

SEP 船「BLUE WIND」を活用した 洋上風力発電所の建設

坂 本 憲 哉

清水建設(株)は、日本の洋上風力発電事業の推進に向けて、専用の施工船として自航式 SEP 船「BLUE WIND」を建造した。本船は、国内初となる 2,500 トン吊クレーンを搭載し、大型風車の設置を可能とするものである。本稿では、「BLUE WIND」(以下、当自航式 SEP 船)の開発背景、仕様、訓練運用、施工実績を紹介するとともに、洋上風力発電所建設における同船の有効性と今後の展望について述べる。

キーワード：洋上風力発電、自航式 SEP 船、BLUE WIND、施工技術、再生可能エネルギー

1. はじめに

政府は 2025 年 2 月 18 日に第 7 次エネルギー基本計画を閣議決定し、2040 年度までに再生可能エネルギーの比率を全体の 40～50%程度に引き上げる目標を掲げた。

この計画では、太陽光発電の比率を全体の 23～29%程度、風力発電を 4～8%程度とする目標が示されている。洋上風力発電は、再生可能エネルギーの主力電源化に向けた重要な役割を果たすと位置づけられており、特に洋上風力発電の導入拡大が期待されており、海外の洋上風力市場では、事業性の一層の向上を図るために、風車の急速な大型化が進んでいる。現在までは設備容量 8～10 MW クラスが主流であったが、洋上風力プロジェクトを推進する事業者の多く

が、既に 15 MW クラス以上の風車の据え付け施工が始まっており、我が国においても同サイズによる計画が進められている(図-1)。

2. 洋上風力向け SEP (Self Elevation Platform) 船の建造

洋上風力発電市場において、SEP (Self-Elevating Platform: 自己昇降式作業船) は風車の建設作業に欠かせない存在となっている。特に欧州諸国では、2010 年代以降に多数の SEP 船が建造され、現在も中型クラスの船舶が稼働を続けているが、風車の大型化や施工環境の多様化に対応するため、より高性能かつ大型の SEP 船の新造が進められている。

国際的には、Cadeler, DEME Offshore, Fred, Olsen

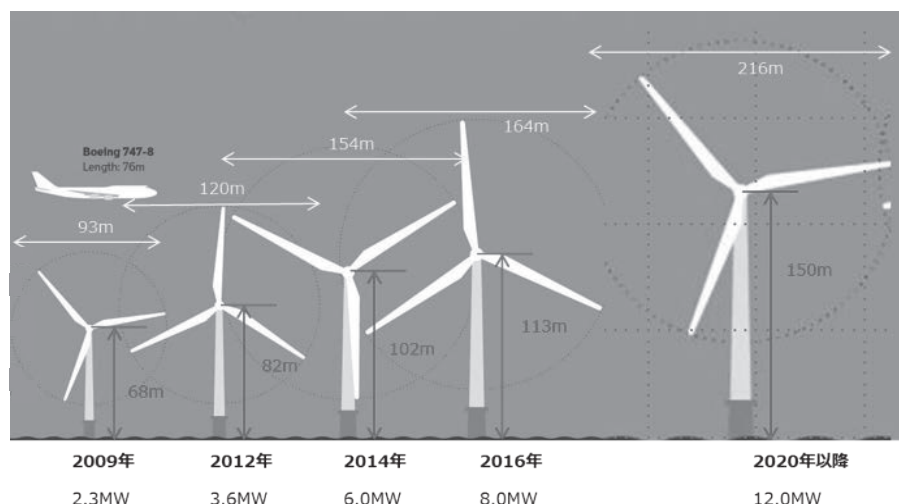


図-1 洋上風車の大型化の流れ

Windcarrier, Van Oord, Jan De Nul, Seaway7 といった欧州企業が多く、SEP 船を保有・運航しており、施工技術の蓄積と保有船の性能により、世界市場において優れた競争力を誇っている。なお、海外ではこれらの SEP 船を「WTIV (Wind Turbine Installation Vessel)」と呼称することが一般的であり、必ずしも自己昇降機能を有しないクレーン船も含まれる。また、ジャッキアップ構造を有する船舶については「ジャッキアップ・ベッセル (Jack-up Vessel)」という専門的な呼称が用いられることが多い。

