

浮体上での風車の 基本コンセプト

マリンフロート推進機構 佐藤 増穂

浮体上の風車に求められること

浮体風車の基本コンセプトに係わる検討事項

• 浮体上に密に設置

- ー 全体のコストを低減するには、風車1基あたりの基礎浮体を小さくする
 - 風車の設置間隔を狭める必要あり

• 浮体の動揺の影響

- ー 浮体の動揺が風車に及ぼす影響を把握する

国内最大の風車

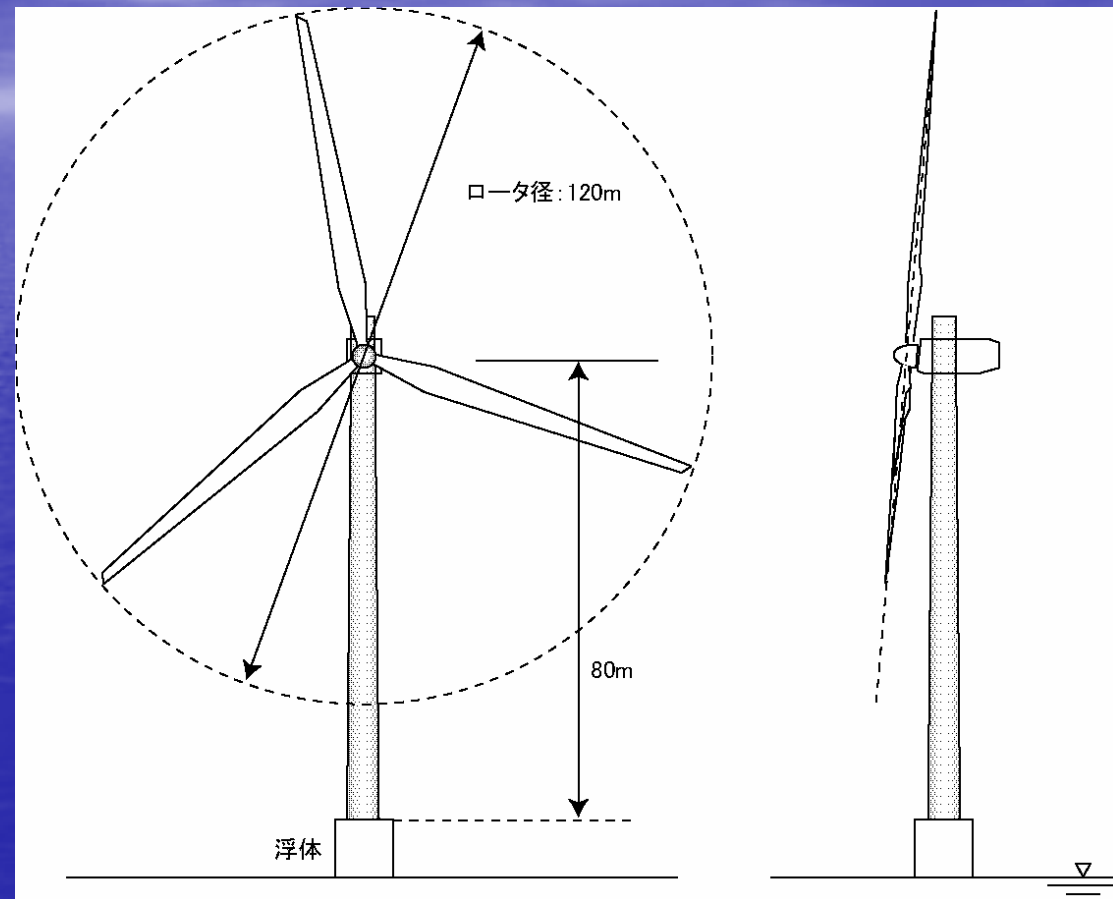


•MWT92/2.4MW, MWT95/2.4MW

- 設置場所:三菱重工業(株)
横浜製作所構内
- IEC Class IIA
(MWT92/2.4の耐風速はClass I相当)
- 定格出力:2.4MW
- ロータ径:92m／95m
- ハブ高さ:70m
- 発電機:誘導発電機
- 風速
 - 定格 :12.5m/s
 - カットイン :3.0m/s
 - カットアウト:25.0m/s

想定風車の基本仕様

- 定格出力 5MW
- ハブ高さ 80m
- ロータ径 120m
- 発電機
誘導発電機
- ロータ回転数
6~10.5rpm(可変速)
- 風速
カットイン 3m/s
定格 14m/s



風車の設置間隔

- 陸上での推奨間隔

→ 風向方向: 10D

風向直角方向: 3~4D

様々な風向からの風に対し、
出力低下を防ぐことを想定

- 洋上

— 風車の基礎となる浮体を係留して固定する場合、陸上と同様
ただし

風向に応じて浮体が回転

(風に対する風車の相対方位は浮体で制御)



風車間隔を狭め、小さい浮体で多数の風車を設置できる

風車間隔の検討-1(前後配置)

