

浮体式洋上風力発電の洋上施工 に関する調査研究

日本海事協会—日本風力発電協会
共同研究 概要版

平成24年3月30日

一般社団法人日本風力発電協会

1

本共同研究は、日本風力発電協会が日本
海事協会から資金提供を受けて実施した
ものである（委託契約日：2011年8月25
日）。

2

概要

1. 目的

海外の経験豊富な業者に対して技術調査委託し、直接的に海外情報を得る。これを我が国の実情に合わせて評価することで、海外の先端技術の国内展開を図ることを目的とする。

2. 実施内容

- ① 海外業者への調査委託(含、前提条件の検討)
- ② 検討結果の取得および現地調査
- ③ 国内展開のための評価・検討
- ④ サブ・ワーキング・グループ(SWG)の運営

3

報告内容

1. 海外業者への調査委託

1-1. 前提条件の検討

1-2. 業者選定および委託

2. 調査結果

2-1. コンセプト比較評価

2-2. コスト評価

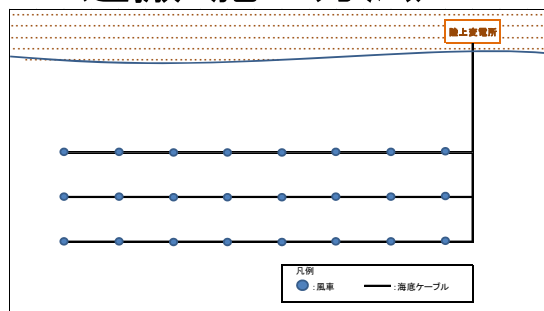
3. 評価・検討

4. 海外調査

4

前提条件(1)
(施設規模,風車の配置,組立・運搬・施工方法)

項目	前提条件	備考
対象海域	相模湾(モデル海域)	
水深	100m	
地形・底質	平坦、砂泥・シルト	
水温(表層)	15～29℃	気温(-5～33.5℃)
潮汐	0.92m,1.3m,0.3m	MSL,MHHW,MLLW
潮流	東流0.4kn、西流0.3kn	
風車	2.4MW	2.4MW機：三菱重工製を想定
	ハブ高：70m	5.0MW機：NREL Standard
	ナセル質量：108.4t	
	ブレード質量(1本)：10.5t	【水平荷重(FhorULC)】
	ハブ質量：61.7t	・2.4MW機：1000kN
	タワー質量：150t(4分割)	・5.0MW機：1700kN
	5.0MW	
	ハブ高：90m	
	ナセル質量：240t	
	ブレード質量(1本)：18t	
	ハブ質量：57t	
	タワー質量：347t(2分割)	
風力発電施設総出力	a) 5.76万kW b) 12万kW	a) 風車2.4MW b) 風車5.0MW
風車定格出力と基数	2.4MW級×24基 5.0MW級×24基	風車2ケース ・ロータ径：82m(2.4MW),126m(5MW) ・ハブ高：51m(2.4MW),90m(5MW)
風車の配置	3列、8基/列	
風車間距離	500m	
風力発電施設の範囲	7.5km ²	海底ケーブル敷設海域：幅500mと設定
浮体構造	浮体式スパー型(鋼製) 浮体式セミサブ型(鋼製)	
係留方式	カテナリー	
海底ケーブル総延長	風車間：10.5km 施設～陸側：6.7km	電圧：22kV 1ルート(8基×3系統)
洋上変電所	検討対象外	



風車の配置例



風車の組立・運搬・施工方法の例

前提条件(2)
風速・波浪等に係る施工用条件

分 類	項 目	設定値	備考
通常作業条件	風速	16m/s未満	
	有義波高	1.0m以下	
耐暴風条件	風速	55m/s	
	有義波高	6.8m	
	有義波周期	11.0sec	
積出港	潮位 MS L	1.1m	横浜港
	MHHW	1.6m	
	ML L W	0.4m	
	岸壁の長さ	230m	
	岸壁の水深	7.5m	
曳航条件	年平均風速	3.3m/s	木更津 (2010年度)
	年最大風速	13.8m/s	
	年平均有義波高	0.39m	第二海堡 (2009年度)
	年平均有義波周期	3.6sec	
	潮流	1.9kn	浦賀水道
曳航距離	横浜・本牧～金田湾	40m	ケース 1
	金田湾～現地	31km	
	横浜・本牧～館山湾	48km	ケース 2
	館山湾～現地	37km	
	横浜・本牧～初島	90km	ケース 3
	初島～現地	34km	

参考

モデル海域における気象・海象

分類	測点	項目	参考値	備考
風	江ノ島	平均風速 (m/s)	1.5	1991年度
		年最大風速 (m/s)	11.0	
		年最大風速の風向	S S W	
	三浦	平均風速 (m/s)	3.6	2010年度
		年最大風速 (m/s)	16.3	
		年最大風速の風向	S S W	
	大島	平均風速 (m/s)	5.3	2010年度
		年最大風速 (m/s)	17.5	
		年最大風速の風向	S S W	
	第二海堡	年平均風速 (m/s)	5.75	1996-2000年
	アシカ島	年平均風速 (m/s)	6.64	1993-2000年
波浪	下田港外	平均有義波高 (m)	0.91	2009年度 括弧内の数値 (1983-1999年)
		平均有義波周期 (sec)	7.0	
		年最大有義波高 (m)	8.49(6.71)	
		年最大有義波周期 (sec)	14.0(12.1)	
	波浮港外	平均有義波高 (m)	1.49	2009年度 括弧内の数値 (1973-1999年)
		平均有義波周期 (sec)	7.24	
		年最大有義波高 (m)	6.80(8.36)	
		年最大有義波周期 (sec)	11.10(14.2)	
	アシカ島	平均有義波高 (m)	0.59	2009年度 括弧内の数値 (1991-1999年)
		平均有義波周期 (sec)	4.7	
		年最大有義波高 (m)	3.90(6.12)	
		年最大有義波周期 (sec)	8.9(8.0)	

7

報告内容

1. 海外業者への調査委託
 - 1-1. 前提条件の検討
 - 1-2. 業者選定および委託
2. 調査結果
 - 2-1. コンセプト比較評価
 - 2-2. コスト評価
3. 評価・検討
4. 海外調査

8

業者選定

1) 選定先

Garrad Hassan (オランダ支社)

2) 選定理由

- 洋上風力で先行する欧州を地盤に、豊富な経験
- 洋上風力発電のFS調査、据付・設置に関するエンジニアリング等の実績を保有
- コンサルタントとして、中立的なコスト情報が分析可能

9

報告内容

1. 海外業者への調査委託

- 1-1. 前提条件の検討
- 1-2. 業者選定および委託

2. 調査結果

- 2-1. コンセプト比較評価
- 2-2. コスト評価

3. 評価・検討

4. 海外調査

10

Hywind概要(1)

実施機関: Statoil社
概念設計: 2001年開始
実証試験: 2009年開始継続中
(ノルウェー Stavanger沖10km)



(出典: Hywind)



定格出力:	2.3MW
風車質量:	138tons
ロータ直径:	82.4m
ハブ高:	65m
浮体喫水:	100m
排水量:	5300tons
喫水線の直径:	6.0m
水中の直径:	8.3m
水深:	200m
係留:	3本カテナリー

11

Hywind概要(2)



(出典: Hywind)



