

## 期待される 再生可能エネルギーの導入

秋田県能代港に建設中の洋上風力発電所の完成イメージ(2022年12月予定)。

画像提供：秋田洋上風力発電(株)

# 洋上風力発電

二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの排出を削減する「脱炭素」の取り組みが進んでいる。太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーの導入は世界的に加速しており、各国が大規模な導入計画を発表している。日本の再生可能エネルギー導入の「切り札」ともいわれている洋上風力発電について紹介する。

### 世界的に加速する洋上風力発電の導入

英国では、世界最大級の洋上風力発電所が2022年1月、営業運転を開始した。英国沖に設置された90基の大型風車の総出力は約860MWで、英国の一般家庭約80万世帯分の電力を発電するという。

国際再生可能エネルギー機関（IRENA：International Renewable Energy Agency）は、洋上風力発電の設備容量は2018年には23GWであったが、2030年には約10倍の228GW、2050年には1000GWに迫ると予測している。そして、2050年の風力発電全体の設備容量の約17%を洋上風力発電が占めると予想している。このため現在、洋上風力発電の導入で先行しているのは欧州であるが、今後は北米やアジアでの導入の拡大・加速が進むと考えられている。

日本でも2050年に温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする「カーボンニュートラル」の実現に向けた取り組みが行われている。洋上風力発電は、大量導入やコスト低減が可能なことに加え、大きな経済波及効果が期待できることから、再生可能エネルギーの主力電源化に向けた「切り札」といわれており、導入のための法整備などが進められている。

2019年4月には、「海洋再生可能エネルギー発電設備の

整備に係る海域の利用の促進に関する法律（以下、再エネ海域利用法）」が施行され、長崎県五島市沖など6区域が「促進区域」として指定されている。

また、再エネ海域利用法を通じた洋上風力発電の導入拡大と、これに必要となる関連産業の競争力強化と国内産業集積およびインフラ環境整備等を、官民が一体となる形で進め、相互の「好循環」を実現していくことを目的とした「洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会（以下、官民協議会）」が2020年7月に経済産業省と国土交通省により設置され、2020年12月には「洋上風力産業ビジョン（第一次）（案）」を発表している。

「洋上風力産業ビジョン」では2030年までに約10GW（1,000万kW）、2040年までに30～45GWを導入目標としている（図1）。さらに、2040年までの国内調達比率目標を60%、着床式洋上発電のコストを2030～2035年までに8～9円/kWhとすることなどが示されている。経済産業省の発電コスト検証ワーキンググループの発電コストの試算では、2030年の電源別発電コストはLNG火力が10.7～14.3円/kWh、石油火力が24.9～27.5円/kWhとなっており、洋上風力発電ではこれよりも低い水準を目指すことになる。発電コスト削減のためには、技術開発が不可欠であり、官民協

議会では2021年4月に「洋上風力の産業競争力強化に向けた技術開発ロードマップ(以下、技術開発ロードマップ)」を発表し、産業競争力強化と低コスト化を実現する要素技術開発を進めていくとしている。

## 建設が進む日本の大型洋上風力発電

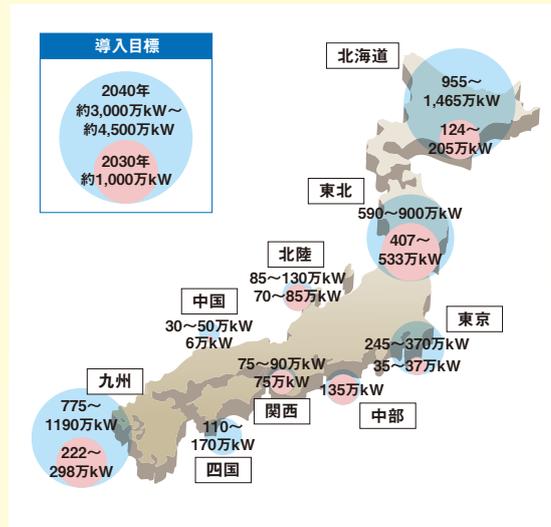
洋上風力発電の支持構造物は、着床式、浮体式と移動が可能なセリング式の3種類に分類される。このうち、着床式には重力式、モノパイル式、ジャケット式の3種類がある(図2)。洋上風力発電の導入で先行している欧州では着床式が主流でその大部分がモノパイル式を採用している。着床式のうちモノパイル式と重力式は水深30m以下、ジャケット式は水深30~60mが適当とされ、水深60mを超えると着床式と浮体式の建設コストが逆転するといわれている。現在、浮体式は各国で実証試験が計画・実施中である。

日本では再エネ海域利用法により事業者に最大で30年間、海域の利用を認める促進区域の指定が進められており、長崎県五島市沖、千葉県銚子市沖、秋田県能代市・三種町・男鹿市沖などが指定されている。

