

**Techno Scope**



東日本大震災による原子力発電所の事故とそれによる電力不足等を契機として、自然エネルギーの利用に高い関心が集まっている。なかでも特に注目されているのが、再生可能エネルギーである太陽光発電と風力発電である。しかし、国土の狭い我が国においては、多数の大規模太陽光発電所を建設することは難しく、また、風力発電の風況適地は限られている。そこで我が国に適した風力発電方法として期待されているのが、洋上風力発電である。

# 洋上風力発電実用化への期待

日本初の外洋に建設された「ウインド・パワーかみす洋上風力発電所」。(掲載協力：(株)ウインド・パワー)

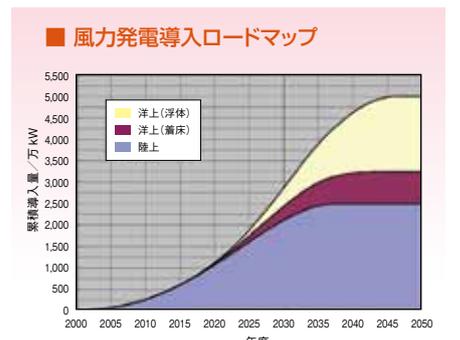
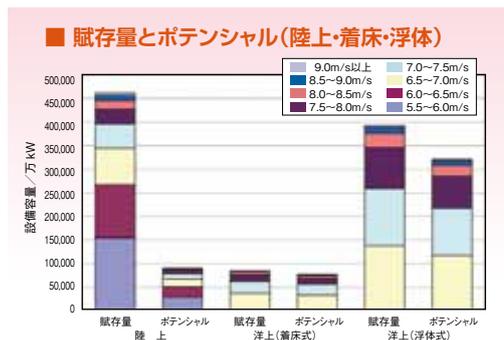
## 世界的に関心が高まる洋上風力発電

自然エネルギーを利用した発電でまず思い浮かべるのは、太陽光発電と風力発電であろう。21世紀のための再生可能エネルギー政策ネットワーク (REN21: Renewable Energy Policy Network for the 21st Century) によると、2010年の世界の電力供給量の約20%、発電容量の4分の1が再生可能エネルギーによるものであると報告している。このうち太陽光発電が40GWであるのに対し、風力発電は198GWと約5倍の発電容量である。また、新設される発電設備容量の約50%を占める再生可能エネルギーの投資額は2110億ドルに達し、そのうちの約900億ドルが風力発電設備に投資されている。早い時期から風力発電の導入を進めてきた欧州を中心として、近年、洋上風力発電所の建設が進んでいる。

このように風力発電、とくに洋上風力発電の導入が進められ

ている背景には、陸上の風況適地が減少していることと、海上は陸上と比較して安定した風況であることなどが理由として挙げられる。

最初の洋上風力発電設備は1990年にスウェーデンで建設された1基の風車である。1991年にはデンマークで11基の風車からなる洋上風力発電所が建設された。さらに、2002年には80基の風車を有する大規模洋上風力発電所が建設されるまでにいたっている。欧州連合では、2020年までに4,000万kWの洋上風力発電を導入する計画であり、これはEU全体の電力需要の約4%に相当する。

