

Task30 洋上風車解析コードの検証(OC6)

Offshore Code Comparison Collaboration Continuation with Correlation and Uncertainty (OC6)

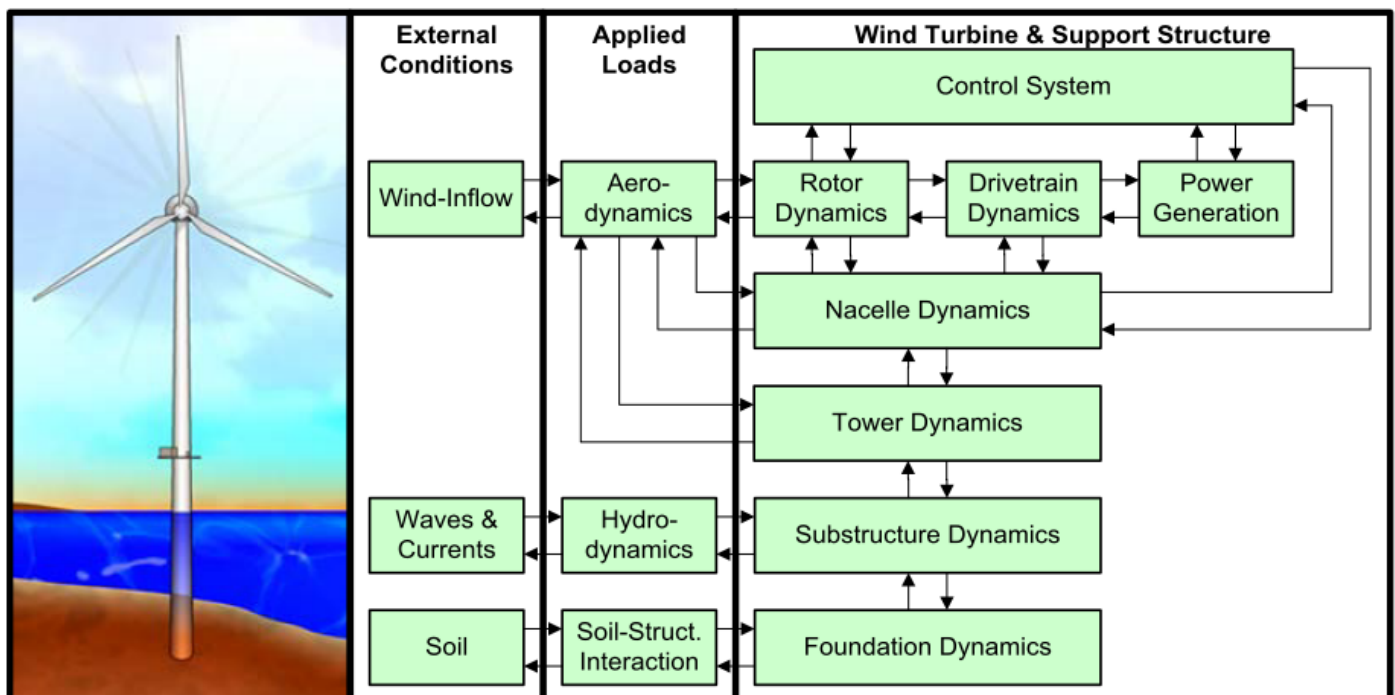
足利大学 山口敦

yamaguchi.atsushi@g.ashikaga.ac.jp



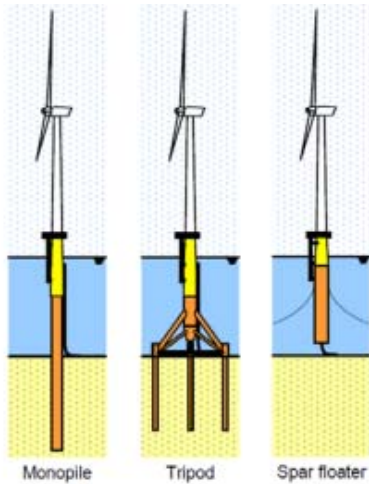
OC3(Task23)とOC4/OC5/OC6(Task30)の背景

- 洋上風力発電設備は、空力-制御-弾性-流体力の連成解析コードによって設計される。
- 連成解析コードの検証が必要である。

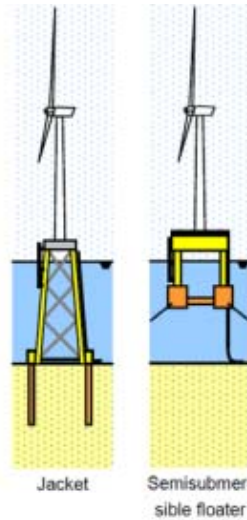


OC3 / OC4

OC3(Offshore Code Comparison Collaboration)ではモノパイル、三脚、スパー浮体、OC4(Offshore Code Comparison Collaboration Continuation)ではジャケット、セミサブ浮体を対象として、支持構造物の応答に着目し、解析コードの相互比較・検証(verification)を行ってきた。



OC3 (Phase I, II, III)
2005-2009



OC4 (Phase I, II)
2010-2014

モデル

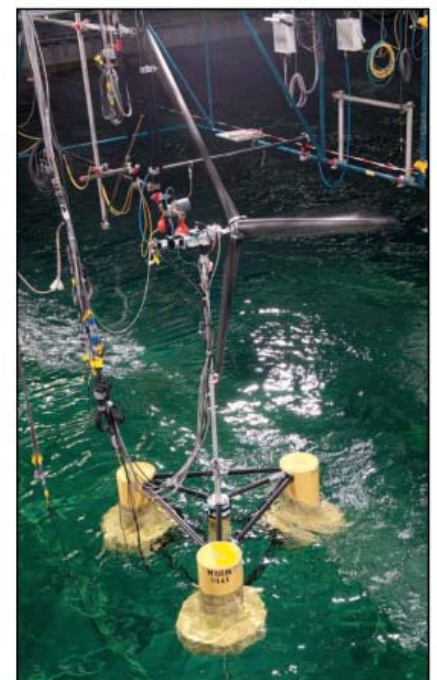
- ・ 風車はNREL 5MW
- ・ 支持構造物を定義
- ・ 風と波のデータセットを定義

