

北海道における洋上風力発電



白石 悟 (しらいし さとる)

(一社)寒地港湾空港技術研究センター審議役

1955年北海道上川郡清水町生まれ。北海道大学工学部土木工学科卒業。博士(工学)。運輸省港湾技術研究所構造部海洋構造研究室研究官、同主任研究官、同室長、(一財)沿岸技術研究センター研究主幹、(独法)港湾空港技術研究所地盤・構造部長、北海道工業大学工学部社会基盤工学科教授、北海道科学大学工学部都市環境学科教授を経て、現職。専門分野は海洋構造工学、環境エネルギーシステム。

はじめに

産業革命後の人為的な二酸化炭素の排出により、地球温暖化が進んでいます。世界気象機関(WMO)は2023～2027年の5年間で産業革命前と比べて1.5℃以上高くなる年がある確率は66%であることを報告しています。2100年における地球上の平均気温の上昇を1.5℃に抑えるためには、2050年にカーボンニュートラルを達成することが強く求められています。一方、新型コロナウイルス禍後の経済回復や、グローバルサウスと呼ばれる発展途上国の経済成長により、二酸化炭素の削減の達成には厳しい現状があります。二酸化炭素の削減には、グリーントランスフォーメーション^{*1}が急がれます。日本においても「脱炭素成長経済構造への円滑な移行の推進に関する法律」(GX推進法)が今年5月に可決成立しました。今後は、様々な施策を通じて、脱炭素社会の形成を目指すことが求められています。

風力発電の導入状況

世界の風力発電の導入量は拡大を続けています。GWEC(Global Wind Energy Council)によれば、2022年12月末時点の世界の風力発電(陸上+洋上)の累積導入量は906GW^{*2}です。また、同時期の洋上風力発電の累積導入量は64.3GWです。近年増加の傾向にある洋上風力発電ですが、世界全体の風力発電の累積導入量の約7%に過ぎません。

洋上風力発電の動向

(1) 欧州

欧州における大規模洋上ウインドファームはデンマークにおける開発が先行する形で進み、2002年にHorns REV 1(160MW^{*2}、2MW×80基)が、2003年にNysted(166MW、2.3MW×72基)が運用を開始しました。

英国では海域を管理するクラウンエステートが2001年(Round 1)、2003年(Round 2)、2010年(Round 3)2022年(Round 4)に洋上ウインドファームの開発海域を指定しました。その後、英国において大規模洋上ウインドファームの開発が進み、この10年間は同国が欧州における累積導入量の首位をキープしています。

ドイツにおいても2002年に連邦海運・水路庁(BSH)が開発海域を指定したことが、その後の洋上ウインドファームの開発を大きく進展させました。2015年以降はドイツの洋上風力発電の導入量が大幅に増加しています。

2020年にはオランダ、ベルギーにおける導入量が大幅に増加しました。オランダでは、2015年以降、毎年一定規模の0.7GWの計画が認可されています。2020年には2015年と2016年の認可分の洋上ウインドファームが運用開始となり洋上風車が増加しました。2023年以降については、毎年1GWの計画が認可されています。

2023年の時点では、英国のHornsea 1(1.218GW、7MW×174基)が世界最大規模の洋上ウインドファームです。さらに、設備容量1GW以上の洋上ウインド

*1 グリーントランスフォーメーション(GX: Green Transformation)
温室効果ガスを発生させる化石燃料から太陽光発電、風力発電などのグリーンエネルギー中心へと転換し、経済社会システム全体を変革しようとする取り組み。

*2 電力の単位

GW(Giga Watt:ギガワット)1GW=1,000MW=1,000,000KW=1,000,000,000W
MW(Mega Watt:メガワット)1MW=1,000KW=1,000,000W

ファームが複数箇所において建設または計画が進められています。風車1基のサイズを大型化し、基数を減らすことにより総建設コストを削減する方向性が顕著に見てとれます。

(2) 日本

日本における洋上ウインドファームの建設は欧州に比べて大きく立ち遅れています。欧州と比べ、洋上風力発電に適する遠浅の海域が少ないことが大きな理由です。また、洋上立地についての法制度上の位置付けが明確でなかったことも要因です。日本では、海域の管理主体が港湾管理者であり、明確であった港湾における洋上風力発電の取り組みが先行しました。港湾においては、2012年6月に「港湾における風力発電について－港湾における管理運営との共生のためのマニュアル－Ver.1」（以下、港湾風力マニュアル）が公表され、港湾区域内に洋上風力発電を設置する場合の水域占用許可の手続きが示されました。これを受けて、港湾区域内の洋上風力発電の計画が進められました。「港湾風力マニュアル」による計画のうち秋田港（4.2MW×13基）、能代港（4.2MW×20基）については、洋上風車の基礎が2021年に建設されました。ついで、2022年に風車本体が設置され、同年12月末に洋上風車の運用が開始されました。また、石狩湾新港（8MW×14基）においても2023年夏に洋上風車の設置工事が実施されました。同年12月には運用が開始される予定です。