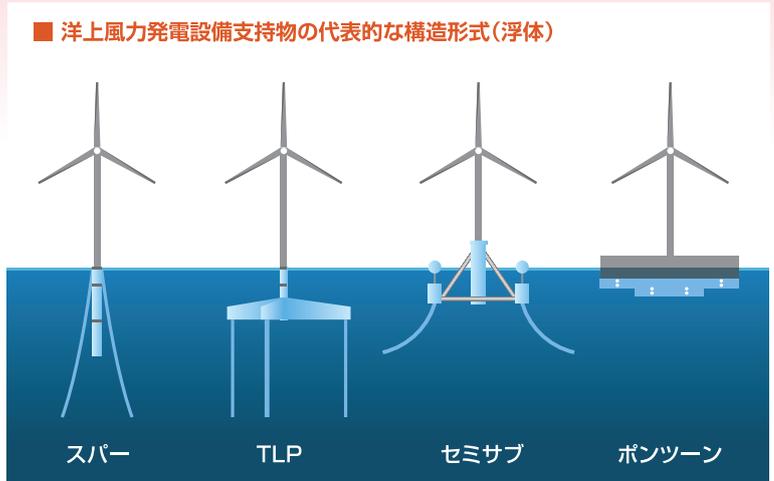


「平成22年度新エネルギー等導入促進基礎調査事業(風力エネルギーの導入可能性に関する調査)調査報告書」のデータを元に編集部で作成。

(一)日本風力発電協会による試算。



**デンマークの洋上風力発電所**  
2002年に完成した「Horns Rev」は風車80基、出力160MWを誇る。付近にはさらに世界最大の「Horns Rev 2(風車91基、出力209 MW)」が建設されている。



一方、448万km<sup>2</sup>という世界第6位の排他的経済水域を有する我が国においても、洋上風力発電は電力自給の切り札として注目されている。NEDOの風力発電ロードマップでは、2020年までに風力発電導入量の約4割を洋上風力発電で賄うとしており、また、一般社団法人日本風力発電協会のロードマップによれば、2030年代後半には新設される風力発電所のほとんどが洋上風力発電所になるものと予想されている。

この理由は、洋上風力発電のポテンシャルの高さによる。自然エネルギーを評価する際には、理論的に算出されるエネルギー量である「賦存量」、一定の条件下で利用可能なエネルギー量である「ポテンシャル」、さらに経済性を考慮した「導入可能量」などが用いられる。ポテンシャルで比較する場合は、浮体式と呼ばれる洋上風力発電のポテンシャルが飛び抜けて高いことが分かる。これらの評価はNEDO、環境省、資源エネルギー庁などで行われているが、浮体式のポテンシャルは

おおむね陸上や着床式の3～4倍と評価されている。

### さまざまな形式の洋上風力発電

洋上風力発電の方式は、「着床式」と「浮体式」に大別される。海底に風車を支える支持物を設置する着床式は、水深50～60m以浅の海域に適用される。それよりも水深が深い場合には一般に浮体式が経済的に有利とされている。

すでに多数の洋上風力発電所が建設されている欧州では、水深50m以浅の海域が多く、これまでは着床式の洋上風力発電設備が多く採用されている。しかし、我が国周辺の海域では、海岸から数kmで水深が50m以深となる場合が多く、洋上風力発電の大量導入の実現には、浮体式洋上風力発電設備の開発・実用化が不可欠である。

着床式の場合は、海底工事や塩害対策などが必要であるものの、陸上風力発電設備の施工ノウハウを応用することができる。しかし、浮体式の場合は風荷重に加え、絶えず波荷重が加わるため、風車や浮体構造物などには、陸上の設備よりも高い疲労耐久性が要求されることになり、コストを押し上げる要因になっている。さらに、波の荒い洋上での施工になるため、施工やメンテナンスの費用についても、陸上風力よりも割高になる。

浮体基礎は大きく、スパー型、TLP (Tension Leg Platform: 張力脚)型、セミサブ型、ポンツーン(バージ)型の4つに分類される。「ウキ」のような形状のスパー型は浮心の下方に重心を配

### 我が国で初めて外洋に設置された洋上風力発電所

着床式洋上風力発電所の国内最初の例は、2004年に建設された瀬棚洋上風力発電所(北海道)である。また、同年に酒田海上風力発電所(山形県)が開業している。いずれも港湾内に基礎が設置されているが、外洋に基礎が設置された初めての例が、神栖洋上風力発電所(茨城県)である。

欧州の着床式洋上発電所で多く採用されているモノパイル形式の基礎を適用し、堤防から40～50mの沖合に建設されている。ただし、基礎や風車の工事は陸上クレーンにより行われている。

風車には、洋上風力発電に適しているとされる風下側にプロペラが取り付けられたダウンウィンド型風車が採用されている。



ウインド・パワーかみす

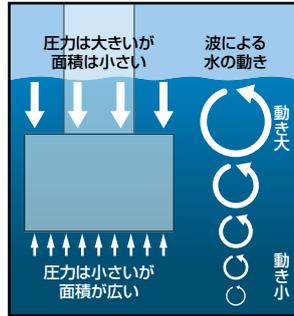
設置場所	茨城県神栖市南浜洋上
風力発電機	SUBARU 80/2.0
発電出力	14,000kW (定格出力2,000kW×7基)
タワー	高さ: 60m、 直径: 4.2m、鋼製モノパイル
ブレード	翼長: 40.0m
稼働開始	2010年

(写真提供: (株)ウインド・パワー・いばらき)

