

再生可能エネルギー・新エネルギー

洋上風力発電

Offshore Wind Power

執筆者プロフィール



石原 孟
Takeshi ISHIHARA

◎1992年東京工業大学大学院博士課程修了，清水建設(株)副主任研究員，東京大学大学院助教授，2008年より現職
◎研究・専門テーマは，風工学，構造工学，風力発電，信頼性設計，センシング・数値予報
◎東京大学教授，大学院社会基盤学専攻
(〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1/
E-mail: ishihara@bridge.t.u-tokyo.ac.jp)

1. はじめに

2010年末に世界の風力発電設備容量は1億9439万kWに達し，過去13年間の平均成長率は28%に及んでいる。このような高い成長率はエネルギー開発の歴史上に類のないことである。いま世界での風力発電への新規投資は，全発電設備への新規投資の5分の1を占め，5兆円産業となっている。日本においても風力発電の導入も進んでおり，2010年初めに風力発電の設備容量は218万kWに達し，風車設置数も1680基を超えている。

陸上風力発電だけではなく，ヨーロッパ風力発電協会は，2020年までに4000万kW，2030年までに1億5000万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の建設を始めている⁽¹⁾。かつての陸上風力発電のようにいま洋上風力発電の普及が始まっている(図1)。

本稿では，ヨーロッパにおける洋上風力発電の現状^{(1)~(3)}を紹介するとともに，日本における洋上風力発電の将来を展望する。

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。また陸上に比べ，景観や騒音等の環境問題が少ない。さらに道路等の制約条件を受けないため，

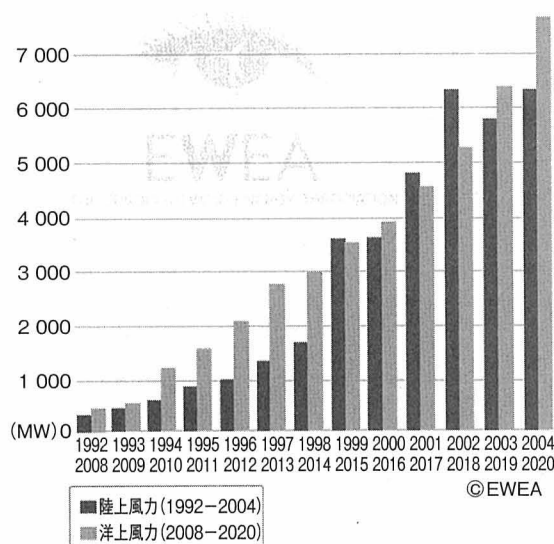


図1 ヨーロッパの洋上風力発電導入量の予測⁽¹⁾

大型風車の運搬・設置が容易である。このことから，ヨーロッパにおいては20年前から洋上風力発電の研究開発が行われてきた。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(Nogersund洋上風力発電所)が洋上風力発電の始まりと言われている。また1991年にデンマークに建設されたVindeby洋上風力発電所(定格出力450kWの風車11基)は世界初の洋上ウインドファームである。

図2には2000年にデンマークに建設された世界初の本格的な商業洋上ウインドファーム(Middelgrundten洋上風力発電所)を示す⁽²⁾。2000kWの風車20基は海岸から2km地点に建設され，世界一美しい洋上風力発電所と言われている。その2年後の2002年にはHorns Rev洋上風力発電所がデンマークに建設され，2000kWの風車80基は海岸から14~20kmの地点に設置された。これは世界初の本格的な大規模洋上ウインドファームであり，そこから洋上風力開発に関する多くの知見が得られている。現在建設中の世界最大級の洋上風力発電所は原子力1基分と同じ規模の100万kWに達している。

このようにヨーロッパにおける洋上風力発電所の規模の増大とともに，風車のサイズと定格出力も大きくなっていく。過去20年間に風車ロータの直径は約10倍，定格出力



図2 世界初の商業洋上ウインドファーム⁽²⁾



図3 世界最大級の5MW風車⁽²⁾

は100倍に増えている。現在最大級風車の定格出力は5000kW、直径は126mに達する(図3)⁽²⁾。風車の大型化に伴い、風車ローターに流入する風速が大きくなり、より多くの風力エネルギーが得られるとともに、風車に作用する風荷重も大きくなり、それを低減するための空力制御やアクティブ制御に関する研究も盛んに行われている。

3. 日本の洋上風力発電と技術開発

2004年4月1日に国内初の洋上風力発電所である瀬棚洋上風力発電所(北海道せたな町)が完成し、600kWの風車2基が海岸から約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、2000kW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、2000kWの風車7基が堤防から40~50m沖に建設されたが、基礎および風車本体の工事は陸上クレーンにより行われた。

