

# 浮体式洋上風力発電および 海洋エネルギー発電の 安全基準の動向と対応する研究

平成28年6月24日

海上技術安全研究所  
海洋利用水中技術系長 井上俊司



# 新しい基準づくりの留意点

- 新たに出現した製品の基準
    - ←従来の類似の製品における考え方を可能な限り準用
    - ✓従来技術との整合性
    - ✓効率的且つ合理的な基準作成
  - 一方で、所要の研究を行いながら基準を作成する必要有り
    - 対象物に特有な現象の理解
    - 新たに必要な評価手法の適用
    - 設計文化(従来思想を延長する部分)に係る問題の整理
- (これらの観点は、完全に分離できるものではなく、複合的)

## 既往の浮体施設



- ◆ 有人性
  - 点検・保守要員の駐在確率⇒有人(船舶)／無人(ブイ)
- ◆ 信頼性レベル
  - 適切な破損確率(自然環境の再現期間, 部分安全率)
- ◆ リスク・シナリオ(浸水、係留の不具合、漂流、等々)

## 洋上・浮体式の風力発電施設

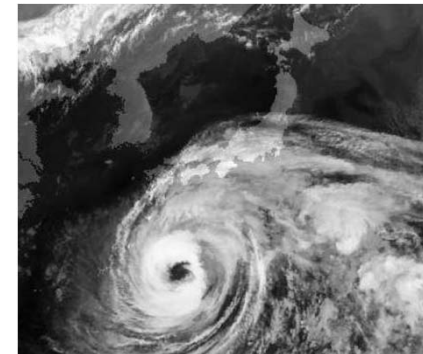
- ◆ 支持構造
- ◆ 動揺
- ◆ 漂流(可能性)

## 我が国特有の要素

- 台風、地震、津波
- 周辺航行船舶→多い
- 海岸域の高い人口密度、漁業等での高度利用および保全すべき自然・景観

## 洋上・着床式の風力発電施設

## 陸上の風力発電施設



# 国土交通省

## 浮体式洋上風力発電施設技術基準 概要(1)

### ◆適用

- 支持構造物(浮体施設及びタワー)
- 最大搭載人員を有しない船舶
- 浅海影響を受けない水深

### ◆背景となっている基準類

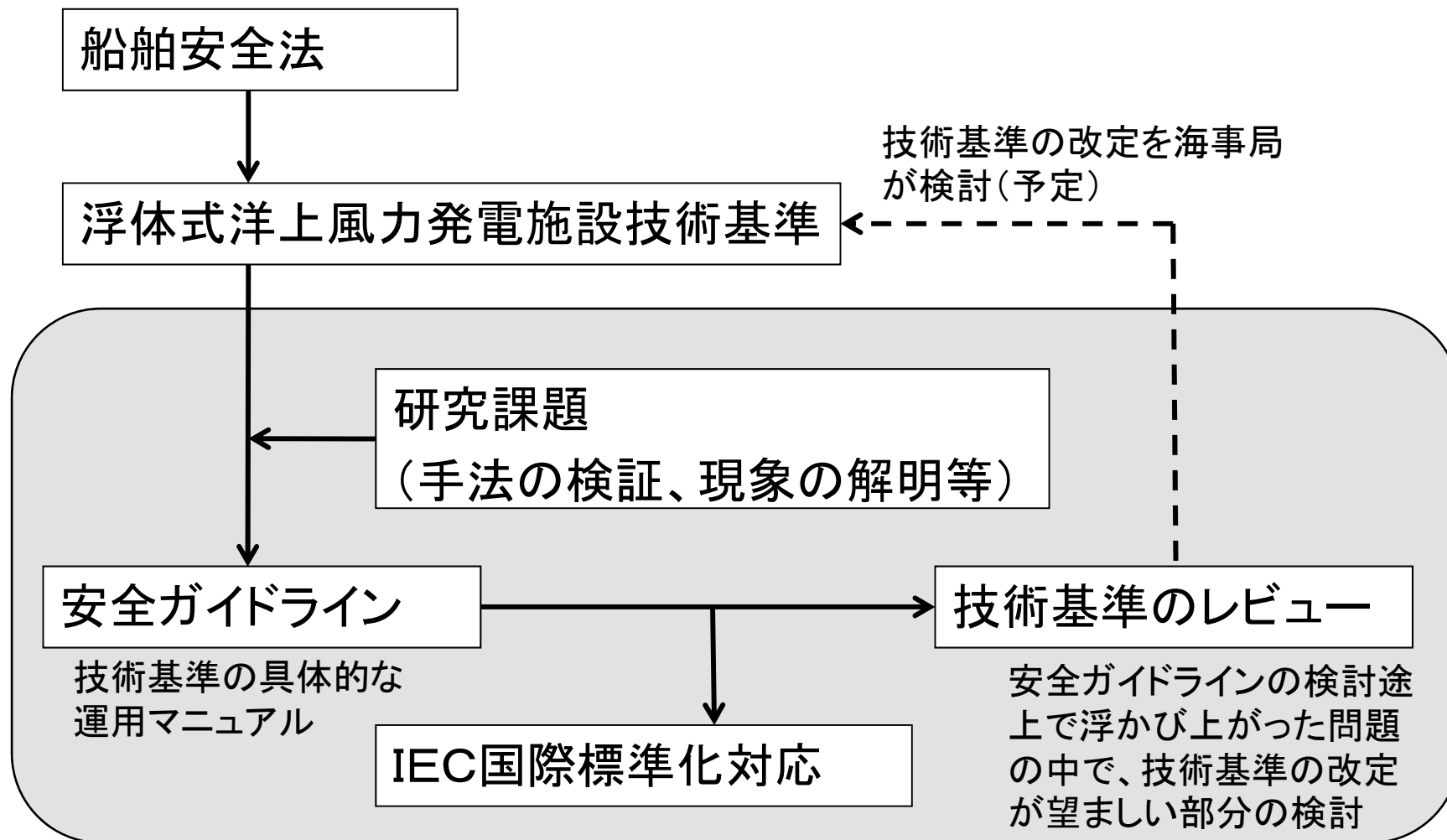
- NK鋼船規則
  - …構造設計(局部強度)、係留、復原性、等
- ISO 19901-7(係留)
- IEC 61400-3(洋上着床式)
  - …外部条件、荷重、構造設計(全体強度)、等

# 国土交通省

## 浮体式洋上風力発電施設技術基準 概要(2)

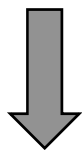
- ◆ 極値気象条件の再現期間:50年
- ◆ 地震・津波の考慮
- ◆ 材料:船舶構造規則に規定する材料
- ◆ 復原性
  - 係留が有る場合と無い場合の両方を検討
  - 非損傷時
    - 風による傾斜モーメント及び波による動揺に対して十分な復原力
    - ブレードが水面に接触しない
  - 損傷時
    - 計画喫水の上方5.0mから下方3.0mまでの範囲の1区画浸水
    - 海底ケーブルの引き込み箇所や係留ラインからの反力を受ける箇所等の浸水

## 海事局の検討



# IECの風車関係の標準 (IEC61400-)

3	4	5	13	14	22	23	24	25	26	27
洋上風車	ギアボックス	ブレード	機械的荷重の計測	音響パワーレベル	認証制度	構造強度試験	雷保護	情報モデル等	利用率等	発電機シミュレーション



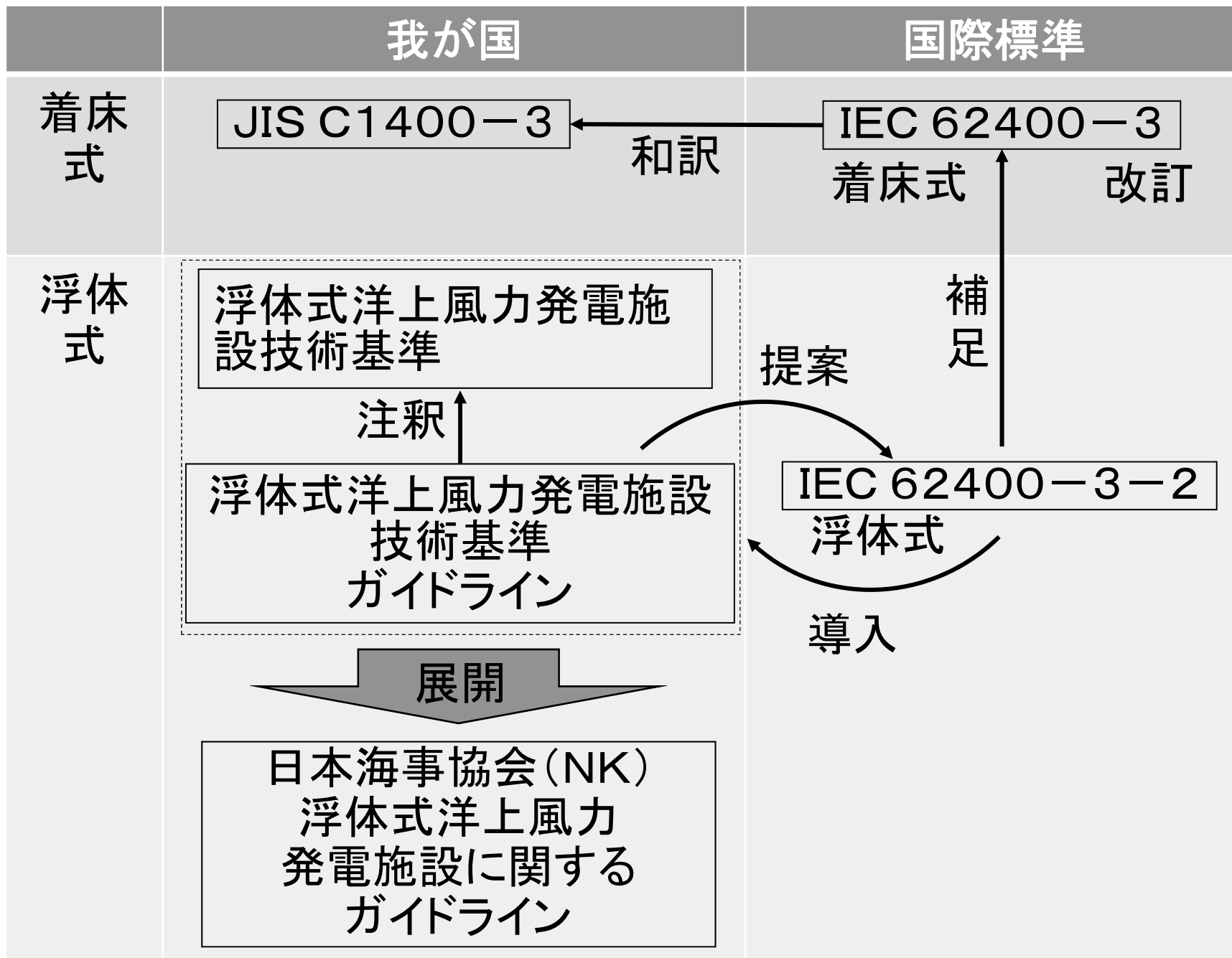
項目	状況
着床式	<ul style="list-style-type: none"> <li>•2009年にIS発行</li> <li>•現在、改訂審議中</li> <li>•今年度、発行予定</li> <li>•IECに対する日本のアクション ⇒気海象モデル等で、日本に適合した内容の提案</li> <li>•JIS C1400-3 ⇒平成27年度改訂</li> </ul>
浮体式	<ul style="list-style-type: none"> <li>•2010年 IS作成作業開始</li> <li>•着床式からの追加要件および変更要件をまとめる</li> <li>•今年度、発行予定</li> </ul>