### ■ アドバンストスパー型浮体

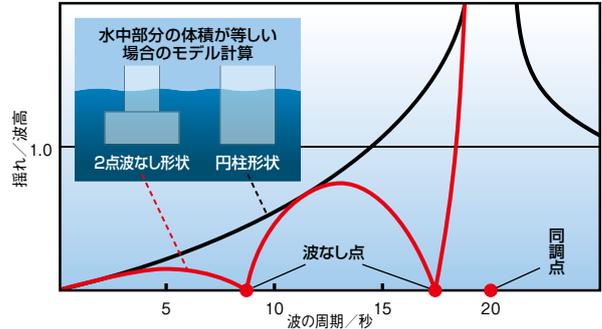


### ■ COBの原理



石油の掘削リグのようなセミサブ型では、浮体を上に引っ張る力と、下に引っ張る力が生じる。これらの力を同調させるように浮体の形状を調整する。

### ■ COBによる揺れ低減の模式図



「波なし点」の周期では、浮体にかかる波の力が相殺され、浮体が揺れない。単純な円筒形スパーの場合は、同調点となる周期を長周期側になるように調整することで、通常の波の周期での動揺を抑えている。これに対し、アドバンストスパー型浮体では、波なし点が2つ現れる形状にすることで、従来よりも低く動揺を抑えている。

置することで、静的安定性を確保する方式である。これに対しTLP型では、張力脚を緊張係留することで安定性を保っている。セミサブ型は海底油田の掘削などに用いられる掘削リグと同様の形状を持つ浮体であり、ポンツーン型は静穏域への設置に適しているとされている。

## 浮体式洋上風力発電の実用化に必要な技術開発

大きな期待が寄せられている浮体式洋上風力発電であるが、解決すべき課題は少なくない。より安定した浮体の開発や、高効率な風車の開発など、積極的な研究開発が進められている。技術開発上の課題には、コスト低減と信頼性と耐久性の向上という大きな2つのテーマがある。

コスト低減では、陸上風車と比較して発電コストに大きな割合を占める基礎、運用、保守費用を圧縮するために、効率的な運搬、施工方法を実現する支持構造、浮体構造、係留方式の開発が必須である。

また、風力発電のエネルギー変換効率は40%以上であり、太陽光発電よりも遙かに高効率で発電することが可能である。しかし、風速8m/sのエネルギー密度は約0.3kW/m<sup>2</sup>と低く、出力の増大のためには、風車の大型化が必要である。そのため、ブレードを軽量化する低コストの炭素繊維強化プラスチック(CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastics)などの材料開発や、風車と支持構造の疲労予測の精度向上などが求められている。

一方、信頼性・耐久性の向上では、まず、支持構造・浮体構造の最適設計技術の確立が急務である。特に洋上風力発電の大量導入を実現するためには、浮体構造の開発が重要になる。

さまざまな浮体形式が研究・開発されているが、先頃、(株)アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッドと東京大学が共同でユニークな形状の浮体を開発している。「アドバンストスパー型(低動

揺型)風力発電浮体」と名付けられたスパー型の浮体には、喫水とスパー底部、そしてその中間付近に太くなった部分を持つ特徴的な形状が設けられている。これは「二点波なし形状(COB: Column Outer Belt)」という構造で、洋上風況観測システムなどの浮体開発で培われてきた技術である。海中では、水深が深くなるほど水の動きは小さくなり、浮体にかかるエネルギーが小さくなる。水深の浅い位置と深い位置に面積の異なる構造物を配置することで、水の動きのエネルギーを相殺するのが、COBの基本原理である。

風力発電では、風向きに合わせて風車の向きを制御する「ヨー制御」が重要であるが、浮体が水平方向に回転すると、ヨー制御が難しくなる。そこで、「アドバンストスパー型浮体」では、スパーの底部に「動揺低減フィン」を設置することで、回転を抑える工夫が施されている。

これまで、揺れを低減するためには、より重心を低くする必要があり、スパー型では100m程度になる長大な喫水部分が必要であった。このため、スパー型の風力発電設備は、通常、横倒しにして建設場所まで運び、クレーンなどによって、直立させた後、風車などが取り付けられる。しかし、喫水を50mに抑えた「アドバンストスパー型浮体」であれば、造船所などで建造したスパーを垂直のまま曳航することが可能になり、建築コストの低減に大きく寄与する。