段階的实施

- ・ 各支持構造物に合わせた荷重ケースを選定

OC5

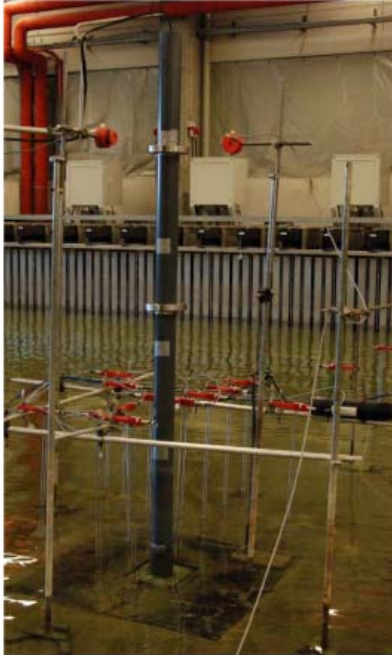
- ・ OC5ではverificationよりもvalidationに重点を置く
 - ・ verification: モデルの相互検証、物理モデルが正しく数値モデルに実装されているか?
 - ・ validation: データによる検証、数値モデルが物理現象と合致するか?
- ・ 参加者は3つのシステムをモデル化し、計算結果を実測値と比較する。
 - ・ 着床式と浮体式両方対象
 - ・ データは水槽試験と実海域のデータ両方を使う
- ・ 正式名称はOC5(Offshore Code Comparison Collaboration Continuation with Correlation)



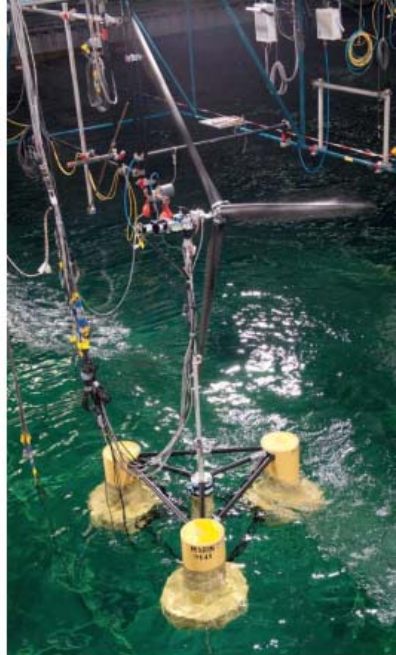
DeepCwind Tank Tests
@ MARIN

OC5の各フェーズ

2014/1～2015/5 風車なしのモノパイル基礎(流体カモデルの適用可能性を検証)
2015/1～2016/5 1:50スケールセミサブ浮体(空気力・流体力・制御の連成問題検証)
2016/1～2018/5 実スケールジャケット基礎風車(実スケール風車の検証)



Phase I:
Monopile - Tank Testing



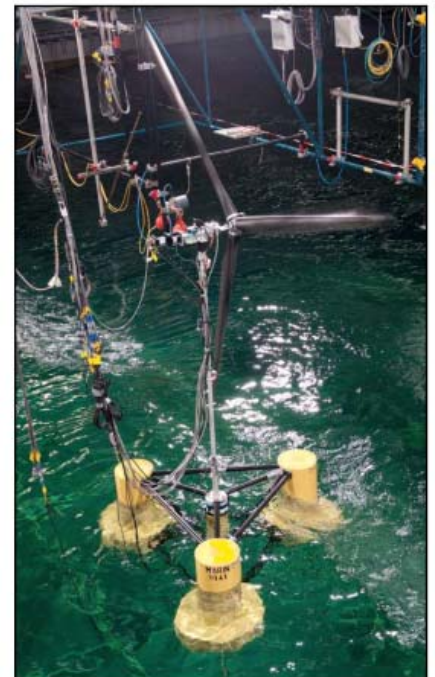
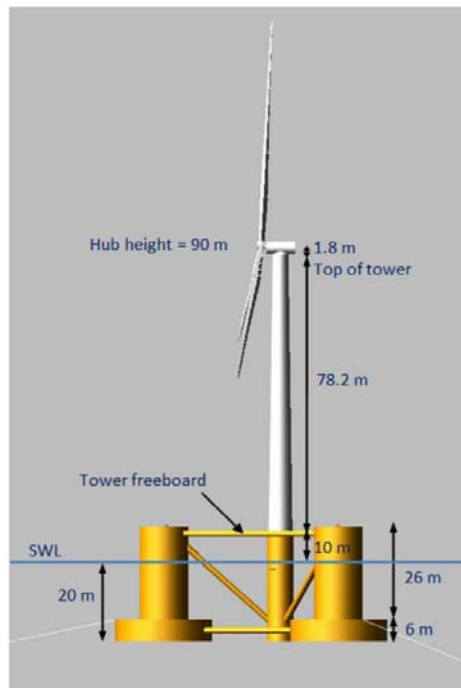
Phase II:
Semi - Tank Testing