IEC 国際電気標準会議

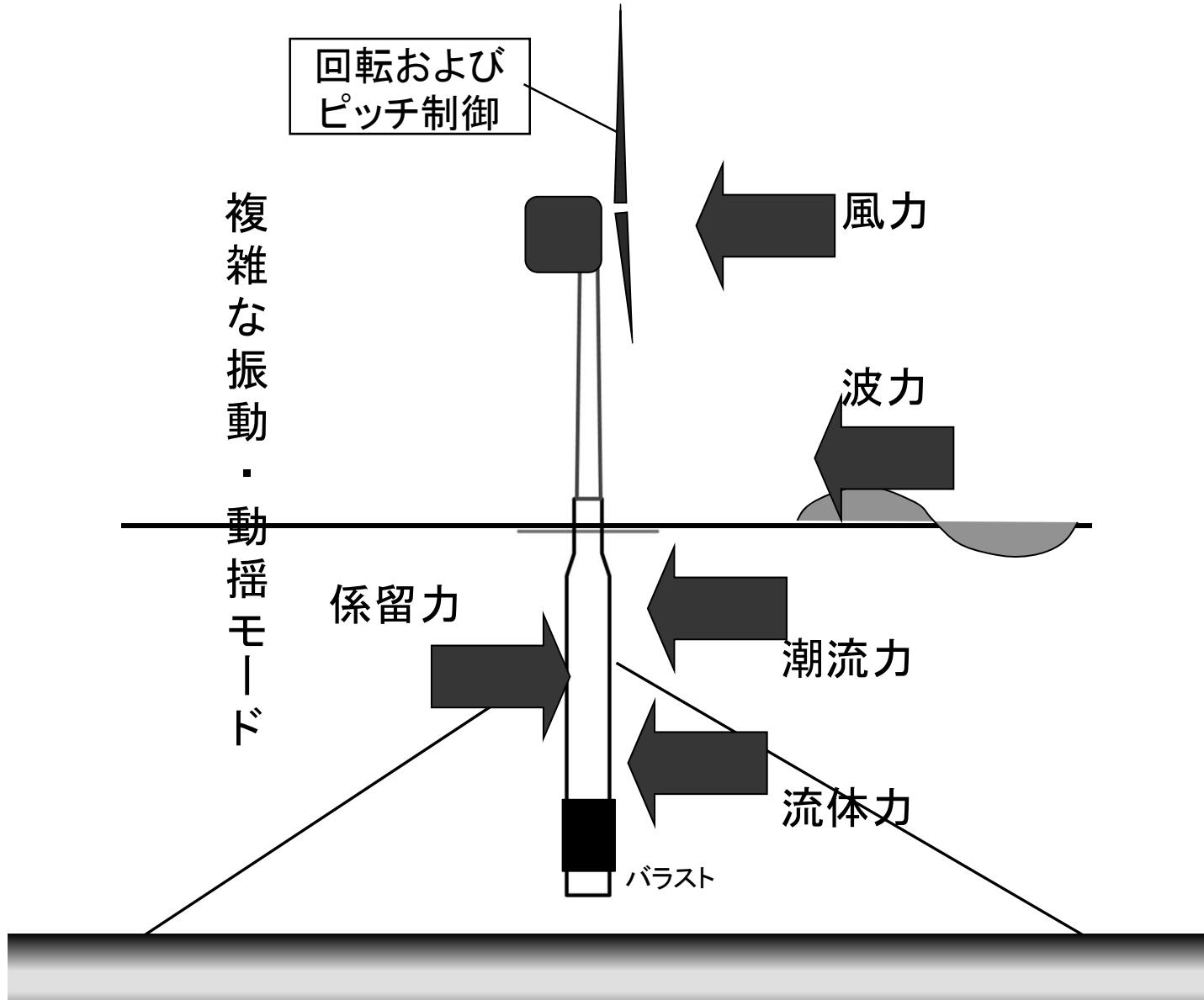
International  
Electrotechnical  
Commission

- 正会員:60カ国、準会員:22カ国  
(日、米、英、独、仏、中:分担金8.223%)
- 1976年、ISOと協定  
IEC:電気・電子分野  
ISO:その他の工業
- TC88:風力タービン
  - 審議団体:  
(社)日本電機工業会(JEMA)
- TC114:海洋エネルギー
  - 審議団体:(社)電気学会



