

2019年度

浮体式洋上風車を設置するための作業船の開発

報告書

2020年3月31日



ジャパン マリンユナイテッド 株式会社



目次

目次

1. 目的・背景.....	6
1.1 業務名称.....	6
1.2 業務目的.....	6
1.3 業務目標.....	6
1.4 業務実施内容.....	6
2. 風車搭載及び設置技術の背景及び当初案	8
2.1 技術背景.....	8
2.2 風車搭載、設置作業手順の当初案.....	10
2.2.1 HAKURYU-5.....	12
3. 風車搭載、設置作業手順の初期検討	15
3.1 初期検討として必要な項目	15
3.2 風車搭載時の本船の位置保持に関する検討	16
3.3 風車設置手順の初期検討.....	18
3.4 積付計算及び搭載可能な風車推定	21
3.4.1 本船の重量推定.....	21
3.4.2 搭載風車仮定.....	23
3.4.3 本船許容重心高さ(AVCG)に関する仮定	24
3.4.4 風車を本船後方より設置する場合	25
3.4.5 風車を本船舷側より設置する場合	28
3.5 初期検討結果まとめ.....	31
4. 風車搭載設置機器の調査.....	32
4.1 WIND TURBINE SHUTTLE (HUISMAN社).....	32
4.2 WINDLIFTER (ULSTEIN社).....	34
4.3 FLANGE CLAMP TOOL (IHCIQIP社).....	37
4.4 DOUBLE SLIP JOINT (IHCIQIP社).....	38
5. 作業手順と必要な設備及びその配置等.....	39
5.1 搭載機器選定.....	39
5.2 本船に必要な設備とその配置.....	40
5.3 岸壁での風車載貨方法・手順の候補案	41
5.3.1 CASE1:船上設備のCLAMPの可動範囲をデッキ下10Mまでカバーする場合	42
5.3.2 CASE2:風車をWIND TURBINE SHUTTLEより10M高い位置にて搭載する場合	44
5.4 設置作業手順検討.....	45
6. 水槽試験の初期検討.....	46



ジャパン マリンユナイテッド 株式会社

6.1	案1.....	46
6.2	案2.....	46
7.	Ecosse IP社の状況.....	47
8.	まとめと今後の課題.....	50

1. 目的・背景

1.1 業務名称

本業務の名称は以下である。

- ・ 邦文:浮体式洋上風車を設置するための作業船の開発
- ・ 英文: Concept Development of offshore wind turbine installation semi-sub rig

1.2 業務目的

近年、再生可能エネルギーの普及に伴い、世界各国での洋上風車の設置の増加が期待される。この洋上風力発電の普及を阻む原因として、風車設置船の数が少なく、特に浮体式基礎に対応できる効果的な風車設置船が存在しないことが挙げられる。例えば、起重機船は、浮体式基礎に対応できるものの、許容波高が低いので一般海域での使用は厳しいとされる。

本事業では、風車設置作業船としてセミサブ式を採用することにより、有義波高2.5m以下の海気象条件で風車設置の作業を行うことを可能とし、これにより通年での作業を可能とする、効果的な設置作業船のコンセプト開発を行うことを目的とする。

本開発は、日本財団殿がスコットランド開発庁と連携して実施している「海洋開発にかかる日本-スコットランド連携技術開発助成」のもとで、日本海洋掘削(株) (JDC)、Ecosee IP Limited. (EIP)と連携して実施している。本報告書は、2019年度にJDCと連携して実施したコンセプト開発の成果をとりまとめたものである。

1.3 業務目標

浮体式洋上風車を設置するための作業船(以下、本船と呼称する)の開発の目標は以下である。

- ・ 有義波高2.5mでの海気象条件で風車設置の作業を行う。
- ・ 対応水深は30m～200mを対象とする。
- ・ 10MWまでの風車を対象とする。
- ・ セミサブ式風車設置作業船のコンセプトの有効性を模擬試験により確認する。

1.4 業務実施内容

2019年度の業務実施内容は下記の通りである。

- (1) 本船を用いた風車搭載、設置作業の初期検討
- (2) (1)における風車搭載設置装置の調査
- (3) 風車搭載、設置作業手順の確立
- (4) 上記(1)から(3)の成果をまとめた日本財団向けの報告書(以下「成果報告書」という)の作成

また、2019年度～2020年度の2年間の全体業務実施内容を表 1.1に示す。

表 1.1 : 2年間の全体業務実施内容

所掌分担			所掌分担		
2019年	JDC	JMU	2020年	JDC	JMU
風車搭載	手順検討	○	採算検討	改造費用	○
	装置調査	○		運用費/まとめ	○
改造検討	仕様書	○	改造検討	仕様書	○
	配置			配置	○
	撤去品検討	○	性能検討	位置保持	○
	追加品検討	○		動揺計算	○
	LW重心計算			水槽試験準備	○
トリム計算		水槽試験	○		
報告書	○		報告書	○	

また、本業務の全体スキーム図を図 1.1に示した。

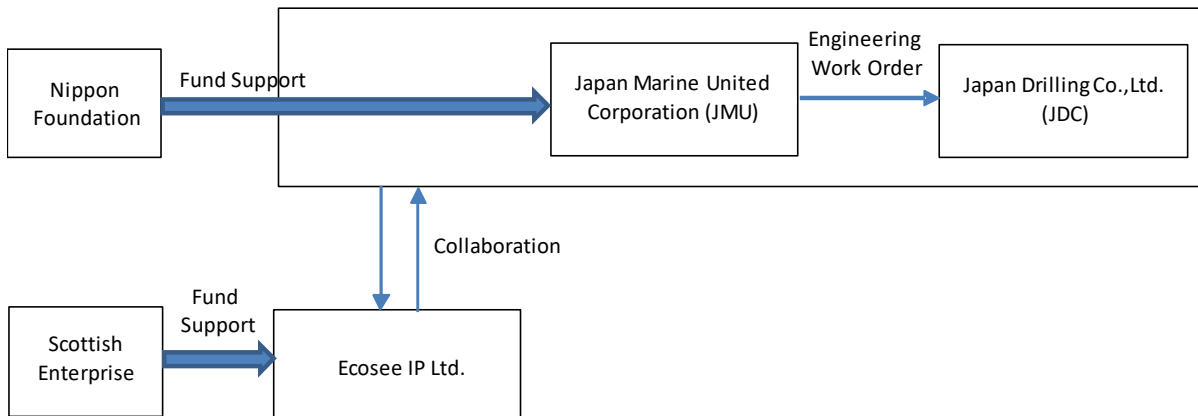


図 1.1 : 全体スキーム図

2. 風車搭載及び設置技術の背景及び当初案

2.1 技術背景

1.2節にて述べたように、浮体式基礎へ風車を搭載する効果的な船舶は存在しない。例えば、福島沖合の浮体式ウインドファームにおいて、Advanced SPAR型浮体「浜風」へ5MW級の風車を搭載する際には起重機船が用いられた(図 2.1参照)。起重機船は浮体式基礎に対応できるものの、許容出来る波高や風速が低く一般海域での使用は厳しいとされており、この設置は波高が低いサイトとして瀬戸内海沿岸にて行われた。

図 2.1 : 洋上風車の Advanced SPAR への風車設置(出典 : <https://www.sankei.com/photo>)

欧州では、イギリスにHywind Scotlandという浮体式ウインドファームが存在する。Hywind Scotlandでは、ノルウェーのフィヨルドにてセミサブ式Heavy Lift VesselのSaipem7000がSPARへの風車設置に用いられた(図 2.2参照)。Hywind Scotlandでは、予め陸上にて風車のローター・ナセル・タワーをアセンブルし、Saipem7000に積み込んで沖合で同船のクレーンを用い搭載している。しかし、Saipem7000のデイレートは非常に高いため、他の設置方法等が求められている。



図 2.2 : Hywind Scotland (6MW 風車 x 5 基)における洋上風車の設置(出典 : <https://www.youtube.com/watch?v=vKHJfuuYiOk>)

