

ナセル

軸受け、増速器、発電機などを収納する格納部です。除塩設備を搭載するなど陸上機に比べて塩害対策を強化しています。



発電装置

増速機：ブレードの回転数(十数回/分)を引き上げて(1500～1800回転)発電機へ伝達する装置です。

発電機：構造が簡便で、低コストの誘導発電機と電圧などの調整が可能な同期発電機などがあります。

監視装置：遠隔監視装置を用いて洋上風車の運転状況や構造物の疲労をリアルタイムに把握し、効率的な維持管理を行います。



タワー

ブレード、ナセルを支える部分で、ケーブル、梯子、荷物や人を運搬する簡易エレベーターが搭載されています。陸上機に比べて高い位置に電気設備を配置したり、ハッチの気密性を上げたりしています。



大海原の風をとらえる

未来を拓く洋上風力発電プロジェクト

風力発電は、太陽光、波力・潮力に比べて、発電コストが低く、再生可能エネルギーの中でもコスト競争力を持つエネルギー源です。その中で、洋上風力発電は陸上風力発電と比べ、安定的かつ効率的な発電や風車の大型化が可能となり、欧州を中心に導入普及が急速に進んでいます。今号ではNEDOが、洋上の風向きと風速を観測する洋上風況観測タワーと実際に洋上で発電を行う風車を実海域に設置する、日本で初めての沖合における洋上風力発電の実現に向けた取り組みについてご紹介します。

ブレード
ナセル
発電装置

タワー

基礎

海中のタワーを支える構造部分。
重力式：海底地盤が比較的良質な場所に適した基礎構造。内部は空洞で、錘となるスラグ(鉱滓)を投入して、安定化させます。(鏡子沖)



ハイブリッド重力式：地盤からの影響を受けにくく、重力式とジャケット式の長所を採用した設計です。(北九州市沖)



focus
NEDO エネルギー・環境・産業技術の
今と明日を伝える【フォーカス・ネド】

2012. No.47 Contents

特集 **大海原の風をとらえる** 2
未来を拓く洋上風力発電プロジェクト

- NEDOインタビュー
日本初!
沖合洋上風力発電への挑戦 4
- グローバル競争の中で
国を挙げた洋上風力発電の産業育成が必要 7
NEDO「洋上風力発電等技術研究開発」プロジェクトリーダー
石原 孟 教授
- 国内初! 沖合における洋上風力発電はじまる・8
・千葉県銚子沖に洋上風力発電システム設置完了! 9
・北九州市沖に風況観測タワー完成!
来春に風力発電運転開始予定 12
- 7 MW級の超大型風車で世界市場を目指す 14



NEDOインタビュー

日本初！ 沖合洋上風力発電への挑戦

欧州を中心に洋上風力発電の建設が活発になっています。国内でも、再生可能エネルギーへの期待の高まりを背景に注目を集めています。NEDOは2009年度から沖合洋上風力発電への取り組みを進めており、世界的な洋上風力発電のトレンドとその中でのNEDOプロジェクトの位置付けについて紹介します。

NEDO 新エネルギー部 自然エネルギーグループ 主任研究員 伊藤 正治



東洋のドーヴァーと呼ばれる「屏風ヶ浦」をナセルから望む

克服すべき三つの課題

風力発電は、再生可能エネルギーの中で成熟した技術体系と豊富な実績を持ち、かつ、発電原価が低いという理由から、世界的に導入・普及が進んでいます。

日本でも風力発電の導入は、陸上を中心に2000年代前半から急速に増加し、2011年度末には約255万kW(1870基)に達しています。しかし将来、風況や立地制約などの面で風力発電の適地が減少すると予想される中、風力発電の導入拡大を図るためには、膨大なポテンシャルが期待される洋上風力発電の展開を図る必要があります。

洋上風力発電の課題は、大きく三つあります。

一つはコストです。洋上風車は海上に設置するため、風車や基礎(海中に没している土台の部分)、海底ケーブルの設置工事など、陸上の約2倍のコストがかかると言われています。また、運転開始後のO&M(部品交換などの維持管理)についても、陸上風車と異なり、多くの費用を要します。当然、離岸距離や水深によってもコストは異なり、最近の欧州の洋上ウインド