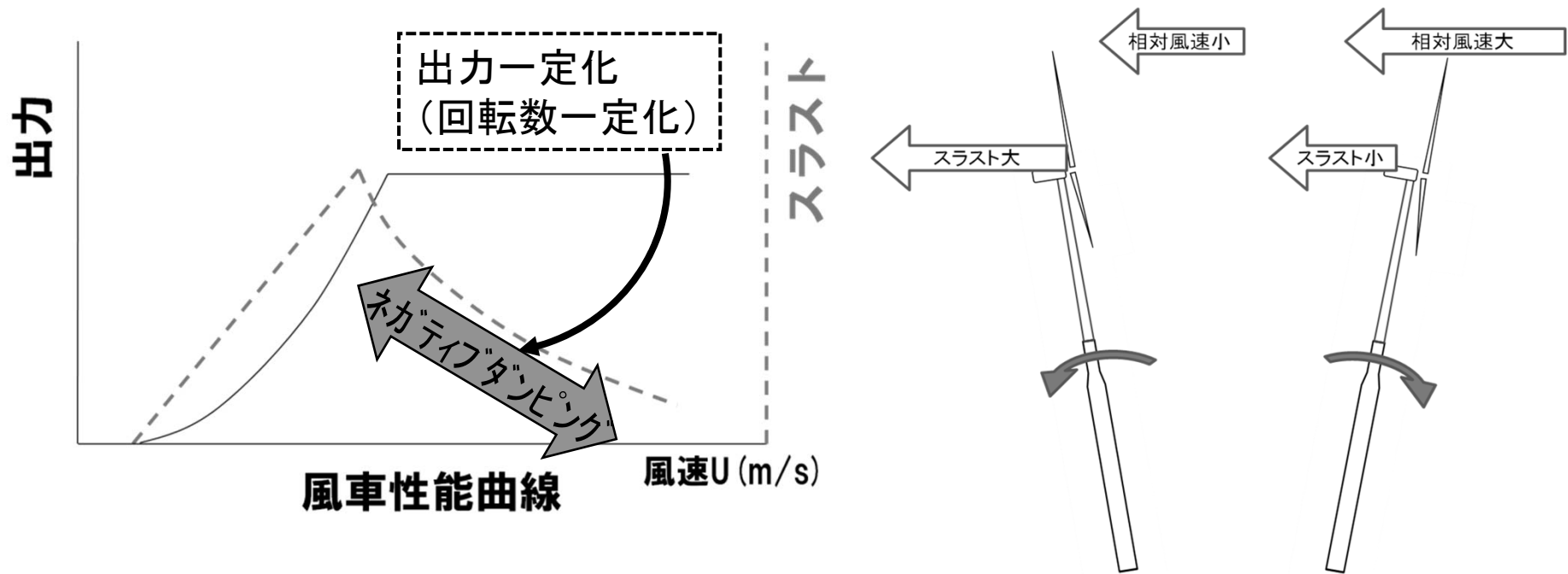


# 対象物に特有な現象



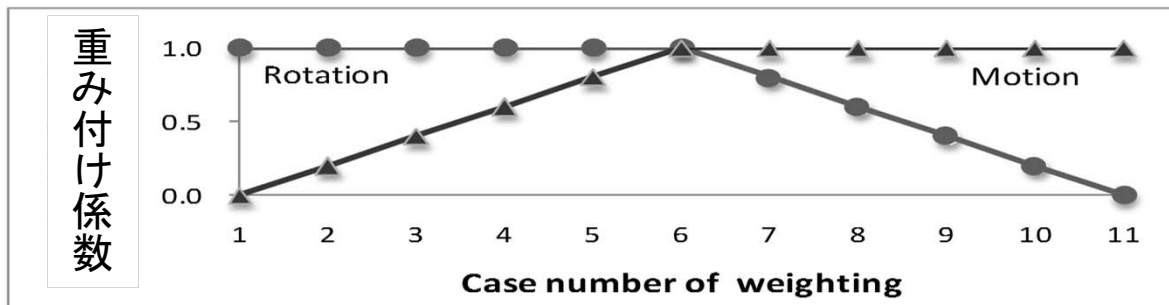
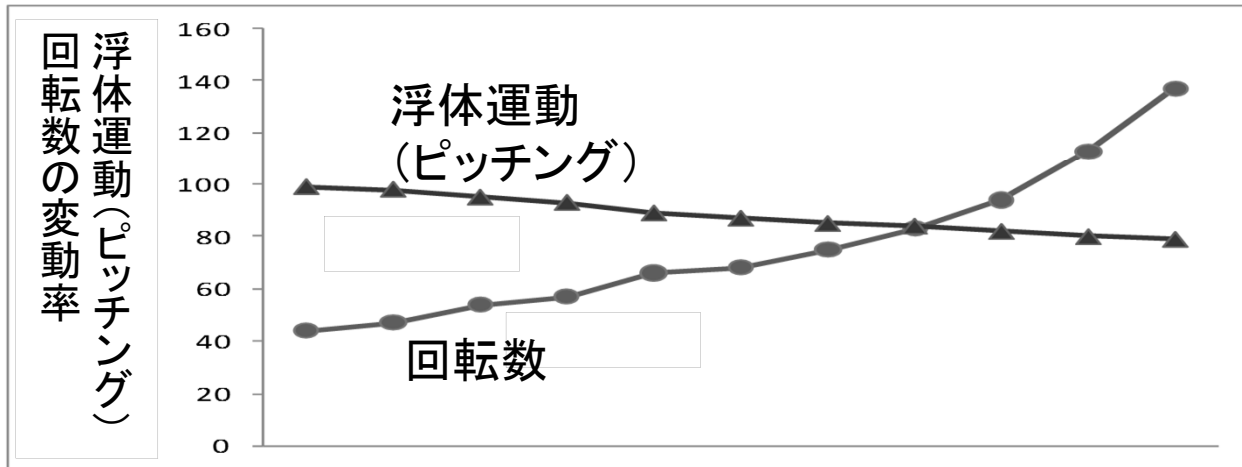
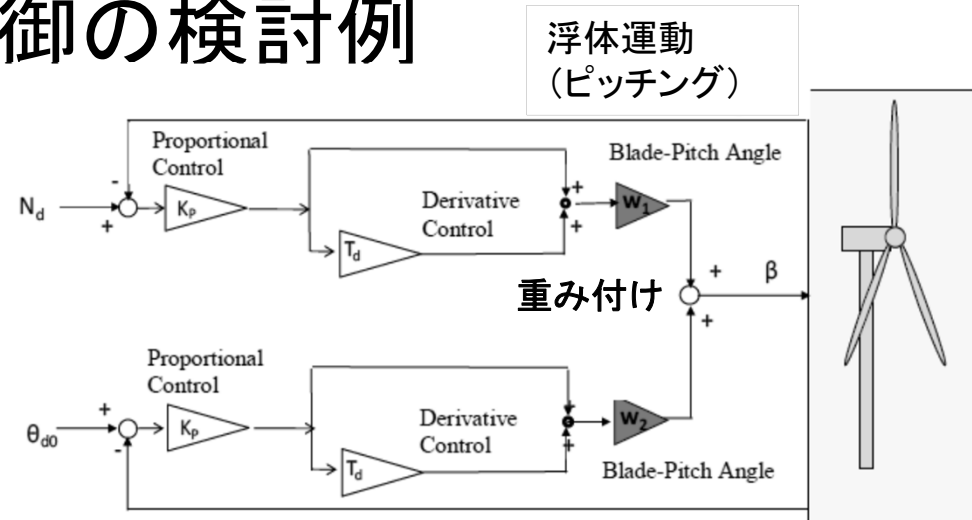
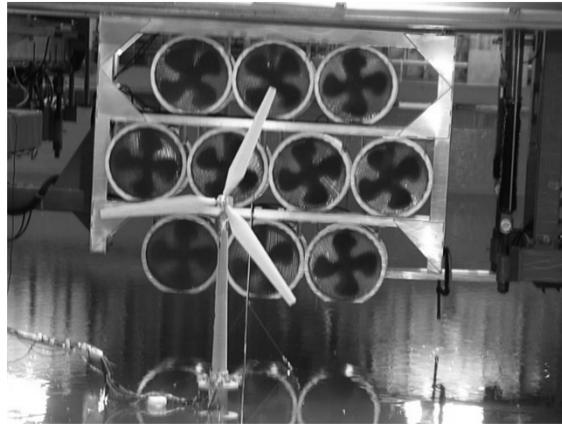
# ネガティブダンピング(制御励起動揺) 【陸上風車の常識を超える現象】

⇒風速とスラスト(風抗力)が反比例的になる現象  
↓  
ブレードピッチ制御の方式によっては、過大な浮体動揺発生



図は、「浮体式洋上風力発電施設技術基準」より

# 水槽実験による適正制御の検討例

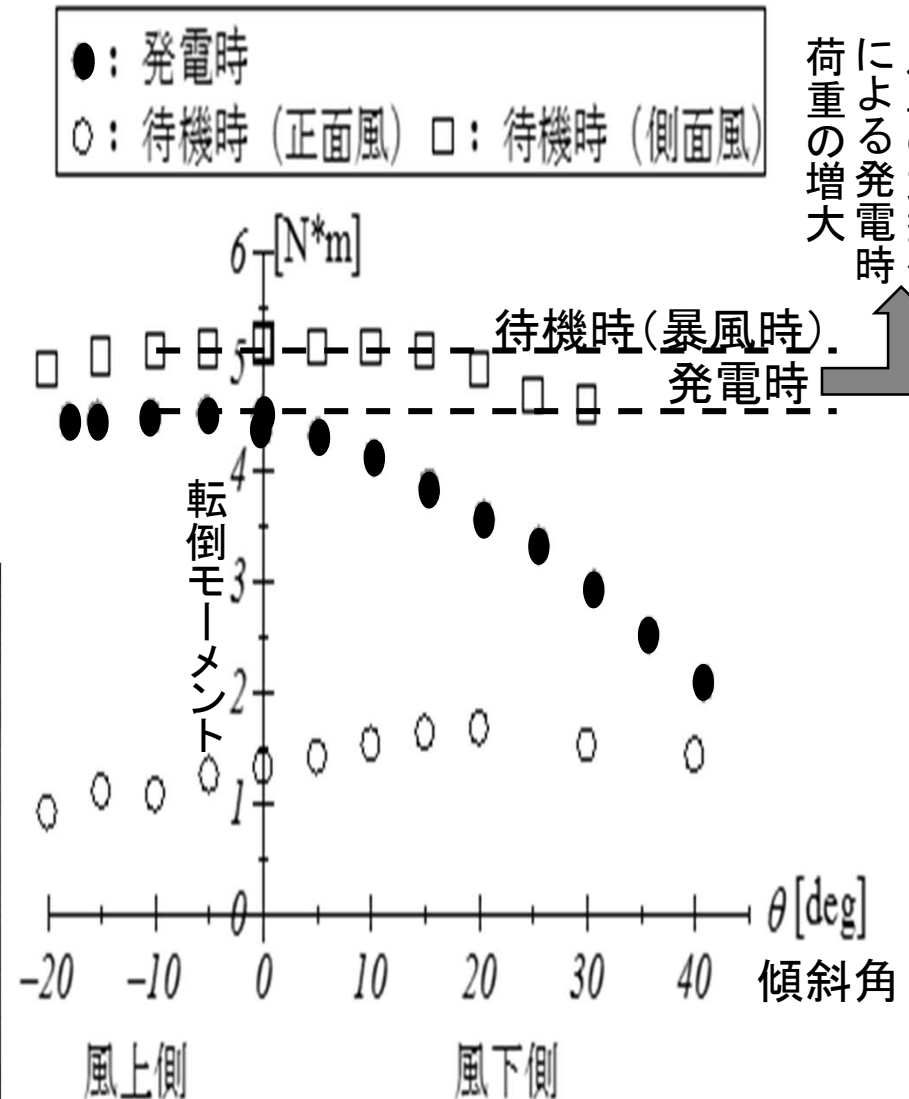


浮体運動の増加を抑えながら、回転数変動も抑えることが可能

# 風車荷重に関連する復原性問題

## 【石油向け浮体構造物の常識を超える現象】

- (石油向け)船舶・海洋浮体構造物
  - ✓ 風荷重を受ける構造物は固定物
  - ✓ 水面上高さは比較的低い
- 風車
  - ✓ ローターの挙動
  - 発電時 vs. 待機時(暴風時)
  - ✓ 水面上高さ⇒転倒モーメントの増大



# 新たに必要な評価手法（水槽実験）

## 「浮体式洋上風力発電施設技術基準安全ガイドライン（国土交通省海事局）」における標準試験法について

### （1）標準試験法の目的

- ① 数値シミュレーションの精度確認および計算上のパラメータ取得  
（含、いわゆるプログラム・チューニング）
- ② 設計荷重等の設計用数値の取得

### （参考）研究開発的な実験の目的

- ① 浮体形状、係留システム等のコンセプト確認
- ② 制御手法の開発



# 「浮体式洋上風力発電施設技術基準安全ガイドライン (国土交通省海事局)」における標準試験法について

【相似則(フルード数, レイノルズ数など)を合わせる事が困難な場合】

- ① 数値シミュレーションの精度確認  
⇒数値シミュレーションも模型スケールで行い, 同じ寸法効果の下で比較を行う.
- ② 設計荷重等の設計用数値の取得  
⇒設定した模型の寸法効果が, 実機に比して, 設計上安全側になっていること.