港湾区域においては2016年5月に成立し、同年7月に施行された改正港湾法により公募占用制度が創設されました。これにより「港湾風力マニュアル」に記載されていた事業者選定と海域の占用許可の手続きが法的根拠に基づく制度となりました。改正港湾法を受けて2016年7月には「港湾における洋上風力発電の占用公募制度の運用指針ver.1」が公表されました。同法による事業者公募と選定の第1号は北九州港であり、現在、建設に向けた準備が進められています。

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）が施行されました。同法に基づき、2019年12月に「長崎県五島市沖」が「促進区域」に指定されました。ついで2020年7月に、「秋田県能代市・三種町・男鹿市沖」、「秋田県由利本荘市沖（北側）」、「秋田県由利本荘市沖（南側）」、「千葉県銚子沖」が「促進区域」に指定されました。また、2021年9月に、「秋田県八峰町及び能代市沖」が「促進区域」に指定されました。「促進区域」に指定された海域では事業者の公募が行われました。このように再エネ海域利用法の施行後は、一般海域における洋上風力発電建設に向けて事業提案が活発になっています。

2020年10月には、日本でも2050年を目標に二酸化炭素の実質的な排出をゼロとする「カーボンニュートラル」を目指すことが表明されました。同年12月には「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が発表されました。「洋上風力発電」はカーボンニュートラルを目指す14の分野の実行計画の中で最初の項目として取り上げられています。日本の洋上風力発電の導入量は現状では欧州に比べて、低い状態に留まっていますが、将来の導入目標量は2030年までに10GW、2040年までに30～45GWとされています。

洋上立地に向けた基盤整備

(1) 基地港湾の整備

港湾は風力発電機ならびに基礎等の資材の搬出入、組立、保管等の場所として重要です。風車タワーは岸壁前面でクレーンを用いて組み立てられます。風車タワーは風車サイズにもよりますが、おおむね3つのパーツをクレーンにより積み上げて構築されます。その後、タワー内の電源ケーブルの結線や昇降用リフトの設置が行われます。港湾内では、この作業エリアが最も荷重が大きくなるため、既存の岸壁の補強が必要となります。欧州の事例では、地耐力は200～500kN/m²*³です。補強により地耐力を高めることに加えクレーン作業エリアでは鋼板を敷くなどして荷重分散を図っています。港湾内でプレアセンブリ*⁴された風車は自己昇降

* 3 N/m²（ニュートン毎平方メートル）
圧力の単位：1 m²あたりの面積を押す力
1 kN/m²は約100kg/m²

* 4 プレアセンブリ（Pre Assembly）
基礎および風車の部材の搬入・保管、風車タワーの事前組立。

式作業台船（SEP船）に搭載されたクレーンを用いて積込作業が実施されます。SEP船のレグ*5は岸壁前面に着座するため、レグの貫入対策が必要となります。

欧州では、事業の実施とともに既存の港湾の機能を補強しながら基地港湾が整備されました。日本においても、今後、一般海域における建設が進むことをふまえ2020年2月に施行された改正港湾法により、海洋再生可能エネルギー発電設備等拠点港湾（基地港湾）が位置づけられました。再エネ海域利用法に基づく選定事業者等に、港湾施設を長期・安定的に貸し付けることが制度化されました。基地港湾として2020年9月に、能代港、秋田港、鹿島港、北九州港の4港が指定されました。さらに2023年4月には、新潟港が追加指定されました。

(2) 基礎製造拠点・作業船の整備

現在、国内には大型洋上風車の製造拠点は無いので、すべて海外からの搬入となっています。また、洋上風車の基礎構造であるモノパイル*6についても、秋田港、能代港における事業では、欧州第2位の風車基礎メーカーであるSif社の製品がロッテルダム港より搬入されました。日本における洋上風力発電の導入拡大のためには、国内製造体制の確保が必要です。2021年7月にはJFEエンジニアリング(株)が、モノパイルの生産設備を建設することを発表しました。

洋上風力発電施設の施工にはSEP船等の作業船が必要となります。SEP船の海外調達には、海上曳航えいこうに要する時間やコストの課題があるため、国内において調達することが望ましいと言えます。SEP船の建造にいち早く取り組んだのが五洋建設(株)で、2019年1月に非自航式の「CP-8001」を竣工しました。それ以降、複数の会社が大型SEP船の建造を進めました。清水建設(株)は自航式の「Blue Wind」を2022年10月に竣工しています¹⁾(写真)。同船は2023年4月に富山県入善町沖の3.3MWの洋上風車3基の設置を行いました。次いで、2023年夏に北海道石狩湾新港において、8MWの洋上風車14基の設置に利用されました。



写真 SEP船「Blue Wind」

(3) 送電線網の整備

将来の洋上風力発電の導入目標量を達成するためには、北海道・東北など風力ポテンシャルの高い地域における洋上ウインドファームの開発と消費地への送電網の整備が必要となります。経済産業省では2021年から2022年にかけて「長距離海底直流送電の整備に関する検討会」を開催し、整備へ向けた課題の整理や計画についての検討に着手しました。その後、直流海底送電線の検討は電力広域的運営推進機関（OCCTO）が行いました。現在、(独法) エネルギー・金属鉱物資源機構（JOGMEC）において直流海底送電線の建設に向けての海域調査が行われています。