また、富山県入善町沖で計画されている着床式洋上風力発電では、地上で組み立てた風車を全長148.3mのフォーク付き台船「天佑」に積み込み、海上基礎まで曳航して現地で接合する計画のもと設置検討がなされている(図 2.3参照)。この方法は浮体式基礎に対しても応用可能であるが、要求海気象条件が非常に厳しいという問題点を抱えている。本案件における設置は、夏季の日本海という非常に海気象条件の穏やかな条件で実施される計画である。

図 2.3 : フォーク付き台船による施工法(出典 : <https://www.kensetsunews.com/web-kan/273755>)

上述したように、現在浮体式基礎に風車を設置する方法はデイレートが高いか、要求海気象条件が厳しいという大きな問題点を抱えている。一方、Oil&Gas業界ではSPARへの上載設備の設置にフロートオーバー方式を用いられる場合があり、これが浮体式基礎への風車設置に転用できるのではないかと考えられる。図 2.4はノルウェーのAasta Hansteen SPARプロジェクトにおける、フロートオーバー方式によるSPAR型浮体への上載設備の設置の事例図である。



図 2.4 : Aasta Hansteen SPAR のフロートオーバー方式による上載設備の設置 (出典 : <https://www.youtube.com/watch?v=OdHZM3FQXmI>)

2.2 風車搭載、設置作業手順の当初案

本業務において、2.1節に記載した現状の技術を基に検討し、風車搭載、設置作業手順の当初案を作成した。

風車搭載、設置作業手順の当初案では、Hywind Scotlandのように、陸上でアSEMBルされた風車を本船に搭載して沖合に移動し、バラスト調整による喫水調整を行って風車を設置するフロートオーバー方式、及び風車を保持する巨大フォークの利用により風車設置を実現することとした(図 2.5参照)。

図 2.5 : 風車搭載、設置作業手順の当初案

セミサブの動揺特性は図 2.6で示されることから、浮体式風車設置船としてセミサブ式を適用することにより、浮体式風車設置船の動揺特性を、特に9秒以下の波周期の範囲において大幅に改善することが出来る。

図 2.6 : セミサブの動揺特性 (出典 : Aker Kvaerner 社 Aker H-6e Drilling Semi-Submersible for Ultra Deep Water and Harsh Environment)

表 2.1は福島沖の波高と波周期の頻度分布であるが、波周期9秒以下の観測データは全体の82%を占めており、この範囲における動揺の低減は設置効率化に非常に有用であると考えられる。

表 2.1 : 福島沖の波高と波周期の頻度分布 (出典 : 福島洋上風力コンソーシアム 波浪データ 2017 年、<http://www.fukushima-forward.jp/deta/index.html>)

2.2.1 Hakuryu-5

風車搭載、設置作業の当初案において、使用船舶のデイレートを下げるために、セミサブ型船舶を新造するのではなく既存Oil&Gas用のセミサブリグを改造し風車設置に用いると想定することとした。

改造を想定するセミサブリグは日本海洋掘削株式会社が保有する第五白竜(Hakuryu-5)とした。Hakuryu-5の簡単なスペックを以下の表 2.2に示す。



図 2.7 : Hakuryu-5 (出典 : IHI HP)

表 2.2 : Hakuryu-5 Spec

Loa	m	106.0
B	m	67.0
Main Deck Height	m	37.5
Draft(Operation)	m	20.5,21.5,22.5
Year Built	-	1977
Year Updated	-	2009
Classification	-	ABS

本検討においては、以降Hakuryu-5を改造し風車設置に用いると仮定することにする。改造の際、Derrickや掘削機器は風車設置に使用しないため、撤去するものとする。Hakuryu-5に風車を搭載し、本船後方より設置を行う場合、及び風車を本船舷側から設置を行う場合について、それぞれ当初案における風車及び支持構造物のイメージを図 2.8及び図 2.9に示す。なお、今後本船において重心位置などの評価を行う際は、x方向は船体後方(Aft)、y方向は右舷(Starboard)方向を正とすることとする(図 2.10)。

図 2.8 : 風車を SPAR へ本船の後方から設置する場合の当初案

図 2.9 : 風車を SPAR へ本船の舷側から設置する場合の当初案

図 2.10 : 本検討書における座標軸設定

3. 風車搭載、設置作業手順の初期検討

3.1 初期検討として必要な項目

本船による風車設置が成立するかを調査する初期検討において、特に重要だと考えられる項目を以下の表 3.1にまとめた。本章では、これらの内容について各節で検討を行う。

表 3.1 : 初期検討項目

No.	検討目的	必要な検討項目
1	本船の風車設置作業中の位置保持方法について、現実的な方法を示す。	風車搭載時の本船の位置保持に関する検討
2	安全に風車設置が可能な作業手順を当初案より具体的に示す必要がある。	風車設置手順の検討
3	本船に搭載可能な風車のスペック及び本数を確認するとともに、その風車に対し、上項で検討した設置手順が十分な安定性を確保し行えるか計算を行う必要がある。	本船の重量推定
		本船に搭載可能な重量物の重量重心に関する検討
		積付計算による風車設置手順の成立性検討

3.2 風車搭載時の本船の位置保持に関する検討

本船は風車設置工事を行う際、安定して風車を受け渡す為に位置保持を行う必要がある。本節では、本船の設置工事時位置保持方法、及び位置保持下での風車設置方法について考察を行う。

一般的に、船舶やはしけの位置保持方法は、DP(Dynamic Positioning) Systemが係留のどちらかにより行われる。DPは位置検知データに基づいて位置制御、推進システム制御を行う機構であり、風車設置を素早く安全に行う上では非常に有用なシステムである。しかし、本船にDPを追加することを考えると、以下のような問題点や課題が考えられる。

- 曳航喫水を増やすと本船が利用できる岸壁に限られるため、スラスタ一部を船内に格納可能なリトラクタブル式のスラスタを使用する必要がある。
- このスラスタを使用する場合、ローハルの天井高さである9.5mまでにスラスタを納めることができるかが不透明である。もし納めることができたとしても、Deep Dish-ローハル間のデッキに穴を空けなければならない等、大規模改修が必要となり、工事費用も甚大となる。更に、発電機の追加や配線等再検討を行う必要がある。
- 同スラスタはローハル及びDeep Dishのバラスタンク内に追加されることが想定されるため、追加工事に伴い積載可能バラスタ量が減少し、工事に必要なコンディションを本船が再現できなくなる可能性が考えられる。

一方で位置保持に係留を採用すると、精密な位置調整が難しい、オペレーションに時間がかかるといったデメリットが生じる。一方で、掘削リグである本船には既に係留設備が搭載されており、DPの場合のように大規模な改造を必要としない。また、表 3.2に手順が示されるように係留による位置保持下で風車設置工事を行える可能性が高いことから、初期検討としては係留を位置保持に使用することとする。この手法は、SPAR運搬船のDP機能を風車設置にも活用できる点にメリットがある。

今後DPを導入する場合、必要なスラスタの要目等を求め、メーカーと協議しながらコスト面を含めたDPの導入実現性について詳細な確認を行い、改めて位置保持方法を選択しなおす必要がある。

図 3.1:昇降式スラスタ例(出典:川崎重工社カタログ)

表 3.2 : 風車設置時の位置調整の手順

No.	イメージ図	概要説明
1		<p>風車を SPAR へ搭載する場所へセミサブを曳航する。</p> <p>プリセットしていた係留索にセミサブ側の係留索を接続し、位置保持する。</p> <p>緑色の円:風車</p>
2		<p>DPS 付きの船が SPAR を保持しながら、セミサブに近づく。</p> <p>オレンジ色の円:SPAR</p>
3		<p>船が移動し、SPAR を風車の直下に配置する。</p> <p>セミサブのドラフト調整等により、風車を SPAR に搭載する。</p>
4		<p>船が風車搭載の SPAR をロケーションに運ぶ。</p>