施工方法

- ① 静穏海域への浮体構造の運搬
- ② 静穏海域での風力発電装置の組立
- ③ 設置海域への風力発電装置の運搬

12

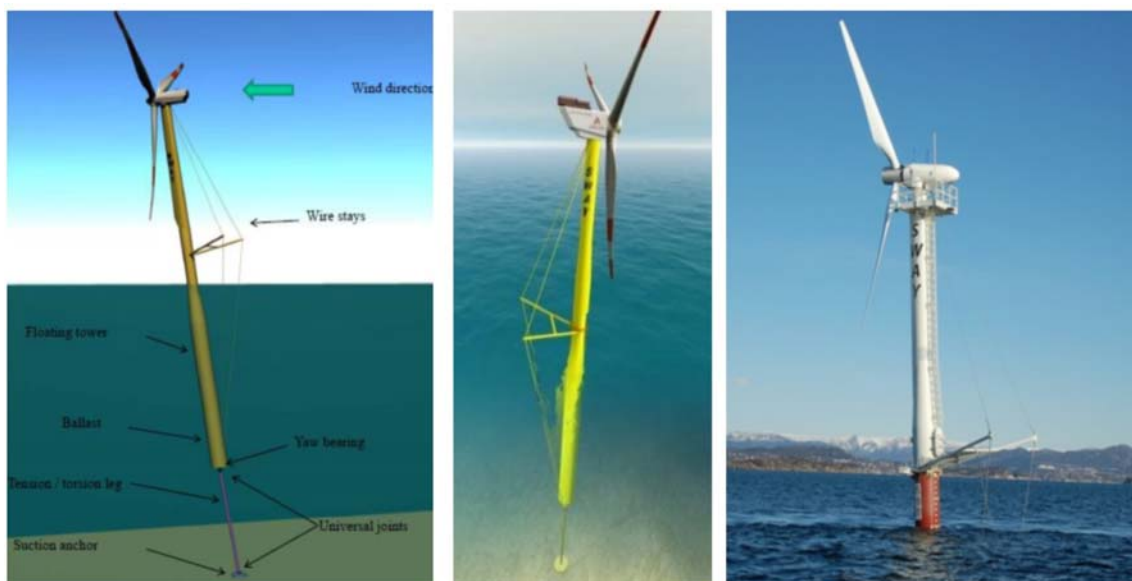
Hywindの評価

- 技術的に実現可能
- 実績があり確立されたシンプルな技術で構成
- 130m以深に適用可能
- ヨー方向の剛性・安定性に問題あり
- 5MW以上の風車に対して現状では不明瞭
- 浮体を起こして風車を搭載するサイトが静穏な海域に制限される
- ナセルの運動が大きいのでヘリコプターのアクセスが制限される

13

SWAYの概要

実施機関：Sway社、小形実証機は2011年6月より実証試験開始



【計画】5MW機(ダウンウインド方式), TLP型(張力ケーブル係留, テンドン1本), 適用水深80-400m
特徴: 浮体下部でユニバーサルジョイントによるヨーフリー機能

小形実証機 (7kW)
・2011.11.27: 強風により沈没
・2012.4: 再設置

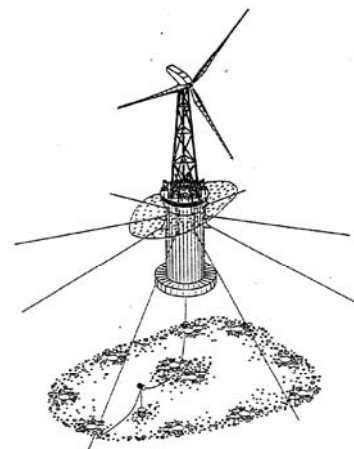
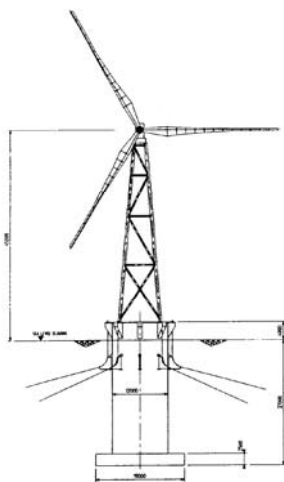
SWAYの評価

- 重量・コスト削減の幾つかの先進的なコンセプトの統合
 - バラスト量を削減できる1本足係留
 - ヒール角を相殺できるダウンウインド型傾斜風車
 - 鋼材重量低減や疲労強度向上に資するワイヤー・ブレース
 - 風見鶏を可能とする自由ヨー機構
- 一方で、多くのリスク有り、特に大水深で
 - 海底の耐力
 - 設置方法
 - 引っ張り・回転レグ機構
- 現状のプロトタイプ実験機は小さすぎて上記評価不能
- 2.6MWおよび10MWの計画を引き続き注視する必要あり

15

Technomare/GH FLOAT の概要

実施機関: Technomare, BTM Offshore Ltd, GH(1990年代初期に調査)



(出典: Garrad Hassan)

風車:1.4MW(ダウンウインド方式,フリーヨー),浮体上部(タワー):ラティス構造(56tons),
浮体:排水量3570tons/直径12m/長さ28.5m,制振装置用底部ディスク:直径19m,厚さ
2.5m,鋼管コンクリート:バラスト780tons,係留:8本

16

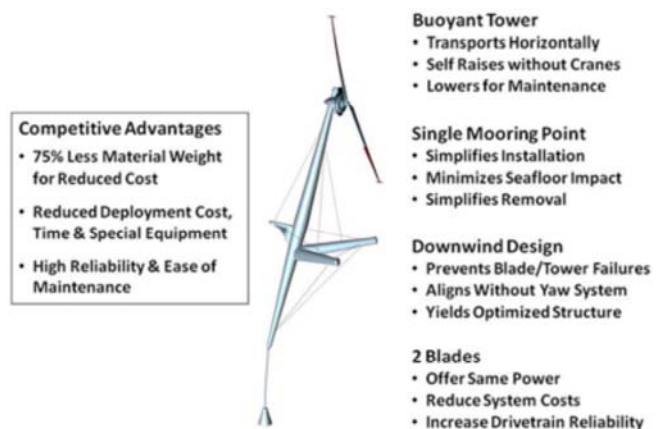
Technomare/GH FLOAT の評価

- 技術的に実現可能: 既往の海洋技術で構成
- 理論解析や実験データに基づく構造
- 複雑で高価な係留
- 5MW以上の風車に対しては未確認
- 比較的に浮体直径が大きく、波による動揺大
- 当コンセプトの技術はセミサブに引き継がれる
 - ダウンウインド
 - 高速の周速
 - パッシブ・ヨー制御

17

AFT (Advanced Floating Turbine) の概要

実施機関: Nautica Windpower (1991年に米国エネルギー省から資金援助)



出典: Nautica Windpower tension leg spar concept
<http://www.nauticawindpower.com/>

風車:2枚翼(ダウンウインド方式),浮体・係留形式:スパー型+テンションレッグ係留(Swayのスパーと同様にタワー基部より1点係留)

18

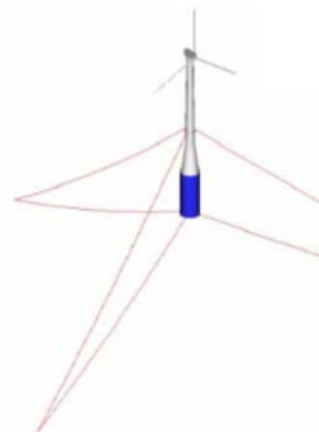
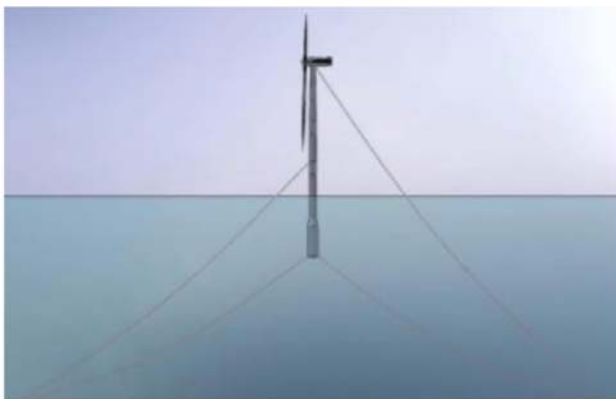
AFTの評価

- 幾つかの先進的且つ良い特徴を持つ:コスト低減を見込む
- 現在は早期開発ステージ
- 全ての技術を一気にMWスケールに実証するのはリスク
- 米国政府の補助による今後の開発を注視する

19

MIT(Massachusetts Institute of Technology) spar の概要

実施機関: MIT(2005年の修士論文)



出典: Lee, K. H. "Responses of Floating Wind Turbines to Wind and Wave Excitation",
Master of Science Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2005.