ファームは、陸域から遠く、水深の深い海域に移行しつつあるため、設置コストも上がっています。

二つ目は技術です。初期の洋上風車は増速機や発電機の故障が頻発したため、塩害対策や風車の状態を遠隔監視する技術など、信頼性を向上させるための技術開発が進められています。また、設置場所が浅い海域から深い海域へ移行する場合、コスト低減のため風車1基当たりの発電量を増やす必要があり、風車の大型化と信頼性の向上が洋上風車の技術開発の大きな課題となっています。

三つ目は、社会受容性です。漁業者など海面利用者の理解なくして洋上風力発電は成立しません。そのため、洋上における環境アセスメントが重要になってきます。

こうした課題は、自然環境や社会環境など欧州の洋上風力発電事情と大きく異なる面があるため、現在実施している実証研究によって、日本に適合した、低コストの洋上風力発電技術を確立する必要があります。



千葉県鏡子沖の風況観測タワーと風車



福岡県北九州市沖の風況観測タワーと風車支持構造



デンマークのMiddelgrundenウインドファーム

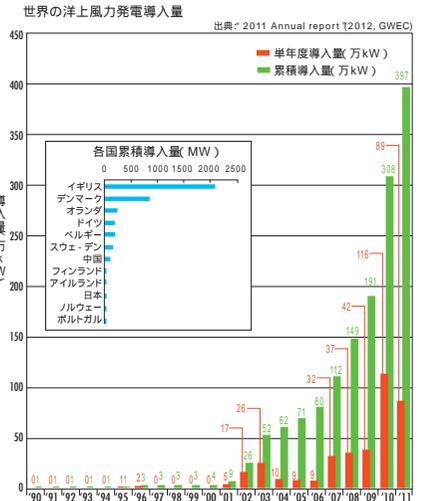
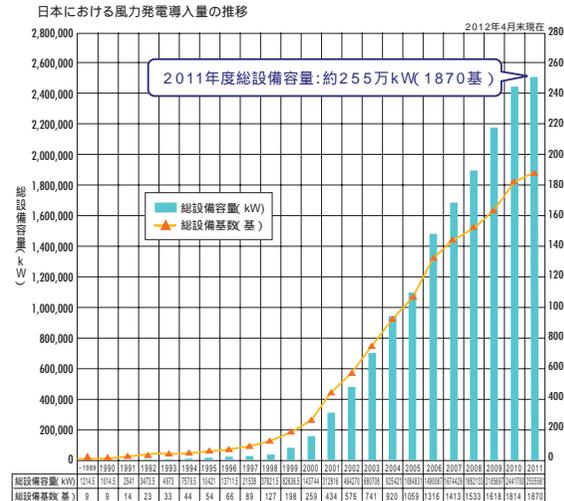
世界の洋上風力発電をリードするイギリス

世界で最も風力発電の導入が進むEUでは2020年時点の再生可能エネルギーの比率を20%とする目標達成のため、法的拘束力のある目標値を各国に課しています。中でも風力発電への期待が大きく、陸上の適地が減ってきていることや北海油田の減産に伴う雇用確保の観点などから、風力発電の設置を陸上から洋上にシフトする動きが広がっています。

欧州における洋上風力発電は、1990年にスウェーデンの洋上に設置された1基の定格出力220kWの風車が始まりと言われています。その後、2000年にはデンマークに世界初の本格的な商業洋上ウインドファーム(Middelgrunden洋上風力発電所)が完成しました。これは、2000kWの風車20基が海岸から2km地点に建設されており、世界一美しい洋上風力発電所と言われています。その後、イギリスを中心に導入が進み、現在、世界で約405万kWが導入されているところで

欧州では、現在、イギリスやドイツが風力発電企業の研究施設や製造拠点を集積し、風力発電事業を国の一大産業として発展させ、世界の洋上風力発電市場をけん引しています。

イギリスでは2020年までに1800万kWの洋上風力を開発するというロードマップを発表しています。洋上風力発電設備を設置する大陸棚の所有権が王室にあるため、利用に際し、英国王室の海域の資産管理を行う政府系特殊法人クラウン・エステート(The Crown Estate)社の許可が必要です。海岸線に比較的近くて浅くにある「ラウンド1」から海岸線から離れて水深の深い「ラウンド3」の3段階に分けて大陸棚利用の入札が行われています。最も大きな「ラウンド3」の貸出海域の規模は約3200万kWに設定されており、現在、世界で最も注目されている、洋上風力発電の市場となっています。





