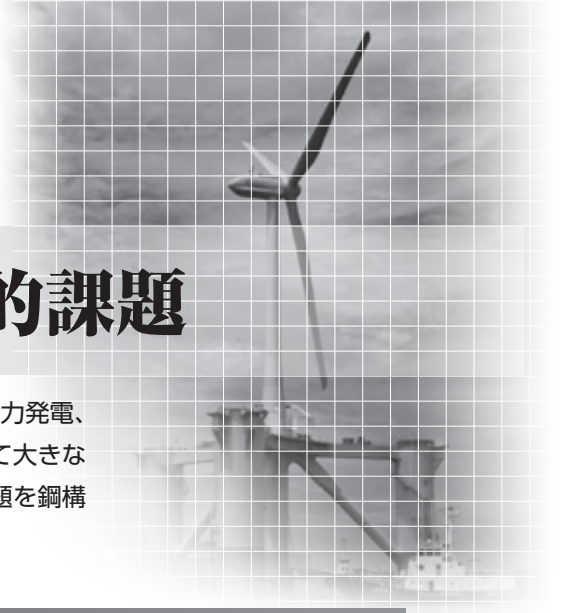
特集

洋上風力発電の動向と技術的課題



再生可能エネルギー／自然エネルギーと呼ばれるものとしては、太陽光発電、風力発電、地熱発電、波力発電、潮力海流発電など多様であるが、本稿では海洋国家として大きな可能性を秘める洋上風力発電について、活発化する各地の実証研究の概要と課題を鋼構造の観点を含めて紹介する

洋上風力発電の現状と将来展望
～福島沖に世界初の浮体式洋上ウィンドファーム

石原　孟　東京大学

1 はじめに

2012年6月12日に、国連環境計画とブルームバーグ・ニューエナジーファイナンス社が発行した「Global Trends in Renewable Energy Investment 2012」[1]によると、2011年の再生可能エネルギーへの投資額は2,570億ドルに達した。昨年設置された新規発電設備に占める再生可能エネルギーの割合は44%、中でも風力発電への新規投資は840億ドルに達した。

2012年末に世界の風力発電設備容量[2]は、前年比4,470万kW（19%）増、2億8,250万kWに達し、風力発電機1基で約2,000 kWの発電能力があることを考えると、2012年に新設した風車の数は約2万2,350基になる。2012年に新設された洋上風力発電所の設備容量は130万kW、その90%が欧州の洋上に設置されている[2]。

今年4月6日に運開した世界最大の洋上風力発電所London Arrayの設備容量は、原子力発電1基分に匹敵する63万kWに達している。洋上風力発電の導入拡大のために、欧州風力発電協会は、2020年までに4,000万kW、2030年までに1億5,000万kWの洋上風力を開発するという野心的な目標を掲げ、次々と大規模洋上風力発電所が建設されている。かつての陸上風力発電のように、今、洋上風力発電の普及が始まっている[3]。

一方、わが国においては、現在、ナショナルプロジェクトともいえる大規模実証研究は、全国4つの海域で実施されている。千葉県銚子市の沖合と福岡県北九州市の沖合での着床式洋上風力発電所は、今年の2月と6月に運開した。福島県の沖合に現在建設されている世界初の浮体式洋上ウィンドファームは今年10月に運開予定である。

本稿では、洋上風力発電の現状、福島県沖合の浮体式洋上ウィンドファーム実証研究の最新動向、洋上風力発電の技術課題について紹介する。

2 洋上風力発電の現状

一般に、洋上の風速は強勢で乱れが小さいことから、風力発電に適している。また洋上では、敷地の制限や運搬・設置の制約も少なく、大規模風力発電所を建設でき、風車の大型化とウィンドファームの大規模化によるコスト低減が可能である。さらに大規模洋上風力発電所が大電力消費地の近くに建設される場合には、系統連係も容易である。

このことから、欧州10カ国では2011年までに合計1,371基の洋上風車が53カ所のウィンドファームに建設され、その累積設備容量は381.3万kWに達している[4]。2000年の単年度に導入された洋上風車の設備容量は5万kWであるのに対して、2011年は約88万kWに急激に拡大していることが分かる。2011年には9つの洋上風力プロジェクトが進行し、それらの設備容量は約500万kWである。また、欧州における12カ国の承認済みのプロジェクトは1,800万kWに達し、その45%はドイツの領海に建設される予定である[4]。

2001年に25MWの規模であったウィンドファームは、2011年には約200MWへと増大していることが分かる。また、洋上風車の平均出力は、2001年の1.8MWから2011年の3.6MWまで大型化している。2011年に建設中の風車の平均的な水深は22.8m、離岸距離は23kmである[4]。離岸距離と水深の増加は風車建設