このように、これまでにわが国に建設されている洋上風力発電所のすべては沿岸洋上風力発電所であり、今後本格的な洋上風力発電所を建設するために、大型洋上風車の開発、洋上風力発電設備支持構造物の設計・運搬・施工並びに洋上風力発電所の維持管理等に関する技術開発が不可欠である。とくに日本では、ヨーロッパと異なり、海底地盤条件と水深変化が複雑なうえ、暴風、高波浪、地震等の自然環境条件が大変厳しい。図4には、わが国における洋上風力発電に関する研究課題を示す⁽⁴⁾。海上風の観測、風車と支持構造物の連成振動予測、基礎構造の研究開発、疲労照査技術、遠隔監視制御と故障予知診断システムの開発等が挙げられている。

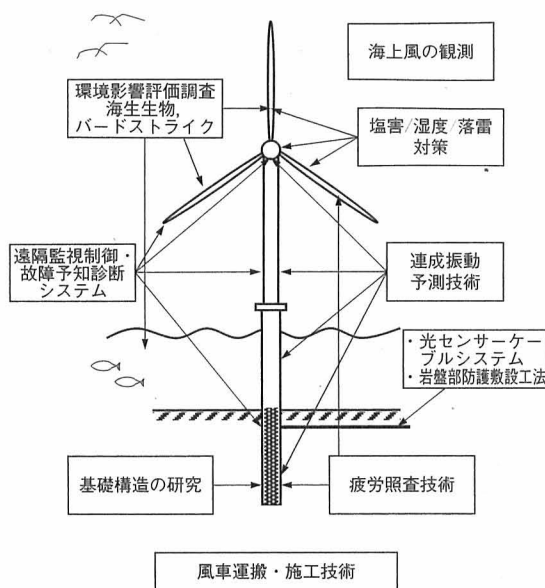


図4 洋上風力発電に関する研究課題⁽⁴⁾

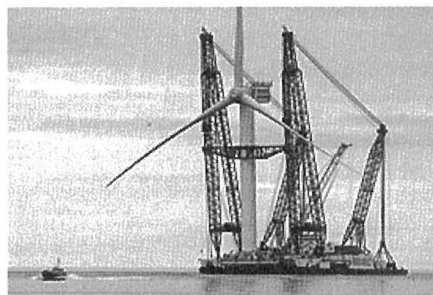


図5 洋上風車の一体施工⁽⁶⁾

たとえば、日本は混合気候であるため、台風と台風以外の気象現象に起因する風に分けて成因別極値風速を評価する必要があり、北海道を除き、ほとんどの地域の年最大風速の50年再現期待値は、台風によって規定されている。また陸上に設置される風力発電設備に比べ、洋上に設置される風力発電設備は暴風と波浪の作用を同時に受ける。風荷重と波荷重の最大値から単純和により求めた暴風波浪時の最大値は、暴風と波浪が同時に作用した時に求めた最大値より大きく、風荷重と波荷重の組合せを考えると、風荷重と波荷重の相関を考慮することにより、最大荷重を低減させることが可能であることがわかる⁽⁵⁾。さらに洋上風力発電所建設の際に用いる施工方法はプロジェクトの成否を左右する。ヨーロッパで実施された実証研究では、天候の影響で実証機が予定どおりに設置できなかったことが起きている。わが国の外洋においてもうねりが卓越するため、設備の運搬・施工の稼働率の向上および海上での作業時間の短縮が重要な研究課題となっている。

図5にはフローティングクレーンを利用した洋上風車の一体施工状況を示す⁽⁶⁾。海上での作業時間を短縮するため、あらかじめ陸上で一体化した風車をシェアレグで吊り、そのまま現地へ輸送した。風車の影が緩やかな海面に反映している状況からわかるように、この工法は海象が緩やかでないと成立しにくい。設計・運搬・施工の問題を総合的に解決するため、近年洋上風力発電システムの統合設計の試みが行われた。

たとえば、図6に示すBard Engineering社の場合⁽³⁾には、風車、支持構造物、施工に関する統合設計を行い、自社開

発した 5MW 風車とトリパイル支持構造物を合わせて、自社製の風車据付用船 WINDLIFT-I を用いて施工する。WINDLIFT-I の許容吊上げ荷重は 500t であるため、風車ナセル、パイル、トランジションピース等の部品の重量はすべて 500t 以下に抑えている。風車と支持構造物はそれぞれドイツの Cxhaven と Emeden の港で製造するとともに、港から出荷されてから水深 40m、離岸距離 87km の洋上にそれぞれ 48 時間で据え付けることが可能である。

今後わが国における大規模洋上風力発電所を建設する際には、現有の施工船の性能を十分に念頭に置き、海底地盤、水深、海象条件に対応できる最適な施工方法を検討するとともに、風車・支持構造物・施工法に関する統合設計の研究開発も不可欠である。

4. 日本の洋上風力発電の将来展望

(独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (以下 NEDO) の調査によると、風速 7m/s 以上、離岸距離 30km、水深 200m までの洋上風力発電の賦存量は、約 120 万 MW に達している⁽⁷⁾。着床式洋上風力発電の適応限界水深と考えられる 50m までの賦存量 (設置可能面積) は約 21 万 MW (約 2 万 km²) であると試算されている。設置可能海域内の 5% が利用可能とした場合には約 1 000 万 kW の設備容量が確保できる。さらに将来浮体式洋上風力発電が実用化されれば、水深 200m までを設置可能海域とした場合の利用可能率を 3% とすると 3 600 万 kW の設備容量が確保されることになる。

