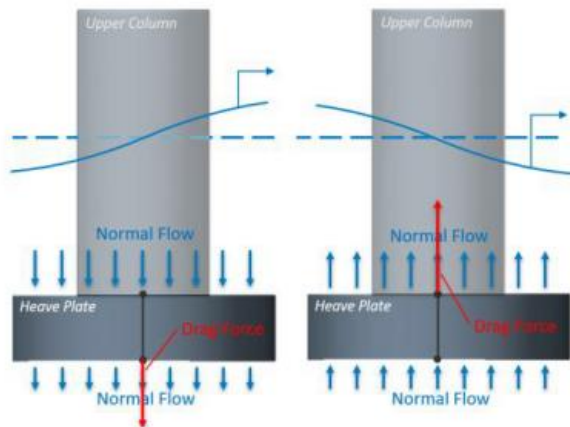


►Phase1a～1cの比較検証を受けて

- 比較検証の結果、低周波Heave Force、低周波Pitch Momの推定精度に課題
- ポテンシャルモデルを用いる場合、**Suction-side-only drag model**が推定精度の向上に有効
 - ストリップ法（モリソン法）を用いる場合は不要である。
- NRELが用いたVelocity Filteringにより、推定精度が向上する可能性がある。

Suction-side-only drag model

$$F_{D_{Ax}} = \frac{1}{2} C_{D_{Ax}} \rho A |v_{r,n}| \max(v_{r,n}, 0)$$



Split drag force into two parts with

$$F_D = \alpha F_{D0} + (1 - \alpha) F_{Df}$$

Based on the unfiltered velocity, v_{rn}

$$F_{D0} = \frac{1}{2} C_D \rho A |v_{rn}| \max(v_{rn}, 0)$$

Based on the high-pass-filtered velocity, $\tilde{v}_{rn}$

$$F_{Df} = \frac{1}{2} C_D \rho A |\tilde{v}_{rn}| \max(\tilde{v}_{rn}, 0)$$

$$0 \leq \alpha \leq 1$$

$\alpha = 0$ drag based on filtered velocity only

$\alpha = 1$ drag based on unfiltered velocity only

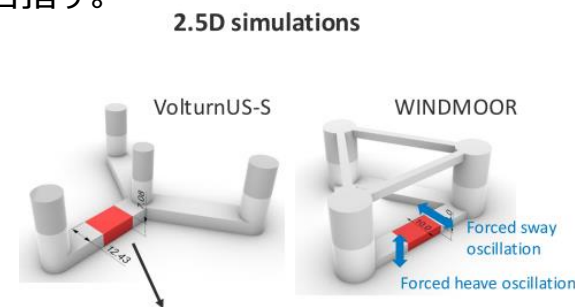


▶ WP1.3 CFD 解析条件

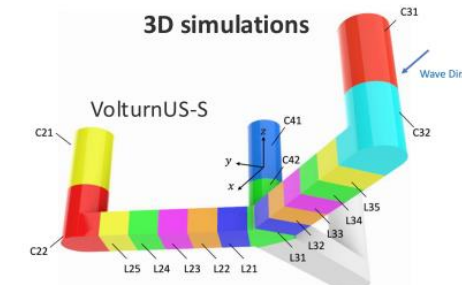
- CFDを用いた粘性流体荷重の高精度モデリングを通じて、中精度モデルの精度向上を目指す。
- 特に矩形ポンツーン、ヒーププレート、円柱構造に作用する粘性荷重の解析が焦点。
- Keulegan-Carpenter (KC) 数に基づく流体力係数の変化を調査。

▶ WP1.3 解析結果

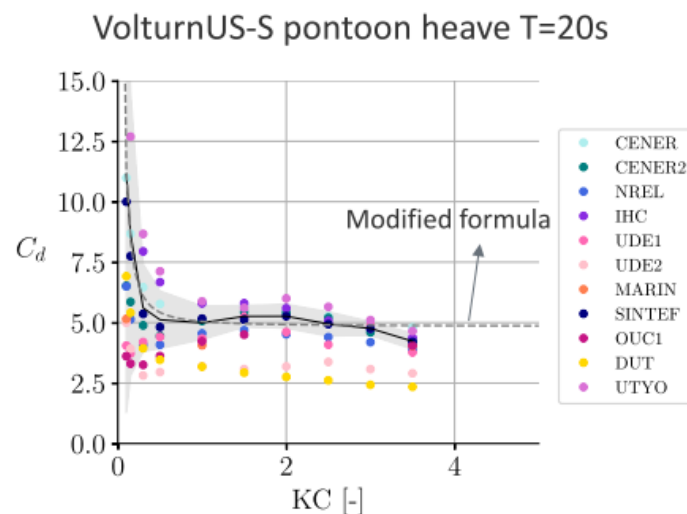
- 2.5Dシミュレーションにおいて、KC数と C_d との傾向が確認された。
- 3Dシミュレーションの結果、ポンツーンの C_d が浮体の中央に近づくにつれて大きくなる傾向が確認された。