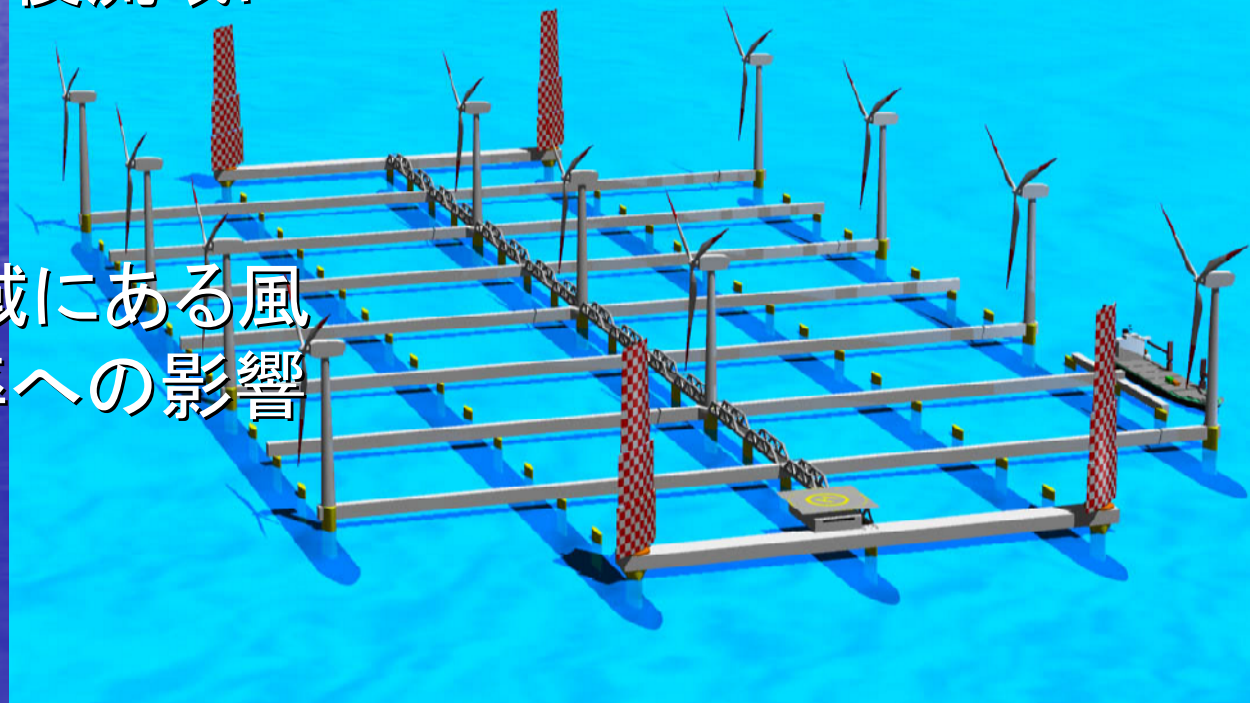
•実験の目的

—初期のイメージ図で配置したときに、後列の風車が前列風車の後流域に

＜浮体風車の初期イメージ＞

↓

—風車の後流域にある風車の発電効率への影響を調査する

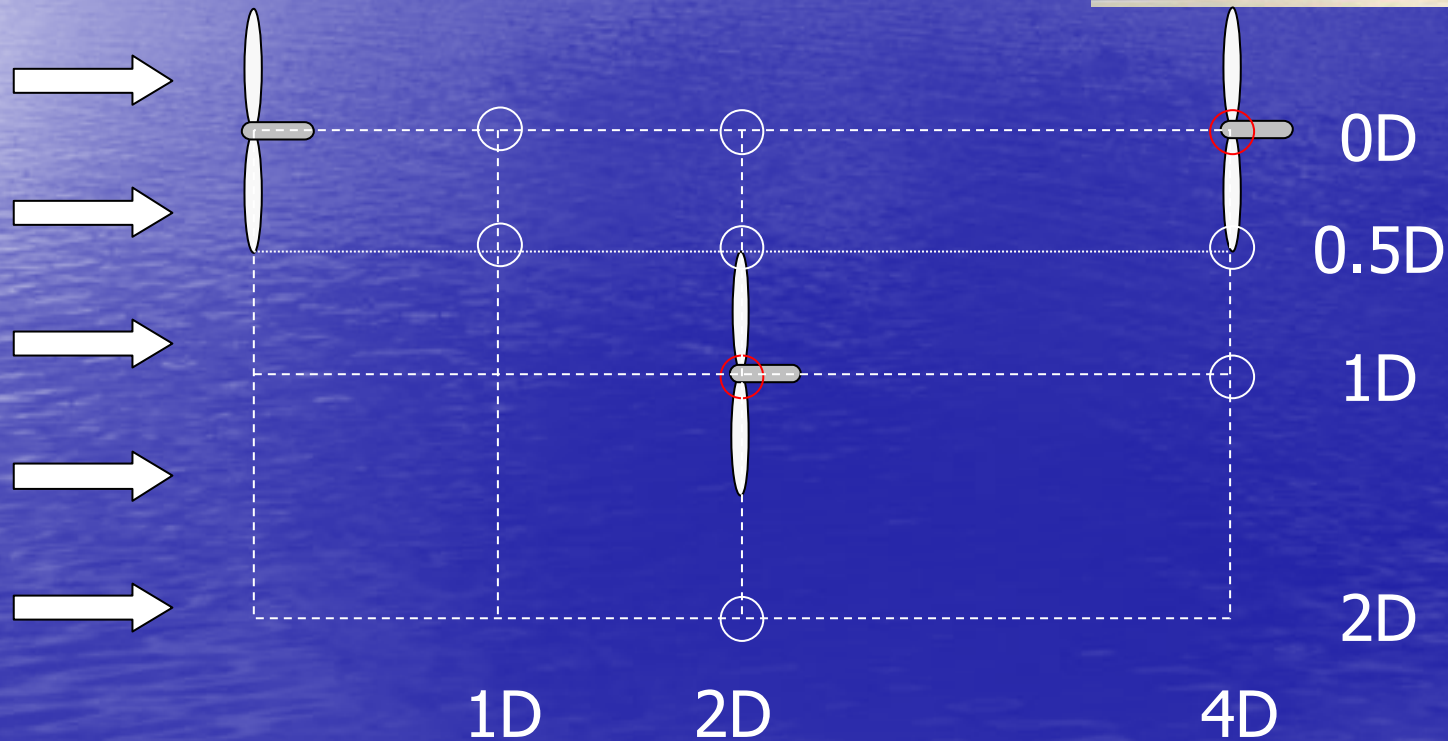
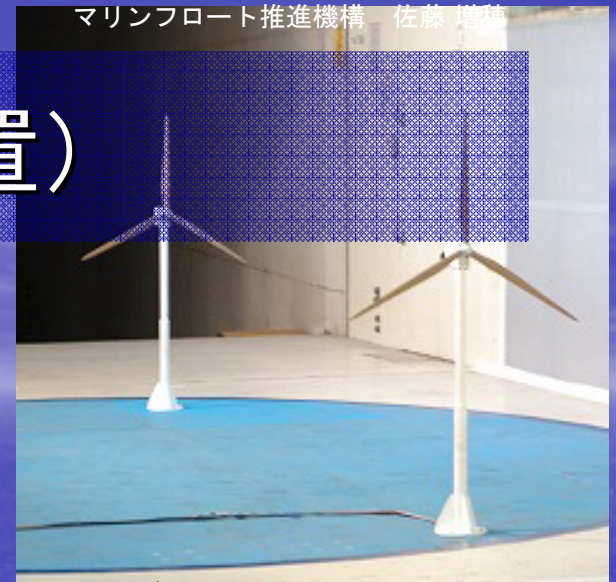