浮体・係留形式:スパー型で浮体の上下に接続された2本のトート
係留によりピッチとロールの抑制可能な方式

20

MIT spar の評価

- トート係留により上下揺れ・縦揺れ・横揺れを抑制
- 大型風車を制限された傾斜角の中で運用可能
- トート係留は複雑で高価
- ヨー方向安定性のためには係留を更に1ライン追加する可能性あり
- トート係留は現段階では不明瞭な部分があり、費用対効果を更に検討する必要あり

21

Wind Float の概要(1)

実施機関: Principle Power(米国の会社、メイン大学が主導、米国エネルギー省より資金援助)
* ポルトガルの実証試験: Principle Power, EDP, InovCapital, Vestas *et al*が参加



出典: Principle Power WindFloat semi-submersible concept
<http://www.principlepowerinc.com/>

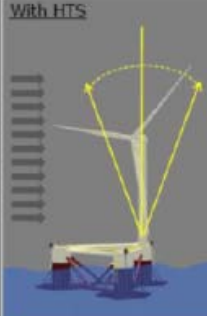
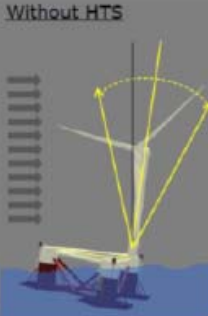
定格出力:	3.6MW
ロータ直径:	120-150m
ハブ高:	80-90m
ナセル重量:	225-315tons
タワー重量:	180-315tons
浮体重量:	1080-1600tons
排水量(含,バラスト):	<5300tons
喫水:	~20m
係留:	4本カテナリー

2011年11月にポルトガル北部Agucadoural15km沖にプロットタイプの施設を設置

【技術的特徴】3本のコラムの1本に風車を設置し、コラム内のバラスト水を循環させて、動揺を低減する方式(HTS:Hull Trim System,浮体釣合いシステム)

22

Wind Float の概要(2)

Synopsis: -Optional (WindFloat can work without) -Ballast water moving from column to column -Improve platform efficiency · Increase power output · Reduce overall steel weight -Included in damage stability calculations -Patent pending	With HTS	Without HTS
		
Mean pitch	0 °	~ 3°-5°
Dynamic pitch	~±5°	~±5°
Max pitch design angle (for operation)	~5°	8°-10°
Turbine mean frontal area	πr^2	$\pi r^2 \cos(5^\circ)$
Max bending moment at tower-column location	Smaller	Larger

出典: Principle Power
"WindFloat Presentation",
presented at EWEA 2011,
Brussels, March 15th

HTS(Hull Trim System:浮体釣り合いシステム)の稼働により
ピッチ角と曲げモーメントが低減

・HTS設置のメリットは追加コスト、稼働に必要なエネルギー
ロス等と相殺されることにある。

23

Wind Float の概要(3)



出典: Principle Power
"WindFloat Presentation",
presented at EWEA 2011,
Brussels, March 15th

出典: Roddier, Dominique; Cermelli,
Christian; Aulault, Alexia &
Weinstein, Alla. WindFloat: a
floating foundation for offshore wind
turbines. Journal of Renewable and
Sustainable Energy, 033104, June 2010

水理模型実験、ドック内での組立、曳航準備等の状況

24

Wind Float の評価

- 技術的に実現可能で、経済的に魅力あり
- 優秀な既往技術を利用
- 静的に安定で、大水深を要しない
- 5MW以上の風車を岸壁で搭載し、安価なタグボートで現地に曳航できる
- 3本脚コンセプトの中で最も動揺が少ないと思われるが、同時に復原性も高い
- 40～50m以深のあらゆる水深に対応でき、全てのプロジェクトを単一設計で対応できる
- ヘリコプターのアクセスが可能
- 主な設計検討項目は、動揺制御、風車の機能性、浮体構造のコスト最適化
- 2MW機の実証および今後の開発を注視していくことが推奨される

25

Drijfwind Trifloater概要

実施機関: ECN, TNO, MARIN, Lagerwey, Delft University of Technology,
GustoMSC (オランダ)

【風車】 5MW(直結式)

・ハブ高: 83m	・ロータ直径: 115m
・タワー頂部直径: 4.5m	・タワー基部直径: 7.5m
・ロータ・ナセル質量: 370tons	・タワー高: 65m
・浮体設備質量: 1,080-1,600tons	・タワー質量: 332tons
・浮体の喫水: ~20m	・総排水量: 5,500tons未満

【浮体形式】 セミサブ型

・浮体設備の直径: 8m	・浮体中心部間の長さ: 68m
・浮体基部の平板直径: 18m	・浮体設備の高さ: 24m
・排水量: 2480tons	・喫水: 12m
	・鋼材質量(風車を除く): 1150tons

【係留形式】 カテナリー係留

・チェーン長: 225m	・係留索: 6本	・サクシオンパイルアンカ
・ケーブル質量: 135tons	・チェーン質量: 615tons	・ケーブル長: 225m
	・中心部からのアンカーの半径: 400m	



Drijfwind Trifloater の評価

- 技術的に実現可能で主として既往の技術で構成
- Wind Floatと似たコンセプトであり、得られている結果も似ている。但し、Wind Floatより遅れており実証実験も実施していない
- 鋼材重量が重く、コスト的に厳しい

27

WinFlo の概要

実施機関: Nass-et-Wind Industrie (フランス)



出典: Nass-et-Wind Industrie

風車: 2.5MW, 浮体形式: セミサブ型

28

WinFlo の評価

- Wind Float やDrijfwind Trifloaterと類似の3本脚のコンセプト
- 早期開発ステージにあり、他のコンセプトに比べて優位か否か、詳細はあまり分からない
- 2012-2014に実証実験をするとのことであるが、未だオフショアプロトタイプもない
- あらゆる海底状態に対応する優秀な係留というのは、今後明らかになるとされる

29

Blue-H の概要(1)

実施機関: Blue-H Technology (オランダ)



出典: Blue H tension leg platform concept
www.bnbluehgroup.com

Blue-H Phase I TLP

風車: 80kW(2枚翼; ティーターリング・ハブ), 浮体形式: セミサブ型(6本コラム), 係留方式: テンションレグ)

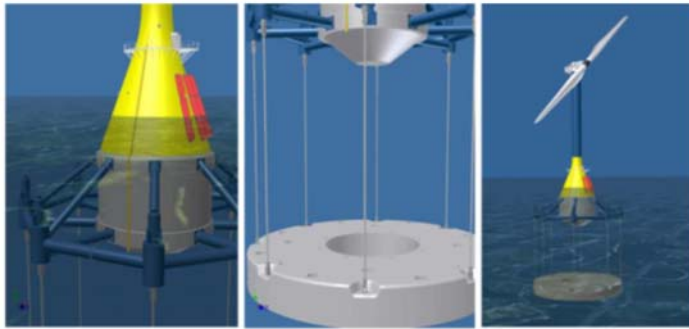
【実証試験】

2008年2月 イタリア南部Puglia州Tricasa沖合19.6km、水深108mの海域で試験を実施(但し、試験終了後2009年に撤去)

