

海洋再生可能エネルギーの 未来を拓く造船業

いま太陽の光や風の力を利用する「再生可能エネルギー」による発電が注目を集めています。とくに四方を海で囲まれた日本では、海上に巨大な風車を浮かべる洋上風力発電の開発がすすめられている真っ最中。そこでは船をつくるだけではない造船業の別の一面を垣間見ることができます。

ポイント

洋上風力発電構造物の過大な動揺(ゆれ)は風車設備の故障原因となるため、厳しい気象条件下でも安定性を確保することが求められ、洋上の風車を設置するための浮体構造物が高度な性能を持つことが重要になります。この風車「ふくしま未来」の浮体部分には、セミサツ方式(半没水型)が採用されており、ここに造船技術が活用されています。

セミサツ方式は構造物全体の半分ほどを水中に沈める(半没水の状態)ことによって、安定性を確保しようとしています。

6本の係留索(チェーンやロープのこと)で固定されており、ばねの効果を持たせることで動揺を抑える働きがあります。このばねの力は係留索が重いほど効果的であるため、リング径の大きな重いチェーンを採用しています。

今回利用したチェーンの輪は太い丸棒を曲げて作られています。一つの輪の重さは200kg以上あります。

ブローラの直径は **80m**

106m

水面から風車最高点までは106mで、新宿などの超高層ビルの高さに匹敵します。

「ふくしま未来」は、福島県の沿岸から約20km離れた水深120mの沖合に設置された浮体式洋上風力発電設備です。

どんな仕組みになっているの？

約**60m**

平面を構成できる最小の形である三角形を採用して揺れにくい構造を実現しています。この浮体では三角形の中心に位置する風車の支柱として4本目のコラム(柱)があり、4コラム型セミサツと呼びます。

水没部分は、重くするためにバラスト(重し)タンクとし海水を充てんしています。さらに、柱の部分を小型化することで風車を支える機能と波浪の周期に対する動揺を低減する機能を持たせ、安定した状態を確保することができます。

写真提供：三井造船(株)

なぜ、浮体構造物が最適なのか？

日本のエネルギー事情

安全性・環境保護・コスト面での課題が多い

国の取組みとしての新たな海洋基本計画

洋上風力発電の実用化・導入拡大を官民が協力して推進する

海洋再生可能エネルギーのポテンシャル

国内電力10社の約6倍

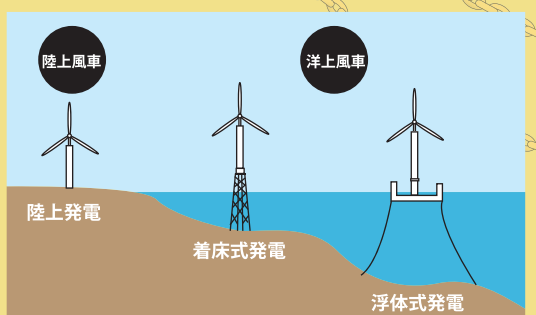
エネルギー分野でも活躍する造船技術

浮体式洋上風力発電が期待されている

- ・わが国沿岸の海底地形は急に深くなっている
- ・沖合は、風況が良いことに加え、民家から離れているなど、設置場所の制約が少ない

海洋を有効利用するためには浮体構造物が最適

洋上風力発電の方式は、海底に直接基礎を設置する「着床式」と、浮体を基礎として係留索などで固定する「浮体式」の2つに分類されます。適用する水深は一般的に水深50~60m程度より深くなると浮体式が適しているといわれています。着床式の洋上風力発電は一部で導入されていますが、わが国の沿岸の海底地形は遠浅な部分が少なく、急に深くなっているところが多いので、着床式発電機が設置できる海域は限られます。ですから浮体を利用した洋上風力発電が適しています。