風車間隔の検討-1（前後配置）

• 模型の配置

一口径: 1.0m

(1/120模型, 計測風路: 5m × 6m)



回転軸のトルクを計測し, 出力に換算

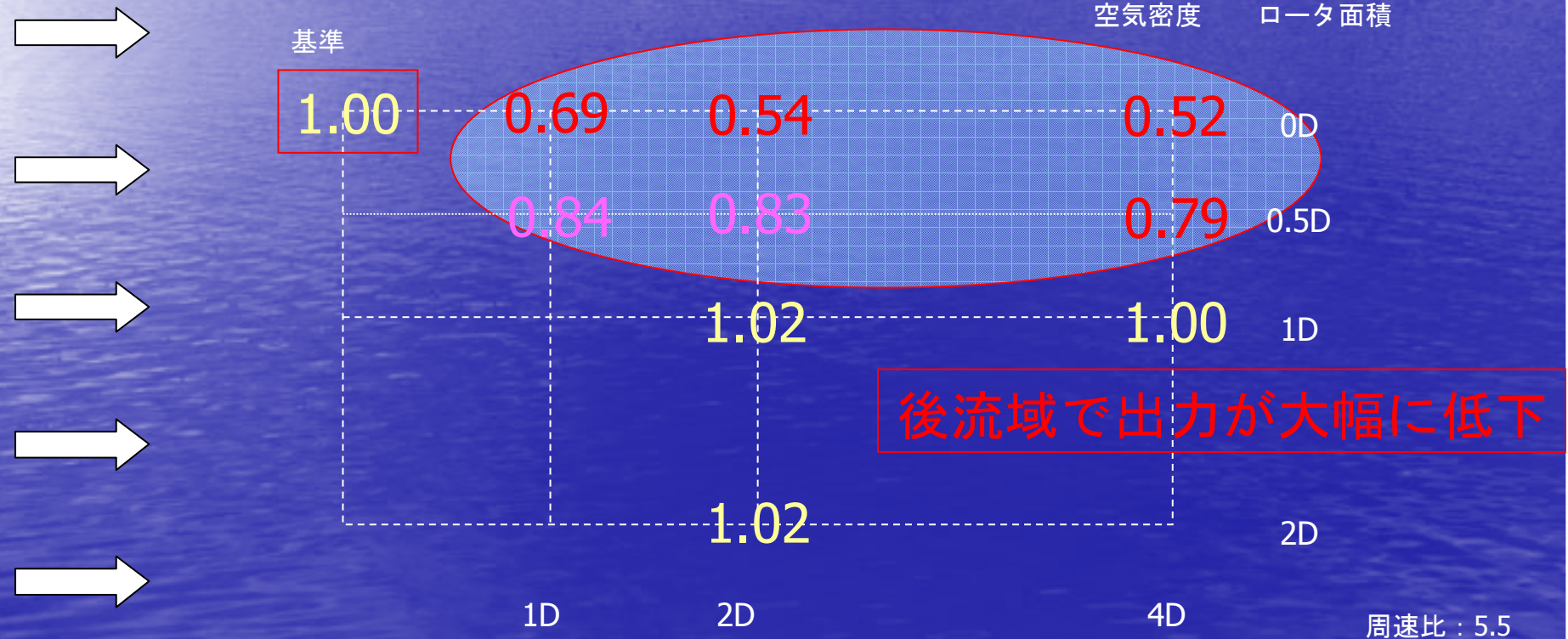
風車間隔の検討-1（前後配置）

•実験結果:出力係数(Cp)比

→最前列の風車のCpを基準にした比で整理

$$C_p = \frac{P}{0.5 \rho A V^3}$$

出力
流速
空気密度
ロータ面積



風車間隔の検討-1（前後配置）

•前後配置の可能性

—風車後流域に配置された風車の出力：通常の半分程度に出力低下



—発電をするのが目的であり，発電の効率を上げるような配置にする必要がある

十分な出力が得られない

•配置の再検討が必要

風車を横一列に配置

風車間隔の検討-2(左右配置)