Phase III:
Jacket/Tripod - Open Ocean

OC5 Phase II

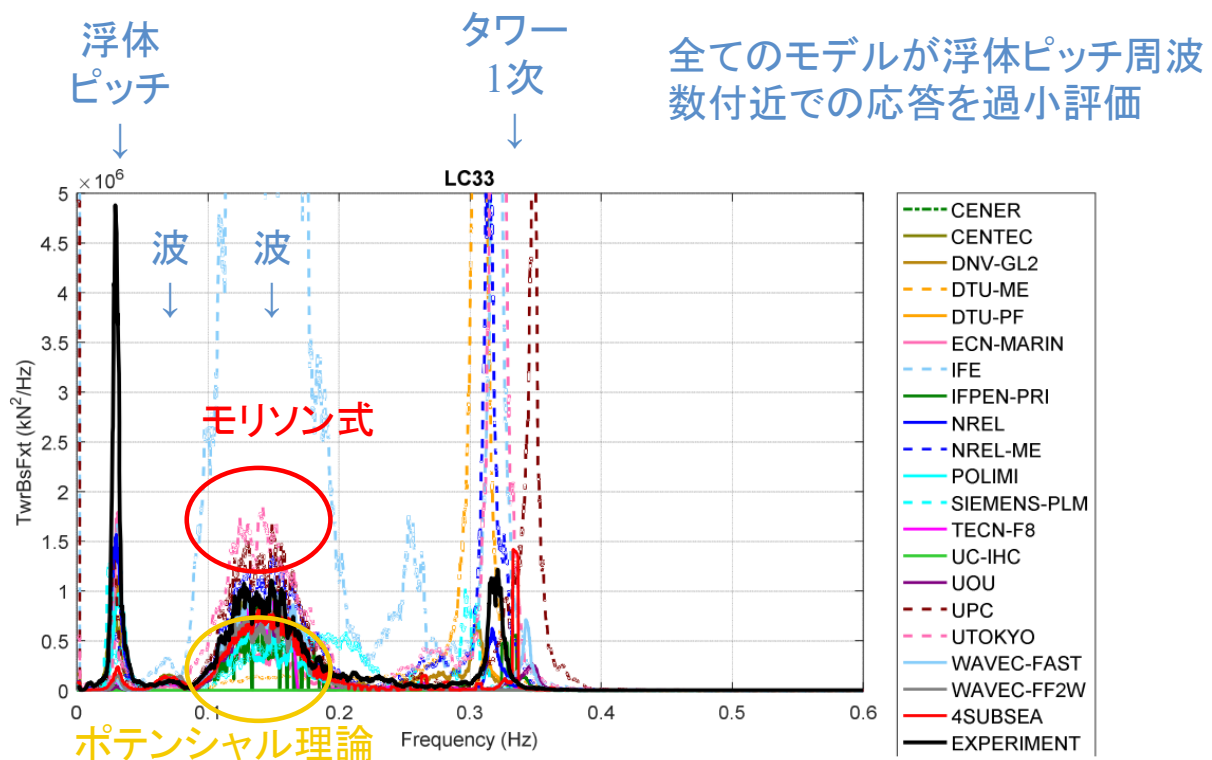
Marin (US) で行われた
DeepCwind の水槽実験
を対象としたValidation



DeepCwind Tank Tests
@ MARIN

LC3.3におけるタワー基部せん断力のPSD

線形不規則波・ $H_s=7.1\text{m}$, $T_p=12.1\text{s}$, JONSWAPスペクトル



IEA Wind セミナー 2023/2/28

AUG
ASHIKAGA UNIVERSITY GROUP

OC5のまとめ

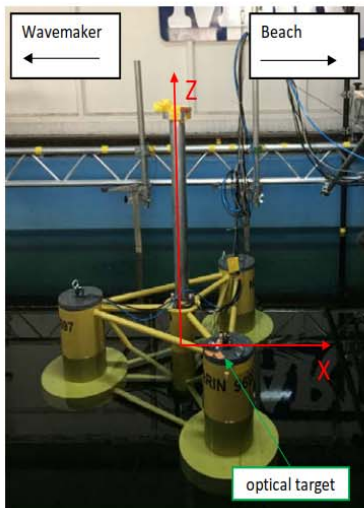
- 平均的に、どのコードもタワーに作用する荷重を過小評価する。
 - 過小評価の大きな原因は、低周波領域(浮体のピッチおよびサージの固有周期)にある。
 - この領域では、波強制力が直接作用しないため、何らかの非線形流体力が作用している。
 - 非線形流体力には、2次のポテンシャル流れ理論、高次の波運動、ストレッチング、浮体位置での流体粒子運動を考慮すること、などが含まれる。
- 係留索張力の評価には、動的モデルを使用することが重要であるが、波および流れが係留索に作用する力は重要ではない。

IEA Wind セミナー 2023/2/28

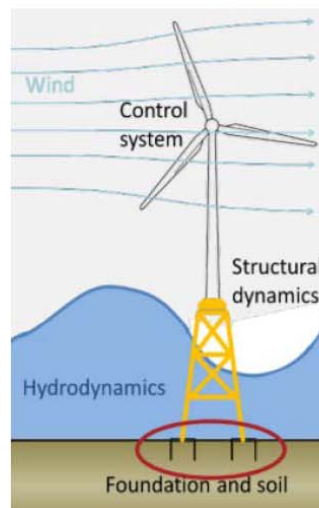
AUG
ASHIKAGA UNIVERSITY GROUP

- 検証(Validation)に焦点
 - 流体力・空気力およびその組み合わせに着目
- 3つのデータを使った検証
 - 工学モデル、高精度モデル(CFD)、実験データ
 - OC5にてシミュレーション結果と実験データが合わなかった原因を高精度モデル(CFD)を用いて解明
- 厳密な検証方法を開発し、使用する
 - 検証の目的を明確にする
 - 定量的な検証
 - 不確かさ(uncertainty)を明らかにする