S&J 日本造船工業会

<http://www.sajn.or.jp>

経教 一般財団法人 日本経済教育センター

R100

PRINTED WITH SOY INK

株式会社IHI

<http://www.ihico.jp>

今治造船株式会社

<http://www.imazoco.jp>

株式会社大島造船所

<http://www.osy.co.jp>

尾道造船株式会社

<http://www.onozo.co.jp>

川崎重工業株式会社

<http://www.khi.co.jp>

佐世保重工業株式会社

<http://www.ssk-sasebo.co.jp>

サノヤス造船株式会社

<http://www.sanoyas.co.jp>

ジャパン マリンユナイテッド株式会社

<http://www.shi.co.jp>

株式会社新来島どっく

<http://www.skdy.co.jp>

株式会社新来島豊橋造船

<http://www.toyo.co.jp>

住友重機械工業株式会社

<http://www.shi.co.jp>

常石造船株式会社

<http://www.tsuneishi.co.jp>

内海造船株式会社

<http://www.naikaizosen.co.jp>

株式会社名村造船所

<http://www.namura.co.jp>

函館どつく株式会社

<http://www.hakodate-dock.co.jp>

三井造船株式会社

<http://www.mes.co.jp>

三菱重工業株式会社

<http://www.mhi.co.jp>

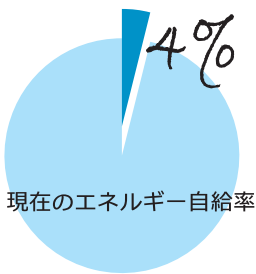
海洋再生可能エネルギーの未来を拓く造船業

わが国のエネルギー事情

わが国の現在のエネルギー自給率はわずか4%で、かつては水力発電が主流でしたが、石油や石炭、天然ガスを使った火力発電や、原子力発電へと発電方法の多角化を図りました。

ところが東日本大震災に起因する福島原子力発電所の事故により、わが国のエネルギーをめぐる環境は大きな変革を迫られています。原子力に代わって化石燃料を燃やす火力発電が原子力発電を補完する役目を負っていますが、石油・石炭などの火力発電は地球温暖化の原因となるCO₂を排出するため、地球環境に優しいエネルギーとはいえません。地球に優しい太陽光発電や風力発電など再生可能エネルギーの開発が求められています。

わが国は四方を海に囲まれている島国ですから、洋上風力発電の実用化を目指す動きが始まっていますし、特に浮体式洋上風力発電に対する期待は益々高まりを見せています。



国の取組みとしての新たな海洋基本計画

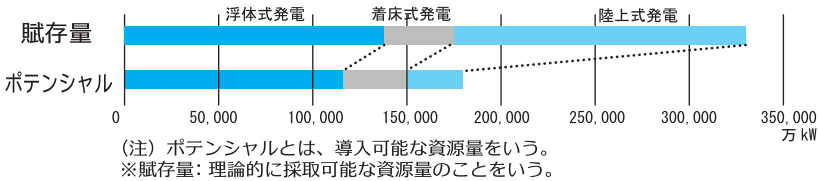
平成25年4月に新たな海洋基本計画が策定され、その計画の中で海洋産業の振興と創出が掲げられ、海洋資源の開発、海洋再生可能エネルギーの利用促進を図るため、わが国の海洋産業を戦略的に育成・支援する方針が固まりました。

今後世界的に発展が見込まれる洋上風力発電の実用化や導入の拡大を、政府と企業が協力して推進する体制が整えられました。

海洋再生可能エネルギーのポテンシャル

海洋再生可能エネルギーには、「洋上風力」「潮流」「海流」「波力」「海洋温度差」などがありますが、エネルギー資源量は、「洋上風力」が圧倒的に大きいということが、経済産業省、環境省、日本風力発電

わが国の風力発電における賦存量とポテンシャルの関係



協会などの機関による推計で判明しています。

洋上風力発電の導入ポテンシャルは、平成23年2月に経済産業省が作成した「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量に関する調査）調査報告書」によれば150,076万kW（着床式：33,485万kW、浮体式：116,591万kW）と計算されています。この数字は平成22年の国内電力10社の総発電設備容量24,360万kWの約6倍に相当します。