このような国際的な潮流と国内の建設需要の高まりを受け、次世代の洋上風力発電施設の建設を支える新たな当自航式 SEP 船(写真—1)の建造に着手した。当自航式 SEP 船は、従来の SEP 船には見られなかった最新技術を多数搭載しており、2,500 トンという国内最大クラスの揚重能力を持つメインクレーンを中心に、各種機能が高度に統合された高性能作業船である。

本船は、自走可能な推進システムを有するだけでなく、レグ(昇降脚)とジャッキングシステムを用いて、作業時には船体を海面上に持ち上げる(ハルアップ)ことが可能な構造となっている。ハルアップ状態では、波浪の影響を受けず、安定した作業環境が確保されるため、風車の基礎施工や据え付けといった、ミリ単位の精度が求められる作業を安全かつ効率的に実施することができる。

設計においては、世界的な実績を有する GustoMSC 社のデザインが採用され、船体の安定性、揚重性能、海上での運用信頼性において高い水準を実現している。GustoMSC 社が手がけた自航式 SEP 船の設計は、従来の洋上風力発電施工の常識を覆し、作業の効率性と安全性を飛躍的に向上させている。加えて、この設計を採用しつつ、建造自体を日本国内で実施することで、国内の造船技術向上や雇用創出にも貢献した。さ

らに、最新のダイナミックポジショニングシステム(DPS)や高精度なジャッキング制御技術の導入により、施工中の安全性と環境負荷の低減を両立させている。

現在、日本国内では、大手建設会社を中心に SEP 船の整備・導入が加速している。これまでに4隻の SEP 船が竣工し、さらに既存船を改造する形で2隻の追加導入が予定されている。これらの動きは、洋上風力発電施設建設の需要増加に対応する施工能力強化を目的としたものである。具体的には、五洋建設が保有する800トン吊り「CP-8001」(2019年建造)、PKY マリン(五洋建設・鹿島建設・寄神建設の3社共同出資)が保有する1,600トン吊り「CP-16001」(2023年建造)、清水建設の2,500トン吊り「BLUE WIND」(2022年建造)、大林組と東亜建設工業が共同保有する1,250トン吊り「柏鶴」(2023年建造)などが稼働している。

また、今後の導入予定としては、2014年建造の中古 SEP 船を改造した「JWFC SUNRISE(仮称)」がある。この船は戸田建設、熊谷組、西松建設、若築建設、岩田地崎建設、吉田組の6社が共同保有する予定であり、2025年3月に改造を完了、同年9月から本格稼働する見込みである。さらに、五洋建設は欧州大手の DEME Offshore と設立した Japan Offshore Marine (JOM) を通じ、DEME が保有する「Sea Challenger」のクレーン能力を1,600トンに増強し、日本国内での運用を予定している。

3. 当自航式 SEP 船の基本仕様

風車の大型化に伴い、以下の主要な設計条件を設定し、GustoMSC 社に基本設計の策定を依頼した。GustoMSC 社は NOV グループ傘下であり、世界中で建造中の洋上風力発電施設建設用 SEP 船の約80%を手掛けており、その実績と信頼性は非常に高く評価されている。

設計コンセプトは以下の通り。

- ① 8 MW 及び 12 MW 以上級の大型風車据え付けおよび基礎施工の両方に必要な能力を持つこと、さらにそれ以上の次世代大型風車への対応を視野に入れた能力の確保
- ② 日本船籍を前提とし、海外での操業も想定した外航船に準ずる仕様。国内外での運用に対応できる設計
- ③ 施工サイクルタイムの向上のため、推進システムを持った自航式の採用



写真—1 自航式 SEP 船

4. 基本仕様

上記の設計条件を基に、次の基本仕様が決定された(図-2, 3)。

全長	142 m
全幅	50 m
総トン数	約 28,000 Tt
推進システム	5,000 馬力スラスタ x3 台 4,300 馬力スラスタ x3 台
Jacking System	ラック & ピニオン形式 (14,000 Tt/ 脚)
メインクレーン	1,250 Tt (伸長時: 揚程 158 m) 2,500 Tt (短縮時)
航行速力	11 ノット
DPS システム	DPS-B
デッキスペース	4,600 m ²