港湾法に基づく港湾区域の一つで、洋上風力発電設備の建設が進む秋田港・能代港洋上風力発電施設でもモノパイル式が採用されている。同施設では、33基の4.2 MW風車を設置する計画で、発電容量は一般家庭の消費電力量約13万世帯分の138.6 MWに相当する(図3)。

モノパイル式とは、モノパイル(大口径鋼管杭)を基礎として、トランジションピースと呼ばれる部品で風車のタワーと接続する方式である(図4)。

モノパイルは海底地盤に打ち込まれ、上部に取り付けられたトランジションピースとは、グラウト接合される。グラウト接合とは、管径の異なる鋼管を同心に重ね合わせた空間



環境アセス手続き中などの案件を含む導入イメージ。なお、浮体式のポテンシャルは考慮されていない。  
出所：洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会、「洋上風力産業ビジョン」

図1 洋上風力発電のエリア別導入イメージ



重力式は海底が平坦で堅牢な岩盤の場合に適している。モノパイル式は砂質の比較的堅牢な海底土質に対応でき、ジャケット式は軟弱地盤にも対応できる。  
出所：国土交通省・環境省、「港湾における風力発電について」

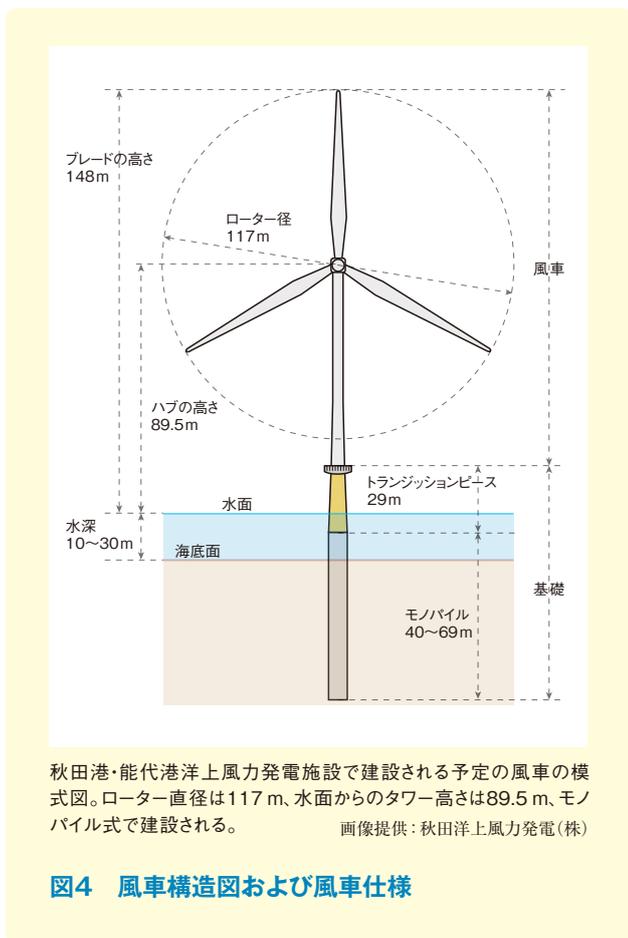
図2 主な着床式の基礎構造



出力4.2 MWの風車を秋田港に13基、能代港に20基で合計33基を建設予定で、発電容量は138.6 MWである。2022年12月の完成を目指して工事が進んでいる。

画像提供：秋田洋上風力発電(株)

図3 秋田港・能代港洋上風力発電施設の風車設置位置



にグラウトと呼ばれる材料を充填し、グラウト材と鋼材の付着強度とグラウト材のせん断強度で接合する接合方式である。トランジションピースには風車タワーが接続され、タワー上部に発電機などが収められたナセルとブレードを順に取り付けていく。

海底の工事が必要で、モノパイル周辺の海底が海流などにより削り取られる洗掘を防止する工事や送電などのための海底ケーブルの敷設などが行われる。

秋田港・能代港洋上風力発電施設では2021年9月にすべてのモノパイル打設を完了し、2022年12月の完成を目指して、建設が進められている。

### 技術開発で国際競争力を強化

科学技術振興機構研究開発戦略センターがまとめる『研究開発の俯瞰報告書 環境・エネルギー分野(2021年)』では、現代の大型発電用風車の特徴として揚力型、水平軸、Upwind(ローターをタワーの風上に配置)、プロペラ式3枚翼、鋼製モノポールタワーを挙げている。また、風向にローターを追従させるヨー制御、翼の角度を変えて受ける風の量

を調節するピッチ制御、風速に合わせてローターの回転数を増減する可変速運転の3つが標準的な制御として搭載されており、これらの基本構成は今後も大きく変わらないだろうと予測している。

また、同報告書では注目される技術トピックスがいくつか挙げられており、洋上風力発電では風車の超大型化と、基礎と建設工事に触れられている。基礎と建設工事では例えばモノパイル基礎のコスト削減技術として、トランジションピースを使用しないトランジションピースレス工法やスリップジョイント工法などの新工法の実証が海外で行われている例が紹介されている。日本ではパイル下部をバケツ状に拡げて、その内部で砂を攪拌してポンプで吸い上げることでパイルを沈み込ませるサクシオンバケット工法が2020年からNEDOの助成によりメーカーによる実証試験が開始されている。