写真1　銚子沖に建設された観測タワーと洋上風車

のコストを増大させ、この問題を解決するため、風車の大型化が進んでいる。

一方、わが国においても2004年4月1日に国内初の洋上風力発電所である「風海鳥」（北海道瀬棚町、現せたな町）が完成し、Vestas社の600kWの風車2基は海岸から約700m離れた水深13mの瀬棚港内に建設された。

また同年、山形県酒田市に建設されたサミット風力発電所では、Vestas社の2,000kWの風車5基が水深4mの水路内に設置された。さらに2009年に茨城県神栖市に建設された神栖洋上風力発電所では、富士重工製の2,000kWの風車7基が堤防から40～50m沖に建設された。しかし、これら風力発電所の立地場所はいずれも洋上であるが、その施工と維持管理は港湾内または陸上から実施されているため、今年2月に運開した銚子沖の洋上風力発電所が、わが国初の本格的な洋上風力発電所となる。

わが国の洋上風力発電の導入拡大が進まない理由の一つは、わが国の気象・海象条件が欧州と異なり、欧州での事例をそのまま適用するにはリスクが大きいことがある。またわが国においては外洋での風車設置とメンテナンスの経験がなく、洋上風力発電設備の安全性、信頼性、経済性に関するさまざまな課題がある。

これらの問題を解決するために、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）は、2009年からわが国の外洋における初めての洋上風況観測システムおよび洋上風力発電システムの実証研究を開始し、2012年10月には銚子市の沖合、そして2013年3月に北九州市の沖合に風況観測タワーおよび洋上風車を完成させた。写真1には銚子沖に建設された観測タワーと洋上風車を示す[5)]。

銚子沖は日本でも有数の波のうねりが厳しい海域であり、また北九州市沖は台風の影響を強く受ける海域である。今回の実証研究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る。また今回の洋上風況観測タワーの高さ100mは、現在世界最大の7,000kW風車のタワーの高さと同じで、観測範囲である200mも同風車のブレードの最高点と同じである。そこから収集されるデータは、大型風車の開発にも役立つ。

今回の実証研究から、今後日本で洋上風力発電が普及していく上での課題も見えてきた。一つは、海洋利用のためのインフラ整備である。洋上風車の基礎やナセル（タワー最上部に設置する発電機などが収納された設備）を積み出すためには、港湾設備の整備が必要である。また、建設のための大型起重機船や作業船も必要であることが分かった。

3 世界初の浮体式洋上ウィンドファームへの挑戦

わが国の周辺海域においては水深の深い場所が多いため、浮体式風力発電を早期に実現することが重要である。商業風車を用いた浮体式洋上風力発電は、ノルウェーやポルトガルで実証研究が始まったばかりである。

2009年に開始したノルウェーのHywindプロジェクトでは、Siemens社の2,300kW風車搭載のスパー型浮体式洋上風力発電設備を用い、また、2011年に始まったポルトガルのWindFloatプロジェクトでは、Vestas社の2,000kW風車搭載のセミサブ型の浮体式洋上風力発電設備を用いている。いずれの実証研究でも浮体式洋上風力発電設備1基のみの建設であり、将来、大規模浮体式洋上ウィンドファームを実現するためには、幾つかの技術的な課題が残されている。

東日本大震災および原発事故の被害を受けた福島県の復興のために、政府は福島県沖合の海域に世界初の浮体式洋上ウィンドファームを建設する実証研究を決定した。現在、プロジェクト・インテグレータに丸紅、テクニカル・アドバイザーを東京大学、三菱商事、三菱重工業、ジャパン　マリンユナイテッド、三井造船、新日鐵住金、日立製作所、古河電気工業、清水建設およびみずほ情報総研の11社からなるコンソーシアム