対応水深	10 ~ 45 m (レグ長 90 m 時)
レグ長	90 m ※レグは 109 m まで延長可能
居住区	最大 130 名宿泊可能 ミーティングルーム 娯楽室, ジム 食堂, 医務室

(1) メインクレーン

当自航式 SEP 船の大きな特徴は、GustoMSC 社によって新たに開発された最大揚重能力 2,500 トンの設置型全旋回テレスコピック式クレーン(伸縮式ブーム)を搭載している点にある。このクレーンは、基礎施工に適したブームを格納したリトラクトモード(図-4)と、風車の据付工事に対応するためクレーン揚程を重視してブームを伸長したエクステンデッドモード(図-5)の二種類を使い分けることが可能である。伸長時には大型風車のタワーを一体で吊り上げるための

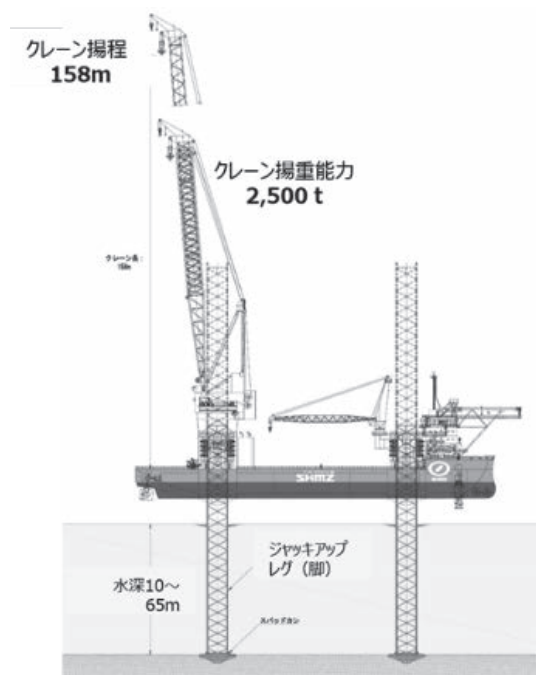


図-2 SEP 船の概要 (断面図)

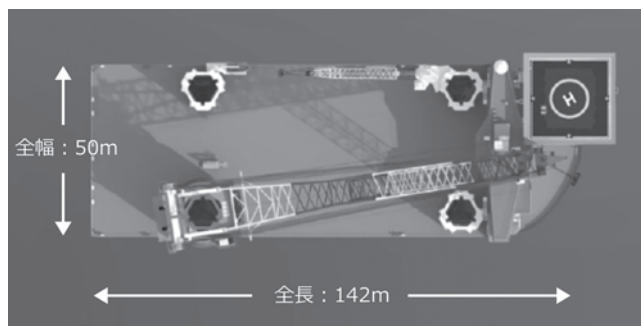


図-3 SEP 船の概要 (平面図)



図-4 基礎施工イメージ (リトラクトモード)



図-5 風車施工イメージ (エクステンデッドモード)

158 m の揚程を確保しつつ、基礎施工においては揚程を落としながらも 2,500 トンの大きな吊り能力を維持する設計となっている。

風車が大型化するにつれて、より重い基礎および高所へのナセル設置が求められる傾向にあるため、本クレーンはその両方のニーズに応えるべく設計された。ブームの伸縮は 30 分程度で変更可能であり、実案件においてもその機能を発揮している。

(2) タグラインシステム

ナセルやブレードといった風車部材据付の際には、海面上百数十メートル以上の高さで、ボルト孔を合わせる必要があり、吊荷の荷触れや方向制御が必要となる。船上のデッキ面積には限りがあり介錯ロープを使用しての制御は難しい。SEP 船では、タグラインシステムと呼ばれる荷ぶれ防止装置を用いるのが一般的であり当自航式 SEP 船のメインクレーンにもタグラインシステムが搭載されている。タグラインシステムには H と S と呼ばれる 2 種類のラインがあり、タグライン S はブームに固定された滑車を介して吊荷につながるが、タグライン H はガイドワイヤーを介して滑車がブームに沿って吊荷に追従するため水平方向にテンションを加えることができる。タグライン S と H がクレーン上に左右対称に据え付けられているため、最大 4 点での制御が可能となる。風車据え付けの際は、タグラインシステム操作者とクレーンオペレータの連携作業が重要となる（図—6）。