また、陸上風力29,058万kWと比べてみても、洋上風力の150,076万kWという数字がいかに大きいかが分ります。

海洋を有効利用するためには浮体構造物が最適

洋上風力発電の設備に関し、着床式の基礎構造は、海底に1本の杭を打ち込むモノパイル式や、コンクリートのケーソンを基礎とする重力式があり、水深20～30mまでの海域が設置の目安で、欧州のほとんどがこれらの方式で設置されています。着床式風力発電は深さに応じてコスト高となることに加え、モノパイル式の場合には強度の維持が取りにくくなり施工自体も難しくなります。代わりにジャケット（格子梁）式或いはトライポッド（三脚）式などの立体骨組構造が有利になります。

浮体式には1本の円筒形という単純構造で重心を下げることによって安定させるスパー型や、水上と水中の浮体構造物を係留しつつ波浪の動揺を低減させるセミサブ（ジャケット）型、同じく動揺を抑制させるため浮体と海底を垂直に結合するTLP（Tension Leg Platform）型があります。

わが国においては一部で着床式の洋上風力発電が導入されているものの、沿岸の海底地形は遠浅な部分が少なく急に深くなっているところが多いので、着床式洋上風力発電機が設置できる海域は限られます。また、風が持つエネルギーは風速の3乗に比例します。つま

り、風速が2倍になると風の持つエネルギーは8倍になるので、風の強い場所に設置することが重要です。また、風車の羽は回転して風を受けるので、羽の長さが長いほど風を受ける面積を大きくすることができます。沖合は陸上と比較して、強い風が吹いていることが多いこと、周囲に影響が少ないので、大きな羽をもつ風車を設置することなどの理由から、浮体式洋上風力発電ファームの開発に期待がかけられています。

着床式風力発電の現状・規模

わが国で商用運転を開始している洋上風力発電所は3か所あります。いずれも陸地から至近距離の浅い場所に着床式で設置されています。

北海道瀬棚港 自治体（せたな町）洋上風力発電所 発電容量：1,200kW（600kW×2基） せたな町により平成16年4月から稼働中。
山形県酒田港 サミットウィンドパワー（株）（民間会社） 発電容量：10,000kW（2,000kW×5基） 民間事業者により平成16年1月から稼働中。
茨城県鹿島港 （株）ウィンド・パワー・いばらき（民間会社） 発電容量：30,000kW（2,000kW×15基） 民間事業者により平成22年6月から7基、25年3月から8基が稼働中。

洋上風力発電の実証実験

わが国における洋上風力発電に関し、平成25年は着床式にとっても、また浮体式にとっても、実証実験が始まった画期的な年でした。

着床式洋上風力発電

着床式に関しては、千葉県・銚子沖と福岡県・北九州沖で実証実験が開始されました。

これらの実証実験は、実際に洋上風車で発電した電力を陸上へ送電することで、風車の信頼性や継続的に発電を行うために不可欠となる風車の運用やメンテナンス技術など、わが国で洋上風力発電を導入する上で重要となる技術を確認することを目的としています。また、洋上風況観測タワーをそばに建て（国内初）、太平洋側と日本海側に設置することで洋上の特性を定量的に評価することが可能になり、風車に作用する風荷重の評

今回のテーマ



海洋再生可能エネルギーのポテンシャルが豊富にあります。しかし、わが国の沿岸は遠浅な場所が少ないため豊富なポテンシャルを有効活用するためには浮体構造物、つまり洋上浮体式風力発電が最適です。その洋上浮体式風力発電の構造物を建造するには造船業の優秀な技術が必要です。

NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）による着床式洋上風力発電実証実験の概要

項目	千葉・銚子	福岡・北九州
風車	発電容量 ハブ高（海面高さ） ローター直径 約2.4MW 約80m 約92m	2.0MW 約80m 約83m
観測タワー	全高 海面高さ 支持構造物 約95m 約25m 鋼管トラス構造	約85m 約22m 鋼管トラス構造
基礎構造	重力式	動・ジャケットタイプ
実証開始	25年3月4日	25年6月27日