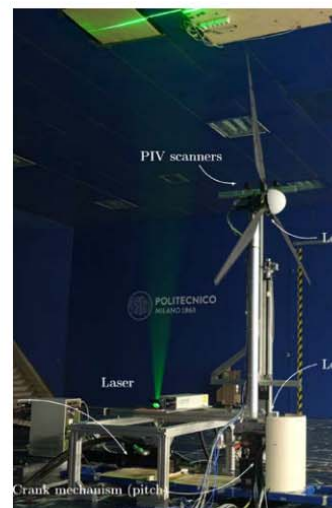
OC6の各フェーズ



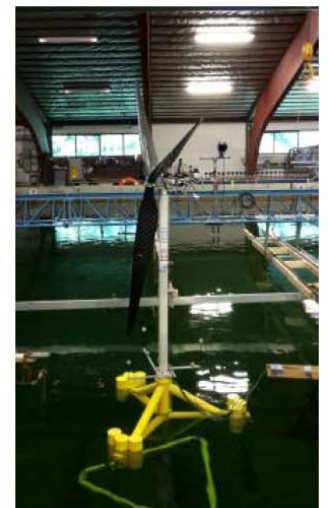
Phase I:
Nonlinear Hydrodynamics
Jan 2019 – Dec 2019
(OWN TESTING)



Phase II:
Soil/Structure Interaction
Jan 2020 – June 2020
(REDWIN)

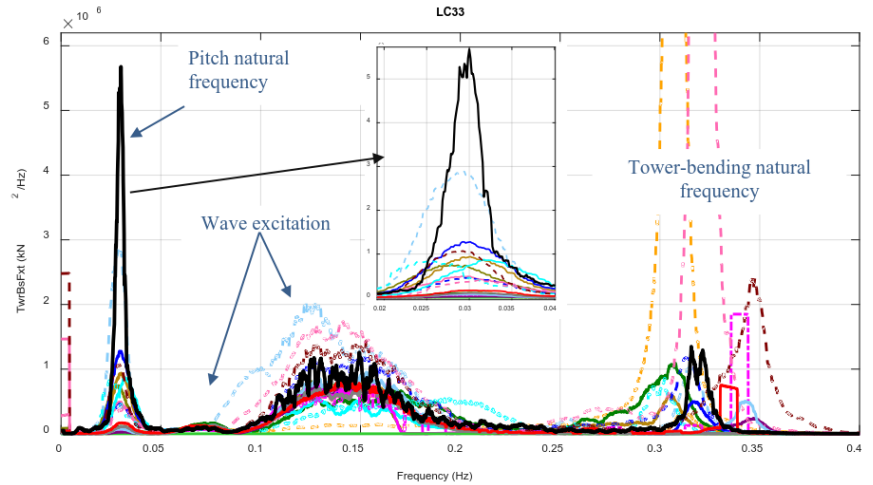
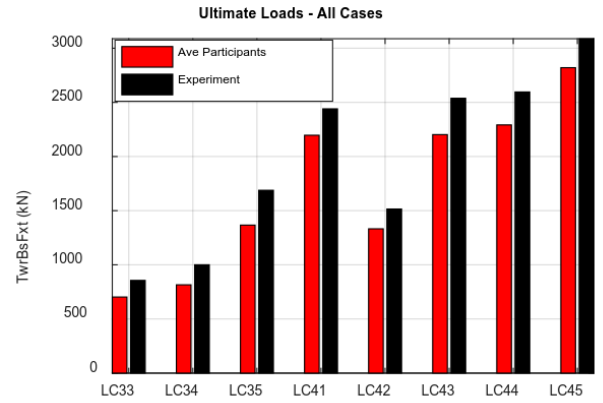


Phase III:
Aerodynamics under Motion
July 2020 – June 2021
(LIFES50+)

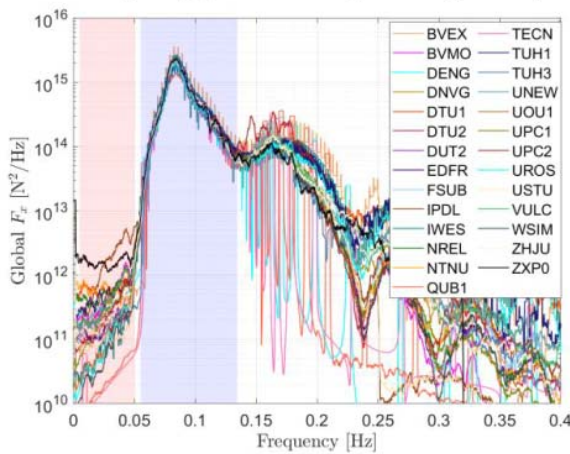


Phase IV:
Hydrodynamic Challenges
July 2021 – June 2022
(STIESDAL)

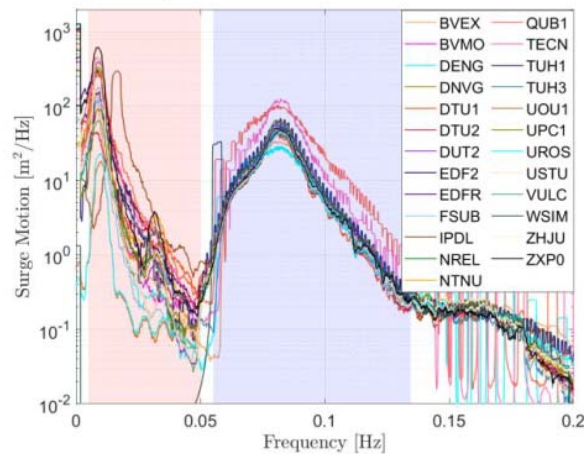
- 浮体のピッチ/サージ固有周期での応答の過小評価の原因を明らかにする
 - OC5 Phase 2 の結果によると平均でシミュレーション結果は20%の過小評価。これはピッチ/サージ固有周期での応答の過小評価による。
- 浮体を固定した実験・浮体を係留した実験の結果を利用