図 7 には関東沿岸洋上風力賦存量を示す⁽⁸⁾。海岸からの距離 50km までの全海域を対象とした場合に、洋上風力賦存量は年間 287TWh となり、2005 年の東京電力の年間電力販売量とほぼ等しい。従来風が弱いと言われている関東地方は洋上に目を向ければ、35% という高い設備利用率に代表されるように、関東地域における洋上風力発電に大きな可能性を秘めていることがわかる。一方、この研究では日本における洋上風力発電の難しさも指摘された。ヨーロッパに比べ、日本の海底地形が急峻なため、着床式基礎構造に適した水深 50m 以下の海域は沿岸のごく近傍に限られるため、より深い水深の海域に建設が可能な浮体式基礎構造を用いる必要があることがわかる。浮体式基礎構造に関する研究開発はすでいくつかの研究機関で行われ、セミサブ型、スパーブイ型、TLP 型の浮体構造が提案され、実用化に向けた研究開発が進められている。

また 2009 年から NEDO は、洋上風況観測システムおよび洋上風力発電実証研究を開始した。わが国の外洋における気象・海象などの自然環境条件を解明し、暴風・波浪・地震等の外力を受けるときの洋上風力発電システムの挙動を明らかにするとともに、わが国の自然環境条件に適した洋上風力発電システムおよびその施工方法の確立を目指している。洋上風力発電実証研究から得られた成果は 5MW 以上の大型洋上風車とその支持構造物の開発、大規模洋上ウインドファームの設計へのフィードバック、洋上風力発電システム設計に関する国際基準への反映、地域との共存共栄の立案等多方面への活用が期待されている。

5. まとめ

洋上風力発電は自動車産業型の産業構造を持ち、重工、機械、電気、建設、造船、材料等複数の産業に関連し、世

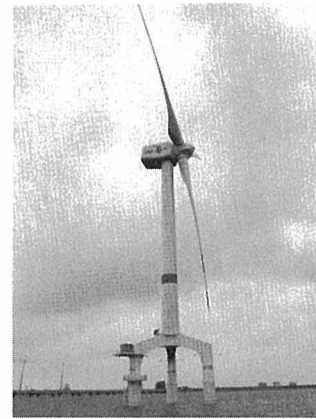


図 6 BARD 5MW 風車とトリパイル支持構造物⁽³⁾

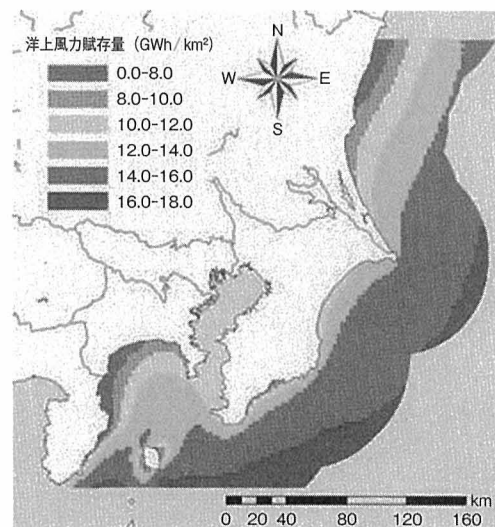


図 7 関東沿岸洋上風力賦存量⁽⁸⁾

界的に見ても経済・雇用効果の極めて大きい産業である。今後の洋上風力開発においては日本機械学会が果たすべき役割が大きいと思われる。これまでに陸上風力開発で培った高い技術力とノウハウを活かし、着床式、そして浮体式洋上風力発電に挑戦していくことを期待したい。

(原稿受付 2011 年 3 月 8 日)

●文 献

- (1) EWEA, Oceans of Opportunity, <http://www.ewea.org/>, (2009).
- (2) 欧州洋上風力発電最新事情調査団: 欧州洋上風力発電最新事情調査報告, 風力エネルギー, **31-4** (2007), 63-76.
- (3) 2009 年欧州洋上風力発電最新事情調査団: 2009 年欧州洋上風力発電最新事情調査報告, 風力エネルギー, **33-4** (2009), 38-45.
- (4) NEDO 新エネルギー・産業技術総合開発機構: 平成 19 年度洋上風力発電導入のための技術的課題に関する調査報告書, イー・アンド・イー ソリューションズ, 風力エネルギー研究所, 日本電機工業会 (2007).
- (5) NEDO 新エネルギー・産業技術総合開発機構: 平成 20 年度洋上風力発電実証研究 F/S 調査 (銚子), 東京電力, 東京大学, 鹿島建設, (2008).
- (6) Beatrice, <http://www.repower.de/>
- (7) NEDO 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 平成 20 年度洋上風力発電実証研究 F/S 評価, イー・アンド・イー ソリューションズ, (2008).
- (8) 石原 孟, 地理情報システムを利用した洋上風力賦存量の評価, 電気評論, 臨, (2010), 39-43.