3.3 風車設置手順の初期検討

船外機関連用語集 (<https://seesaawiki.jp/w/ryo2007jp/>)によると、船が前から波を受けて航海しているとき、船体の運動が非常に大きくなると、船首の船底が空中に飛び出し、次の一瞬に落下した船首部が海面に叩き付けられる現象をスラミングという。

本船のドラフト調整による風車設置手順では、荷重受け渡しに時間がかかるため、Heavingにより搭載風車とSPAR上部の間でスラミングのような現象が発生し、風車とSPARの接続部を破損させる可能性が高い。

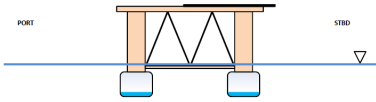
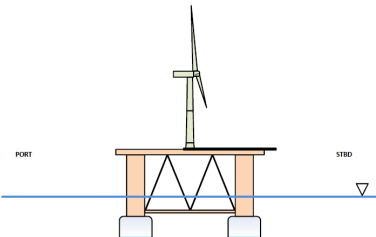
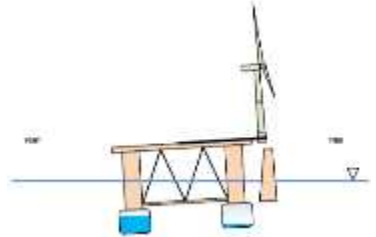
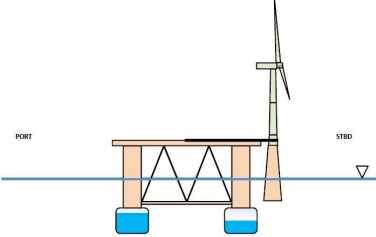
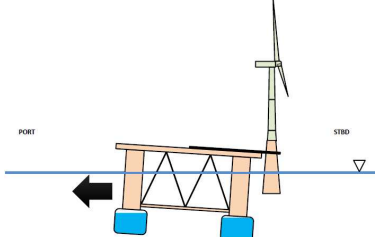
そのため、このスラミングを避ける風車設置手順を検討した。検討手順では、喫水だけでなく本船のTrimやHeelをバラスト調整により変化させ、風車を設置する。この手順により、荷重の受け渡しがより素早く行われることとなり、結果としてスラミングのリスクが軽減される。また、TrimやHeelを付けることにより、喫水変化でフロートオーバーを行う場合より追加で搭載しなければならないBallast Water量が低減され、作業時間の減少につなげることができる。

表 3.3に本船の後方から風車を搭載する場合の新たな設置手順を、表 3.4に本船の右舷方向から風車を搭載する場合の新たな設置手順を示した。

表 3.3 : 本船の後方から風車を搭載する場合の設置手順

Case Name.	各 Case イメージ図	Case 解説
Case0		風車搭載前
CaseA		風車を船体中央に搭載
CaseB		風車を船尾に移動、ローワーハル船首側に Ballast Water 追加し Trim をつける
CaseC		ローワーハル船尾側に Ballast Water を追加し Even Trim の状態で設置可能な喫水とし風車を設置する
CaseD		船尾に更に Ballast Water を追加し、Trim をつけて風車荷重を受け渡し、終了

表 3.4 : 本船の右舷から風車を搭載する場合の設置手順

Case Name	各 Case イメージ図	Case 解説
Case0		風車搭載前
CaseA		風車を船体中央に搭載
CaseB		風車を舷側(図では右舷)側に移動、左舷ローワーハルに Ballast Water を追加し Heel をつける)
CaseC		ローワーハル舷側(図では右舷)側に Ballast Water を追加し Even Heel の状態で設置可能な喫水とし風車を設置する
CaseD		舷側(図では右舷)に更に Ballast Water を追加し、Heel をつけて風車荷重を受け渡し、終了

3.4 積付計算及び搭載可能な風車推定

本節では、先ず風車を本船後方より設置する場合、及び本船舷側から設置する場合(それぞれ表 3.3及び表 3.4に示される)に対し、追加搭載可能な重量物の重量と重心の関係を調査した。

本船はStabilityの観点から許容される最大重心高さ(AVCG)が決定されている。この値と本船のLight Weightを考慮すれば、様々な喫水において全体重心がAVCG以下となるような追加搭載物の重量重心の値を算出することができる。これにより、各喫水における本船のPay Loadを概算することが可能であるため、10MW級風車の本船搭載可否を判断することができる。

続いて表 3.3及び表 3.4に示した風車設置における各Caseに対して積付計算を行った。これにより、以下のことを確認することができる。

- ・各Caseの姿勢が実現可能なものであること。
- ・各Caseにおいて、本船の重心がAVCG以下となっていること。
- ・本船の姿勢及び喫水制御を行うためのバラスト調整が無理なく行えること。

3.4.1 本船の重量推定

洋上に設置する風車は1000tを超えるような大重量が想定されるため、Hakuryu-5に直接積み込むと船体安定性の観点から問題がある。また、Oil&Gas生産で使用するDerrickやパイプラックエリア等は、風車搭載の作業を行う上では邪魔になってしまう。そこで、現在積み込まれている掘削関連の機器設備を撤去することで、本船を風車設置に適したかたちで改造する必要がある。本節では、Hakuryu-5改造において撤去可能な掘削機器等を選定し、改造後のLight Weightを推定する。この値は、本船で一度に設置することができる風車の大きさ及び本数を検討する上で必要となる。

(1) 撤去品の検討

風車搭載スペースの確保、およびDeck Load確保のために撤去する機器について検討を行う。

掘削リグである本船には、船体中央にDerrickが搭載されている(図 2.7を参照)。これは重く、また風車搭載時の邪魔となるため、支持構造物(Derrick Substructure)と合わせて撤去することを考える。Derrick SubstructureはDerrickの補強の他に、ドリリングデッキが含まれる。

Derrick以外にも、本船にはMud PumpやMud Pit等掘削で使用される機器が多数搭載されている。本検討においては、これらを全て撤去すると仮定する。なお、実際に撤去を行う場合は、撤去に必要な金額と撤去による効果を精査し、どの機器を撤去し、どの機器を残すか、他に撤去可能な機器がないか再検討する必要がある。

(2) Light Weight計算結果

機器撤去前のHakuryu-5のLight Weight重量及び各方向モーメントから、撤去機器の重量及びモーメントを減じることで機器撤去後のLight Weight重量重心を算出した。結果として、機器撤去により船体重量が1299t減少し、z方向の重心は2.05m小さくなることが判明した。

表 3.5:搭載機器等の撤去による Light Weight 変化

Light Weight		LCG	LCG.MT	TCG	TCG.MT	VCG	VCG.MT
名称	重量	L _G		B _G		重心位置	
	t	m	m・t	m	m・t	m	m・t
撤去前 LW	17033	0.39	6643	0.28	4769	24.28	413561
Derrick	-255	0.00	0	0.00	0	72.50	-18459
Derrick Substructure	-300	0.00	0	0.00	0	46.50	-13950
Drilling Equipment	-744	-3.50	2607	-1.71	1270	42.25	-31432
計	15734	0.59	9250	0.38	6039	22.23	349721

(3)追加品の検討

本案件においては、Hakuryu-5から掘削機器等を撤去し重量を減らすだけでなく、風車設置に必要な機器を搭載し、その重量を計上する必要がある。しかし、初期検討時点では搭載機器の重量情報が存在しなかったため、次節にて示す風車重量とは別に100tを風車搭載機器重量として計上することとした。

3.4.2 搭載風車仮定

本節で本船に搭載可能な風車の大きさ及び本数について考察を行うため、搭載する風車の大きさや重量について仮定を行う。本船に搭載する風車として、DTU 10MW Reference Wind Turbineを使用することとした。この風車を下図 3.2に示す。当該風車のスペックは以下の表 3.6に示される。該当風車は商用に最適化されているわけではないが、近年の傾向を踏まえた大型風車となっており、様々なプロジェクトにおいて検討に用いられていることから本検討に使用するのとは妥当であるとする。