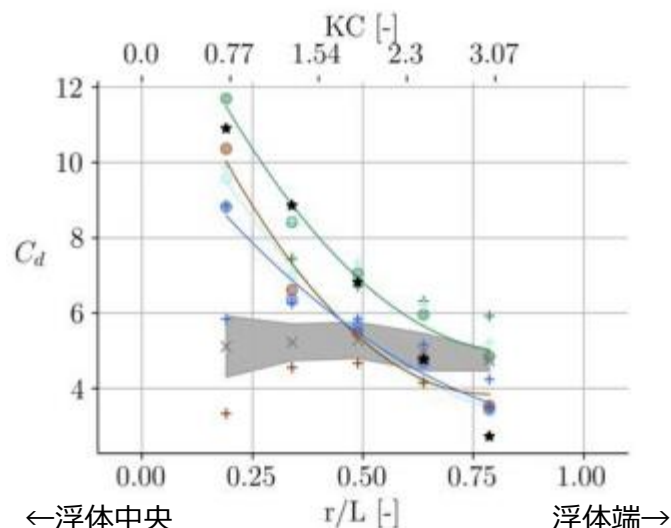
Investigate isolated pontoon loads with 2.5D forced oscillation simulations without free surface.



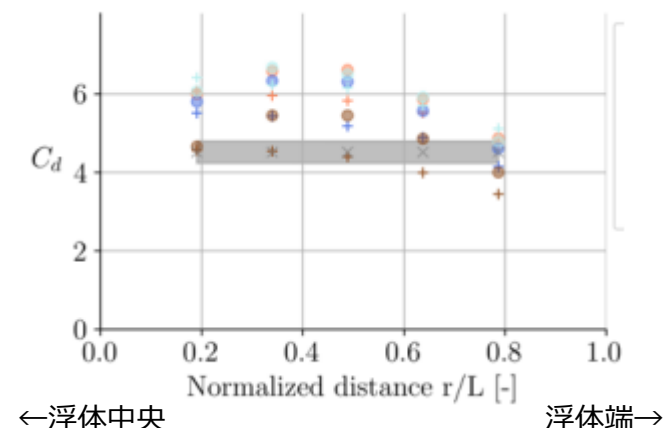
Investigate forced oscillations, free decay, fixed structure and floating structure in regular waves with outputting detailed loads on sub-components.



2.5D : Heaveによる C_d



3D : Pitchによる C_d

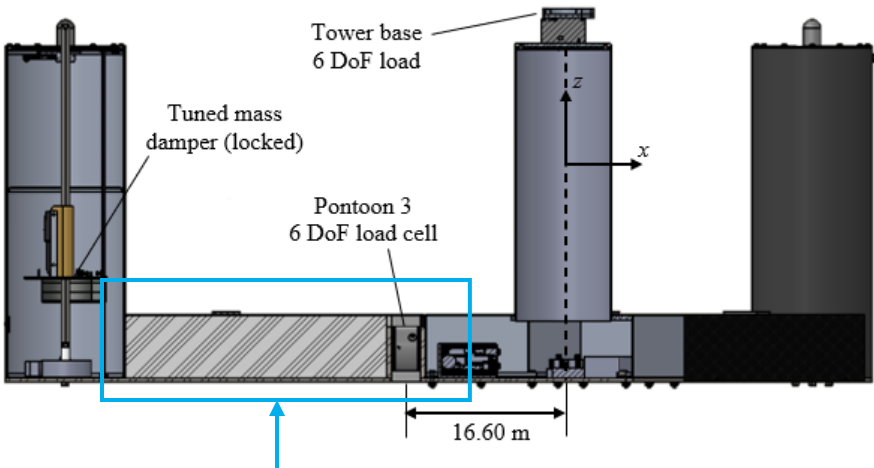
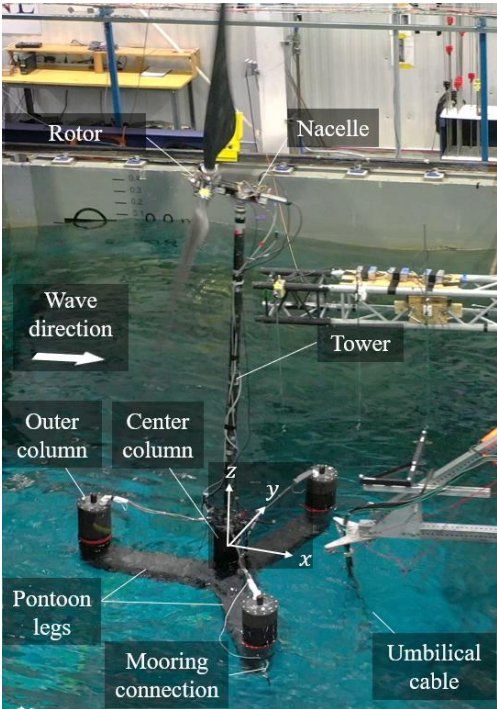