(3) 補助クレーン（Aux Crane）

当自航式 SEP 船にはメインクレーンとは別に、最大揚重能力 30 トンの補助クレーンが右舷船首側に搭載されている（写真—2）。稼働の際には、風車部材

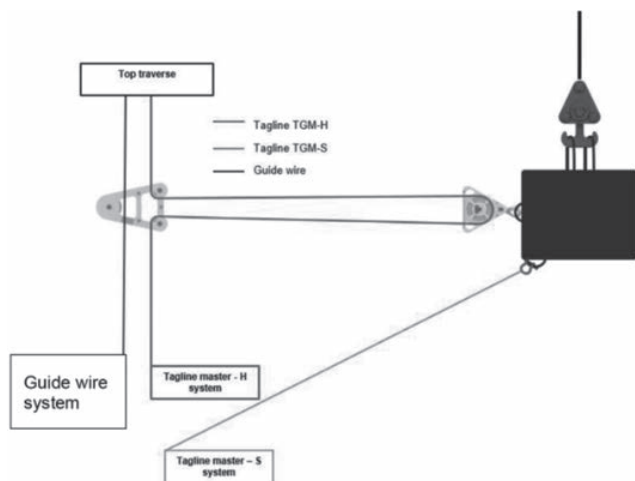
のみでなく、その周辺機器として発電機、コンテナ、重機といった多数の資材を船のデッキ上に搭載する必要がある。メインクレーンはその大きさ故、旋回やブームの上げ下げに時間がかかるため、資機材の揚重作業を効率よく行うには補助クレーンが欠かせない。当自航式 SEP 船は右舷側に接岸を想定されているため、右舷側に補助クレーンを取り付けたが、他船では両舷に 2 台の補助クレーンを付けている例もみられる。メインクレーンの稼働を止めずに、その他の資機材搬入を平行して進めるためにも補助クレーンの活用が効率的な施工の鍵となる。

(4) ジャッキングユニット

当自航式 SEP 船の大きな特徴の一つに、海底へと突き刺さる 4 本のレグ（脚）を用いて船体を上下させることが可能なジャッキングシステムの搭載が挙げられる。このシステムには、ラック&ピニオン形式（写真—3）が採用されており、鋼鉄製の歯が刻まれたレグに対し「ジャッキングユニット」と呼ばれる回転式ギアを噛み合わせ、その回転によってレグを正確に昇降させる構造となっている。



写真—2 30 トン吊 補助クレーン（Aux Crane）



図—6 タグラインシステムの概要図



写真—3 ラック&ピニオン形式

当自航式 SEP 船では、1 本のレグあたり 24 基、合計で 96 基のジャッキングユニットが搭載されており、これらを同時に駆動させることで、船体全体（総重量：約 28,000 トン）を波の影響を受けない高さまで安定して持ち上げることが可能となっている。この同時制御には極めて高い精度が求められ、各ユニットは連動制御されており、ミリ単位での船体水平維持が実現されている。また、駆動には高トルクに対応したモーターが使用されており、その動力はギアボックスを介して各ユニットへと伝達される。停止中には、モーターに内蔵された電磁式ブレーキ機構が作動し、船体の自重による不意の下降を防止するとともに、レグを所定の位置に安全に固定することができる（写真—4、図—7）。

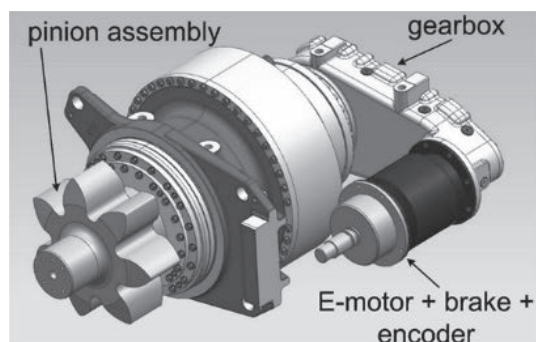
このように、ジャッキングシステムの高い制御性と信頼性により、洋上の厳しい気象・海象条件下においても、作業時の船体安定性が常に確保され、クレーン作業や設備据付といった高精度作業の信頼性が大幅に向上している。