図 3.2:DTU Reference Wind Turbine (出典: Christian Bak, “The DTU 10-MW Reference Wind Turbine”)

表 3.6: The DTU 10 MW Reference Wind Turbine Design Summary (出典: Christian Bak, “The DTU 10-MW Reference Wind Turbine”)

Description	Value
Rating	10MW
Rotor orientation, configuration	Upwind, 3 blades
Control	Variable speed, collective pitch
Drivetrain	Medium speed, Multiple stage gearbox
Rotor, Hub diameter	178.3m, 5.6m
Hub height	119m
Cut-in, Rated, Cut-out wind speed	4m/s, 11.4m/s, 25m/s
Cut-in, Rated rotor speed	6RPM, 9.6RPM
Rated tip speed	90m/s
Overhang, Shaft tilt, Pre-cone	7.07m, 5° , 2.5°
Pre-bend	3m
Rotor mass	229tons (each blade ~41tons)
Nacelle mass	446tons
Tower mass	605tons

3.4.3 本船許容重心高さ(AVCG)に関する仮定

許容重心高さ(AVCG)は、非損傷時復原性及び損傷時復原性の各基準をすべて満たす最大の重心高さを指す。本船のAVCGは得られたデータが限られていた為、Transit Ballast Curveの値を補完して代用する。Transit Ballast Curveは喫水18.5m、重心高さ19.41mのConditionからBallast WaterをVCG4.75mの高さにて追加、若しくは除去して求めた各喫水での重心高さの値であり、必ずAVCGより小さくなる。

3.4.4 風車を本船後方より設置する場合

風車を本船後方より設置する(表 3.3)場合、風車搭載高さはUpper Deck上となる。これは下図 3.3 に示されるように、本船後方には撤去不可である建屋が存在するため、その上に風車及び支持構造物を敷設せざるを得ないためである。なお、本船前方と後方で当該建屋の高さが異なる(前方:43.5m、後方:42.5m)ため、若し風車設置に長レールを用いる場合は敷設が困難になる可能性がある。このケースにおける搭載高さは、2建屋高さの平均をとって43mとする。

図 3.3:風車を搭載し、船体後方より設置する場合の搭載高さ

(1) 追加搭載可能な重量物の重量と重心の関係

先ず、様々な喫水下で追加搭載可能な重量物の重量重心を、前述したAVCGより算出する。この算出は、以下の仮定及び条件のもとで行われる。

- Light Weight, Ballast Water, Potable Water, Fuel oil, Fixed ballast (Drill water を含む), 搭載物の重量が考慮されている。なお、Potable Water及びFuel Oilは各タンクに60%、Fixed Ballast 及びDrill Water は各タンクに100%搭載されているものとする。
- Light Weightについては3.4.2にて検討された値を用いる。
- Ballast Waterの重心はローハルのタンク重心である5.03mとし、重量の上限はローハルのタンク容量とする。要求バラスト量がこれを上回る場合、バラストング不可とみなす。本船はコラム部にもバラストタンクが存在するが、計算簡単化のためこれは使用しないこととする。
- 浮体喫水9.6m、17.5m (Transit)、20.5m(Drilling)の3ケースについて計算を行う。なお、喫水9.6mは

ジャパン マリンユナイテッド 株式会社

ローハルが没水し、最も姿勢制御が難しくなるコンディションである。

これら条件のもと、各ケースについて喫水から要求排水量、AVCGを算出し、搭載物重量10t~3000tの範囲で搭載物重心がUpper Deckから何m 以下ならばTotal VCGがAVCG以下になるかを計算した。

結果を以下の図 3.4に示す。図において、黒点は3.5.1で仮定したDTW 10MW Reference Wind Turbine(支持機器としての100tを含む)の重量重心である。AVCGをTransit Ballast Curveで代用する、Ballast Waterの重心をローハルタンク重心と等しくするなど、かなり厳しい仮定の基で行われた計算ではあるが、喫水9.6m(青線)においてはDTU 10MW風車を搭載し安定性を確保することはできないという検討結果となっている。一方で、喫水17.5m(赤線)及び喫水20.5m(緑線)においては、DTU 10MW風車を1基搭載することが可能であるという結果となった。また、喫水20.5m(緑線)において、搭載物重量1150t以下については線が描かれていないが、これはバラストタンクの容量が足りず、当該条件では喫水20.5mを再現することができないためである。

搭載不可

搭載可能

図 3.4:搭載可能な重量物の重量重心の関係 (Upper Deck 搭載)

(2) 各Case積付計算

表 3.3に示される5ケースについて、積付計算を行い各姿勢及びバラストングの実現可能性について確認した。なお、計算には以下の仮定を設けた。

- ・ 搭載時(CaseC)の喫水は17mとする。
- ・ バラストングは「船首側のタンクにBallast Waterを注入する」「船尾側のタンクにBallast Waterを注入する」のどちらかしか行わないこととし、作業の単純化を図る。

計算には船舶設計システム「NAPA」を用いた。5ケースの計算結果をまとめ、表 3.7に示す。

本計算においては、全Caseで総重心がAVCGより小さくなっており、Stabilityの観点からは問題なく姿勢を作ることができることを確認された。また、バラストタンクの容量不足も発生しなかった。

表 3.7:船体後方より風車設置を行う場合の積付計算結果

	Name	Case0	CaseA	CaseB	CaseC	CaseD
Input	搭載風車	無し	1	1	1	無し
	風車搭載 x 方向位置(m)	-	0	-49	-49	-
	Trim	Even	Even	Not Even	Even	Not Even
	備考	風車搭載 前	風車搭載 後	風車船尾 移動後	風車設置 後	風車設置 後
Output	Trim(°) aft +	-0.24	0	-0.81	0	0.81
	Heel(°)	0	0	0	0	0
	Allowable VCG(m)	21.6	20.9	20	19.9	19.37
	KG<AVCG?	OK	OK	OK	OK	OK
	Ballast Variation (t)	-	0	1,744	115	2,322

3.4.5 風車を本船舷側より設置する場合

風車を本船舷側より設置する(表 3.4)場合、風車搭載高さはMain Deck上となる。本船中央部は元々Derrickが存在し建屋が無かったため、Derrick撤去後には下図 3.5のように直接風車及び支持構造物をMain Deck上に搭載できるためである。この場合、風車搭載箇所はDerrickを支えるための補強が多く存在する位置となるため、改造時に補強を追加する必要が薄いというメリットがある。このケースにおける搭載高さは37.5mである。

図 3.5:風車を搭載し、船体舷側より設置する場合の搭載高さ

(1) 追加搭載可能な重量物の重量と重心の関係

先ず、様々な喫水で追加搭載可能な重量物の重量重心を、前述したAVCGより算出する。この算出は、3.5.3における検討と同じ仮定の下行われる。浮体喫水9.6m、17.5m (Transit)、20.5m(Drilling)の各ケースについて喫水から要求排水量、AVCGを算出し、搭載物重量10t~3000t の範囲で搭載物重心がUpper Deckから何m 以下ならばTotal VCGがAVCG以下になるかを計算した。

結果を以下の図 3.6に示す。前節の検討結果とは異なり、全てのケースについてDTU 10MW風車の搭載が可能であるという結論を得た。このことより、搭載可能重量の面ではUpper Deckに風車を搭載し船体後方から設置するより、Main Deckに風車を搭載し船体舷側から設置する方が優れているといえる。

搭載不可

搭載可能

図 3.6:搭載可能な重量物の重量重心の関係 (Main Deck 搭載)

(2) 各Case積付計算

表 3.4に示される5ケースについて、積付計算を行い各姿勢及びバラストングの実現可能性について確認した。なお、計算には以下の仮定を設けた。

- ・ 搭載時(CaseC)の喫水は17mとする。
- ・ バラストングは「右舷側のタンクにBallast Waterを注入する」「左舷側のタンクにBallast Waterを注入する」のどちらかしか行わないこととし、作業の単純化を図る。