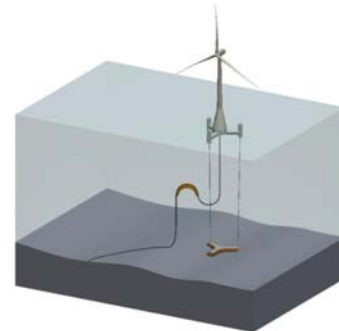
30

Blue-H の概要(2)

実施機関:Blue-H Technology (オランダ)



Phase III TLP 出典: Blue H tension leg platform concept
www.bnluhgroup.com



Phase IV TLP

Blue-H Phase III TLP

風車: 5MW(2枚翼), 浮体形式: セミサブ型(8本コラム), 係留方式: テンションレグ (リングビームアンカー)

Blue-H Phase IV TLP

風車: 5MW(3枚翼), 浮体形式: セミサブ型(3本コラム), 係留方式: テンションレグ

31

Blue-H(Phase III TLP)の評価

- 技術的に実現可能
- 安定したアクセシビリティを提供できる可能性
- 開発ステージにあるものの、既にプロトタイプ実験を実施し、2MW機による90MWサイトを2012年に作るとの話もある
- 先進的な重力式リングビームアンカーは幾つかの利点がある
- それより、もっと重要な課題は、TLPとしての;
 - 全て搭載した状態での曳航安定性
 - 衝撃荷重や暴風時係留損傷に対する耐力
 - 岸壁での組立時の喫水
- 今後注意深くモニターする必要がある

32

MIT/NREL TLP の概要

実施機関: MIT/NREL(アメリカ)

風車: 5MW(NREL)

浮体: 直径18m

喫水47.89m

厚さ1.5cm

質量(含むバラスト)8600tons

排水量12180m³

平均鋼鉄密度7850kg/m³

平均コンクリート密度2562kg/m³

係留: 係留索8本(4組)

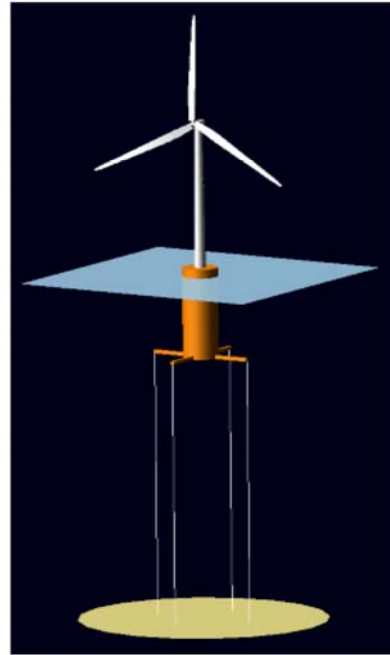
放射状突起物の中心からの長さ18m

係留索の長さ151.73m

単位長当たりの質量116.03kg/m

1本当たりの平均係留系の張力3931kN

*適応水深: 200m以上



出典: Musial et al, Feasibility of Floating Platform Systems for Wind Turbines, NREL 2003 他

33

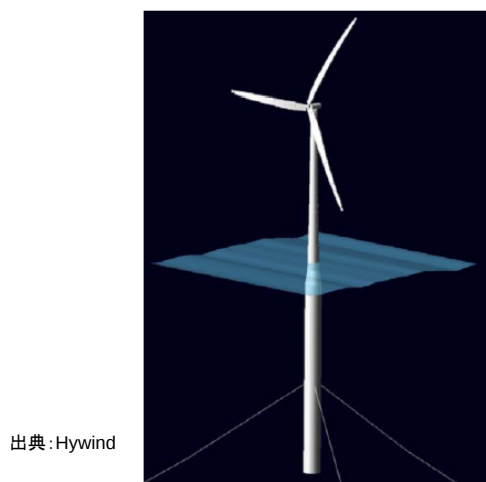
MIT/NREL TLP の評価

- 技術的には実現可能
- 喫水が50mであり、水深は200m以上に適応
- 5MW機に対する、ヨ一方向の剛性・安定性は、システム最適化の中で解決する必要がある
- 例えばSPARでの建造や係留の単純さなどと比べて、何が特長となるのか判断が困難

選定された2種類のコンセプト

スパー型、セミサブ型、TLP型の3つの浮体形式のモデル海域への適合性の検討とともに、以下の理由に基づきスパー型、セミサブ型を選定した。

- ① スパー型：製造コストが比較的安価であること。
- ② セミサブ型：運搬・設置が比較的容易で、コストも安価であること。
- ③ TLP型：設置コストが比較的高く、設置海域の海底地形、地盤条件に依存すること。



出典：Hywind

スパー型：Hywindを想定



出典：Principle Power WindFloat semi-submersible concept
<http://www.principlepowerinc.com/>

セミサブ型：Wind Floatを想定

35

モデル海域(相模湾)への適合性 (スパー型)

- Hywindの設置事例(2MWで喫水100m、水深220m)から類推すると、想定した設置海域の水深は浅いけれども、浮体の動揺が緩和された大直径の喫水が浅いスパー型であれば、その適合も有り得る。
- 相模湾における波浪条件(波高別発生頻度等)は、北海(ドイツの領海)とほぼ同等とみることができることから、我が国での作業船の工程や費用の検討に、本研究のスパー型施工に係る作業船の稼働日数等の結果が適合し得るとした。
- 係留方式は検討が必要であるが、適切な方式が選択可能である。

36

モデル海域(相模湾)への適合性 (セミサブ型)

- Wind Float の喫水は13mであり、50m以上の水深に適用されるもので、セミサブ型は想定した設置海域の水深に適合する。
- Wind Floatの設置海域(ポルトガル沖)の波浪条件(波高別発生頻度等)の詳細は不明であるが、相模湾あるいは北海(ドイツの領海)における波浪条件とほぼ同等とみなし、我が国での作業船の工程や費用の検討に、本研究のセミサブ型施工に係る作業船の稼働日数等の結果が適合し得るとした。
- 係留方式は検討が必要であるが、適切な方式が選択可能である。

37

報告内容

1. 海外業者への調査委託
 - 1-1. 前提条件の検討
 - 1-2. 業者選定および委託
2. 調査結果
 - 2-1. コンセプト比較評価
 - 2-2. コスト評価
3. 評価・検討
4. 海外調査

38

コスト評価における主な仮定

- エンジニアリングおよびプロジェクト管理コスト
⇒全コストの3-5%と言われるが、ここでは5%とした
- 風力発電機: 2MW→2.8M€、5MW→8.0M€
- 鋼構造(材工込み): 2-4€/kg→平均3€/kg
- 塗装: 外部: 55,- €/m²、内部空所: 0,- €/m²、
バラストタンク: 80,- €/m²、内部(乾燥): 40,- €/m².
– ブラストSa2½
– プライマー+エポキシ(1層)+エポキシまたはポリウレタン(1層)