日本の洋上風力発電技術の基盤を築く



欧州では洋上風力発電について“Offshore is not offshore”という表現を使うことがあります。同じ洋上風力発電でも海象条件(水深、離岸距離など)の違いがあることなどから、「一言で洋上風力発電とは言ってもタイプはいろいろ」というわけです。

日本でも、海域によって気象・海象条件が大きく異なるため、実証試験は太平洋側(銚子沖)と日本海側(北九州市沖)の2海域で実施します。

特に、日本では、洋上風況を長期間・高高度で計測した事例はありません。洋上風況、波浪・潮流などの諸特性の把握は洋上風力発電設備を設計する上で非常に重要です。そのため、高精度の計測装置による観測を約2年間行います。こうした観測データは今後、洋上風力発電の技術基準を策定する際に貴重なデータになります。

洋上風車の開発では、塩害対策や台風・落雷対策など洋上の厳しい自然環境に適合可能な技術開発課題に取り組む必要があります。また、洋上風車へのアクセスは、陸上の場合に比べて大きく制限されます。そこで、高い稼働率の維持に必要なメンテナンス性や運転監視技術の高度化の研究開発を行い、それらの課題を克服すると共にデータを蓄積します。

環境影響評価手法の確立では、海洋生物の定量的な調査・評価が課題となります。採取できない底魚類の調査方法や甥索効果などの評価手法を確立します。

日本では、洋上風力発電は動き出したばかりですが、陸上で培われた風力発電の技術や超大型化への取り組みなど先行する欧州勢に技術的に対抗できる可能性は大いにあると思っています。

現在、開発を進めている7MWクラスの超大型風車は、革新的なドライブトレイン(動力伝達装置)を持ち、メンテナンス性を改善した世界に類を見ない全く新しい風車です。日本の重工メーカーの豊富なりソースを活かし、一方で海外の革新的な技術を取り込むことで、先行している海外の風車専門メーカーの水準を超えようとするものです。このような取り組みは、今後の技術開発の一つの方向性を示すものです。



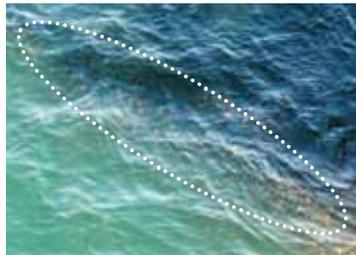
伊藤 正治(いとう まさはる)
NEDO新エネルギー部
自然エネルギーグループ 主任研究員
2006年4月より新エネルギー技術開発部の風力担当を経て、2009年10月より現職。



実証エリア(千葉県銚子沖と福岡県北九州市沖)



風況観測タワー建設の様子(銚子沖)



風車基礎周辺に現れた魚群(銚子沖)

- 北九州市沖
- 風況観測タワーの測定装置
- 三杯式風速計
- 超音波風向風速計
- 温湿度計
- 海面温度計
- 気圧計
- 雨量計
- 海象計
- LIDAR(遠隔風況測定機)
- 矢羽根式風向計



グローバル競争の中で 国を挙げた洋上風力発電の産業育成が必要

2012年10月、銚子沖の洋上風力発電システムの風車が完成し、2013年からの発電に向けての準備が進められている中、「洋上風力発電等技術研究開発」のプロジェクトリーダーである東京大学大学院 石原孟教授に、本プロジェクトで得られる成果への期待と、今後の展望についてお話を伺いました。

NEDO「洋上風力発電等技術研究開発」プロジェクトリーダー
東京大学大学院 工学系研究科社会基盤学専攻 石原 孟 教授

Profile
石原 孟(いしはら たけし) 1962年北京生まれ。東京工業大学理工学研究所土木工学専攻博士課程修了後、清水建設㈱に入社。2000年に東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻の助教授に就任。2008年より現職。専門分野は、風力エネルギー利用のための貯蔵量評価、風力発電量のリアルタイム予測、風力発電設備の耐風設計、浮体式洋上風力発電システムの開発など。