計算には前節と同じく船舶設計システム「NAPA」を用いた。5ケースの計算結果をまとめ、表 3.8に示す。

本計算においても、全Caseで総重心がAVCGより小さくなっており、Stabilityの観点からは問題なく姿勢を作ることができると確認された。また、バラストタンクの容量不足も発生しなかった。

表 3.8:船体舷側より風車設置を行う場合の積付計算結果

	Name	Case0	CaseA	CaseB	CaseC	CaseD
Input	搭載風車	無し	1	1	1	無し
	風車搭載 y 方向位置(m)	-	0	36	36	-
	Heel	Even	Even	Not Even	Even	Not Even
	備考	風車搭載 前	風車搭載 後	風車船尾 移動後	風車設置 後	風車設置 後
Output	Trim(°) aft +	-0.24	0.00	0.00	0.00	0.00
	Heel(°) stbd +	0.00	0.00	-1.50	0.00	1.50
	KG<AVCG?	OK	OK	OK	OK	OK
	Ballast Variation (t)	-	0	1,753	77	1,903

前節の同計算結果と比較すると、Case DにおけるBallast Variationの値が大きく減っていることがわかる。CaseDでは風車荷重が設置により本船から浮体に移動し、これに起因するモーメントを相殺するためBallast Waterが注入されている。風車を舷側から搭載する場合は、船体後方から搭載する場合と比較して船体中心と搭載風車、及び搭載される浮体の距離(前述モーメントにおけるレバーとなる)が短い為、モーメントが小さくなる。このため、必要なBallast Water量が低減されていると考えられる。他のケースにおいてはBallast Waterの要求量は殆ど変化がないことから、Ballast Variationの値、つまり浮体の姿勢制御のための作業時間の観点からも舷側搭載の方が優れていると想定される。

3.5 初期検討結果まとめ

前節までで行った初期検討について、結果を以下にまとめる。

(1) 風車搭載時の本船の位置保持に関する検討位置保持方法の検討

本船にDPシステムの搭載は大幅な改造工事が必要と判断し、既存の係留機器を用いた風車設置時の位置保持方法についてまとめた。

(2) 風車設置手順の検討

バラストによりTrim・Heelをつけて風車を搭載することに拠り、風車とSPAR型浮体の接触による損傷を避けつつ作業時間を短縮する設置手順を2つ(船体後方より設置する手順、及び船体舷側より設置する手順)考案した。

(3) 本船の重量推定

風車設置に不要な掘削機器やDerrickについて撤去を行い、本船Light Weightを減じることを検討した。この結果として、1299t船体を軽くすることができるという結論を得た。

(4) 本船に搭載可能な重量物の重量重心に関する検討

本船のAVCGより搭載可能な風車の大きさ及び本数を推定し、10MW1基の搭載が可能であることを示した。

(5) 積付計算による風車設置手順の成立性検討

(3) (4)で検討した結果を用い、10MW風車を1基本船に搭載し、(2)の設置手順に沿って積み付け計算を行った。結果としてすべてのケースにおいて安定性を確保可能であることを確認した。また、(2)で示した2種類の手順について、船体強度・搭載可能重量・作業時間(要求バラスト量)の観点から舷側設置の手順が優れていることを示した。

4. 風車搭載設置機器の調査

前章の初期検討と並行し、以下の機器製造会社を直接訪問して風車搭載設置機器の調査を行った。

- ・ Huisman 社
- ・ Ulstein 社
- ・ IHCIQIP 社

調査した機器の内容を以下にまとめる。

4.1 WIND TURBINE SHUTTLE (HUISMAN社)

Huisman社(オランダ)は重量物クレーンやパイプ敷設置装置、掘削リグ等を主な商品とする企業である。

Huisman社のWind Turbine Shuttleは、風車のタワーを掴むClampがCompensation機能を持っていて船の動揺を吸収することにより設置面の位置を確保し、高稼働率で風車設置ができるシステム、及び当該システムを搭載した双胴船である(図 4.1参照)。これはHuisman社が得意とするクレーンのCompensation機能、Pile Holderの技術を応用したものであり、Compensationは前後左右上下方向だけでなく、Clampが上下2か所にあるので角度の調整も可能と考えられる(図 4.2)。

有義波高3.5mまで風車搭載可能で、北海の沖合で年間80%の稼働率、岸壁に近ければ年間95%の稼働率で働くことができるとしている。懸念事項としてはClampがタワーを掴む場所において、タワーに十分な強度がなければならぬ点が挙げられる。このため、搭載対象の風車に若干の設計変更を加える必要があり、今後風車メーカーと交渉する予定だとのことであった。

Huisman社では上載システムだけでなくShuttleの船体の開発も行っている。船体としては双胴船が採用され、水線面積を小さくして動揺を抑える工夫がなされている。対応風車は12/15MWまでを考慮しており、搭載可能重量は2,000t x 2である。ShuttleにはDPS(DP3)が導入されており、船の位置保持を行うことが可能である。

風車をShuttleに載貨する方法は、現在下記の2種類が検討されている。

- ・ 岸壁に突堤を作り(Huisman社はFinger Portと呼んでいる)、突堤の先端にアSEMBル済の風車を配置する。Shuttleを双胴の間に突堤がくる位置に停泊させ、Clampで風車を確保し、搭載する。
- ・ 岸壁から20mぐらい離れた沖にモノパイルを建て、その上に陸上クレーンでアSEMBル済の風車を仮置きする。Shuttleを双胴の間にモノパイルがくる位置に着けて、Clampで風車を確保し、搭載する。

実案件における実績はないが、設計、試験は終わっており、Compensationはクレーンの既得技術であるため障害とはならないだろうと思われる。発注から納入まで24か月必要となり、Compensation及びClampはCustomer orderになるとのことであった。



図 4.1 : Huisman 社の Wind Turbine Shuttle (出典 : Huisman 社カタログ)



図 4.2 : 風車のタワーを掴む上下の Clamp (出典 : Huisman 社カタログ)

4.2 WINDLIFTER (ULSTEIN社)

Ulstein社(ノルウェー)は船舶設計や建造、船舶海洋システム開発等を幅広く手掛ける会社である。

Ulstein社で開発されたWindlifterは、単一のリフトで洋上風力風車を輸送および設置するためのシステムであり、風車を保持・移動させるためのレール(Potable Transit Foundation)と設置を行うグリッパー部(Handling System)から成る。詳細を下図 4.3に示す。Windlifterは、2009年(10年前)に発想したコンセプトであるため、想定している風車の大きさは3MW程度であり、また浮体式基礎ではなくモノパイルへの搭載が想定されている。船には同風車4基を搭載可能である。

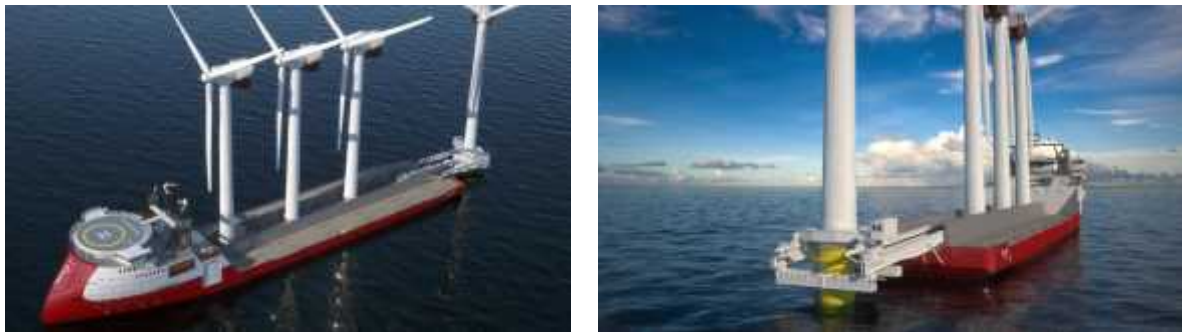


図 4.3 : Ulstein 社の Windlifter コンセプト (出典 : Ulstein 社カタログ)