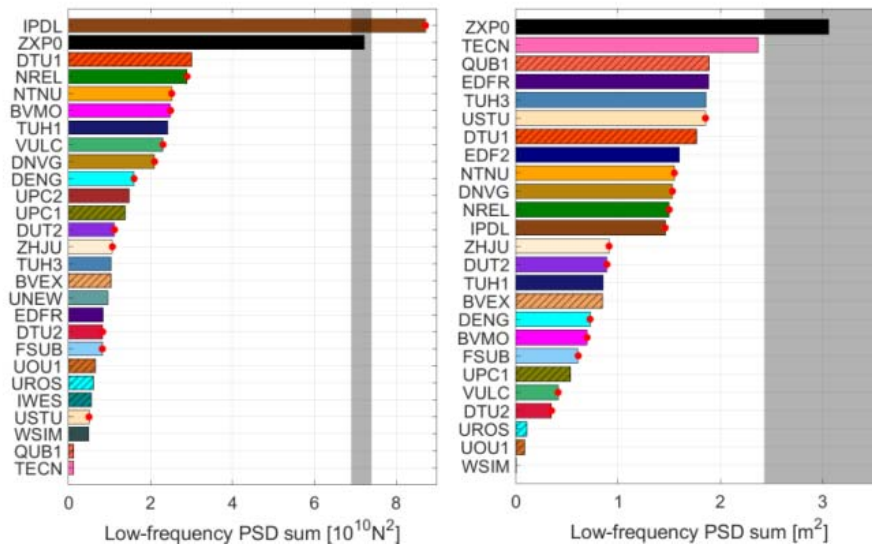
Phase I の結果



LC3.3 浮体を固定した実験
不規則波中での、浮体に作用する流体力(Fx)のパワースペクトル

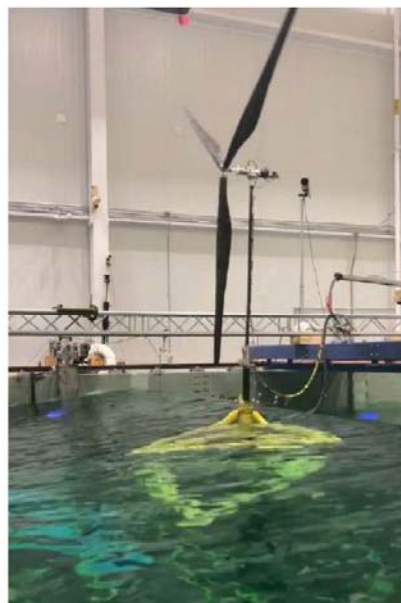
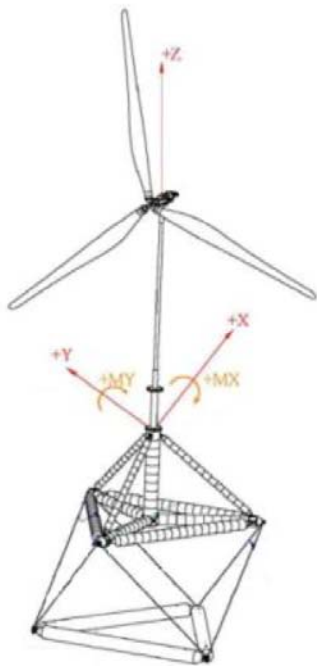


LC5.3 浮体の応答
不規則波中での、浮体のサージ動揺



- ポテンシャル理論の場合は、2次の波強制力を含めた方がよい結果
- モリソン式の場合は、ストレッチングを導入し、非線形の波モデルを用いる方がよい

OC6 Phase IV (Tetraspar floater)



Load Case	Description	Mooring System	Run Time	Notes
1.0	Equilibrium	Lumped Mass 2.93e5 kg at Hull COG (0.0 m, 0.0 m, -13.5 m)	Until steady state	Output only one final time step
1.1	Equilibrium	Base		
1.2	Surge Offset	Base		Output one final time step per position

Equilibrium and static offsets
(assumed blade pitch angle: 0 deg)

Load Case	Description	Mooring System	Initial Position	Blade Pitch Set Point	Run Time [s]
2.1	Surge Decay	Base	8.77 m	90°	800
2.2	Heave Decay		8.59 m	0°	300
2.3	Pitch Decay		4.62°	90°	500

Free decays

Load Case	Description	Condition	Wind Speed [m/s]	RPM	Blade Pitch Starting Point	Target My [N-m]	Target Hull Surge [m]	Target Hull Pitch [deg]
3.1	Rated	Moored Platform	9.89	12.2	-6.2	7.66e7	20.76	4.84
3.2	Post-Rated		24.05	13.3	18.7	2.88e7	13.35	0.89
3.3	50-yr Storm		44.62	Idle	89	2.29e7	10.27	0.66
3.4	Rated	Fixed Platform	9.89	12.2	Use Angle	N/A		
3.5	Post-Rated		24.05	13.3	From LC			
3.6	50-yr Storm		44.62	Idle	3.1 – 3.3			