また、前述の官民協議会「技術開発ロードマップ」では、洋上風力サプライチェーンを、調査開発、風車、着床式基礎製造、着床式設置、浮体式基礎製造、浮体式設置、電気システム、保守運転の8つの分野に区分して、それぞれ技術開発項目を挙げている。その中で着床式に関しては、欧州で確立した基礎構造を、日本・アジアの地質・気候・施工環境などに最適化し高信頼性と低コスト化を実現することが必要であると指摘している。

鋼製タワーやモノパイル基礎などの低コスト化については、高品質の鋼材という日本の強みが生かせる分野である。今後、大単重鋼板の製造技術の確立や高比強度鋼材の採用などで、鋼製タワーの軽量化などによる低コスト化の実現が期待できる。さらに、各国で実証試験が進められている浮体式についても、日本の鋼材の活躍が期待される。

そのほかにも大型風車に対応した作業船や港湾設備の整備も必要になる(図5)。国土交通省は、秋田港・能代港・鹿島港・北九州港の4港を海洋再生可能エネルギー発電



## 洋上風力発電設備の建設に不可欠なSEP船

洋上風力発電設備の建設にはSEP船(Self-Elevating Platform:自己昇降式作業台船)が用いられる。SEP船はレグ(脚)を海底に下ろして、船体(プラットフォーム)を海面上に持ち上げることで、波浪の影響を直接受けず、比較的気象の荒い海でも建設作業ができるため、稼働率を向上させ、安全に作業することを可能にしている。

今まで国内では、SEP台船上にクローラークレーンを設置して作業していたが、より効率的で安全な施工を可能とする日本初の大型クレーンを搭載したSEP船「CP-8001」が2018年12月に完成している(図6)。国内における全旋回式起重機船としては最大級のクレーンを搭載し、10 MW級の風車の設置が可能だ。

SEP船にクレーンを搭載するメリットにはプラットフォームの有効活用が挙げられる。SEP船に適した形状のクレーンを設置することで「CP-8001」ではプラットフォームの有効面積を最大化している。

また、SEP船は洋上風力発電設備の設置場所までモノパイルや鋼製タワーを輸送する役割も担っている(図7)。そのため、船体の軽量化が重要になる。船舶に使用する鋼材は日本の船級規格が適用され、「CP-8001」では信頼性と品質の高い日本製鋼材が約3000 t、船体に使用されている。

同船は長尺レグを使用することにより水深50 mでの作業が可能で、最新式のジャッキシステムを採用している。ジャッキ能力は、レグ1本当たり2400 tで、毎分40 cmの速度で連続したジャッキアップが可能である。

SEP船は海底に敷設されたケーブルなどを避けてレグを下ろすために、高い船位保持機能も求められる。同船には船首船尾の両舷にそれぞれ1基ずつ、合計4基のアジマススラスタを搭載し、気象・海象条件の悪い海域でも確実に位置を保持できるようになっている。そのほか、「CP-8001」には120人分の居住施設やヘリデッキなど、長期間の建設作業を安全かつ効率的に行うための設備が装備されている。また、SEP船は洋上風力発電設備の建設だけでなく、維持管理や撤去にも必要になる(図8)。洋上風力発電設備の建設が本格化すると、SEP船が不足することも予想されており、施工会社が同様のSEP船の建造を進めている。



日本初の大型クレーンを搭載したSEP船。10 MW級の風車の設置が可能で、長尺レグにより水深50 mでのジャッキアップに対応している。  
画像提供: 五洋建設(株)

図6 SEP型多目的起重機船「CP-8001」



SEP船には現場での作業に加え、風車部材を建設現場まで運搬する役割も要求される。図は風車部材を積載した場合のイメージ図。

画像提供: 五洋建設(株)

図7 風車部材運搬のイメージ図



北九州で行った風車撤去作業の様子。SEP船は洋上風力発電設備の建設だけでなく、維持管理や撤去にも必要になる。

画像提供: 五洋建設(株)

図8 風車撤去の様子

設備等拠点港湾(基地港湾)として指定している。

洋上風力発電を国際競争力のある産業分野として発展させるためには、調査開発から運転保守、撤去にいたるまで多岐にわたるコスト削減とサプライチェーンの構築が重要になる。例えば調査開発では風況観測や風車配置の最適化を行うが、日本に適した手法を確立する必要がある。また、足下で導入が進む着床式についても欧州で確立した技術

を日本の地質・気候・施工環境などに最適化していかなければならない。さらにコストの約35%を占めるとされるメンテナンスのデジタル化によるコスト削減なども必要になる。しっかりとしたサプライチェーンは世界的なカーボンニュートラル推進の潮流の中、アジア市場での日本の存在感を強めることにもつながる。サプライチェーンの一翼を担う鉄鋼業界の貢献に期待したい。