風車設置の手順を以下に示す。

- ①Handling System のグリッパー部分がモノパイルを挟み込み、保持する。
- ②船舶に搭載された風車をレール上の Skid Module 上に載せる。
- ③レール上を Skid Module が移動し、モノパイル直上に移動する。(図 4.4)
- ④風車タワー部をモノパイルへ接続する。
- ⑤Skid Module 及び Handling System をモノパイルから取り外し、離脱。(図 4.5)

手順③においてモノパイルに風車を設置する場合、モノパイルと船を繋げるフレームは、船に近い部分では船と同じ動揺で動き、モノパイル側は動かない。風車のタワーが船からモノパイルに移動するに従って、風車のタワーに伝わる動揺は小さくなる。風車受け渡し前の図 4.4上図では、風車は船の動きと100%同じ動揺となり風車の荷重は船に100%の荷重が、モノパイルに0%の荷重がかかる。風車受け渡し途中を示す図 4.4中図では、風車は船の動きの50%と同じ動揺となり、風車の荷重は船に50%の荷重が、モノパイルに50%の荷重がかかる。風車の受け渡しが完了した図 4.4下図では、動揺はなくなり風車の荷重は船に0%とモノパイルに100%の荷重がかかる。

図 4.4 : Windlifter コンセプトの風車設置の手順③ (出典 : Ulstein 社カタログ)

図 4.5: Windlifter コンセプトの風車設置の手順⑤ (出典 : Ulstein 社カタログ)



図 4.6 : Windlifter コンセプトの模型を用いた説明

風車のWindlifterへの載貨については、風車を設置するのと逆の行程で行われる。岸壁あるいは岸壁近くのモノパイルに組み立て済みの風車を配置し、WindlifterのSkid moduleで掴み、skiddingで移動し本船に載貨する。風車を撤去する時もこの方法でWindlifterを使うことができる。Windlifterによる風車設置の海象条件は、有義波高2.5mとのことであった。

船のStability、浮体式への設置時の喫水変化、船のローリングによるGripperのねじれと強度やStability、緊急時の離脱等について、Ulstein社から明確な回答はまだ得られていない。

4.3 FLANGE CLAMP TOOL (IHCIQIP社)

IHCIQIP社(オランダ)はPileや掘削リグ、Clamp等について取り扱っている企業である。

同社が提供するFCT (Flange Clamp Tool)は、風車タワーと基礎との接続時のフランジのボルト締めの際に、遠隔操作で仮留めをするツールである。FCT はHywind Scotlandプロジェクトで使用され、ボルト締めの数は120本程度に対して、FCTの数は8本であった(図 4.7参照)。



図 4.7 : Hywind Scotland プロジェクトで使用された FCT (出典 : IHCIQIP 社カタログ)

FCT (Flange Clamp Tool)は、風車の上側フランジに仮設置され、基礎の下側フランジとの接続後、遠隔操作でFCT内のシリンダを延ばしロック機構を働かせ、上側フランジと下側フランジを仮留めする。その後、両フランジのボルト締めを行う(図 4.8参照)。

FCTは当初の調査内容である風車の保持・設置を行う機器ではなく、風車設置工事の際に風車-タワー間の接続補助を行うツールである。機器調査の主題とは異なる上、風車-SPAR間のスラミングが解決される技術ではないが、フランジ接続作業の安全性を高めることができ、本案件に適用する価値は十分にあると考えられる。

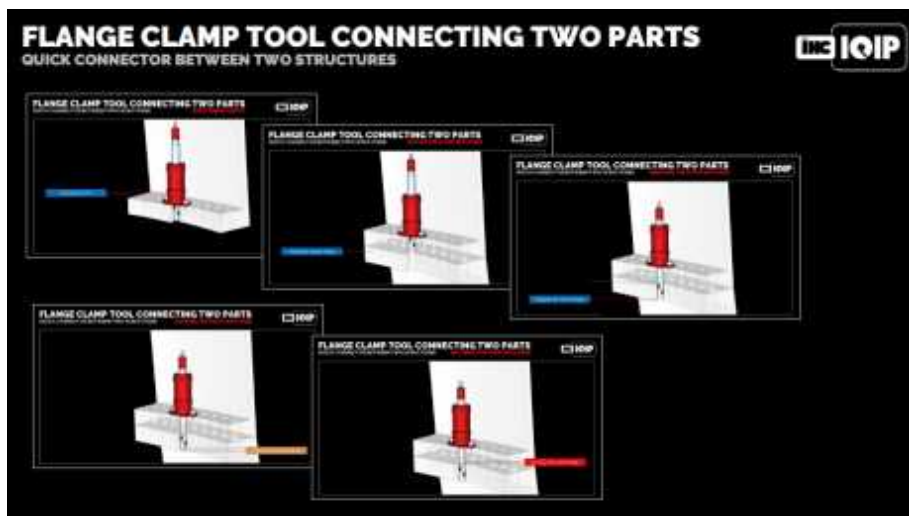


図 4.8 : FCT の機能(出典 : IHCIQIP 社カタログ)

4.4 DOUBLE SLIP JOINT (IHCIQIP社)

IHCIQIP社により開発されたDouble Slip Jointは、風力タービンの基礎のトランジションピースとモノパイルの間のグラウト接続またはボルト接続に取って代わる技術である。Double Slip Jointは、2つの円錐リングを2セット使用し、互いを配置して接続を行う。この円錐の角度は2度である。

図 4.9の矢印の部分にフランジ接続を設ければ、風車の製造会社はそのフランジの上側までを所掌し、IHCIQIPが下側のフランジから下側を所掌すれば、責任範囲の棲み分けができる。

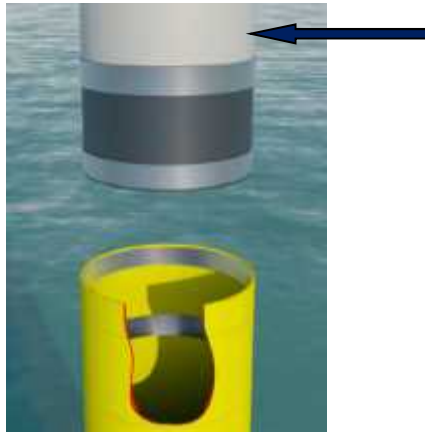


図 4.9 : Double Slip Joint (出典 : IHCIQIP 社カタログ)

Double Slip Jointを利用して、モノパイルを2分割することにより必要なクレーン吊り能力を減らすことができる。この場合、KCIの動画(図 4.10参照)で説明されるように、モノパイル同士の接続は(海上ではなく)海中で行われる。



図 4.10 : Double Slip Joint 使用例(出典 : <https://www.youtube.com/watch?v=cib7rM66Jq4>)

Double Slip Jointの水平方向等の許容は小さく、SEP船からの作業が想定されている。浮体式用のDouble Slip Jointも開発されているが、許容範囲はかなり小さく、本船(セミサブ式風車設置船)への適用は難しいと思われる。

5. 作業手順と必要な設備及びその配置等

5.1 搭載機器選定

風車搭載設置装置の調査を行った結果に基づき、Ulstein社のWindlifterとHuisman社のWind Turbine Shuttleについて、各々の機器を本船に搭載すると仮定し比較を行った(表 5.1)。