3D : Heaveによる C_d

Phase2 進捗

▶WP2.1 解析条件

- 目的: 浮体式洋上風力構造物内の部材レベルの荷重を検証・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



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 ^a) 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 ^a) and outer column	None	None	Natural frequency and damping
	2.2 Platform pontoon (clamped at base ^a) 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 Irregular waves: JONSWAP H _s = 3.1 m, T _p = 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 _s = 8.1 m, T _p = 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)

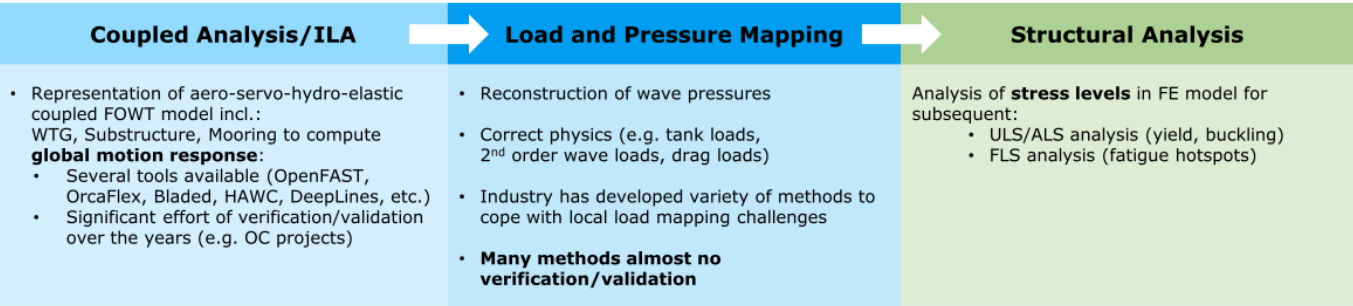
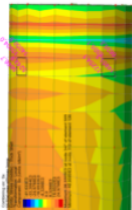
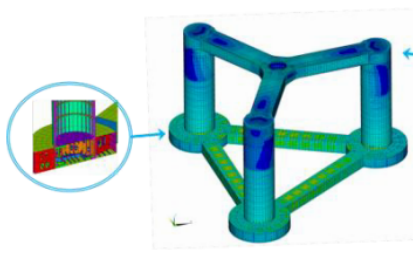
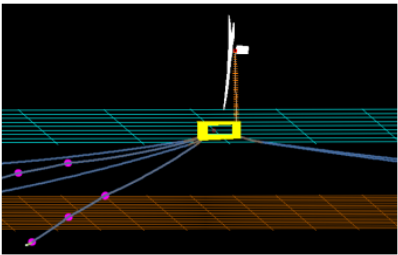
H: regular wave height
H_s: significant wave height
T: regular wave period