•実験の目的

風車の前後配置:効率が大幅減

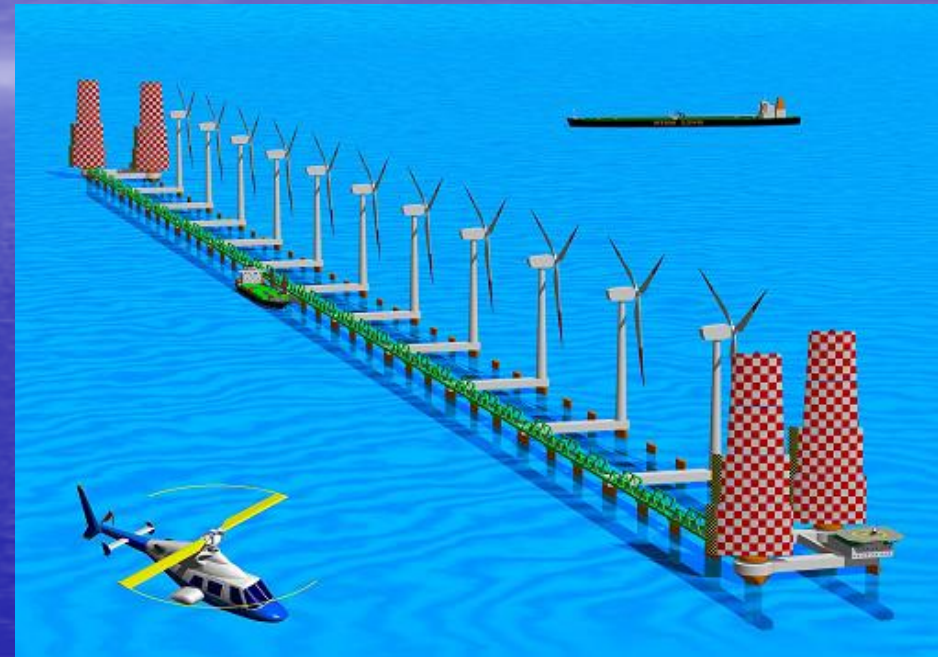


風車を横方向に並べる

•風車間隔をどこまで狭められるかを

- ・発電効率
- ・風の乱れ

の点から検証



風車間隔の検討-2（左右配置）

• 模型の配置

風車間隔

1.1~1.2D

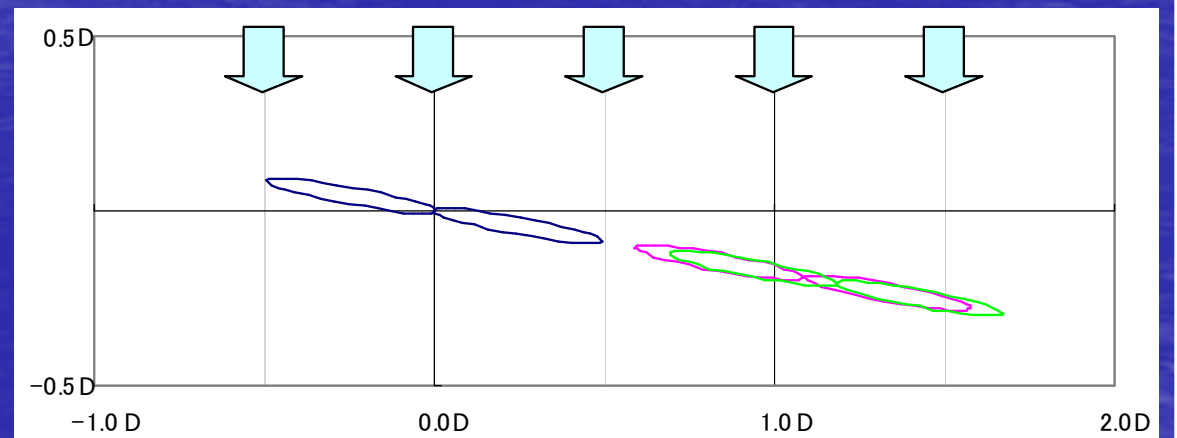
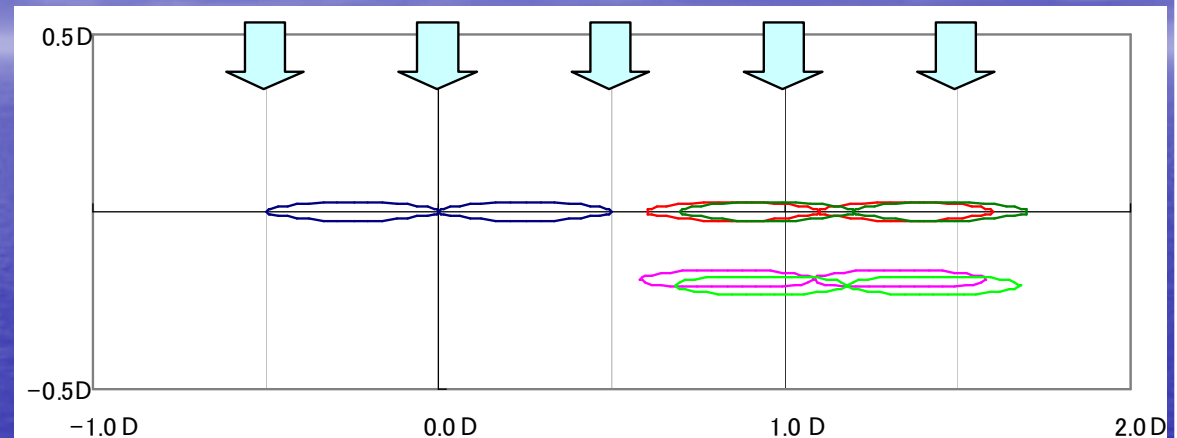
風向角