【構造剛性の考慮】 (外力の周波数:  $f_{in}$ 、構造振動の固有周波数:  $f_n$ )

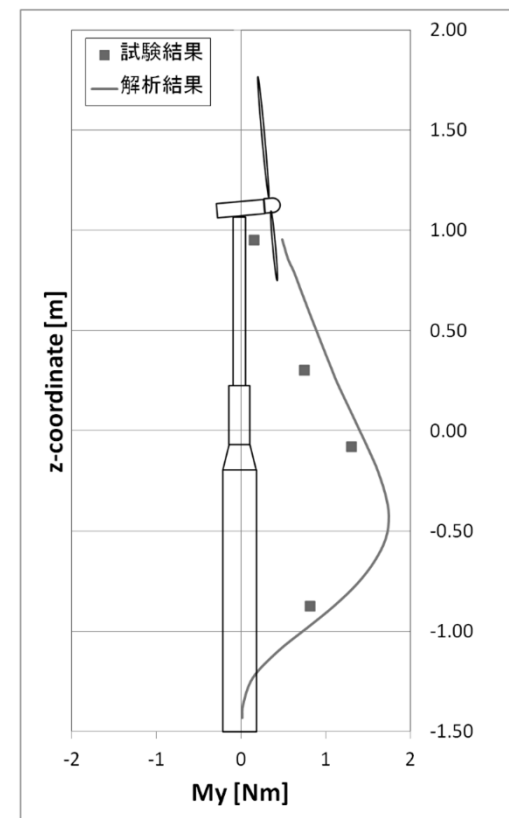
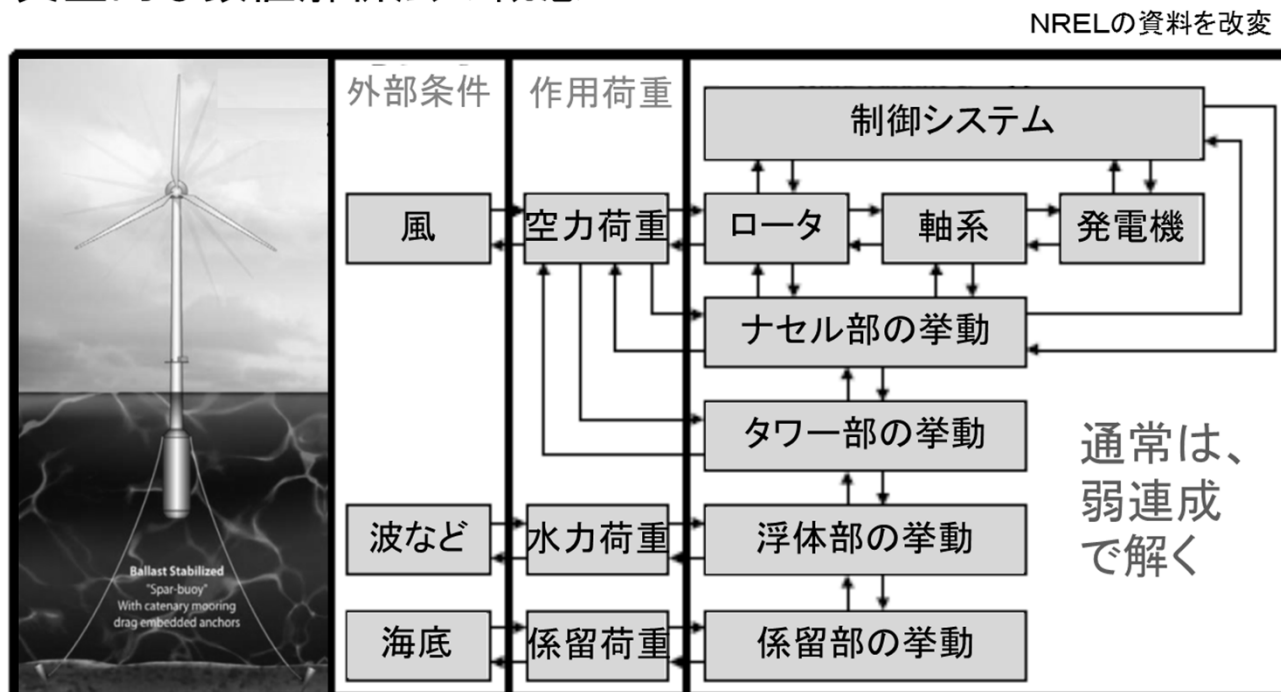
- ①  $f_{in} \ll f_n$  構造応答は剛体を仮定したものとして差し支えない.
- ②  $f_{in} \doteq f_n$  共振の可能性・・・構造剛性を正確に扱う必要がある.
- ③  $f_{in} \gg f_n$  いわゆる柔構造・・・構造剛性を正確に扱う必要がある

数値シミュレーションの精度確認  
→模型と同じ剛性を用いて数値シミュレーションを実行

## 実験目的に応じて、押さえるべき現象に留意

# 新たに必要な評価手法（数値計算）

## 典型的な数値解析法のご概念



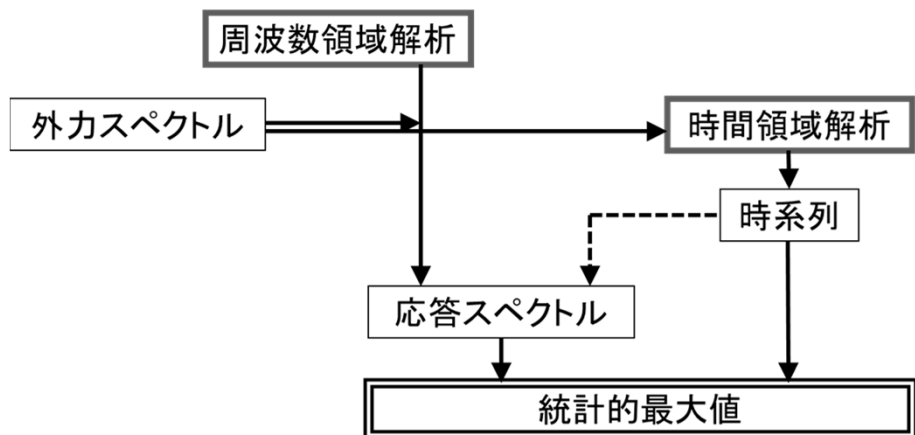
## キー技術は連成解析

1. 一体型解法（強連成）・・・連成系全体の方程式を完全に連立させて解く手法
  - ✓ 相互作用が強い場合, 他の方法に較べて高い安定性・収束性
  - ✓ 解くべき方程式の元数が増加
2. 分離型解法・・・平衡方程式を個別に立てて解く
  - ① 分離型反復解法（漸近的強連成）
    - ✓ 何らかの反復計算によって両者の連成面での境界条件を整合させる強連成法
  - ② 時差解法（弱連成）
    - ✓ 境界条件を厳密に満足させることなく時間進行させる弱連成法





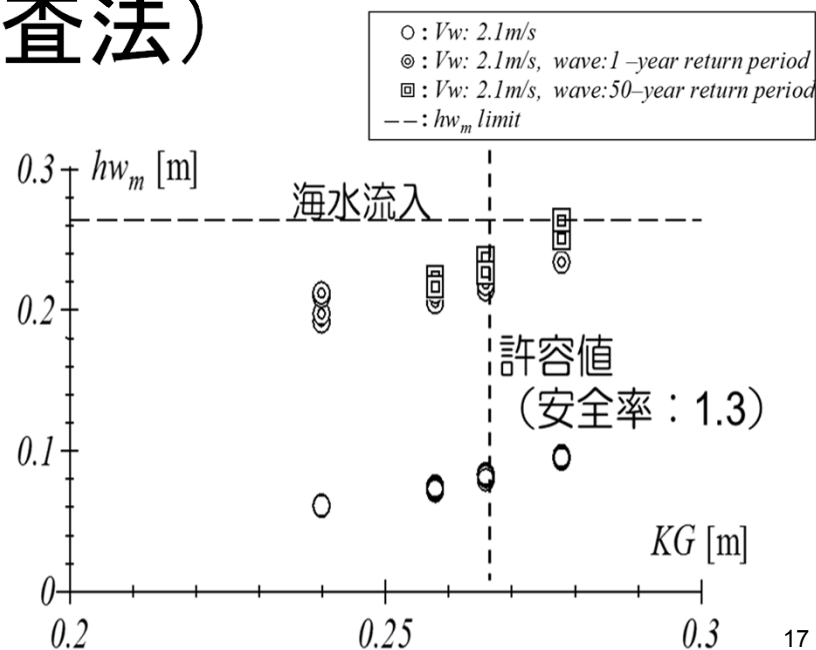
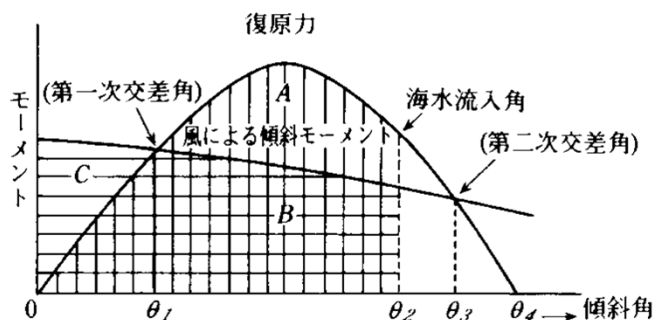
# 設計文化に係る問題 (不規則過程における最大値の評価)