日本で「初めての沖合」洋上風力の持つ意味

日本ではこれまで主に陸上に風力発電設備が作られてきましたが、洋上風力発電所もいくつか存在しますね。

石原 今回建設している風車の一番の特徴は、銚子沖と北九州市沖では建設・運転・保守ともすべて沖合の洋上で行うということです。他の洋上風力発電所でも外洋に面して建設されているものもありますが、建設や保守は陸上から行っています。すべての作業を沖合の洋上で行っているという意味では今回初めての試みになります。

多数の洋上風力発電所が建設・運転されている欧州のノウハウを活かすことはできないのでしょうか。

石原 銚子沖は日本でも有数の波のうねりが厳しい海域です。また、北九州市沖は「台風銀座」と呼ばれるほど、台風の影響を受ける海域です。このような欧州とは異なる自然条件のもとで、洋上風力発電所の建設、運転、保守のノウハウを蓄積する必要があります。今回のプロジェクトで得られるデータやノウハウは、今後の洋上風力発電所の設計や運転に利用できます。実際に、IEC(国際電気標準会議)などの国際標準へ提案しなければいけない項目も整理できつつあります。

今回のデータが将来の礎となる

世界的に風車の大型化が進んでいますが、日本でも大型化を目指していくのでしょうか。

石原 今回の2.4MWの風車を、日本の技術で実際に建設できたということが重要です。もちろん、今後は洋上風力のメリットをより活かせる大型化を進めていく必要があります。今回の洋上風況観測タワーの100mという高さは7MW

級風車のタワーの高さと同じです。また、観測範囲である200mは7MW級風車のブレードの最高点と同じです。今回のプロジェクトで収集するデータは、大型風車の開発にも役立てることができそうです。

大規模ウインドファームの実現に向けて

今後、日本で洋上風力発電が普及していくためには、どのような課題があるのでしょうか。

石原 課題の一つは、海洋利用のためのインフラ整備です。洋上風車の基礎やナセルなどを積み出すためには、港湾設備の整備が必要です。また、建設のための大型起重機船や作業船も必要です。これらのインフラは、浮体式洋上風力発電が実用化する際にも必要です。こうしたインフラの整備は、民間だけでは難しく、国の支援が不可欠です。もう一つの課題は国内の開発体制の構築です。風車が大型になると、部品の調達が難しくなります。国内で部品の開発・試験・製造ができるようにしないと、国際競争力は上がりません。

今後、NEDOに期待されるのはどのようなことでしょうか。

石原 海外では、国が導入目標を定めて、法整備とインフラ整備を行い、国を挙げて風力発電を産業として育成しようとしています。また、欧米だけでなく韓国などのアジア圏でも急速に開発を加速させてきています。日本も欧米のように国が高い導入目標を定めると共に、インフラ整備を含めて技術開発で戦略的に支援をしていく必要があると思います。NEDOには、グローバル競争を勝ち抜くための強いリーダーシップを期待しています。



国内初！沖合における洋上風力発電はじまる

NEDOは、千葉県銚子沖と福岡県北九州市沖に洋上風況観測タワーと洋上風車を設置します。実際に洋上風車で発電した電力を陸上に送電、風車の運用やメンテナンス技術など、洋上風力発電を導入普及する上で重要となる技術を確認します。また、洋上風況観測タワーを国内で初めて太平洋側と日本海側に設置することで、洋上の風況特性の定量的な評価が可能となります。NEDO「洋上風力発電等技術研究開発」プロジェクトの銚子沖、北九州市沖の取り組みを現場の声と共にご紹介します。

銚子沖の風力発電設備が完成しまもなく始動

北九州市沖では洋上風況観測タワーの設置が完了



銚子沖

千葉県銚子沖に洋上風力発電システム設置完了！

スケジュール

	2011年度	2012年度
洋上風況観測タワー	陸上での本体製作	風況観測タワー設置工事 → 設置完了 → 風況観測開始(予定)
洋上風車(基礎、風車)	陸上での本体製作	洋上風車基礎、風車設置工事 → 設置完了 → 発電開始(予定)

実証研究の概要

NEDOは、2009年度から「洋上風況観測システム実証研究(銚子沖)」、委託先:東京電力株式会社、東京大学、2010年度から「洋上風力発電システム実証研究(銚子沖)」、共同研究先:東京電力株式会社、を実施しています。