0~10°

—風車口—夕径 1.5m

（1/90模型）

—計測風路 3m × 10m



実験を行った風車の相対位置

風車間隔の検討-2（左右配置）

- 風車間隔が出力係数 C_p に及ぼす影響を調査

風車間隔	風向角	Yaw角	前方 C_p 比	後方 C_p 比
1.1D	0	0	1.04	1.06
1.1D	-10	10	1.02	1.08
1.2D	0	0	1.04	1.05
1.2D	-10	10	0.99	1.06
1.2D	-20	20	0.98	1.08
1.2D	-10	0	1.03	1.00

C_p 比（単体での C_p との比）はほとんど1

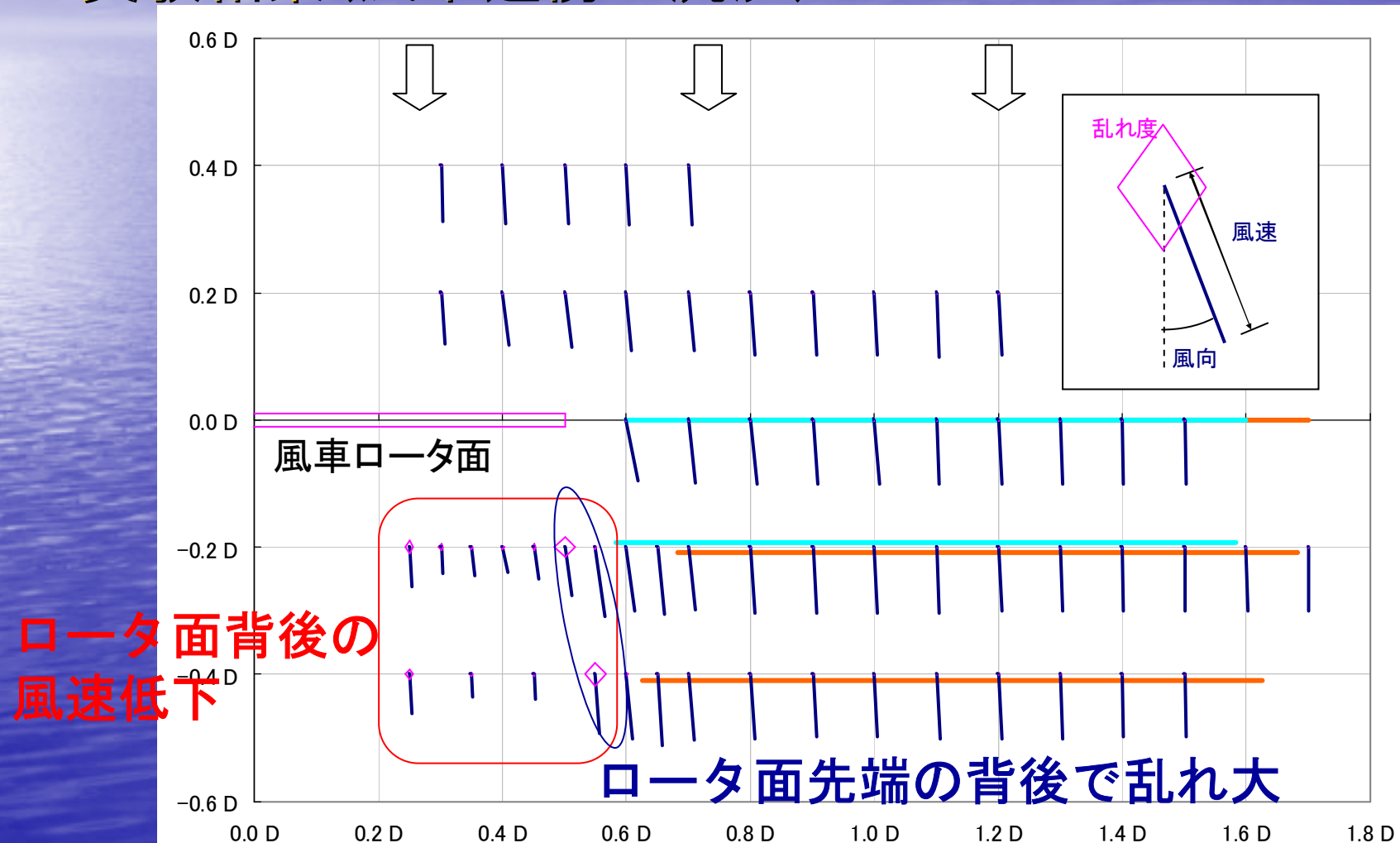


周速比：8.25

風車近接による出力低下はほとんど無い

風車間隔の検討-2（左右配置）