(5) ボートランディング

洋上風力発電所建設工事においては、作業員の乗下



写真—4 ジャッキングユニット全景

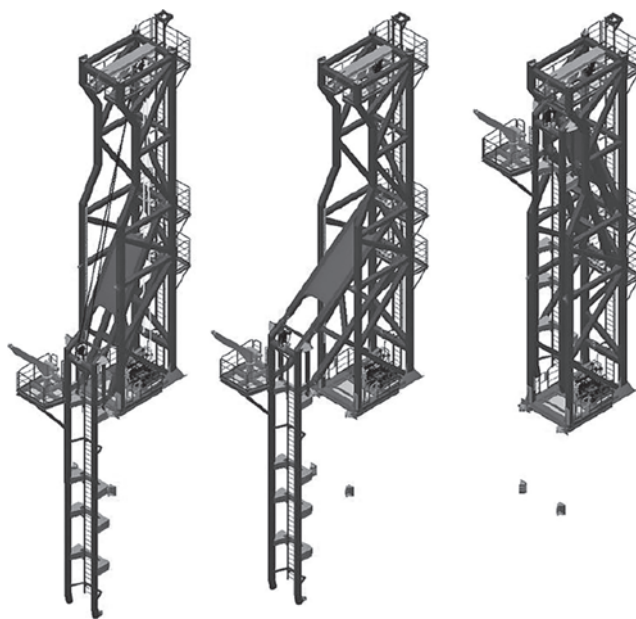


図—7 ジャッキングユニット概略図

船が安全かつ確実に行われることが求められる。特に、人員交代が予定通りに実施できない場合、労務管理上大きな問題となるだけでなく、作業の安全性や効率に直接的な影響を及ぼす。当自航式 SEP 船ではこの課題に対処するため、舷側にボートランディング設備を設置している（図—8）。これは、補助船からの乗降用に設計された鋼構造のプラットフォームであり、波浪の影響を受けにくい位置と構造により、乗員が安全に移動できるよう配慮されている。さらに、この設備は格納式となっており、航行中には水抵抗を最小限に抑える構造となっている。これにより、設備の破損リスクや航行性能への悪影響を避けることが可能であり、安全性と効率性を両立した設計が、安定した作業体制の確保に大きく貢献している。

(6) ギャングウェイ

風車建設工事中の乗員移動や物資搬入において、隣



図—8 ボートランディング（右から格納時、展開中、展開後）



写真—5 ギャングウェイ

接設備や岸壁との安全なアクセスが必要不可欠である。当自航式 SEP 船には、他船舶や洋上構造物へのアクセスを可能とする格納式ギャングウェイが装備されている（写真—5）。作業員はギャングウェイを通じて安全に移動が可能となり、クレーンやボートによる昇降に頼ることなく迅速なアクセスが確保されている。必要に応じて迅速に展開できるこの装置は、洋上作業の柔軟性を高めるとともに、安全性と作業効率の向上に大きく貢献している。

5. 習熟訓練

(1) クレーンシミュレータートレーニング

自航式 SEP 船において 365 日 24 時間の運航体制を実現するためには交替人員も含めて約 50 名の船員が必要となる。一般商船に比べ圧倒的に経験者の少ない特殊な SEP 船運航に対して、実案件迄の限られた期間に当自航式 SEP 船の船員全員が十分な習熟期間を確保できるよう、早い段階から当自航式 SEP 船へ配乗する船員を確定し、忙しい現役船員の乗船・休暇スケジュールを考慮した綿密な習熟訓練日程を計画した。習熟訓練の例としては、

- ① 建造ヤード許可の下、メーカー FAT (Factory Acceptance Test) 立会
- ② 建造ヤードによる海上公試で 1 週間程度の航行立会
- ③ GustoMSC 社の技師や 2021 年に技術協力のアライアンスを締結した欧州 SEP 船運行会社の船長を当自航式 SEP 船へ講師として招聘
- ④ 引き渡し後の航海訓練、ジャッキング訓練やクレーン操作訓練、効率的な運航やメンテナンス等の習熟訓練