(4) 浮体式風力発電施設の開発

日本沿岸の水深条件から将来的には浮体式発電施設の開発が主体とならざるを得ません。浮体式は洋上風力発電の先進地の欧州においても建設例が多くありません。ノルウェーでは、2009年にスタバンゲル市沖合の水深220mの地点で2.3MWの洋上風車1基のパイロット施設が建設されました。2017年には英国スコットランド沖の水深95m～120mの海域に6MWの洋上風車5基のウインドファームが建設されました。さらに、ノルウェーにおいては、Hywind Tampen洋上ウインドファームにおいて水深260～300mの海域に8MWの

* 5 SEP船はレグと呼ばれる4本の脚を海底に下ろし、船体をジャッキアップによって海面から浮かせることで自立させる。

* 6 モノパイル
1本の大口徑杭を支持地盤に打ち込み、風車を支える形式の基礎。

洋上風車11基の建設が進められ、2022年にその運用が開始されました。日本においても、長崎県五島市沖、福島沖、北九州市沖で浮体式洋上風力発電の実証研究が進められました。日本において最初に促進区域に指定された長崎県五島市沖では浮体式による洋上ウインドファームの建設が進められています。この洋上ウインドファームは2024年1月の運用開始を目標としています。浮体式基礎は着床式基礎と比べ建設コストが高ことから、今後は、係留システムを含めて基礎となる浮体の大幅なコスト縮減が課題となります。

(5) 電力調整システム

カーボンニュートラルを実現するためには、季節的・時間的に変動する発電出力を調整しながら利用することが求められます。欧州では電力調整の広域化により風力発電の導入拡大が進められました。しかしながら、風力発電の導入比率がさらに高くなると別の対応が求められます。日本においては現時点では陸上を含めて大型蓄電池が出力調整システムとして採用されています。カーボンニュートラル実現のためには、電力から他のエネルギーソースへの変換、すなわち「Power to Gas」等の対応が不可欠となります。経済的に成立する風力エネルギーから水素への変換技術、水素をタンカー等で輸送する広域の流通システムなどのエネルギー全般の変革を今後進める必要があります。

北海道の洋上風力発電

北海道では、再エネ海域利用法により、2021年9月に「北海道石狩市沖」、「北海道岩宇・南後志沖」、「北海道島牧沖」、「北海道檜山沖」、「北海道松前沖」の5海域が「一定の準備段階に進んでいる区域」に指定されました。これら5海域は今年の5月には「有望な区域」に昇格となりました。今後は各海域において調整が進むことにより「促進区域」に指定され、事業者の公募など建設に向けての計画がより具体化することが期待されます。

導入拡大に向けた課題

当面は、北海道の日本海側の水深40mよりも浅い海域における着床式の洋上風力発電施設の建設が先行すると思われます。さらに沖合の海域では、水深の関係から着床式よりも浮体式の建設が有利となります。

洋上風力発電の導入拡大のためには、「洋上立地に向けた基盤整備」で述べた様に、①基地港湾の整備、②基礎製造拠点・作業船の整備、③送電網の整備、④浮体式発電施設の構造の開発ならびにコスト縮減、⑤電力調整システムの開発 について着実に進めることが必要となります。

図は、洋上風力発電のコスト低減と導入量のシナリオを示しています²⁾。着床式洋上風力発電については、2030年時点で1kWhあたり8～9円までコストを下げる目標となっています。浮体式洋上風力発電は、その時点でのコストは1kWhあたり20円を目標としています。現在の浮体式風力発電のFIT単価の1kWhあたり36円よりは、随分と安くなる見通しです。浮体式については、2040年の累積導入量は11GWで、単価は1kWhあたり約9円を想定しています。逆にこの単価が実現できなければ、目標通りに浮体式洋上風力発電の導入が進まないと言えます。導入量が順調に伸びるためには、技術開発に加えて量産化によるコスト縮減が大きな課題と言えます。

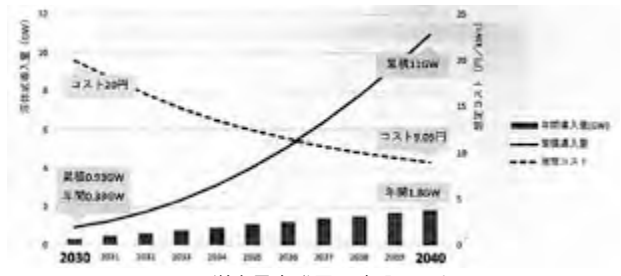


図 洋上風力発電の建設コスト

参考文献

- 1) <https://www.shimz.co.jp/company/about/news-release/2022/2022046.html>
- 2) NEDO:浮体式洋上風力発電低コスト化技術開発に関する調査、2022年3月