•実験結果（風車近傍の流況）



風車間隔の検討-2（左右配置）

•左右配置間隔について

ー横方向配置による出力低下はほとんど無い

ロータ面先端から

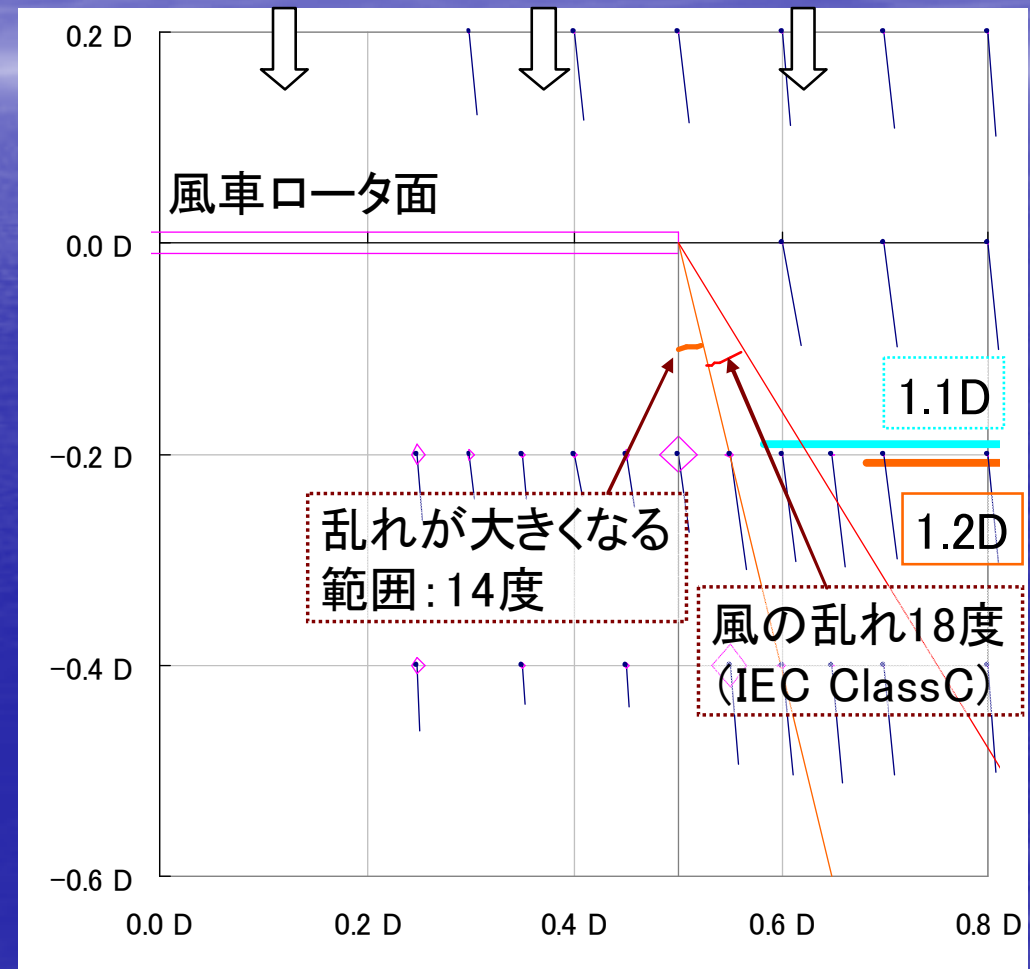
ー乱れが増幅されない:14度

ー風の乱れ:18度

＝32度の乱れ促進範囲を避ける

→風車間隔1.1Dでは後流側のロータが乱れ促進範囲に入る

•風車間隔は1.2D必要



浮体運動が風車に与える影響

検討の目的

- 暴風域を避ける浮体風車の強度は、疲労荷重が支配的になる可能性が高い
- 疲労強度に影響を与える因子
 - －風の乱れ：陸上風車でも考慮
 - －波による動揺：浮体運動で考慮
- 風車の計算に浮体運動を加味
 - －基本コンセプトの成立性を確認するため、タワーの強度（ナセル直下，タワー下部）について調査