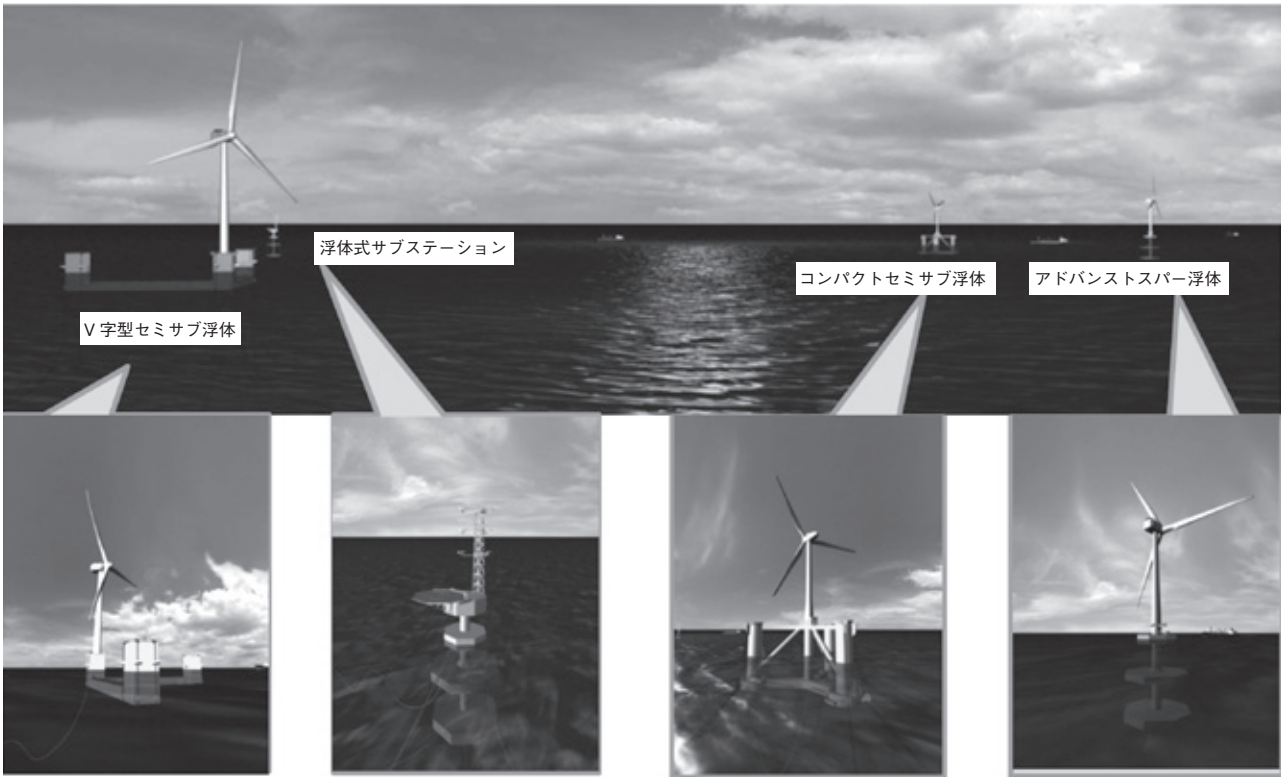


図1　世界初の浮体式洋上ウィンドファームの完成予想図

は、経済産業省から委託を受け、福島県ならびに周辺海域の漁業関係者とともに、オールジャパンの体制で実証研究を進め、今年の夏に第1期工事の完成を目指している[6)]。

図1には、世界初の浮体式洋上ウィンドファームの完成予想図を示す。第1期の実証研究では、2013年度までに25MVAの変電設備を搭載する世界初となる浮体式洋上サブステーションおよび2,000kWダウンウィンド型風車搭載の浮体式洋上風力発電設備1基を建設し、さまざまな技術開発を行うとともに、浮体式洋上風力発電設備設計に必要な気象・海象・浮体動揺などの基礎データを取得する。

第2期実証研究では、今後の事業化を見据えて、2015年度までに世界最大の7,000 kW風車搭載の浮体式洋上風力発電設備2基を建設するとともに、建設単価を第1期の半分に低減させ、大型風車搭載の浮体式洋上風力発電設備による大規模ウィンドファームの事業性を検証する。

今回の福島県沖合の実証研究では、世界最大の7,000 kW風車を用いることにより、浮体式洋上風力発電の事業性の検証を可能にするとともに、世界初の浮体式洋上変電設備および66kVの大容量ライザーケーブルを開発することにより、浮体式洋上ウィンドファームの建設を可能にする。

また本実証研究では、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ともに、浮体式洋上風力発電の性能評価を可能にする。さらに3つのタイプの浮体式洋上風力発電システムを用いることにより、各種浮体式洋上風力発電システムの特性および制御性能を明らかにする。

福島県沖合の浮体式洋上ウィンドファーム実証研究の目的はさまざまな技術課題に挑戦するとともに、将来、大規模な洋上風力発電を実現するために欠かせない漁業との共存、航行安全性や環境影響の評価手法を確立する。また本実証研究から得られた成果を広く社会や国民に対して分かりやすく説明し、国民との科学・技術対話などにも積極的に取り組んでいる。