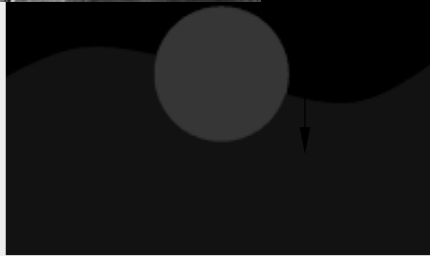
設計検討として適切な手法は、着目現象に依存  
⇒ 数値計算で適応条件範囲を確認した

## (復原性の照査法)

大胆な仮定と実績に基づく基準  
⇒ 実験で確認した



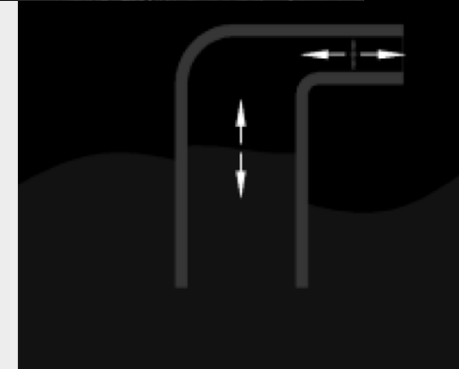
# 波力発電の種類



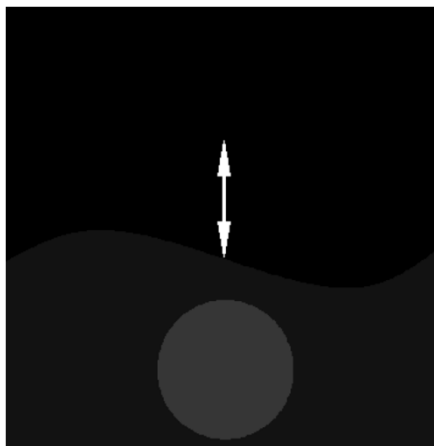
並進動揺型



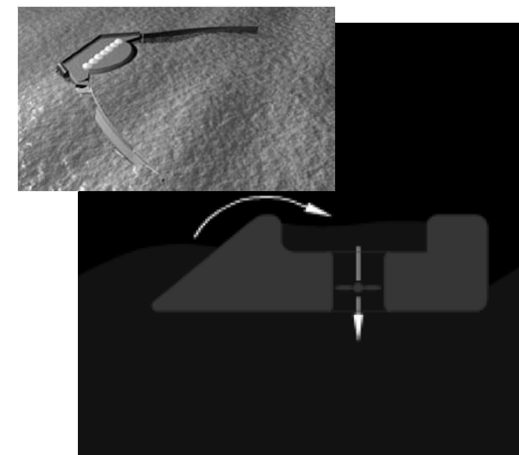
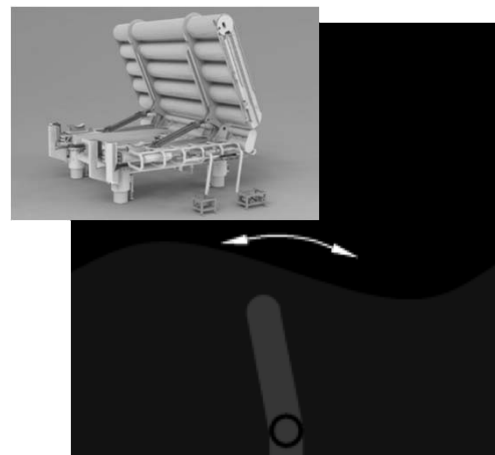
屈曲動揺型