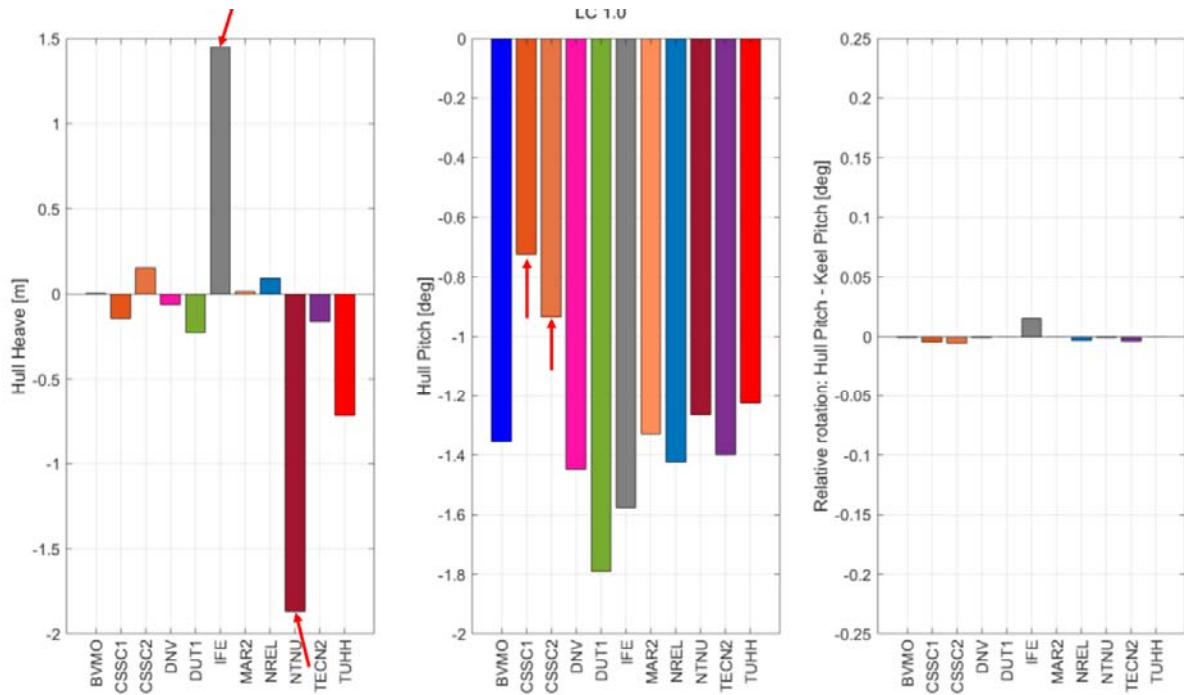
Wind-only

Load Case	Description	Wave Spectrum	Wave Height [m]	Period [s]	γ Tor.	Γ JON.	Mooring	Duration [s]
4.1	Post-Rated	Regular	8.31	12.41	-	-	Base	3934
4.2	Rated	Torsethaugen	1.46	6.73	2.7	2.3		10977
4.3	Post-Rated	Torsethaugen	8.00	12.48 (12.20)	2.7	2.2		10977
4.4	50-yr Storm	Torsethaugen	12.81	15.79	3.9	3.3	Yaw Bridle	10977

Wave-only
(assumed blade pitch angle: 0 deg)

Load Case	Description	Wave Spectrum	Wave Height [m]	Wave Period [s]	Wind Speed [m/s]	Turbulence Intensity	Mooring	Duration [s]
5.1	Post-Rated	Regular	8.31	12.41	24.05	2.51%	Base	3934
5.2	Rated	Torsethaugen	1.46	6.73	9.89	2.40%		10977
5.3	Post-Rated	Torsethaugen	8.00	12.48 (12.20)	24.05	2.51%		10977
5.4	50-yr Storm	Torsethaugen	12.81	15.79	45.22	8.89%	Yaw Bridle	10977

Wind and waves



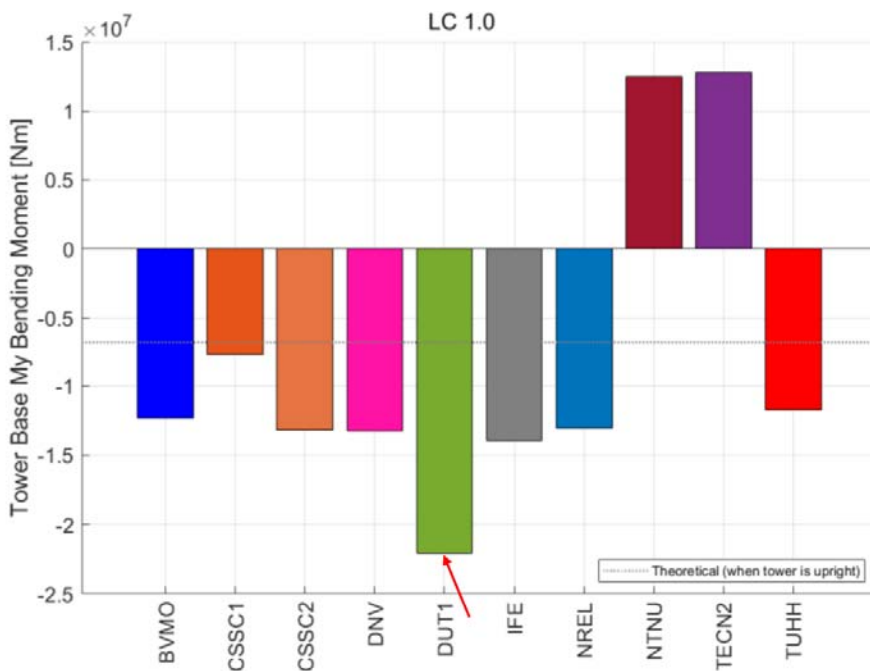
NTNU: proper buoyancy? IFE: Proper mass?

CSSC1, CSSC2: proper RNA? Proper hydrostatic pitch restoring?