クレーンオペレータへの訓練は、実機操作訓練以外にも GustoMSC 社製のクレーンシミュレータを船内に配置し、実機訓練が出来ない期間にも有効な訓練機会を確保した。本シミュレーターはクレーン操作や各種アラームの対処方法に加え、様々な環境条件や風車サイズを設定でき、実案件に応じた実践的な訓練が可能である（写真—6）。

(2) タグライントレーニング

洋上風力施工の特徴の一つであるタグラインシステムとメインクレーンの連携操作を実案件までに習熟するために海外からメーカー講師を招聘し、タグライン操作のトレーニングを実施した。メインクレーンを用いた風車部材模擬物の吊り上げ、港湾での積込作業といった訓練に加えて、タグラインシステムとの連携操



写真—6 クレーンシミュレーター



写真—7 タグライントレーニングの様子

作についてトレーニングの中で確認した（写真—7）。タグラインシステムは風車施工を行う上での鍵となる装置であり、施工のみに限らず、積込作業の際にも使用する。当自航式 SEP 船のメインクレーンの様なテレスコピックタイプにタグラインシステムが搭載されたケースは世界で初めてである。

6. 施工実績

当自航式 SEP 船は 2022 年 1 月の運用開始以降、国内外の洋上風力発電プロジェクトにおいて数多くの実績を重ねてきた。その高い性能と施工能力を活かした本船は、国内初の商用規模の大型風車建設を含む複数のプロジェクトに投入されており、計画通りの安全かつ高精度な施工に大きく寄与している。以下にその施工事例を紹介する。

(1) 入善洋上風力発電所

入善町沖における着床式洋上風力発電プロジェクトでは、当自航式 SEP 船を活用し、基礎施工作業としてモノパイルの打設が行われた。この作業では、最大吊上能力が求められるため、メインクレーンをリトラクテッドモード(最大吊荷重 2,500 トン)で使用した。

モノパイルは船上でクレーンと専用の立て起こし装置を用いて立て起こされ、パイルグリッパーに荷重を預けた。その後、メインクレーンで油圧ハンマー装置を吊り上げ、モノパイル上部に設置し、打設作業を実施した。このプロジェクトでは、入善町沖約 900 メートルの海域に 3 MW の風車 3 基を建設した。基礎部分から風車本体の施工全てを当自航式 SEP 船が担当し、2023 年 2 月から 3 月にかけて風車基礎(全長約 60 メートル)の打設を行い、4 月から 6 月にかけて風車の据付を実施した(写真—8, 9)。入善沖洋上風力発電所は、2023 年 9 月 22 日より運転を開始している。

本発電所には、中国の明陽智能(ミンヤン)製の 3,000 kW 級風車が採用され、3 基の風車は出力制御に

より最大出力 7,495 kW で運用されている。発電された電力はすべて「再生可能エネルギー固定価格買取制度(FIT)」を通じて売電され、一般家庭約 3,600 世帯分の年間使用電力量に相当する。

(2) 石狩湾新港洋上風力発電施設

石狩湾新港洋上風力発電所の建設において、当自航式 SEP 船は 2023 年 7 月から 9 月にかけて、8 MW 級の風力発電機 14 基の据付を担当した。本プロジェクトは、(株)グリーンパワーインベストメントが設立した特別目的会社「合同会社グリーンパワー石狩」により推進され、北海道石狩市および小樽市にまたがる海域に位置している。

施工にあたっては、風車の基礎構造としてジャケット式基礎が採用された。これは現地海域の自然条件や施工条件、風車の仕様を踏まえて最適化された構造であり、当自航式 SEP 船は風車据付部分の施工を担当した。

据付作業に際し、まず石狩湾新港内の作業ヤードで 3 分割されたタワーの組立や内部配線工事を行い、当自航式 SEP 船が風車部材を搭載して洋上の設置地点へと向かった。現場では 4 本のレグを海底に突き刺し、ジャッキングシステムにより船体を海面上約 10 メートルの高さまで持ち上げることで、波や風の影響を受けない安定した作業環境を確保した。その後、2,500 トン吊りのメインクレーンを駆使して、タワー、ナセル、ブレードの順に風車部材を精密に据付した。なお、石狩湾新港の海底地盤は粘土層で軟弱であり、ジャッキング作業には最大 28 時間を要するなど難航したが、一度ハルアップ(船体の持ち上げ)が完了すると、施工の安定性が確保された(写真—10)。