39

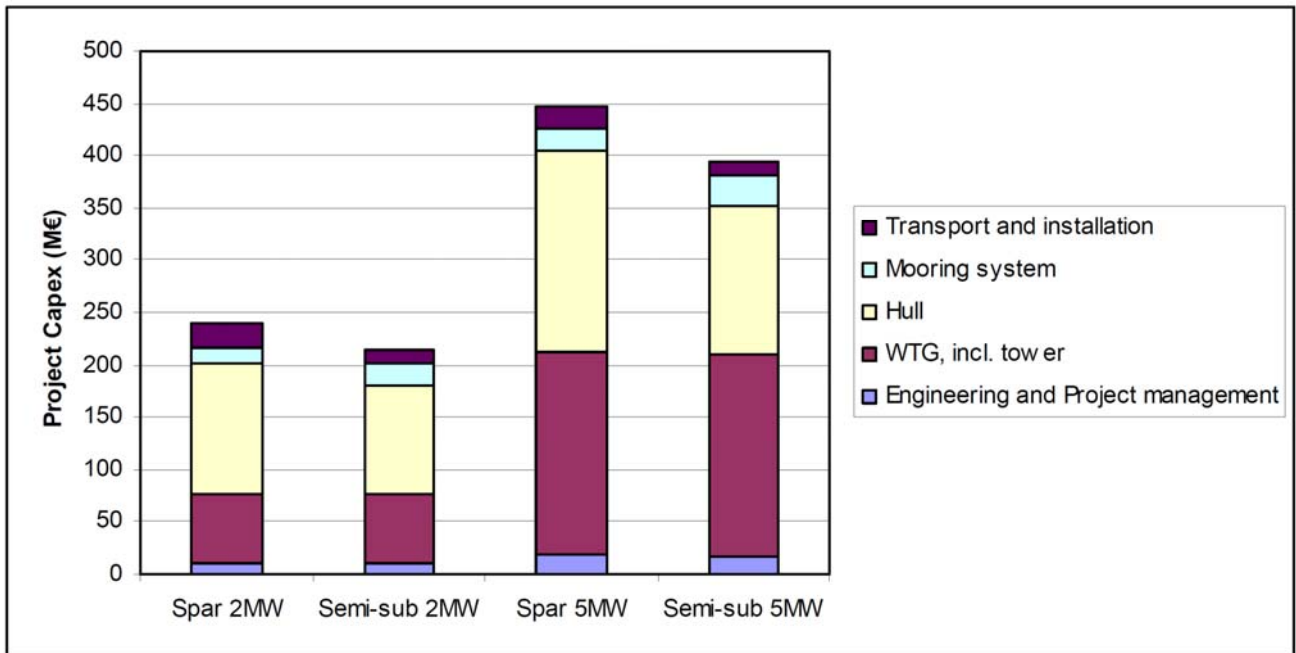
コスト評価(1)

CapEx estimate project (24 units)	Spar 2MW	Spar 5MW	Semi-sub 2MW	Semi-sub 5MW
	M€	M€	M€	M€
Engineering and Project management	12	21	10	19
WTG, incl. tower	67	192	67	192
Hull	125	192	104	141
Mooring system	15	21	21	30
Transport and installation	23	23	13	13
Total	242	449	215	395

参考: M€=1.1億円(110円/€)

40

コスト評価(2)



参考: M€=1.1億円(110円/€)

41

コスト評価(3)

	Spar 2MW	Spar 5MW	Semi-sub 2MW	Semi-sub 5MW
	M€/MW	M€/MW	M€/MW	M€/MW
Cost/MW (<u>excl.</u> Electrical infrastructure)	5.0	3.7	4.5	3.3
Cost/MW (<u>incl.</u> Electrical infrastructure)	6.7	4.9	6.0	4.4

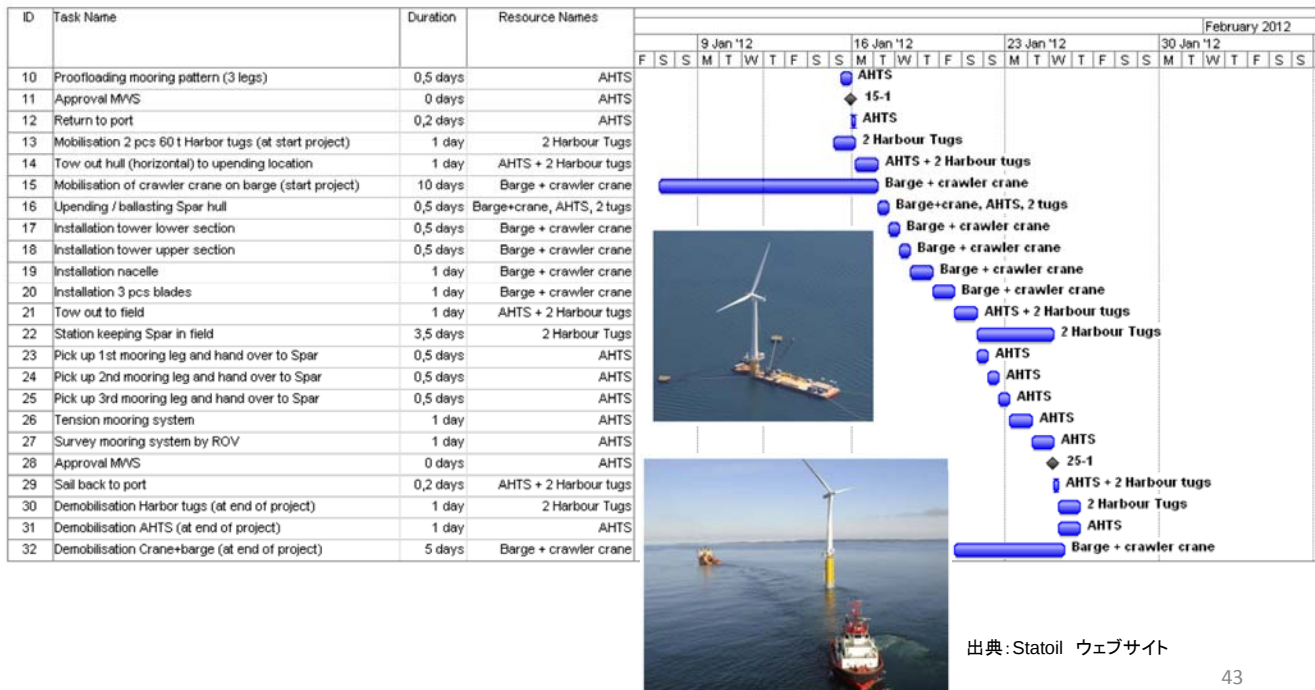
参考: M€=1.1億円(110円/€)