価や、風況予測手法の検証が可能になります。これらの成果は、今後、洋上風車の発電量予測などに活用されることが期待されます。概要については表の通りです。

浮体式洋上風力発電

また、浮体式洋上風力発電でも2件の実証実験が始まりました。

環境省は実証事業海域として周辺漁協、住民の賛同・同意が得られた長崎県・五島市嵯島沖を選定、この実験では環境影響評価や安全性に関するデータ収集を行い、運転と並行して事業性に関する評価も実施し、実用化の目途として平成28年度頃を予定しています。

経済産業省の実証実験は東日本大震災から福島県の復興を加速させたいこと、また海底の地形や風況が洋上風力発電に適していることから「福島復興・浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業」として立ち上がりました。この主目的は浮体式洋上風力発電の事業性の検証を行うことです。また、世界初の浮体式洋上観測システムを構築し、浮体の動揺を考慮した気象・海象の観測手法を確立すると共に、浮体式洋上風力発電の性能評価を可能にします。更に複数タイプの風車と浮体を用い各種浮体式洋上風力発電システムの特性及び制御効果を明らかにします。その他技術的には高性能鋼材や施工技術の開発もありますが、それ以上に重要なのは周辺海域の航行安全性、騒音・景観・電波障害・漁業生物等への環境影響評価などで社会的合意が得られるか、漁業と共存できるかが成否の鍵になります。現時

環境省／経済産業省による浮体式洋上風力発電実証実験の概要

項目／風車名	はえんかぜ（長崎県）	ふくしまプロジェクト（福島県） ふくしま未来	ふくしま新風
風車	発電容量 ローター直径 ブレード長さ 2MW 80m 40m	2MW 80m 40m	7MW 164m 82m
高さ	96m	106m	187m
基礎構造（浮体形式）	スパー型	4コラム型セミサブ	3コラム型セミサブ
推進母体（管轄省庁）	環境省	経産省	
実証開始	25年10月28日	25年11月11日	26年度中

点では漁業は試験操業状態で、これから2年間、一緒に漁をして確認することで合意しています。

浮体式洋上風力発電と造船技術の関わり

洋上風力発電構造物の過大な動揺は風車設備の

故障原因となるため、風、波浪、潮流などの厳しい気象条件下でも安定性を確保することが求められ、洋上の風車を設置するための構造物が高度な性能を持つことが重要になります。実証実験中の「ふくしま未来」の浮体部分には、セミサブ方式（半没水型）が採用されており、ここに造船技術が活用されています。

セミサブ方式は、これまで海底油田の浮体式掘削基地などの用途で採用されていますが、これら既存の浮体に比べ相対的に背の高い構造となる風車を設置する用途の浮体は日本が世界に先駆けて初めて製造しました。

セミサブ方式は、構造物全体の半分ほどを水中に沈める（半潜水の状態）ことによって、安定性を確保しようとしています。浮体の下部を重くするためにバラスト（重し）タンクとし海水を充てんしています。

セミサブ方式による浮体式洋上風力発電は、大きく分けて①上部構造（風車部分）、②水没部分、③上部構造と水没部分の接続部分（コラム）の3つの部分で構成されます。水線面下の水没部分は、大きな排水量を持たせた構造にすることによって、洋上風力発電構造物全体を支える機能と波の周期に対する動揺を低減する機能を有しています。排水量は水没部分が押しのけている（排水している）海水の総重量で、浮体式洋上風力発電構造物全体の重量となります。

接続部分の水線面積（海面におけるコラムの断面積）を水没部分に比べて小型化することで、波や潮流による上下動や水平移動の応力が少なく、悪天候の海象条件でも安定した状態を確保することができ

ます。さらにこの構造物は6本の係留索（チェーンやロープのこと）で固定され

ており、ばねの効果を持たせることで動揺を抑える動きがあります。このばねの力は係留索が重いほど効果的であるためリング径の大きな重いチェーンを採用しています。