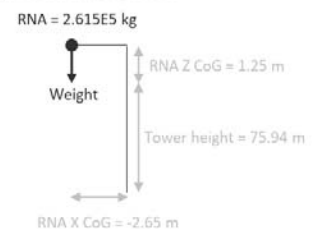
Check regarding the floater behaving as a rigid body. Relative rotation between hull and keel should be almost null.

Note about the keel lines:
When the platform is held fix at the top, the keel drops 0.065 m with regarding to the tetrahedron (upper part of the floater).

静的つり合い タワー基部モーメント



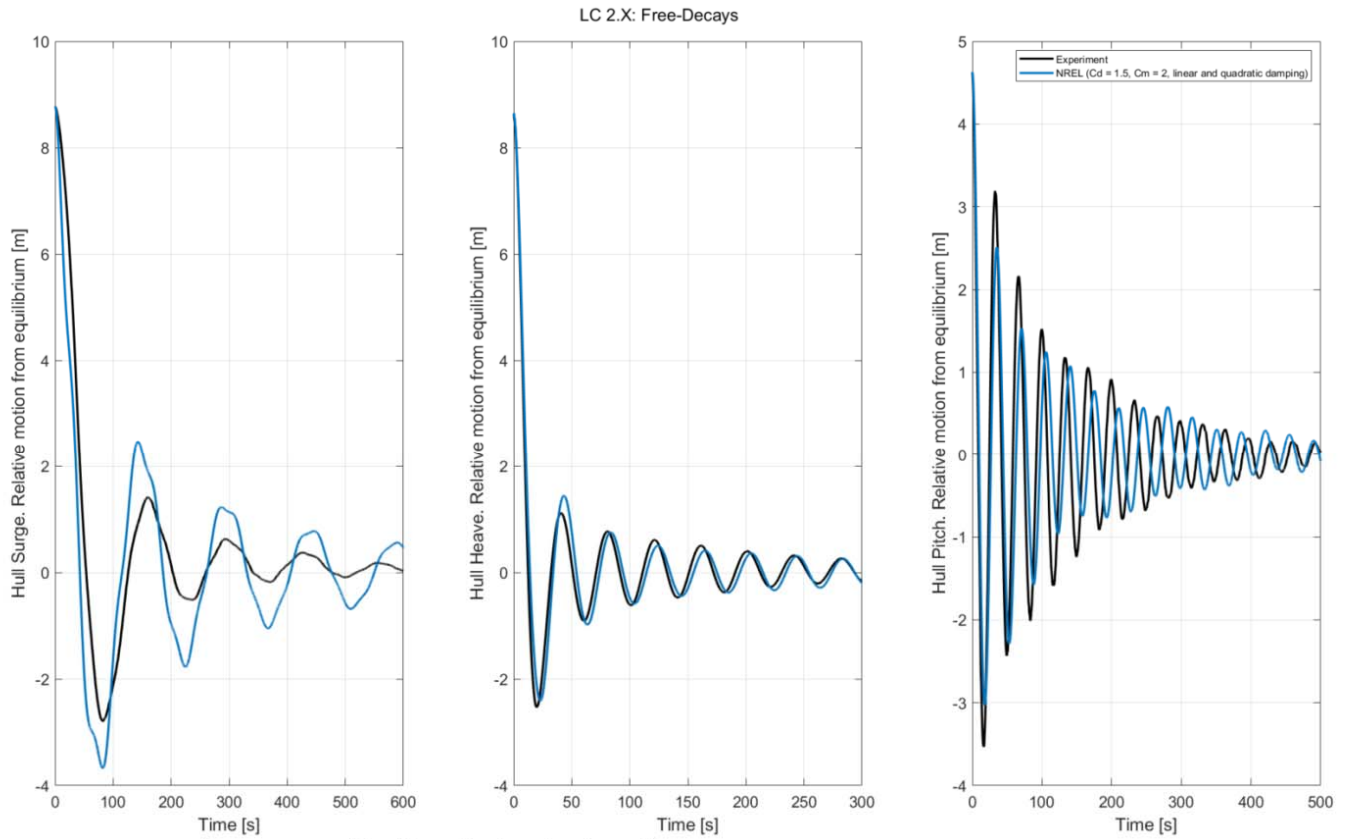
Theoretical bending moment assuming no platform pitch motion, nor tower deflection:



Moment balance:
 $\sum M_{Tower\ Base}^Y = 0$
 $2.615E5 * 9.80665 * (-2.65) = -6.8E6\ Nm$

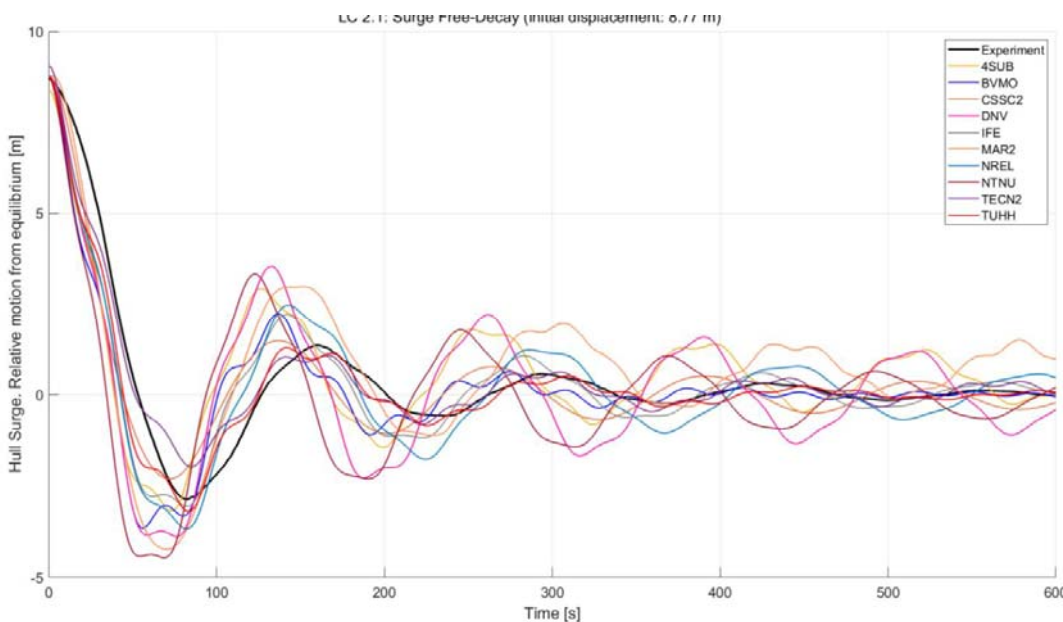
The platform negative pitch rotation would induce an additional distance and weight projection. This would also contribute to the tower deflection. All these factors will make the bending moment at the tower base more negative than -6.8E6 Nm.