本実証研究では、風車と観測タワーなどの実証研究設備を、日本でも特に厳しい海象・気象条件の千葉県銚子沖に設置。安全な基礎形状や構造などを開発し、洋上で実証することで、日本に適用可能な洋上風力発電設備の設計方法を確

立します。

具体的には、沖合洋上の厳しい環境下で、除塩フィルターや熱交換器などによりナセルへの塩分の流入を減らすなど、最適な耐塩害機構を開発、洋上で実証します。また、プレストレスト鉄筋コンクリート構造により、ひび割れの発生を抑制し、塩害劣化が生じにくい基礎を開発します。これらを洋上で実証することにより、風車と基礎に作用する外力と動的挙動の計測や、ナセル内機器の健全性の計測などの設計方法を確立します。

さらには、遠隔監視や遠隔制御機能の強化による点検インターバルの延伸など、アクセスが難しい洋上風車の最適な運転保守方法を確立します。

風況観測タワーの組立が2012年8月に、風車の組立は同年10月に完了。2013年1月からは日本で最初の沖合洋上風力発電所の運転を開始する予定です。

作業工程(銚子沖)

1 環境影響評価



生物や景観などの事前調査を行い、洋上風況観測タワーと洋上風車の設置に伴う環境への影響を予測・評価します。なお、環境影響は洋上風車の設置前後や稼働中にも行い、環境影響評価を検証します。

2 基礎構造物の建設



基礎構造物は、台風や地震などの厳しい自然環境下においても洋上風況観測タワーと洋上風車を支えるように設計・製作されたものです。海底から海面まで十数mの高さの構造物で重量は数千tです。

3 洋上風況観測タワーの設置



洋上約100mの鉄塔で、10m間隔で風向や風速などを計測します。最大200mまでの上空の風況をリモートセンシング技術で観測できる国内初の観測用のタワーです。

4 海底ケーブルの敷設



洋上風車で発電した電力を陸上に送電したり、洋上風況観測タワーの計器類に電源を供給する電力ケーブルと、観測結果や風車のデータを送信する通信ケーブルを海底に敷設しています。

5 洋上風車の設置



ブレードの中心は海面高さ約80m、ローター径92mで、2400kWの発電機や変圧器などが搭載されている格納施設(ナセル)には、塩害対策や結露・腐食防止対策などを施しています。

6 送変電設備の設置



送変電設備は、洋上風車で発電した電力の電圧を変えたり、既存の電力系統への接続・遮断を行い、発電した電力を送電するための設備で、洋上風車に近い陸上に設置します。

7 試運転



すべての設備の設置終了後、各設備の試運転を行い、発電設備、観測設備、通信設備などの点検を行います。特に風車の試運転では、電気系統、安全装置、ブレーキ、ピッチ制御などの動作確認を行います。

8 運転開始



2014年度末まで約2年間、洋上風況観測タワーによる風況データの収集および洋上風車における発電性能の検証や運転・保守に関する技術の検討などを行い、データやノウハウを蓄積します。



日本で最も厳しい環境の海域を制し洋上風力発電のモデルケースを構築する



左から東京大学の石原孟教授、東京電力㈱の福本幸成氏、鹿島建設㈱の田中秀夫氏

すべてが「初めて」の手探りで作業

「一つひとつの作業がすべて初めてのことばかりなので、設計はもちろん、様々な手続きにも時間がかかりました」と振り返るのは、東京電力(株)技術開発研究所の福本幸成氏。日本で初めて沖合に洋上風車と洋上風況観測タワーを建設するため、認可する行政側にも経験がなく、通常1~2カ月で済む審査に7~10カ月もの期間を要しました。

「東京大学の石原教授らの専門家の協力を得て、欧州の洋上風車の実績に日本の自然条件を加味し、一つひとつ設計条件を決めていきました」

洋上風車の建設でもっとも重要な点は、環境への影響評価と地元住民の理解です。地元の漁協などの関係者の元に幾度も足を運んで説明したという福本氏は、「地元の皆さんには、いろいろなお点でご協力をいただき、大変感謝しています」と、地元との理解と協力がプロジェクトの成功に不可欠であることを強調します。