T_p: peak-spectral wave period
γ: peak-enhancement factor
t: time

^aSee Figure 6

▶WP2.2 解析条件

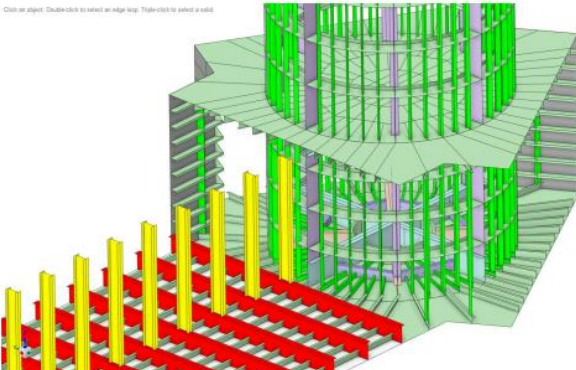
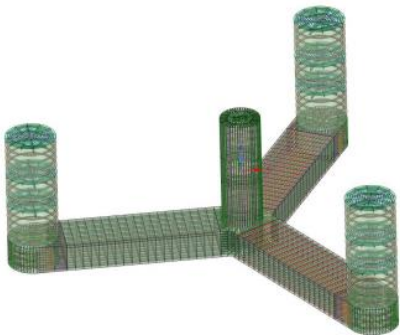
目的: 浮体式洋上風力（FOWT）の連成解析を用いた荷重マッピングによる荷重・応力を検証・評価
対象浮体: IEA 15MW風車 + VoltturnUS-セミサブ型プラットフォーム



Click on object. Double-click to select an edge loop. Triple-click to select a solid.

Ansys
2023 R1

Click on object. Double-click to select an edge loop. Triple-click to select a solid.



荷重ケース一覧

Focus Area	DLC ID	Description
Mass/Inertia 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	Natrual Frequency Analysis - constrained - Floater only
	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

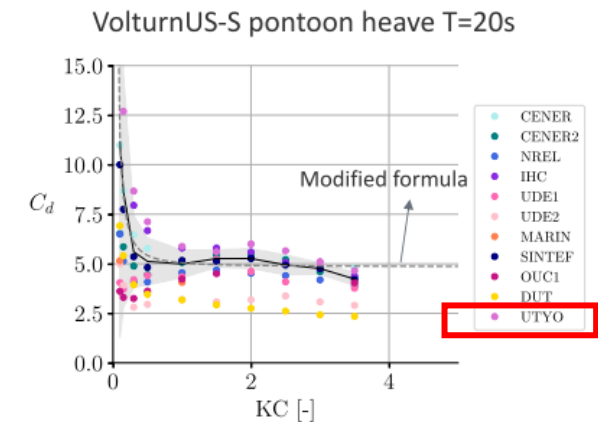
日本としてのTaskへの取り組み

- 各登録有識者様のご協力により、取り組まれている比較解析に参加、結果をTaskに提供。
- 面着会議を含む定例会議に出席、継続的に存在感をアピール

▶Phase1への取り組み

- 東京大学 (Rodolfo先生)において、流体力解析を実施いただきTaskに提出。
 - 全23組織が参加した中で、最後まで解析を終え、**4番目に高精度な解析**。
 - 高い技術力で十分に存在感を示す。
- 東京大学 (平林先生)において、CFD解析を実施いただきTaskに提出。
 - 計算負荷の極めて高いCFD解析を実施、Task共著論文にもご協力。

	Pass Rate
DUT1	0.67
DUT2	0.28
EDF	0.25
NREL	0.93
NREL2	0.76
NTNU	0.83
NTNU2	0.74
OUC2	0.75
PRI	0.72
SJTU	0.52
TUB	0.60
UCC	0.41
UTYO	0.74
WOOD	0.17
Pass Rate	

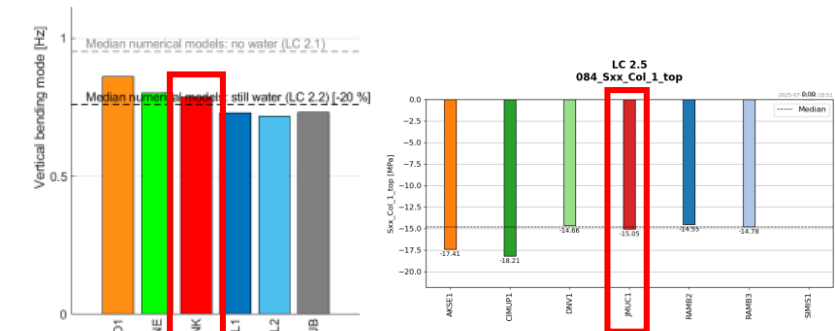


▶Phase2への取り組み

- ClassNK 樋口様において、連成解析を実施いただきTaskにご対応中。
 - 参加検討中：大阪大学 飯島先生
- JMUが構造解析を実施しTaskに対応中。
 - 参加検討中：海上技術安全研究所 中條様

▶会議出席

- In-Person Meetingを含む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
 - 【予定】2025年10月27日 @フランス



ご清聴ありがとうございました