この結果として、現状では本船に搭載する風車搭載設置装置として、Wind Turbine Shuttleの上載設備が最も適切であろうという結論を得た。

表 5.1 : Windlifter と Wind Turbine Shuttle の比較

	Windlifter	Wind Turbine Shuttle
利点	<ul style="list-style-type: none"> 費用を低く抑えられる可能性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 風車のSPARへの設置時に必要とされる、モーションコンペンセータの能力が高い。 技術の成熟度が高い。 搭載時の転倒を防ぐことが出来る。
欠点	<ul style="list-style-type: none"> 浮体式への設置時の喫水変化、船のローリングによるPipe Gripperのねじれ、強度とStability、緊急時の離脱等について、まだ課題があると考えられる。 セミサブのデッキと基礎の間の垂直距離が大きい場合、風車の転倒の可能性が高くなる等、設置作業が困難となる。 	<ul style="list-style-type: none"> 費用が高くなると見込まれる。
評価	適用性：低い	適用性：高い

5.2 本船に必要な設備とその配置

上記検討より、本船に搭載する必要がある機器は、Huisman社のWind Turbine Shuttleの上載機器である。左舷(或いは右舷方向)から風車をSPARに設置できるように、同設備を本船の中央部に左右方向に配置する。

なお、上載機器のClamp高さについては変更可能であり、今後以下の項目を加味し決定する必要がある。

- ・ 岸壁での風車搭載時における風車敷設高さ
- ・ 風車設置工事時における風車搭載SPAR浮体の高さ
- ・ 本船の載貨重量及び重心

図 5.1:Wind Turbine Shuttle 上載機器を搭載した本船イメージ図

5.3 岸壁での風車載貨方法・手順の候補案

風車搭載機器としてHuisman社のWind Turbine Shuttleの船上設備をHakuryu-5に搭載すると仮定すると、岸壁での本船への風車載貨方法に問題が生じる。

Huisman社のWind Turbine Shuttleでは、岸壁から20mぐらい離れた沖の位置にモノパイルを建て、その上に陸上クレーンで風車を仮置きする。Shuttleの双胴の間にモノパイルがくる位置に着けて、Clampで風車を確保し、搭載する。

本船の場合、岸壁での本船への風車搭貨を陸上のクローラークレーンで行うと仮定すると、能力が高いクローラークレーンが必要となることから、経済性の観点から問題がある。一方で、Wind Turbine Shuttleと同様にClampを用いて本船へ載貨すると仮定すると、Huisman社の双胴船と本船のデッキ高さの差異に起因する問題が発生する。表 5.2にWind Turbine Shuttleと本船のデッキ高さの比較を示す。本船は海水面からのデッキ高さがWind Turbine Shuttleより9m高いため、Wind Turbine Shuttleと同様の載貨方法をとると風車の中腹をClampで保持することになってしまう。これは強度・作業性の観点から問題があるため、以下に示す2ケースについて考察し、成立性及び必要クレーンのスペックについて検討を行った。

各ケースのイメージ図を図 5.2に示す。

Case1 : 岸壁での本船のデッキの位置の高さが高いため、Wind Turbine Shuttleの船上設備のClampの可動範囲をデッキ下10mまでカバーする場合

Case2 : 岸壁での本船のデッキの位置の高さが高いため、風車を10m高い位置にアSEMBルする場合

表 5.2 : Huisman Wind Turbine Shuttle と本船のデッキ高さの比較

	Huisman Wind Turbine Shuttle	本船
Harbour draught	9.5m	9.2m
Deck height from bottom	28.8m	37.5m
Deck height from sealevel	19.3m	28.3m

図 5.2: Wind Turbine Shuttle と本船 Case1,Case2 との岸壁載貨方法比較

5.3.1 Case1:船上設備のClampの可動範囲をデッキ下10mまでカバーする場合

Clampに類似する機器の可動範囲が水面下にまで及ぶ例として、Well Intervention Vessel (WIV)におけるSubsea機器が挙げられる。下図 5.3に示す当該機器は、掘削用デッキタワーのガイドをムーンプールの底まで延長し、サブシー機器をガイドレールに沿って降下させる機能を持つ。このような事例があることから、船上設備のClamp可動範囲をデッキ下10mまでカバーし、船上設備の一部を海中に敷設させることは技術的には問題ないと思われる。経済性を含めたより詳しい検討には、Huisman社からの情報入手及び協議が必要である。

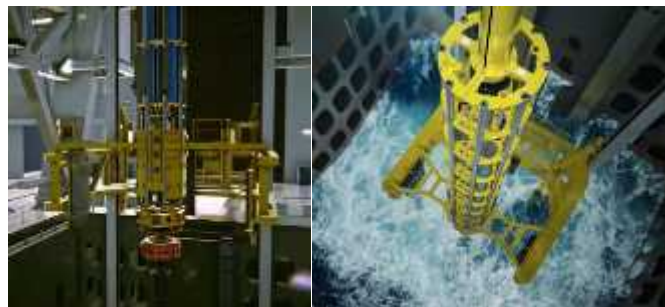


図 5.3:WIV におけるデッキ下へ移動する Subsea 機器の事例(出典：
<https://www.youtube.com/watch?v=CnXRIVGb2qQ>)

本船のMoor rackの幅は6mであるが、モノパイルの直径を10m程度と仮定すれば、モノパイルは岸壁に非常に近い位置に設置しても載貨時に本船と岸壁が接触する心配がない(図 5.4参照)。

搭載風車を3.5.1で仮定したDTU 10MW Reference Wind Turbineと仮定すると、その高さは119mである。地上から20mの高さ位置に仮設モノパイルフランジがあったとすると、モノパイル上に風車を組み立てるクレーンは $119+20+20$ (吊り代)=159mのLifting Heightが必要となる。クレーン旋回環半径25m、岸壁-クレーン間距離15m、岸壁-モノパイル間距離2mとすると、Slewing Radiusは42m必要となる。MAMMOET社の型式140DSクレーンの要目は以下の表 5.3の通りであり、クレーンが組立の工程上で吊り上げる最も重いものはナセル(446t)であることから、当該クレーンを基地港に設置すれば本船への風車搭載は十分可能であることがわかる。

図 5.4:風車搭載用モノパイル位置

表 5.3 : 型式 140DS の MAMMOET クレーンの仕様(出典:MAMMOET 社カタログ)

項目	値
Boom+Jib 長さ	140+36m
Radius	42m
Lifting height	Abt.180m
Lifting weight	1758t



図 5.5 : 型式 140DS MAMMOET クレーン(出典:MAMMOET 社 HP)

5.3.2 Case2:風車をWind Turbine Shuttleより10m高い位置にて搭載する場合

続いて、船上設備を低い位置に設置するCase1とは異なり、風車をWind Turbine Shuttleの場合より10m高い位置に設置する場合について考察を行う。

本船のデッキは、Wind Turbine Shuttleと比べて9m高い位置にある。また、前節の検討と同様に、モノパイルは岸壁に非常に近い位置に設置しても載貨時に本船と岸壁が接触する心配がない(図 5.4参照)。

搭載風車を3.5.1で仮定したDTU 10MW Reference Wind Turbineと仮定すると、その高さは119mである。地上から30mの高さ位置に仮設モノパイルフランジがあったとすると、風車をモノパイル上で組み立てるクレーンは $119+30+20$ (吊り代)=169mのLifting Heightが必要となる。クレーン旋回環半径25m、岸壁-クレーン間距離15m、岸壁-モノパイル間距離2mとすると、Slewing Radiusは42m必要となる。MAMMOET社の型式140DSクレーンの要目は表 5.3の通りであり、クレーンが組立の工程上で吊り上げる最も重いものはナセル(446t)であることから、当該クレーンを基地港に設置すれば本船への風車搭載は十分可能であることがわかる。

5.4 設置作業手順検討

以上の検討を基として、作業の手順を検討し以下に取り纏めた。

- (1) 予め岸壁から2m離れた位置にモノパイルを設置しておく。
- (2) 陸上のクレーラークレーンを用いて、上記のモノパイル上に風車をアSEMBルする。
- (3) 本船の上載設備のClampを用いて、前述したCase1,2のどちらかの工法により風車を載貨する。
- (4) 風車をSPARへ搭載する場所へ本船を曳航する。
- (5) プリセットしていた係留索にセミサブ側の係留索を接続し、位置保持する。
- (6) DPS付きの船がSPARを保持しながらセミサブに近づき、SPARを風車の直下に配置する。
- (7) 本船のバラストと上載設備のモーションコンセンペータの機能により、風車をSPAR上に搭載する。
- (8) DPS付きの船が風車搭載済みのSPARをロケーションに運ぶ。
- (9) 風車設置を終えた本船は、次の風車を載貨するために岸壁の基地まで曳航される。