アイデアと経験で困難を克服

実際の建設工事を担当した鹿島建設(株)東京土木支店東電洋上風力発電工事事務所所長の田中秀夫氏は、「予想以上に大変な作業で、困難の連続でした」と振り返ります。親潮と黒潮がぶつかり、波のうねりが強いことで知られる銚子沖での建設作業は、台風シーズン前の6~8月までに基礎工事を完了する必要があり、海底の浚渫工事を2011年2月から開始しましたが、その直後に東日本大震災が発生しました。

「浚渫工事の現場も津波に襲われ、基礎を製作していた鹿島港も被害を受けました。震災後は、工事を中断して船舶や資材などを復旧支援のため被災地に提供しました」と、田中氏は当時を振り返ります。



完成した基礎は、FD船に積込・運搬し、起重機船で吊り下げて所定の場所に設置します

銚子沖での基礎工事が再開されたのは1年後の2012年2月。海底を岩盤まで浚渫した後は、大小の石を敷き詰め、水平に整地する必要がありました。

「水中バックホウという特殊な建設機械を使用したのですが、視界が30cm程度しかなく、ダイバーの手作業で工事を進めざるを得なくなりました。銚子沖特有のうねりのため、ダイバーは石を動かすだけでなく、自分の体が流されないようにする必要があります。ベテランばかりだったのですが、今まででこんな過酷な現場はなかったと言われました。しかし、ダイバーの努力のおかげで±5cmの精度が要求される整地作業が6月に完了しました」

しかし、海底の整地工事の後も難工事が続きました。風況観測タワーや風車の基礎になるケーソンと呼ばれる巨大な函状構造物は、底面の直径が21m、重量が約2300tの三角フラスコのような形状をしたコンクリート製の構造物で、水深約12mの海底に設置しなければなりません。

「今回使用した起重機船は全施回式では日本最大級ですが、1600tまでしか吊り下げられません。そこで、ケーソンを半分水没させ、浮力と起重機でケーソンを吊り下げる方法を採用しました。また、船の先端から起重機で吊り下げると波の影響を

をもろに受けるので、動揺の小さい船の真ん中から吊り下げて、波と波の間の距離が船体の長さ以下になり、船が安定する一瞬を狙ってケーソンを降ろしました。

毎日、天気予報とにらめっこして、早朝、波の様子を確認して、船を出すタイミングを見計らう日が続いたので、成功した時は本当にしびれました」

所定の場所に設置されたケーソンの内部には、スラグが詰め込まれ、完成重量が約5400tになったケーソンが、風況観測タワーや風車を支えています。

工事の経験や実証データが財産に

風況観測タワーや風車は、SER Self Elevating Platform) 船を使って建設します。SEP船は、昇降する4つの脚を持ち、この脚を海底につけて、船体を海面から持ち上げることで、波の影響を受けることなく洋上で工事を行います。

「SEP船のおかげで基礎工事よりは順調に作業が進みました。作業員はSEP船に泊まり込んで作業を進めています。2012年2月に再開以降、現場は一日の休みもなく作業をしています(田中氏)」

2012年8月に風況観測タワー、10月に風車の設置が完了、2013年の発電開始に向け最終準備が進められているところ

です。

「基礎の製作では、巨大な基礎を運び出せる港を探すのに苦労しました。風車の建設に利用できる港湾設備の必要性を強く感じました」と福本氏は工事をこう振り返ります。

田中氏も、「外洋で作業を行うためには、外洋に適した専用船が必要です。大型風車の建設には洋上が適していますが、そのためには大型の風車専用船を開発する必要があります」と、洋上風力発電の普及にはインフラの整備が必要である、と強調します。

日本で最も厳しい工事環境であると言われる銚子沖で蓄積された洋上風車の建設で得られた経験や今後取得するデータのすべてが、日本の洋上風力の普及に大きく役立つことが期待されます。



東京電力㈱会社
技術開発研究所
洋上風力発電技術
グループマネージャー
福本幸成氏



鹿島建設㈱株式会社
東京土木支店
東電洋上風力発電工事事務所
所長 田中秀夫氏



タワーや風車を組み立てるSEP船上には、ナセルなどのすべての部材が積み込まれています