洋上風力発電の普及には、その他にも、駆動・制御システム、海上風の観測・予測シミュレーション技術、疲労照査・メンテナンス技術、地震・津波・落雷などの対策等も必要であり、早期の普及を実現するためには、積極的な技術開発が必要である。

## 実証試験が進められる洋上風力発電

現在、洋上風力発電の本格導入を目指して、各種の実証事業や調査研究も活発化している。着床式の洋上風力発電

## 多様な可能性を秘める浮体式エネルギーファーム

風車による発電量は風速の3乗に比例し、ブレード長の2乗に比例する。そのため、洋上をはじめとした風力発電所は大型化を志向して技術開発が進められてきた。その一方で、高効率な風車に加え、太陽光、潮力、波力、アンカーケーブルに働く張力などをエネルギー源とする複合的な洋上発電ファームの研究が進んでいる。

高効率な風車として注目されているのが「風レンズ風車」で、風の流れを妨げる「ツバ」を取り付けることにより渦を発生させ、下流に低圧部を生成して、ブレードを回す風を増速できる風車で、従来型の風車の3倍の電力を生むことが可能である。



風レンズ風車

現在、博多湾でこの風レンズ風車2基(3kW×2)と、さらに1.5kWの太陽光パネルを搭載した浮体式エネルギーファームの実証試験が行われている。実証試験での浮体の直径は18mであるが、将来は直径100mの浮体を多数連結した洋上浮体式複合エネルギーファームが計画されている。このエネルギーファームは、風力や太陽光による発電だけでなく、養殖場や海洋牧場、バイオエタノール用藻類の工場などとしての利用が可能のほか、洋上都市や洋上空港、海洋資源探査基地など、多目的に利用できることが特徴である。



博多湾での実証試験



洋上式多目的複合エネルギーファーム(予想図)

(資料提供:九州大学 応用力学研究所)

については、NEDOが千葉県銚子沖合と北九州市沖合で「洋上風力発電システム実証研究(平成22~25年度)」が進められている。

浮体式では、環境省が長崎県五島市杵島沖合で「浮体式洋上風力発電実証事業(平成22~27年度)」を行っている。この事業では、気象・海象・環境影響調査と、浮体式発電設備の設計と実証機製造、実証運転による事業性の評価等が行われる計画である。

また、資源エネルギー庁は、福島県いわき市沖合で「浮体式洋上ウインドファーム実証研究事業(平成22~27年度)」を開始している。この事業には、震災復興策のひとつとして風力発電による産業振興がテーマであるが、材料に関する実証試験も行われる計画である。そのひとつは、洋上風力発電用高張力鋼を使用した実証試験により浮体式に関する鋼材ルールの整備、国際標準につなげるデータの採取である。また、溶接継手部の疲労特性を飛躍的に向上させる技術の確認や、係留チェーンの耐久性の確認、ステンレス鋼のライニング加工による耐食性確認試験などが計画されている。

洋上風力発電については、その他にも、資源エネルギー庁の「洋上風力発電に係わる安全規制を中心とした動向調査」、国土交通省の「浮体式洋上風力発電施設の安全確保に係わる調査」など、運用に関する研究などが関係各省により進められている。

浮体式の洋上風力発電の実用化には、産業振興や輸出

拡大への貢献という側面もある。風力発電装置は部品点数が多く、メガワット級の風車に使用される部品点数は約1万点といわれている。風車メーカーのシェアは海外勢が一步先んじているが、国内中心のサプライチェーンを形成することができれば、裾野の広い産業分野として、ものづくりの振興に大きく貢献できるであろう。

風力発電では一日の長がある欧州では、世界初の本格的浮体式洋上風力発電施設が2009年に建設され、実証試験が進められている。しかし、今後の市場の拡大が期待される浮体式については、我が国が技術的優位を發揮できる造船技術の応用が可能であり、優れた鋼材の供給についても、技術的なアドバンテージを有している。現在進められている実証事業の成果が、新たな産業の創出に繋がるのが期待される。



ノルウェーの浮体式洋上発電実証試験  
世界初の浮体式洋上風力発電施設「Hywind」は北海(ノルウェー南西部のStavangerの沖合い10km)に設置され、2009年より稼働している。

(写真提供:Innovation Norway)

●取材協力 (一般社団法人)日本風力発電協会、(株)アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド  
●文 藤井美穂