6. 水槽試験の初期検討

続いて、2020年度実施予定の水槽試験の実施内容の初期検討を行った。

セミサブ型浮体としてHakuryu-5を改造し、風車搭載設置装置として、Huisman社のWind Turbine Shuttleの船上設備をインストールする。同設備のモーションコンペンセータの機能及びバラストングにより、揺れを防ぎつつ風車をSPAR上に搭載する。前章までで検討したこれらの項目を前提として、水槽試験の実施内容の初期検討を行った。

6.1 案1

風車を上記設備で持ち上げた状態で、表3.4の方法でSPARに設置する状況を模擬する。水槽試験の条件は下記とし、風車下端のフランジの位置を測定する。そのフランジの変位がモーションコンペンセータのカバーする範囲に収まるかを実証することで、本システムが適用できる海象条件を導出する。

- ・ 波周期： 9.0 秒まで
- ・ 有義波高： 3.5m まで

6.2 案2

また、宣伝用の模擬的な水槽試験を検討する。例として、以下の内容が考えられる。

- ・ 荷重移動に伴うSPARの沈みこみへの対応が可能であるかを確認する。
- ・ 動揺するSPARとのセミサブの連成問題を模擬し、それを解決する。具体的には、お互いに動揺するSPARとセミサブの位置関係が上載設備のコンペンセーションの範囲内に収まる状況を再現可能とする。

詳細は次年度に検討を行い、内容を決定する必要がある。

7. ECOSSE IP社の状況

本事業のスコットランド側パートナーのEcosse IP社(EIP社)のスコープは下記である。

- Ambient Lifterによる海底設置基礎の曳航と設置
- Micropilingによる海底設置基礎の固定
- Tension Leg Foundation (TLF) の適用性

EIP社とMicropile社は、港でのMicropileに関する試験を行い、以下の良好な結果を得ている。

- Micropileは10ton、 MonoPileは1tonの引張り強度であった。

しかし、試験内容は2本のMicropile間を水平方向に引っ張る試験であり、それをMonoPileと比較したもので、垂直方向に引っ張る試験ではなかった。 Micropileは海底設置基礎の固定に使用され、TLFからの力は海底設置基礎に鉛直方向に作用することから、Micropileに関する性能確認試験としてMicropileを垂直に引っ張る試験があるべきと思われる。

実際のオペレーションでは、海底にサブシーテンプレートを設置し、サブシーテンプレートからMicropilingをBMS(図 7.1参照)により行う。ただし、掘削リグで行われるドラグアンカー設置後のプリテンションによるアンカー把駐力の確認作業はMicropilingでは行われない。表7.1にEIP側設備の設置手順を示した。



図 7.1 : BMS の例(出典 : 基礎地盤コンサルタンツ(株)のカタログ)

Tension Leg Foundation (TLF) の設置手順で、TLFに風車を載せて曳航しても倒れないのかとEIPに確認したところ、まだ検討中であるとのことであった。

2020年度にEIP社が行うエンジニアリングに日本側の海気象条件の要請があったため、公開されている福島沖のネット情報を提供することとした。

表 7.1 : EIP 側設備の設置手順

No.	製品の特徴	主な製品
1		<p>Ambient Lifter is used to float out the micro-pile template, towed from shore using a tug or anchor handler vessel (AHV).</p> <p>Micro-piles are suitable for all seabed types and are considerably stronger and ~50% the installation cost of monopiles</p>
2		<p>Ballast is pumped into the Ambient Lifter and it lowers the micro-pile template to the seabed.</p>
3		<p>Ballast is removed from the Ambient Lifter and it returns to the surface to collect subsea drilling unit.</p>
4		<p>Ambient Lifter manoeuvres micro-pile drilling unit to template, each micro-pile is drilled into the seabed, activated by ROV.</p> <p>The template is grouted into place and provides an extremely strong foundation.</p>
5		<p>Floating transition piece, wind turbine and tension leg wires are assembled onshore and towed out to site using AHV or tug.</p>
6		<p>Transition piece is ballasted down and tension wires are manoeuvred into place, by an ROV, to secure the wires onto the micro-pile template.</p>
7		<p>Ballast is removed from the floating transition piece which rises and creates tension in the wires. The tension wire system is suitable for all water depths.</p>
8		<p>Armoured static riser cable is pulled through collar & J-tube and connected to the offshore asset to provide power (or can be installed as part of a windfarm).</p>

ジャパン マリンユナイテッド 株式会社

日本企業とスコットランド企業のEcosse IP社との連携については、今までに、日本側が浮体式洋上風車を設置するためのセミサブ作業船の開発を行い、そのセミサブ作業船を用いたTLFの設置手法のコンセプト開発をスコットランド側が行って、連携してきた。

2020年度は、Ambient Lifter の運用やTLFの設置等のエンジニアリングに日本の海気象条件等を適用することによって、より連携を深めていく計画である。

8. まとめと今後の課題

(1) 風車搭載・設置作業手順の初期検討

風車搭載、設置作業手順について、以下の初期検討を行った。

- ・ DPS機能の本船への装備は大規模改造を要するため難しいとし、本船の風車の直下にSPARを配置し、本船は係留によって位置保持を行う位置調整方法・作業手順を確立した。
- ・ さらに、風車設置手順を検討し、本船の傾斜制御による荷重移動を用いての風車設置手順を確立した。
- ・ また、本船の改造について初期検討を行い、風車設置工事時の本船重量情報を算出した。
- ・ 上記情報を用いて積付計算を行い、10MW級の風車1基の搭載が可能であること、同1基を搭載し前述の設置手順が全て問題なく行えることを確認した。

今後の課題としては、以下が挙げられる。

- ・ 風車搭載機器の重量について検討が加えられていないため、Wind Turbine Shuttleの詳細情報を入手し、再計算を行う。
- ・ 許容重心高さの算出方法や撤去機器について再検討を行い、風車搭載基数を増やすことができないか試みる。
- ・ 本船にDPを追加する場合の必要な改造について検討を行い、改めて位置保持方法を確定させる。
- ・ 機器情報入手後、運動計算を行い本船の特性を詳細に把握する。

(2) 他社機器調査

以下の機器の製造会社を直接訪問し、それらの機器の調査を行った。

- ・ Huisman社のWind Turbine Shuttle
- ・ Ulstein社のWindlifter
- ・ IHCIQIP社のFlange Clamp Lifter及びDouble Slip Joint

(3) 機器の選定及び設置作業手順の検討

前項で調査した機器のうち、Wind Turbine Shuttleの上載機器は本船の風車設置機器として適していると判断し、必要な設備とその配置について簡単に取りまとめた。また、設置手順及び岸壁での載貨方法について検討を行った。

今後の課題としては、以下が挙げられる。

- ・ 本船の図面をもとに、改造後の配置案についてより詳細に考察する。
- ・ 各オペレーション手順について、必要時間等を含め詳細な検討を行う。

(4) 水槽試験の初期検討

風車搭載設置装置としては、Huisman社のWind Turbine Shuttleの船上設備が適切である。同設備のモーションコンペンセータの機能によりスラミングを防ぐことを考えている。これを前提として、水槽試験の実施内容の初期検討を行い、2案を作成した。

今後の課題としては、試験に向け内容をより具体化させることが急務である。

(5) Ecosse IP社の状況

本事業のスコットランド側パートナーのEcosse IP社と面談を行い、同社の進捗状況を確認した。

また、次年度の計画について確認し、2020年度にEIP社が行うエンジニアリングに必要な日本側の海気象条件については公開されている福島沖のネット情報を提供することとした。