写真2には、完成した2MW浮体式洋上風車とサブステーションを示す。

「ふくしま未来」と名付けられた2MWダウンウィンド型浮体式洋上風力発電設備は風車ローターの直径は80m、海面からハブまでの高さは66m、海面からブレード先端までの高さは106mに達する。一方、浮体に関しては幅64m、深さ32m、計画喫水16mである。「ふくしま未来」は6月28日に三井造船の千葉事業所から東京湾を出発し、7月1日に福島県いわき市の小名浜港に到着した。小名浜岸壁で電気工事および電気系試験を実施した後、7月25日に小名浜港から出港し、楢葉沖に係留される。

一方、「ふくしま絆」と名付けられた世界初の浮体式洋上サブステーション(変電所)には変電設備の他、風

2MWダウンウィンド型浮体式
洋上風力発電設備「ふくしま未来」

浮体式洋上サブステーション
「ふくしま絆」

写真2　完成した2MW浮体式洋上風車とサブステーション

況観測タワー、ライダー、流速計、波高計などの気象海象計測装置と加速度計、GPS、ジャイロなどの動揺計測を設置している。また緊急時および高波浪時のアクセスを確保するために、ヘリデッキも取り付けられている。「ふくしま絆」は7月13日に東京湾を出発し、7月15日に福島県楢葉沖に到着し、浮体係留作業を行っている。

4 洋上風力発電の技術課題

洋上風力発電の課題の一つは高コストである。洋上風車は海上に設置するため、風車、基礎、海底ケーブルの設置工事のコストは、陸上の約2倍といわれている。また、運転開始後の維持管理についても、陸上風車と異なり、多くの費用を要する。これは部品交換などの費用だけではなく、悪天候により洋上風車へのアクセスが制限されるため、風車の停止に伴う発電の損失による費用も含まれる。

この問題の解決策の一つとして、風車の大型化が挙げられる。7,000kWの洋上風車は風車ローターの直径は約165m、タワーは105m、海面から風車ブレードの先端の高さは約200m、東京・新宿の高層ビルの高さにもなる。

風車の大型化によりコストを低減するためには、構造の比強度（同じ重さで比べた時の強度）を向上させ重量を低減させることや、風車を制御することにより風荷重を低減させるなどの技術開発が必要である。

近年風車の大型化は、炭素繊維を使ったブレード重量（風車の翼）の低減やブレードのピッチ制御による風荷重の低減により実現している。風車の大型化によって、風車を支える支持構造物、建設、送電ケーブル、メンテナンスのコストを大きく低減できるため、発電単価を低減させることができる。

一方、浮体式洋上風力発電の場合には7,000kWの風車を支える浮体に使う鋼材は5,000t、東京・新宿の高層ビルに使う鋼材とほぼ同じである。溶接性能の高い鋼材を開発することにより、溶接時間や建設時間の短縮および建設コストの削減が可能である。

また洋上の自然環境は複雑であり、材料特性試験・成分分析に関する強力な支援ツールの開発が必要となる。腐食環境では材料の疲労強度が低下し、腐食対策が必要であり、洋上の気象・海象条件下における疲労試験手法の確立が望まれる。風車タワーと増速機の98%、架構・機械部品の85%、ナセルの80%、発電機の65%は鋼構造であり、その技術開発は風車や支持構造物の軽量化やコスト低減につながる。洋上風力発電の分野においては一般社団法人日本鋼構造協会の会員企業の活躍が期待される。

5 おわりに

着床式洋上風力発電は欧州で実用化されているが、その本格的な導入はまだ始まったばかりである。一方、浮体式洋上風力発電は、世界でもまだ新しい技術であり、重電、海洋、造船、素材など、これまでの日本の誇る技術を強みとして、世界で優位に立っていく可能性がある。

洋上風力発電分野でいち早く世界トップレベルの技術を確立できれば、今後成長が予想される世界の洋上風力発電市場でも活躍でき、また裾野の広い風力発電設備の導入拡大は国内産業への波及効果が期待される。

〈参考文献〉
1) UNEP and Bloomberg new energy finance：Global Trends in Renewable Energy Investment 2012、2012
2) GWEC：http://www.gwec.net/
3) EWEA：Oceans of Opportunity, http://www.ewea.org/、2009
4) EWEA：The European offshore wind industry key 2011 trends and statistics、2012
5) 石原孟：着床式洋上風力発電実証研究の現状と今後の展望、日本風力エネルギー学会誌、Vol.36、No.2、2012
6) 石原孟：福島沖浮体式洋上ウィンドファーム実証研究の現状と将来展望、日本風力エネルギー学会誌、Vol.36、2013

東京大学大学院工学系研究科
社会基盤学専攻 教授
石原　孟
（いしはら　たけし）

〈略歴〉
1962年 北京生まれ
1992年 東京工業大学大学院理工学研究科土木工学専攻博士課程修了
1992年 清水建設（株）技術研究所研究員
2000年 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻助教授
2008年 現職