振動水柱型

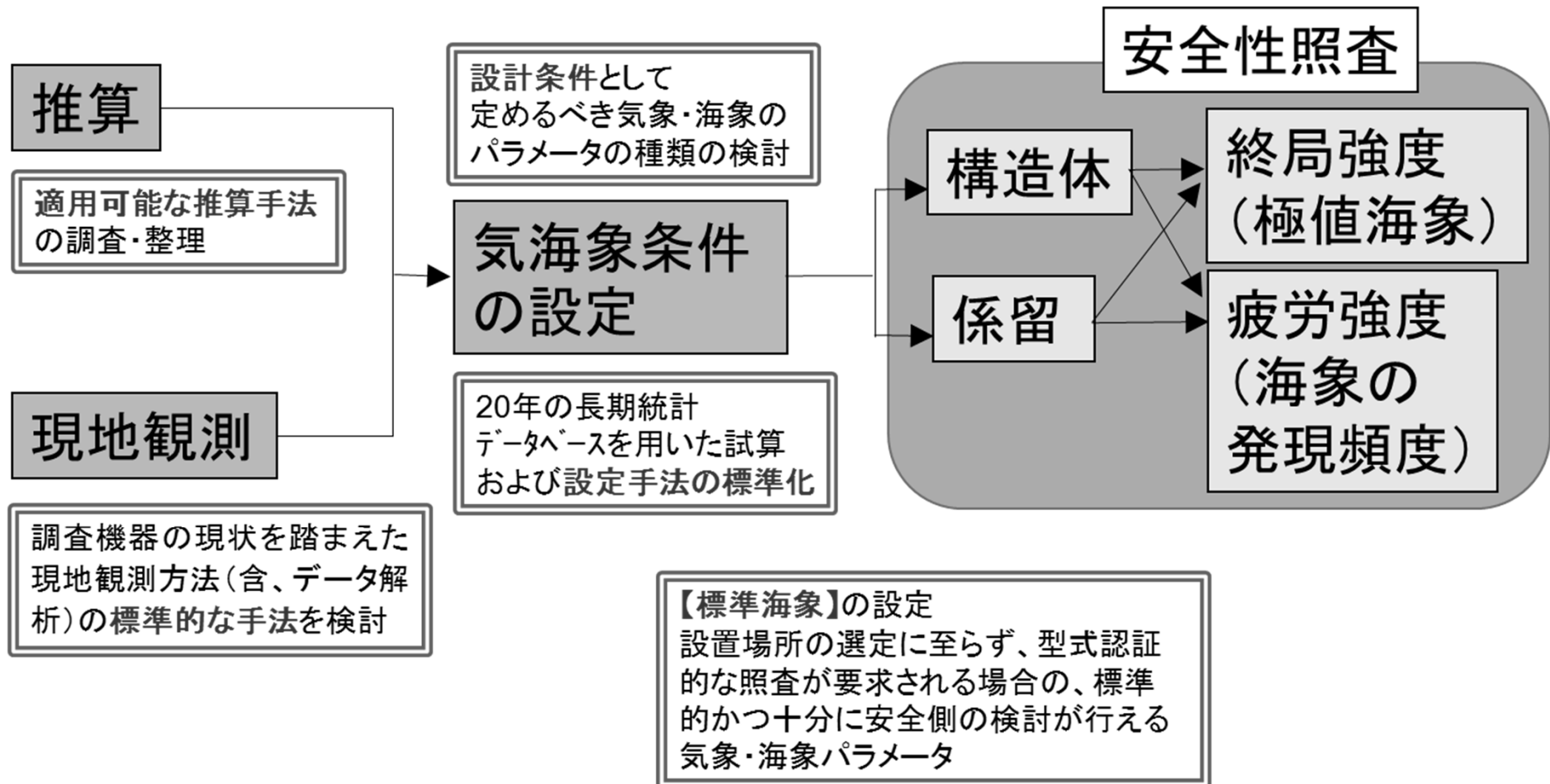


可動物体型



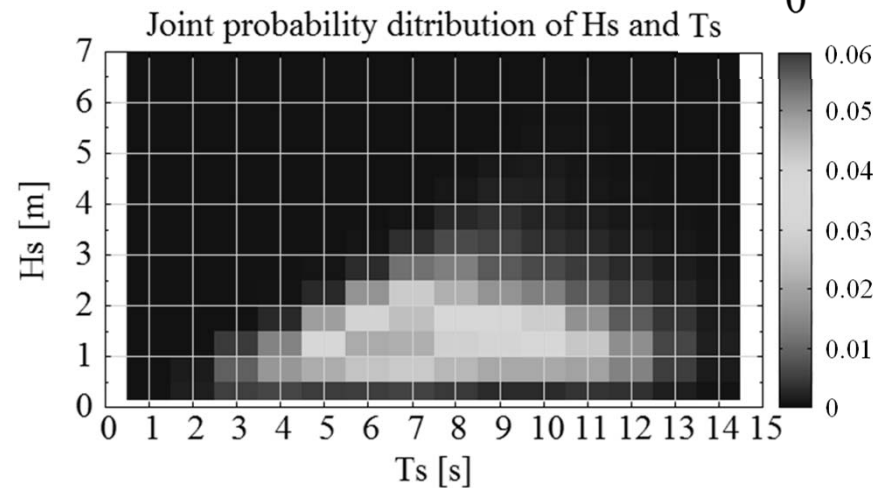
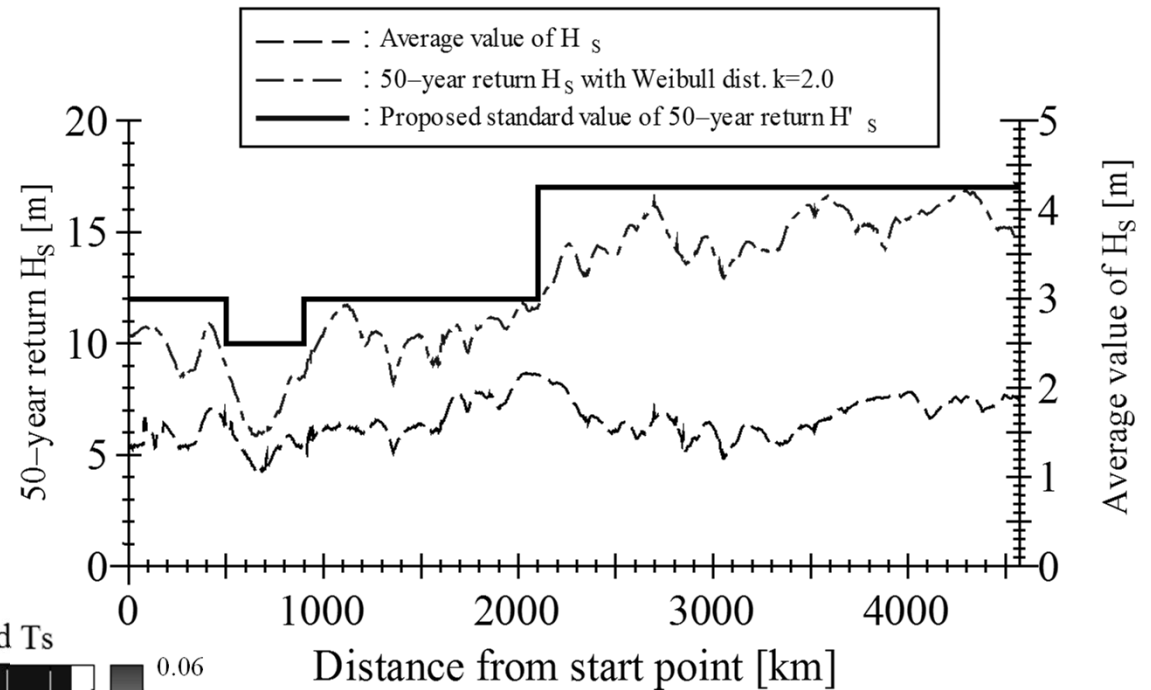
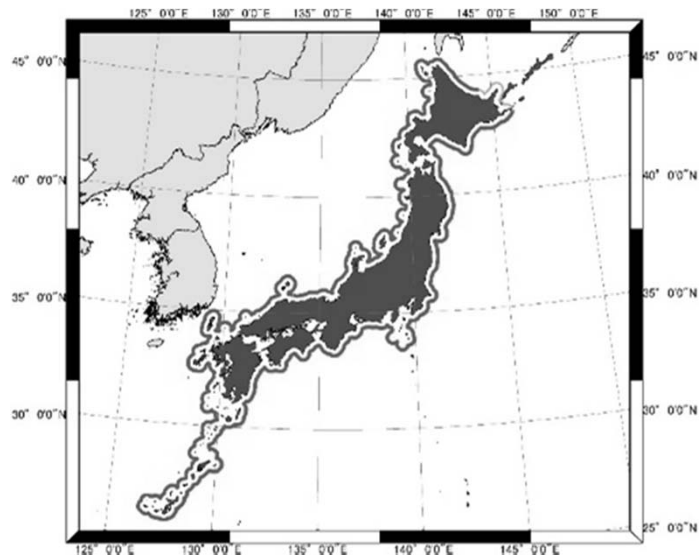
越波型

# 技術的課題の解決に向けた検討 外部環境条件の検討

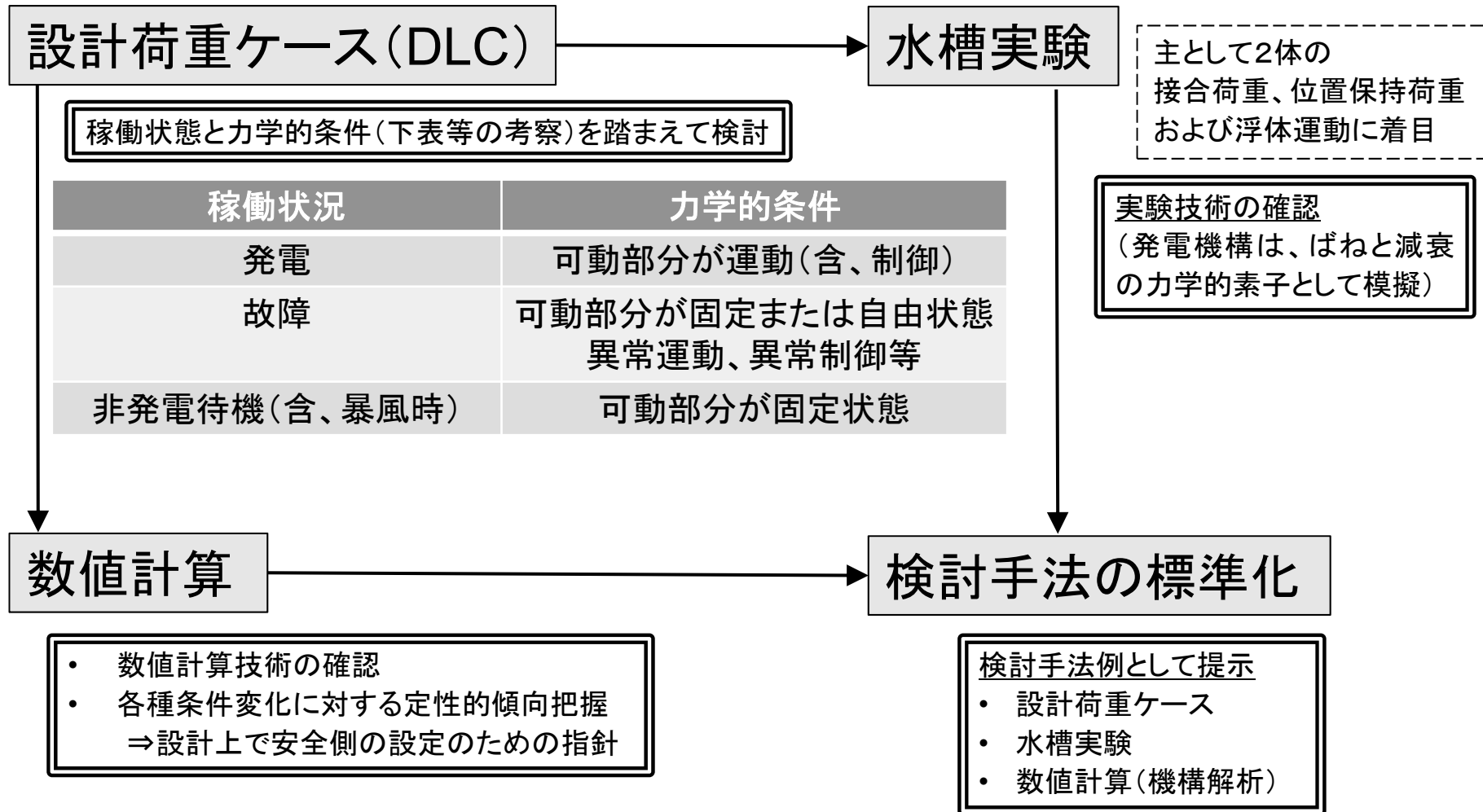


# 標準海象

海域特定に至らない場合（開発・型式認証段階）等の、安全性照査、性能照査のため気海象の標準的設計条件を用意

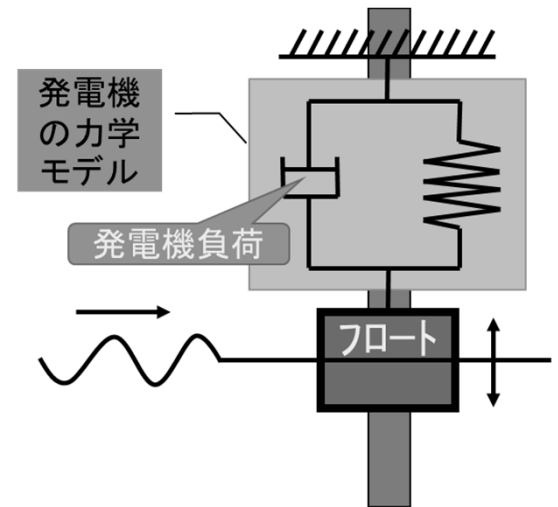
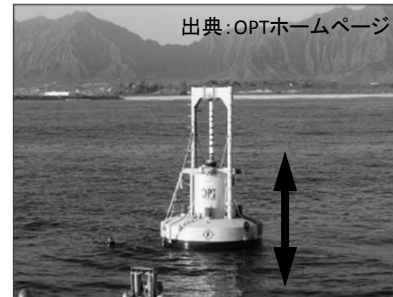


# 技術的課題の解決に向けた検討 DLC-based design へのアプローチの検討



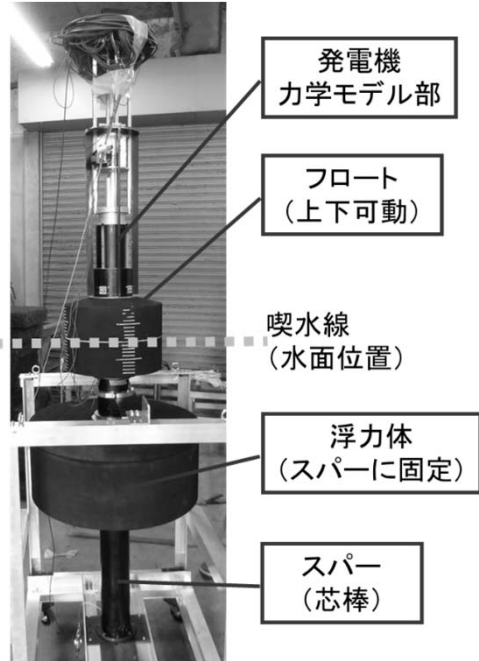
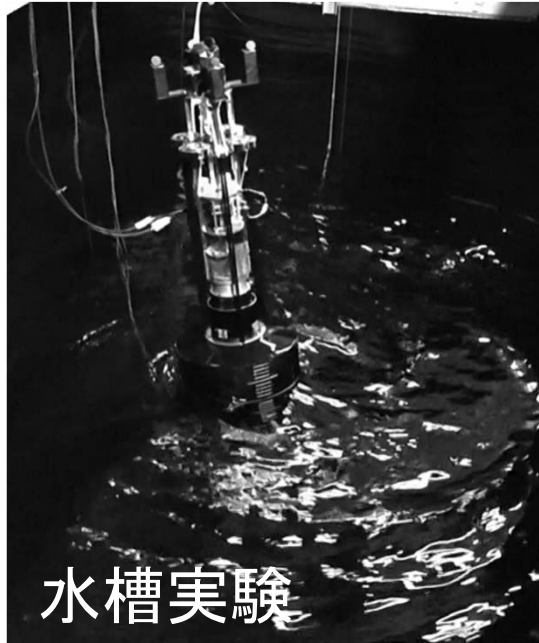
# 浮体式波力発電の安全性力学