着床式のCAPEX(建設単価): 3.8~4.0M€/MW

* 海底ケーブル敷設費用を含む。

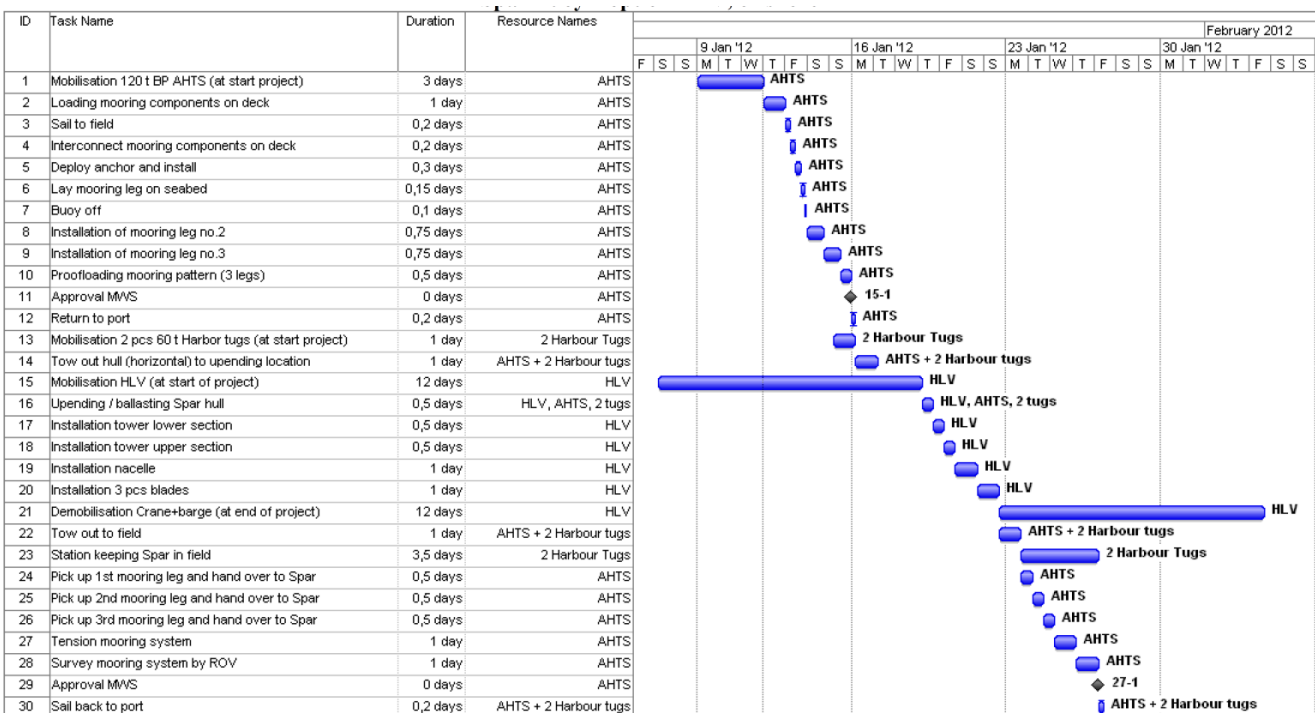
42

工程(スパー型・湾内組立)



43

工程(スパー型・湾外組立)



44

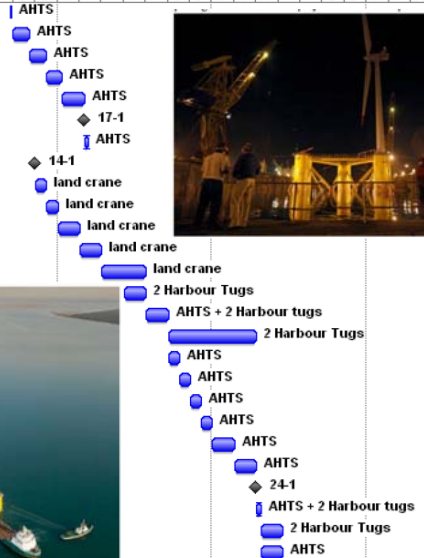
工程(セミサブ型)

出典: Starming, "Windmill on the ocean",

<http://www.starming.com/index.php?action=plugin&v=wave&tpl=union&ac=viewgroup&post&gid=34460&tid=16641>

ID	Task Name	Duration	Resource Names	9 Jan '12							16 Jan '12							23 Jan '12							30 Jan '12							February 2012						
				F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S				
7	Buoy off	0,1 days	AHTS																																			
8	Installation of mooring leg no.2	0,75 days	AHTS																																			
9	Installation of mooring leg no.3	0,75 days	AHTS																																			
10	Installation of mooring leg no.4	0,75 days	AHTS																																			
11	Proofloading mooring pattern (2 pairs)	1 day	AHTS																																			
12	Approval MWS	0 days	AHTS																																			
13	Return to port	0,2 days	AHTS																																			
14	Semisub moored in harbour, in front of quay	0 days	land crane																																			
15	Installation tower lower section	0,5 days	land crane																																			
16	Installation tower upper section	0,5 days	land crane																																			
17	Installation nacelle	1 day	land crane																																			
18	Installation 3 pcs blades	1 day	land crane																																			
19	Commissioning of WVTG	2 days	land crane																																			
20	Mobilisation 2 pcs 60 t Harbor tugs (at start project)	1 day	2 Harbour Tugs																																			
21	Tow out to field	1 day	AHTS + 2 Harbour tugs																																			
22	Station keeping Semi sub in field	4 days	2 Harbour Tugs																																			
23	Pick up 1st mooring leg and hand over to Semi sub	0,5 days	AHTS																																			
24	Pick up 2nd mooring leg and hand over to Semi sub	0,5 days	AHTS																																			
25	Pick up 3rd mooring leg and hand over to Semi sub	0,5 days	AHTS																																			
26	Pick up 4rd mooring leg and hand over to Semi sub	0,5 days	AHTS																																			
27	Tension mooring system	1 day	AHTS																																			
28	Survey mooring system by ROV	1 day	AHTS																																			
29	Approval MWS	0 days	AHTS																																			
30	Sail back to port	0,2 days	AHTS + 2 Harbour tugs																																			
31	Demobilisation Harbor tugs (at end of project)	1 day	2 Harbour Tugs																																			
32	Demobilisation AHTS (at end of project)	1 day	AHTS																																			





出典: Principle Power Facebook pages,

<http://www.facebook.com/principlepower#!/photo.php?fbid=10150499764971142&set=a.10150251573896142.367257.195455976141&type=1&theatre>



製造コスト詳細(スパー型: 5MW)

Spar1 - 5MW Class						
Catenary moored spar (Hywind type)						
Foundation structure	min. cost	max. cost	weight	weight (w/ risk)	Class/ rate	cost/weight
Hull steel structure:			1.585 tonnes			
Interface with tower base	276 k€	415 k€	69 tonnes		4	4,00 €/kg
Column Spar upper Q	554 k€	1.108 k€	277 tonnes		3	2,00 €/kg
Column Spar second Q	568 k€	1.132 k€	283 tonnes		3	2,00 €/kg
Column Spar third Q	485 k€	971 k€	243 tonnes		3	2,00 €/kg
Column Spar lower Q	405 k€	809 k€	202 tonnes		3	2,00 €/kg
Stiffening of column	557 k€	1.074 k€	268 tonnes		3	2,00 €/kg
Bulkhead, incl bottom end	174 k€	349 k€	87 tonnes		3	2,00 €/kg
stiffening bulkhead	44 k€	87 k€	22 tonnes		3	2,00 €/kg
strongpoints for mooring	360 k€	540 k€	90 tonnes		4	4,00 €/kg
walkways	60 k€	90 k€	15 tonnes		4	4,00 €/kg
access platform	40 k€	60 k€	10 tonnes		4	4,00 €/kg
boastanding fender, ladder/staircase, cage	54 k€	81 k€	14 tonnes		4	4,00 €/kg
pipings for ballast system	9 k€	10 k€	5 tonnes		2	1,70 €/kg
Fixed ballast			6.000 tonnes			
Ballast material (Orecrete/Magnetite), incl dumping	1.200 k€	2.400 k€			1	0,20 €/kg
Coating and corrosion protection						
external surface	227 k€	273 k€	4.132 m²			55 €/m²
ballast tanks	207 k€	248 k€	2.283 m²			80 €/m²
void space	0 k€	0 k€	2.283 m²			0 €/m²
internal dry	59 k€	71 k€	1.476 m²			40 €/m²
ICCP system	40 k€	48 k€				
Marine systems						
Service utilities	20 k€	24 k€				
Climate systems	30 k€	36 k€				
fire fighting	40 k€	48 k€				
hydraulic system	30 k€	36 k€				
signalling equipment	20 k€	24 k€				
ballast and trim system	90 k€	108 k€				
monitoring system	80 k€	96 k€				
control system	60 k€	72 k€				
electrical internal cabling system	30 k€	36 k€				
emergency power	20 k€	24 k€				
Total foundation structure	5.706 k€	10.256 k€	7.585 tonnes	cost (central):	7.981 k€	
Other: weight incl ballast			6.000 tonnes			3,00 €/kg
Ballast	min. cost	max. cost	weight	length per wd	Class	cost/weight or cost/length
Ballast	1.200 k€	2.400 k€	6.000 tonnes	cost (central):	1.800 k€	0,20 €/kg
Total ballast	1.200 k€	2.400 k€	6.000 tonnes	cost (central):	1.800 k€	0,20 €/kg
Mooring system	min. cost	max. cost	weight	length	Class	cost/weight or cost/length
Anchor wires	142 k€	212 k€	55 tonnes	590 m		80,00 €/m
Anchor chains	197 k€	216 k€	55 tonnes	130,0 m	1	1,20 €/kg
Anchors Stepris Mk6	225 k€	338 k€	15 tonnes			5,00 €/kg
Misc. anchor system: connectors	60 k€	75 k€			3	2,00 €/kg
Chain tensioner: fairleads (3 pcs)	150 k€	180 k€				7,50 €/kg
Total mooring system	773 k€	1.021 k€		cost (central):	897 k€	2,20 €/kg
SPAR1 Outline group						