全 14 基の風車据付は予定通り完了し、発電所は 2024 年 1 月 1 日より商業運転を開始している。最大出力は 112 MW で、一般家庭約 8 万 3,000 世帯分の電力供給が可能である。なお本プロジェクトは、国内初



写真—8 入善沖洋上風力 風車基礎打設



写真—9 入善沖洋上風力 風車据付



写真—10 石狩湾新港洋上風力 風車据付

の8 MW 大型風車を採用した商用洋上風力発電所として、今後の日本におけるモデルケースとなっている。

(3) Greater Changhua Offshore Wind Farm Project

2024年10月初旬から12月初旬にかけて、当自航式SEP船は台湾のGreater Changhua Offshore Wind Farm Project(大彰化離岸風力発電計画)に参画した。このプロジェクトは、台湾彰化県沖合35～60 kmの海域において、総設備容量900 MWの洋上風力発電所を建設するもので、111基の8 MW級風力タービンの設置が計画されていた。当自航式SEP船は、このうち10基の風車据付を担当した。台湾の10月から11月にかけては、強風や高波といった厳しい気象条件が続き、洋上風力発電所の施工には非常に困難な時期である。他社の過去の実績では、月間3基程度の据付が平均的であり、施工スケジュールの遅延が懸念される状況であった。しかし、当自航式SEP船は2.0メートル以上の波浪でも風車の輸送が可能な高い耐候性を備えており、これを活かして厳しい施工環境下でも迅速かつ安全な風車据付を実現した。結果として、当初目標としていた6基の据付を大幅に上回る10基の風車を予定通り設置し、プロジェクトの進捗に大きく貢献した。

(4) Yunlin Offshore Wind Farm

Yunlin Offshore Wind Farm(雲林離岸風力発電廠興建計畫)は、台湾中部の雲林県沖合8～17 km、水深7～35 mの海域に位置する、発電容量640 MWの



写真—11 Yunlin Offshore Wind Farm 風車基礎打設

大規模な洋上風力発電プロジェクトである。本発電所は、8 MWの風力タービンを80基設置する計画で、2025年1月30日に商業運転を開始した。

本プロジェクトは、允能風力發電股份有限公司(Yunneng Wind Power Co., Ltd.)が事業主体となり、Skyborn Renewables GmbH, TotalEnergies SE, Electricity Generating Public Company Limited, 双日(株)など、複数の国際企業が共同で推進している。

当自航式SEP船も本プロジェクトに参画しており、2024年2月から200日以上にわたり、基礎工事に従事した。季節風の影響を受けやすく、波浪や潮流といった海象条件が厳しい中での施工となったが、想定を上回る15本のモノパイルを約2ヶ月の期間で打設する成果を上げた(写真—11)。このプロジェクトの成功により、台湾の再生可能エネルギー供給が大幅に増加し、年間約120万トンのCO₂削減が見込まれている。

7. おわりに

当社としては、未経験の領域である「BLUE WIND」の運用に挑戦しながら、社内外の多くのプロフェッショナルの方々に支えられつつ、第一歩を踏み出すことができたと感じており、実際の施工を通じて得られる知見や経験は、当社の洋上風力施工技術の確立に向けた貴重な財産となっている。今後も、欧州等の先行事例との違い(気象・海象、地質、文化・風習といった様々なギャップ)を着実に乗り越え、日本の海域に適した施工技術の確立を目指していく。これらの取り組みを通じて、「BLUE WIND」を最大限に活用し、洋上風力発電の普及に貢献することで、我が国が掲げる再生可能エネルギーの主力電源化の一助となることを願ってやまない。

J C M A

[筆者紹介]

坂本 憲哉(さかもと かずや)

清水建設(株)

エンジニアリング事業本部

洋上風力プロジェクト推進室 SEP 運営部
部長