- 二体問題として捉えることが可能
  - 固定系と可動物体
  - 2つの可動物体
  - 可動浮体と水柱・・・等々
- 発電デバイスは、ばね・減衰系として捉えることが可能

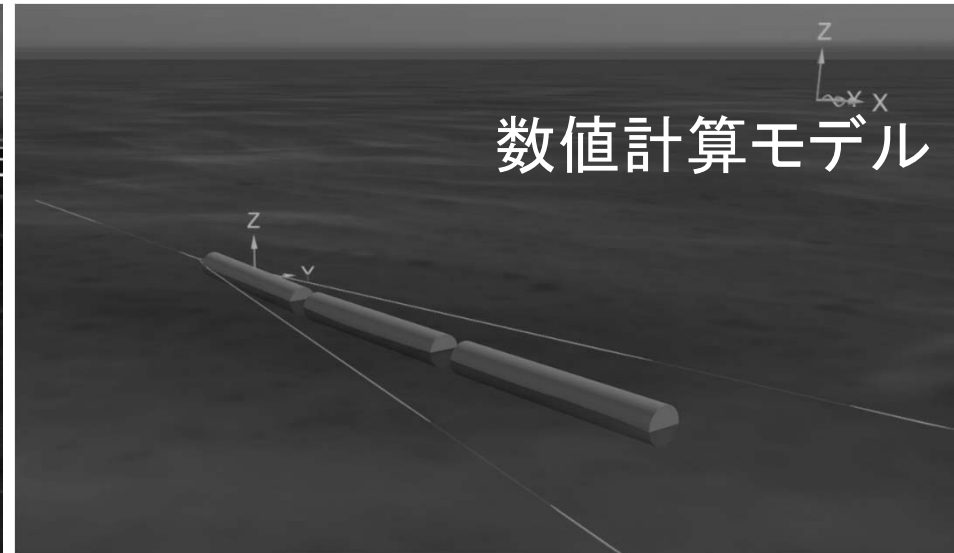
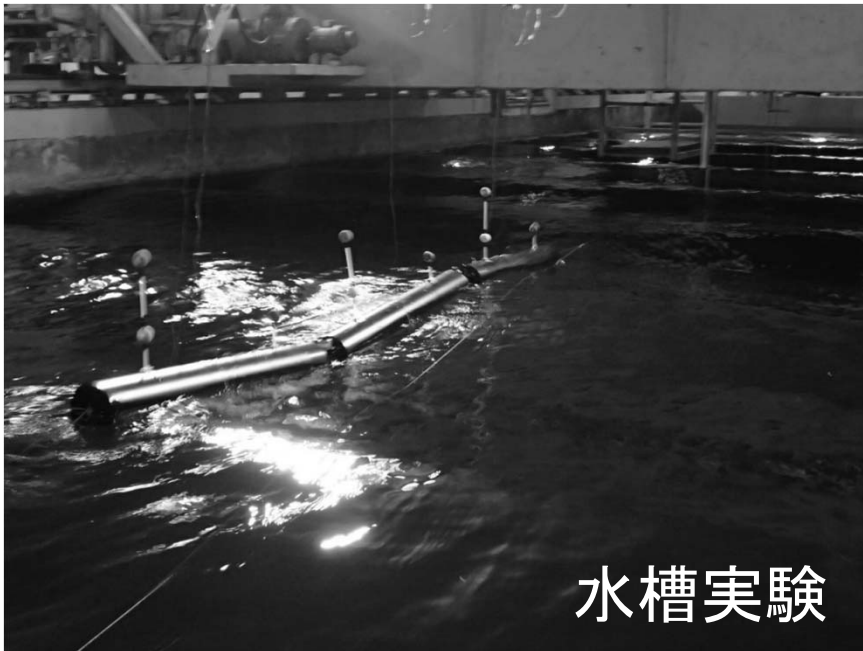


荷重の成因	荷重の種類	関連強度	デバイスの状態(3種類の極限)		
			固着 (ブレーキ) $K = \infty$	共振	自由 (ニュートラル) $K = 0$
浮体運動による荷重	接合荷重	主としてデバイス強度	<div style="border: 2px solid black; padding: 10px; margin: 0 auto; width: 80%;">                     水槽実験・シミュレーション                      ↓                      荷重・強度評価                 </div>		
	対地荷重	主として係留強度			
波漂流力		係留強度			

# 並進動揺型

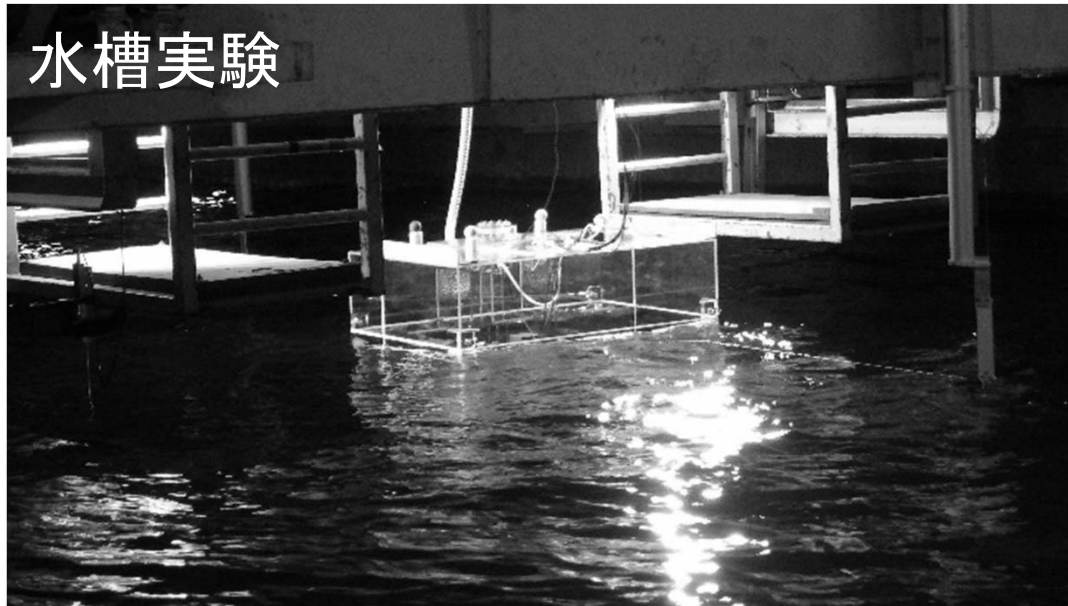


# 屈曲動揺型

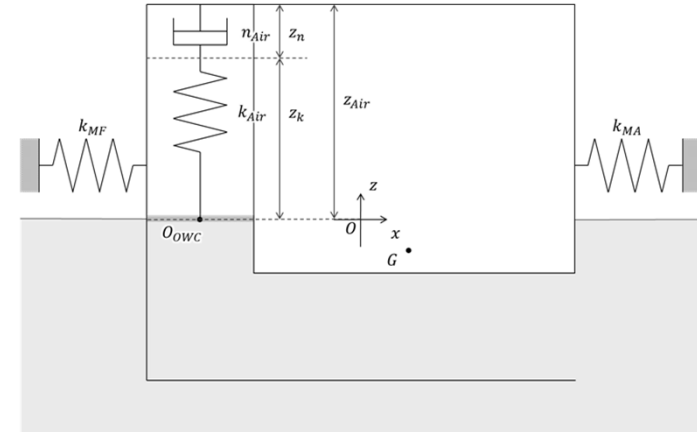


# 振動水柱型

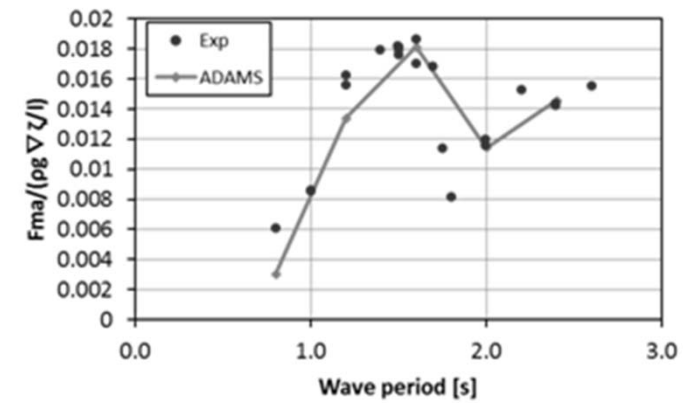
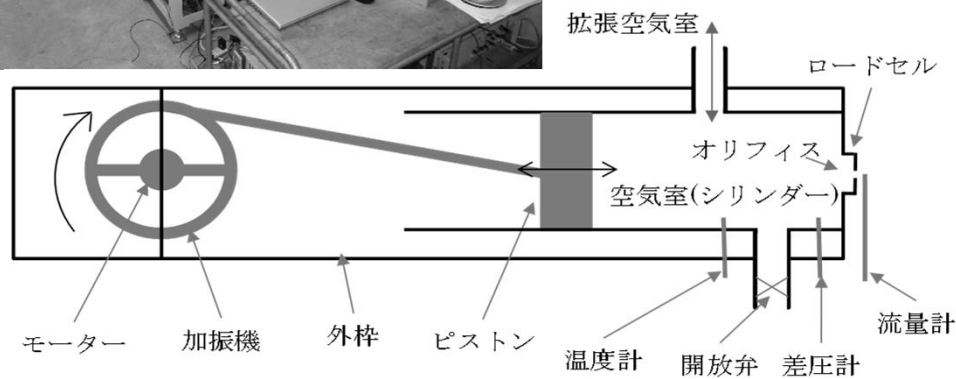
## 水槽実験