浮体設備
7981k€
係留システム
897k€
バラスト
1800k€

製造コスト詳細(セミサブ型: 5MW)

Semi-submersible 5 MW Class									
Three column & wet on a column (Windfloat type)									
Foundation structure	min. cost	max. cost	Weight	Total weight (wp r)	min. rate	max. rate	number		
Hull steel structure									
Column for WTC	530 k€	1,061 k€	246 tonnes		3	2,00 €/kg	4,00 €/kg		
Internal stiffening	133 k€	265 k€	46 tonnes		3	2,00 €/kg	4,00 €/kg		
Transition tower to column	174 k€	348 k€	87 tonnes		3	2,00 €/kg	4,00 €/kg		
Internal platforms (2 pcs)	68 k€	136 k€	34 tonnes		3	2,00 €/kg	4,00 €/kg		
Internal platforms (2 pcs) stiffening	6 k€	11 k€	3 tonnes		3	2,00 €/kg	4,00 €/kg		
Column opposite turbine	708 k€	1,416 k€	354 tonnes		3	2,00 €/kg	4,00 €/kg		
Internal stiffening	177 k€	354 k€	88 tonnes		3	2,00 €/kg	4,00 €/kg		
End plates	74 k€	148 k€	37 tonnes		3	2,00 €/kg	4,00 €/kg		
Internal stiffening	19 k€	37 k€	9 tonnes		3	2,00 €/kg	4,00 €/kg		
Internal horizontal bulkheads (tanks)	85 k€	169 k€	43 tonnes		3	2,00 €/kg	4,00 €/kg		
Internal stiffening bulkheads	21 k€	42 k€	11 tonnes		3	2,00 €/kg	4,00 €/kg		
Internal vertical bulkheads (tanks)	329 k€	657 k€	169 tonnes		3	2,00 €/kg	4,00 €/kg		
Internal stiffening bulkheads	85 k€	169 k€	42 tonnes		3	2,00 €/kg	4,00 €/kg		
Heavy plate	57 k€	113 k€	28 tonnes		3	2,00 €/kg	4,00 €/kg		
Stiffening on top of heavy plates	28 k€	57 k€	14 tonnes		3	2,00 €/kg	4,00 €/kg		
Bracing horizontal	409 k€	818 k€	241 tonnes		3	1,70 €/kg	2,00 €/kg		
Ringstiffeners inside bracings	48 k€	96 k€	24 tonnes		3	2,00 €/kg	4,00 €/kg		
Bracing 45° horizontal	60 k€	70 k€	35 tonnes		2	1,70 €/kg	2,00 €/kg		
Bracing 45° vertical	179 k€	210 k€	195 tonnes		3	1,70 €/kg	2,00 €/kg		
Walkways	60 k€	90 k€	15 tonnes		4	4,00 €/kg	6,00 €/kg		
Access platform	40 k€	60 k€	10 tonnes		4	4,00 €/kg	6,00 €/kg		
Boatlanding fender, ladder/staircase, cage	54 k€	81 k€	14 tonnes		4	4,00 €/kg	6,00 €/kg		
Piping for ballast system	9 k€	10 k€	8 tonnes		3	1,70 €/kg	2,00 €/kg		
Fixed ballast									
Ballast material (Concrete/Magnetite), incl dumping	100 k€	200 k€	800 tonnes		1	0,20 €/kg	0,40 €/kg		
Coating and corrosion protection									
External surface	245 k€	294 k€	4,455 m²			55 €/m²			
Ballast tanks	171 k€	206 k€	2,142 m²			80 €/m²			
Void space	0 k€	0 k€	1,671 m²			0 €/m²			
Internal dry	43 k€	51 k€	1,071 m²			40 €/m²			
ICCP system	40 k€	48 k€							
Marine systems									
Service utilities	20 k€	24 k€							
Climate systems	20 k€	36 k€							
Fire fighting	40 k€	48 k€							
Hydraulic system	30 k€	36 k€							
Signalling equipment	20 k€	24 k€							
Ballast and trim system	90 k€	108 k€							
Monitoring system	80 k€	96 k€							
Control system	50 k€	60 k€							
Electrical internal cabling system	30 k€	36 k€							
Emergency power	20 k€	24 k€							
Total foundation structure									
	4,270 k€	7,395 k€	2,200 tonnes	Cost (central)		5,882 k€			
Ballast									
Permanent ballast	100 k€	200 k€	800 tonnes	Cost (central)		0,20 €/kg	0,40 €/kg		
Active ballast	0 k€	0 k€	2,000 tonnes	Cost (central)		0,00 €/kg	2,000 m³	1 tonnes/m³	
Total ballast cost									
	100 k€	200 k€	2,000 tonnes						
Moorings system									
Anchor winch	248 k€	270 k€		Weight	770 m				
Anchor chains	262 k€	288 k€	55 tonnes	Length	130,0 m				
Anchors Sleipna Mk6	300 k€	450 k€	15 tonnes						
Misc. anchor system: connectors	80 k€	100 k€							
Chain tensioner, fairleads (4 pcs)	200 k€	240 k€							
Total mooring system									
	1,088 k€	1,448 k€	79 tonnes	Cost (central)		1,258 k€			

浮体設備
5882k€
係留システム
1268k€
バラスト
0k€

47

想定された作業船



上図: 作業船(風車の吊上げ等)



上図: アンカーハンドリング船

右図:
曳舟



出典: 不明

48

報告内容

1. 海外業者への調査委託

- 1－1. 前提条件の検討
- 1－2. 業者選定および委託

2. 調査結果

- 2－1. コンセプト比較評価
- 2－2. コスト評価

3. 評価・検討

4. 海外調査

49

評価・検討(総括)