浮体運動が風車に与える影響

既存の検討ツール

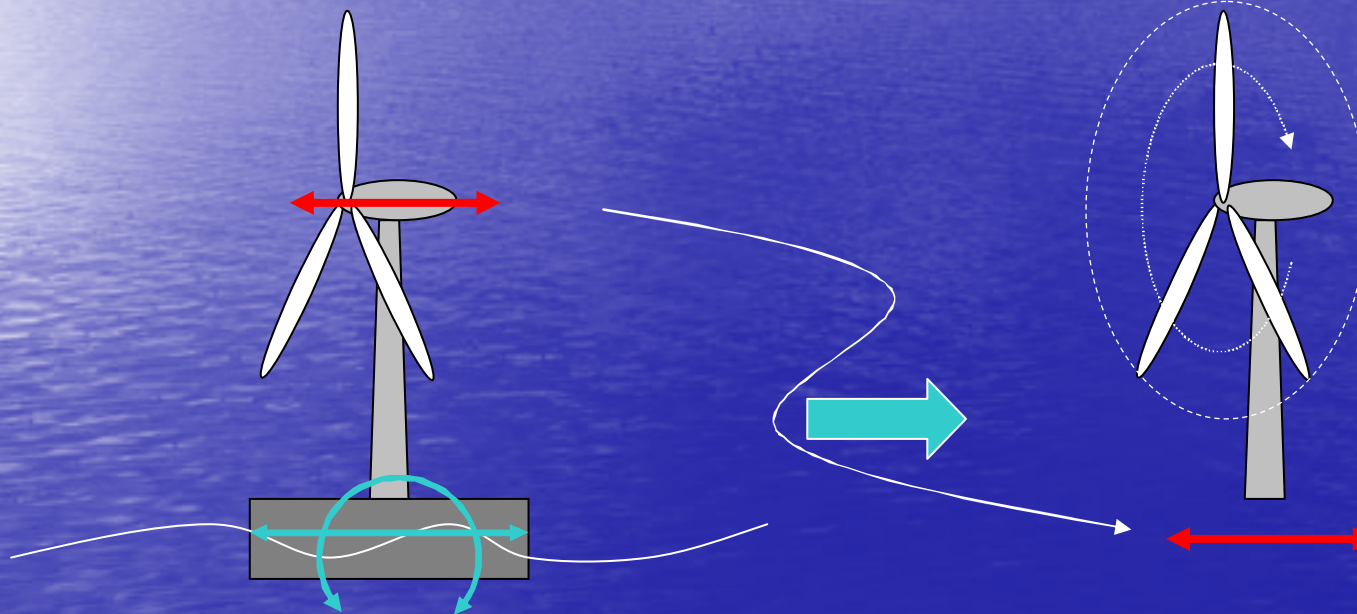
- 風車の計算: 風車設計支援ソフトBladedを使用
基礎の運動は水平方向のみ考慮可
- 浮体の計算: セミサブ構造の応答計算コード使用
風車のロータ部の回転, 減衰が評価できない

今回の計算方法

- 波方向は, 横波に限定
- 浮体運動 (Sway, Roll) から, ナセル位置における水平加速度時系列を作成
- Bladedで風車基部にナセル位置水平加速度を入力し, ロータ回転モデルにより荷重を評価

浮体運動が風車に与える影響

- 浮体運動による力を加速度として評価
- ロータの回転，減衰を考慮



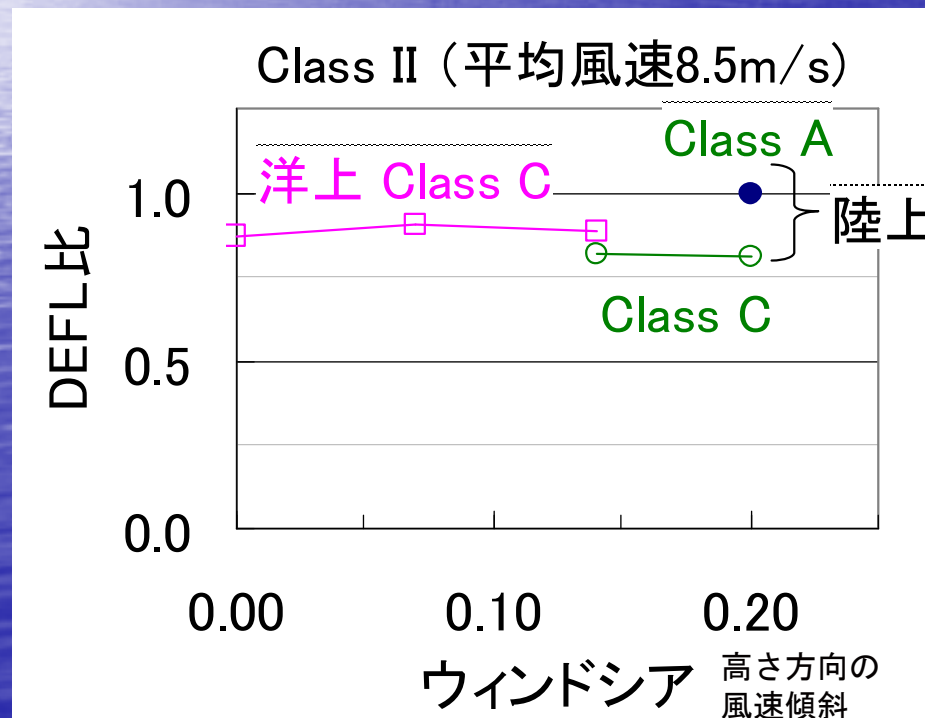
浮体運動から，ナセル部の
水平加速度を作成（時系列）

水平加速度を基礎部に与え，性能，
強度を計算（時刻歴計算）

浮体運動が風車に与える影響

• 計算結果：陸上ClassIIAでのDEFL(等価疲労荷重)との比

- ① 浮体の揺れにより, 1割程度の疲労荷重増加
- ② 風の乱れ(以下の定義参照)による疲労荷重への影響の方が大きい可能性あり



-IEC

主流方向の乱れ度

$$I_u = \frac{\sigma_u}{V_{hub}} = I_{ref} \left(0.75 + \frac{5.6}{V_{hub}} \right)$$