## 数値計算モデル



## オリフィス性能試験

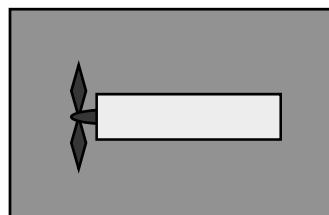
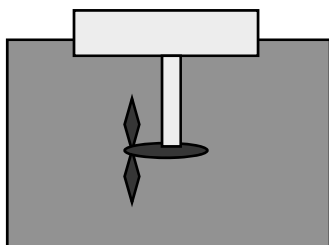




# 潮流・海流発電の種類

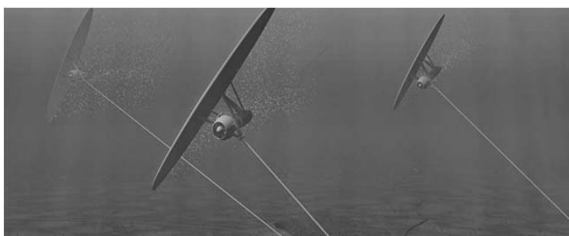
## ■全体方式

- 浮体式
- 浮遊式



## ■力学的つりあい

- 浮力利用
- 揚力利用



## ■タービン方式

- 水平軸
- 垂直軸

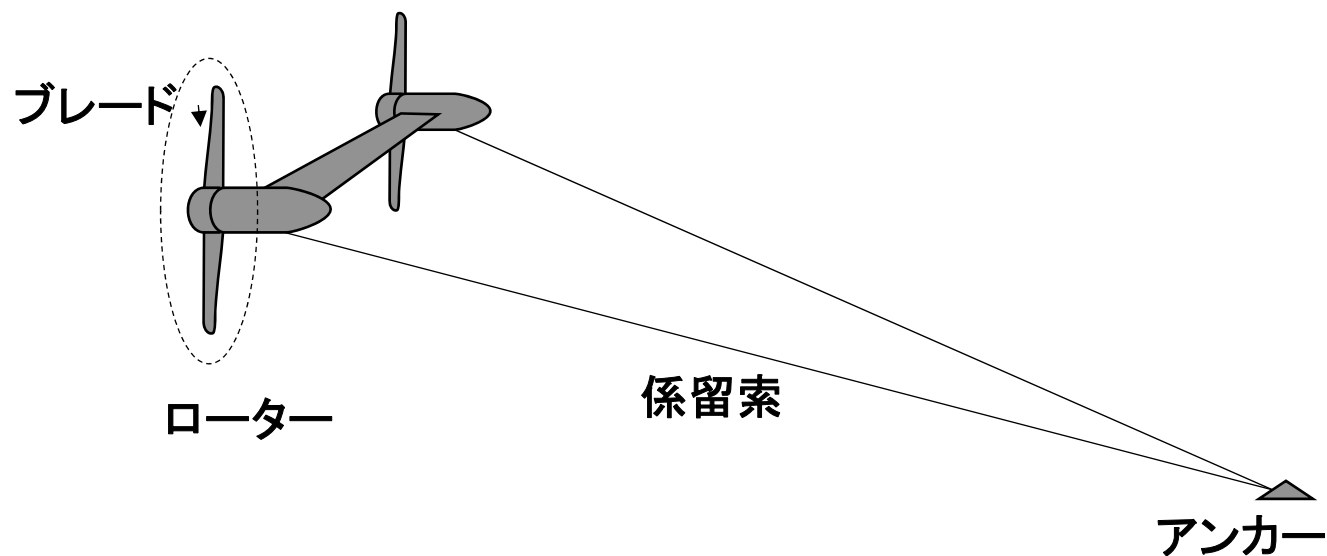


## ■タービン配置

- 2軸
- 1軸(二重反転)

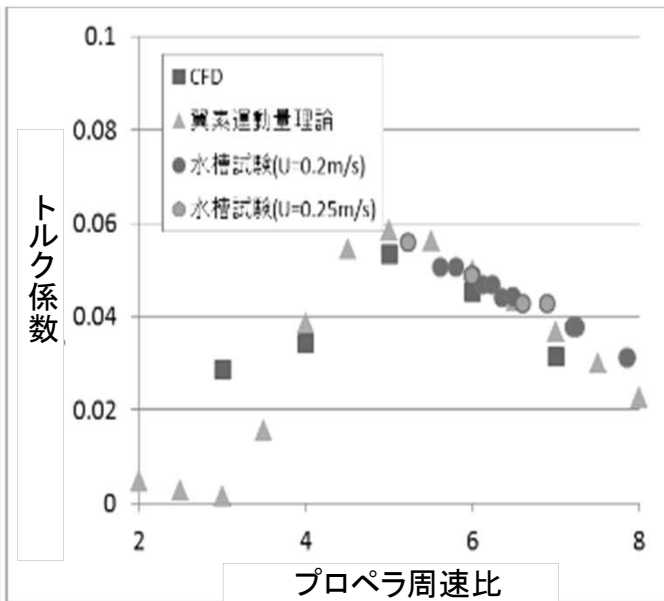
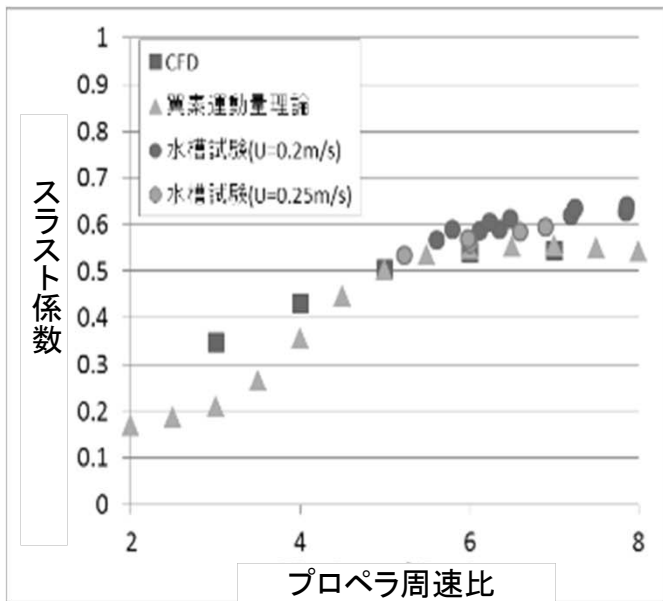
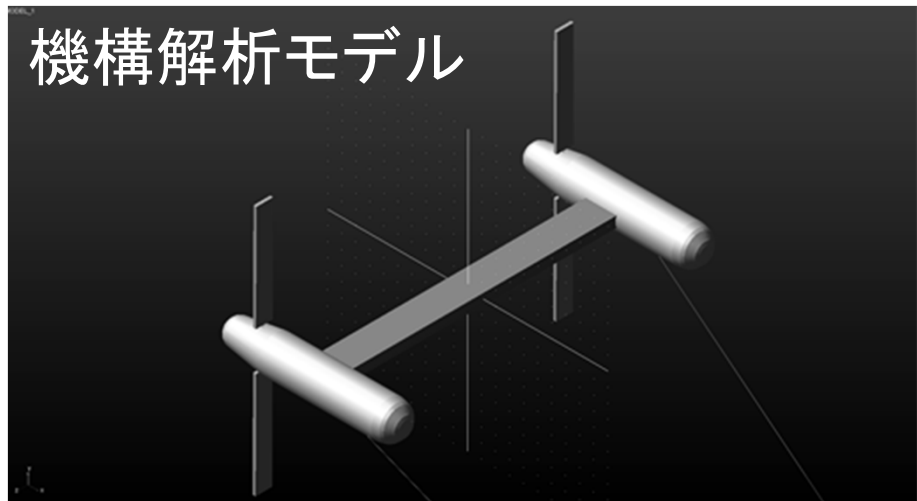


# 双発型水中浮遊式海流発電施設



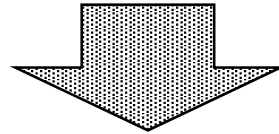
稼働状況	着目点
発電	稼働状態(流速、回転数)と深度・姿勢・荷重・係留張力等との関係
起動・停止	過渡状態における応答
衝突	漂流物や大型生物が衝突した場合の応答
ローター異常	発電機構故障時(ローター遊転・固着時)の応答
係留1本破断	非対称係留時の応答
ブレード異常	ブレードピッチ角異常、ブレード折損時の応答

# 双発型海中浮遊式海流発電



# 安全基準についての今後の議論への提言 （「まとめ」に代えて）

- 新しい製品カテゴリー ⇒ 特性の理解
  - 「発電施設」「浮体」と言った短絡的な整理は駄目



- 安全フィロソフィーの共通認識基盤が必要
  - 何を守るのか
  - 他の類似製品との差異を踏まえた相場観
- 法令上のカテゴリー ⇒ 重複を除く
- 最低要件は何か ⇒ 事業者の選択肢との兼ね合い
- 国際標準化との関わり ⇒ 実機経験で発言力を