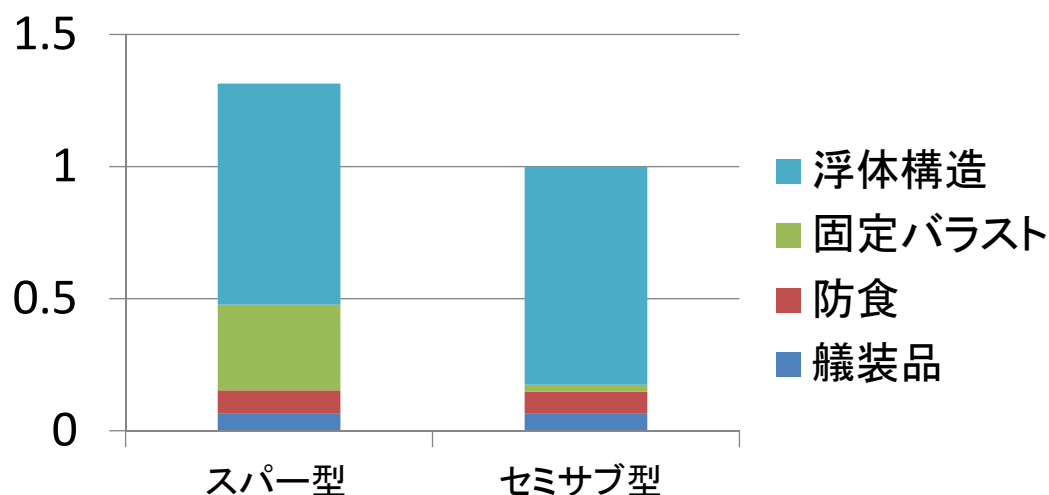
- 作業条件等は我が国の自然条件に概ね沿うものとなっており、妥当である。
- 全体コストは低い印象を受けるが、単価は欧州標準で算出されており、国際マーケット価格と理解。
- MW当たりの建設コストは、5MWの場合でも4.4-4.9M€/MWと、着床式(3.8-4.0M€/MW)より若干高く、浮体式の競争力は7MWクラス以上が示唆される。
- 建造コストの部分で、セミサブよりスパーが高い。

50

評価・検討(浮体設備コスト)

- 従来の認識に比べると、スパー型のコストが、それぞれの部分で高い。⇒ 今後、要検討

(セミサブ型の浮体設備コスト(全体を1)に対するスパー型のそれとの比較)



51

評価・検討(5MW建造コスト:各部分)

スパー型とセミサブ型の主要要素別比較(セミサブ型1に対する比率)

	スパー型	セミサブ型
浮体構造重量	0.93	1.00
同単価	1.09	1.00
	スパー型	セミサブ型
固定バラスト重量	12.00	1.00
同単価	12.00	1.00
	スパー型	セミサブ型
塗装面積	1.23	1.00
同単価	1.07	1.00

注:限られた事例に基づくデータ。特殊要因もあり一般化できるかどうか不明。

52

報告内容

1. 海外業者への調査委託

- 1－1. 前提条件の検討
- 1－2. 業者選定および委託

2. 調査結果

- 2－1. コンセプト比較評価
- 2－2. コスト評価

3. 評価・検討

4. 海外調査

53

海外調査(概要)

I. 概要

海外事例に基づく調査をガラートハッサン社に委託し、今般その中間報告についての協議と施工作業船および洋上風車基礎の製作工場の視察を実施した。

II. 調査団メンバー

海技研/井上(WGリーダー)、佐世保重工業/大山、第一建設機工/中村、アジア海洋/高具、新日鉄エンジニアリング/木村、JWPA/中尾、ガラートハッサン・ジャパン/内田(同行)(順不同・敬称略)

III. 訪問先および調査概要(概略日程)

- 2月20日 移動日(日本/成田→オランダ/ライデン)
- 2月21日 AM GH/Leiden PM seafox1/Ijmuiden、OAS/Ijmuiden
- 2月22日 AM Rambiz/Scaldis/Nieuwdorp PM Smulders/Hoboken
- 2月23日 PM WeserWind/Bremerhaven移動日(ドイツ/ブレーメン→日本/成田)
- 2月24日 帰国

54

調査報告(1)

Garrad Hassan 事務所(Leiden)
にて打合せ

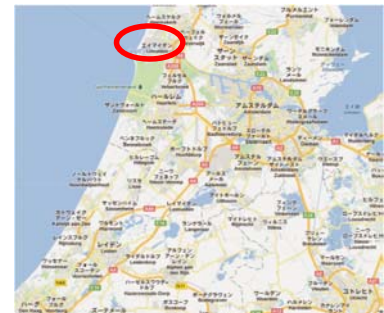
- 1) Garrad Hassanの紹介
- 2) 各コンセプトのレビュー
- 3) 報告レポートに関する質疑
応答、追加依頼



55

調査報告(2)

船名: Seafox 1 (Seafox社)
場所: オランダ Ijmuiden (エイマムダン) 港



SEP船(自己昇降型船)の
概観と操舵室

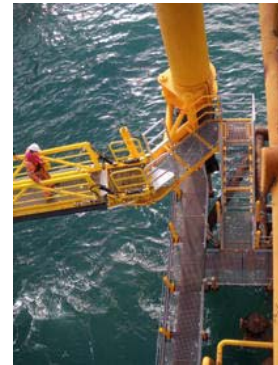
2009年に風車設置用に改造
(建造は1979年)

ジャッキアップの限界波高(H_s)
と周期(T)は1.5mと5sec

56

調査報告(3)

訪問:ウォークウェイ・メーカー(Offshore Solutions B.V.)
所在地:オランダ Ijmuiden(エイマンダン)

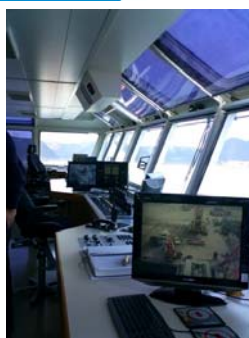


メンテナンス用渡橋
使用限界波高(Hs):3m

57

調査報告(4)

船名: Rambiz (Scaldis社)
場所: オランダ Nieuwdrop(ニーウトルフ)港

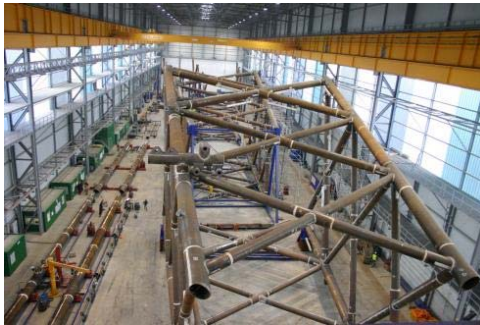


洋上風車の施工船(Rambiz)の操舵室
英国スコットランドのBeatriceでブレード付洋上風車を吊上げて施工した実績あり

58

調査報告(5)

訪問: ジャケットおよびモノパイルの支持構造製造工場(SMULDERS)
所在地: ベルギー・アントワープ南方のHoboken



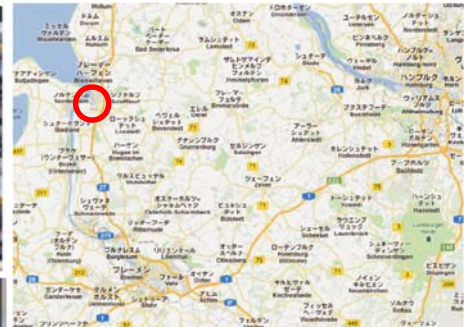
着床式洋上風車の支持物(ジャケットとモノパイル)の製造工場
(スタッフ:50名、作業員:200名)

ジャケット1基(500トン)・塗装 200μ 3層を5日で完成し(50人,2交代制)、設置海域に積み出し

59

調査報告(6)

訪問: トリポッド製造工場(WeserWind GmbH Offshore Construction Georgsmarienhütte)
所在地: ドイツ・ブレーマーハーフェン



着床式洋上風車の支持物(トリポッド)の製造工場(作業員:400名)

トリポッド1基(750トン)を年間80基製作(3交代制)

視察時には先行杭打ちタイプと杭後打ちタイプのトリポッドを並行して製作していた。

60