In this case there is no cable bundle, so the umbilical does not impact the tower base results.



Linear damping in surge and sway: $4E4 \text{ N/(m/s)}$ applied at the (0,0,0) location.
 Quadratic damping in heave: $7.5E5 \text{ N/(m/s)}^2$ applied at the (0,0,0) location.

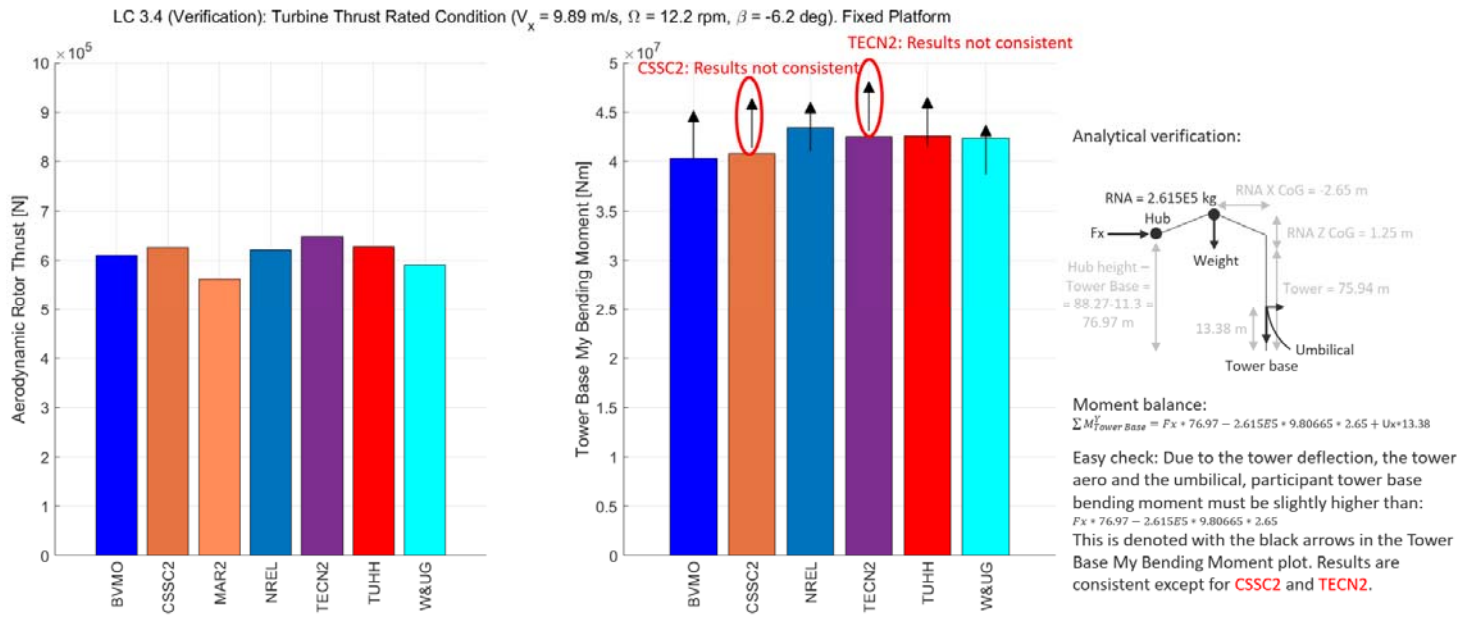
サージ自由振動



Participants removed from the plot due to inconsistent outputs: **W&UG, DUT2, EDF, CCSC1**.
 Slightly wrong initial conditions: **TECN2 (9.06 m), 4SUB (8.39 m)**.

Participants using quasi-static mooring lines: DUT2, DUT1 (is DUT1 using MAP++ instead of MoorDyn in OpenFAST?)
 Any other active participants?

MAR2 slightly different surge equilibrium position than in LC 1.1. It could be due to the seabed friction.



今後の予定

- OC6は2022年までの予定であったが、半年程度延長する。(2023年度は参加費を徴収しない)
- 2024年より後継のプロジェクト(OC7)を計画中であり、OC7の内容の意見募集を行っている。
 - 7つ目の”C”も募集中
 - OC7では、複数のワークパッケージに分かれて作業することも考えている。

- WP1: Validation の継続
 - 3つのデータを使った検証(Engineering model, CFD, 実験)
 - 重要な現象に対象を絞った検証
 - 検証用データセットの作成
- WP2: Recommended Practice (RP)の作成
 - モデル化の方法
 - モデルのチューニング
 - モデルの検証
 - 実験の方法
 - 不確実性の評価(UQ)
- WP3: 実スケールでの検証と、水槽実験との違い
 - 経験の共有
 - 計測の計画