σ_u : 主流方向の標準偏差

V_{hub} : ハブ高さ平均風速

Class A: $I_{ref}=0.16$

Class C: $I_{ref}=0.12$

浮体運動が風車に与える影響

浮体運動の影響

- 浮体の運動(Sway, Rollの加速度)を考慮すると, 等価疲労荷重が1割程度上昇する

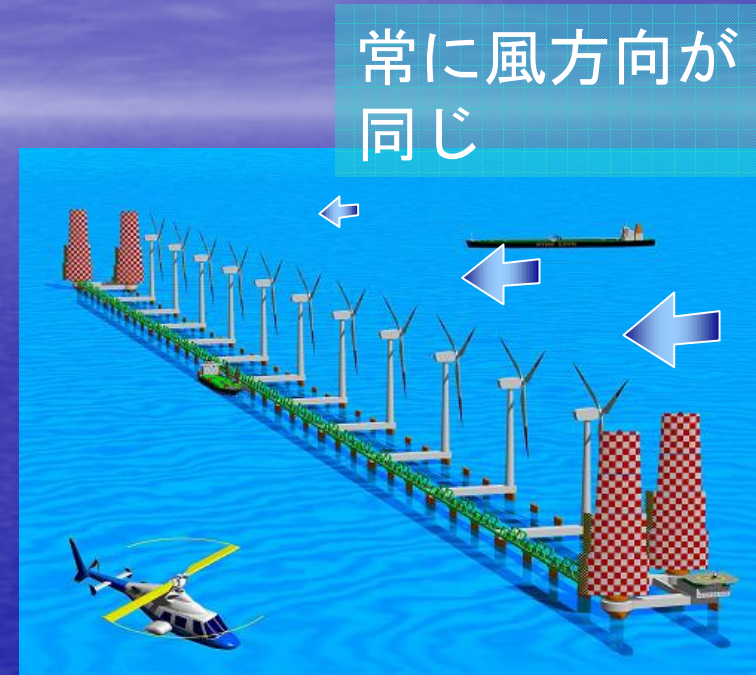
→ タワー設計の際に注意が必要

- ただし, 風の乱れによる影響の方が等価疲労荷重に与える影響が大きい

→ 洋上での風況精査が重要

非係留型浮体上の風車

- 非係留型浮体 浮体に対して風の方向が一定
- 風車のYaw制御を $\pm 20 \sim 30^\circ$ にすることができる
- タワーの形状は軸対象である必要がない

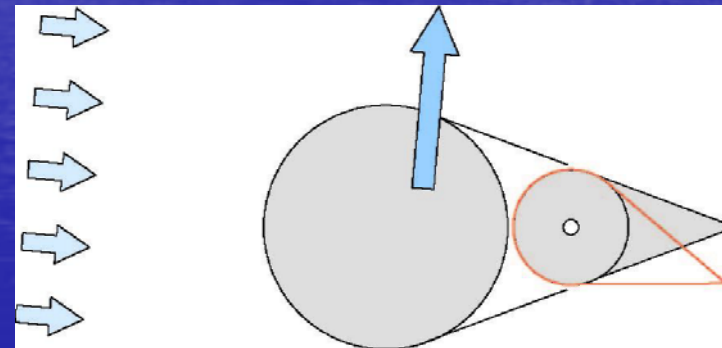
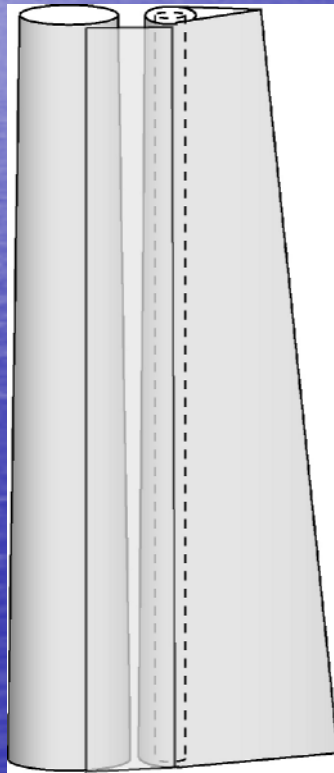


従来にないタワーの構造が採用できる

非係留型浮体上の風車

•翼付タワー

ータワー背後に翼を取付, 帆の補助装置として利用



まとめ

- 風車は、風に対して横方向に一列配列とするのがよい。
- 浮体横方向からの風を想定すれば、ロータ径の1.2倍の風車間隔を確保することで、風車後流の影響を排除し、出力を維持できる。
- 浮体の回転運動が風車タワーの疲労強度に影響を与える。ただし、風の乱れの違いによる影響も大きく、現地の波浪、風況の精査が必要

【付録】IECのClassの定義

風車クラス	I	II	III	S
参照風速 V_{ref}	50m/s	42.5m/s	37.5m/s	設計者が 規定する 数値
A	$I_{ref}=0.16$			
B	$I_{ref}=0.14$			
C	$I_{ref}=0.12$			

V_{ref} : 参照風速。ハブ高さにおける再現期間50年の10分間平均風速は V_{ref} を以下。年間平均風速は $V_{ave}=0.2V_{ref}$ で定義

I_{ref} : ハブ高さにおける10分平均風速が15m/sの時の乱れ強度の期待値