

洋上風力発電の現状と将来展望

東京大学 石原 孟

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⁾には、2011年の再生可能エネルギーへの投資額は2570億ドル(80円/ドル換算で約20.6兆円)で前年比17%増加という結果が報告された。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%、中では風力発電への新規投資は840億ドル(80円/ドル換算で約6.7兆円)に達した。

2011年末に世界の風力発電設備容量は2億3767万kW²⁾に達した。これは日本の10電力会社が所有する電力設備容量の2億396万kW(2009年度)を超えている。日本における風力発電の設備容量は2012年初めに250万kWに達し、風車設置数も1832基を超えている。一方、陸上の平野部においては風力発電の適地が減少し、山岳部ではアクセス道路整備などのコスト負担が増加していることから、今後風力発電の導入拡大には長い海岸線を生かした洋上風力発電の導入が期待されている。

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。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³⁾。一方、アメリカでは2011年2月7日に内務省とエネルギー省が共同で「洋上風力促進計画」と「国家洋上風力戦略」を発表した⁴⁾。2030年までに5400万kWの洋上風力発電を導入し、1520万世帯に電力を供給するという明確な国家目標を示すと共に、中部大西洋の沖合にある4つの風力エネルギー開発海域を指定し、アメリカにおける洋上風力産業の育成と洋上風力発電の開発を促進するための具体策も示されている。

本稿では、急拡大する世界の洋上風力発電の現状を紹介すると共に、わが国における洋上風力発電導入拡大に必要な技術と政策について概説する。

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。東京、ニューヨークのような大都市

では風が弱い、近隣する洋上の風は強く、膨大な風力エネルギー賦存量がある⁵⁾。また陸上に比べ、洋上では景観や騒音等の環境問題が少ないという利点がある。さらに道路等の制約条件を受けないため、大型風車の運搬・設置が容易である。その他、洋上敷地の制限も少なく、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。また大電力消費地の近くでは電力系統が強固、大規模洋上風力発電所の系統連系が容易である。

このことから、欧州においては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)は世界初の洋上ウィンドファームである。図-1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ィンドファーム(Middelgrunden洋上風力発電所)を示す⁶⁾。2000kWの風車20基が海岸から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基が海岸から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ィンドファームである。



図-1 世界初の商業洋上ウィンドファーム

2011年末に欧州における洋上風力発電の設備容量は

381 万 kW に達し、現在建設中の 9 つのウィンドファームを含めると、618 万 kW に達する。また欧州における 12 カ国の承認済みのプロジェクトは 1800 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。表-1 には欧州における上位 10 個所の大規模ウィンドファームの一覧を示し、ウィンドファームの最大規模は年々大きくなっていることが分かる。今年中に完成予定の世界最大級の洋上風力発電所 London Array 第 1 期の設備容量は 63 万 kW に達し、今後 100 万 kW に拡張する予定である。

表-1 欧州における大規模ウィンドファームの一覧

発電所名	出力(MW)	設置国	稼動年
Walney (phases 1&2)	367	イギリス	2011
Thanet	300	イギリス	2010
Horns Rev II	209	デンマーク	2009
Rødsand II	207	デンマーク	2010
Lynn and Inner Dowsing	194	イギリス	2008
Robin Rigg (Solway Firth)	180	イギリス	2010
Gunfleet Sands	172	イギリス	2010
Nysted (Rødsand I)	166	デンマーク	2003
Bligh Bank (Belwind)	165	ベルギー	2010
Horns Rev I	160	デンマーク	2002



図-2 7000kW 浮体式洋上風力発電設備の完成予想図
(福島洋上風力コンソーシアム提供)

このように欧州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る。過去 20 年間に風車ローターの直径は約 10 倍、定格出力は 100 倍に増えている。後に紹介する福島県沖の実証研究で使用される風車の定格出力は 7000kW、風車ローターの直径は 165m に達する。風車の翼端までの高さは 200m を超え、新宿の超高層ビルの高さにもなる (図-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。

デンマークは長い間欧州における洋上風力発電を牽引してきた。しかし、2011 年にイギリスで世界最大の設備容量を誇る Walney 洋上風力発電所が稼動し、洋上風力発電の設備容量も 209 万 kW に達した。今やイギリスは世界中の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ると共に、世界の洋上風力発電市場を牽引する国となっている。

イギリスの変化は 2000 年初頭から始まっている。2007 年にイギリス政府は 3300 万 kW の洋上風力を開発するという野心的な目標を発表した。事業規模は約 13 兆円に上り、送電網の整備だけでも 2 兆円に達する。この計画では 2020 年までに 7000 基以上の洋上風車を設置し、英国の全消費電力の 3 分の 1 を賄う。イギリスの洋上風力開発は、「ラウンド 1」、「ラウンド 2」、「ラウンド 3」の 3 段階に分けて進められている。ラウンド 1 では開発海域は海岸線に比較的近くかつ水深の浅い場所が選ばれているが、ラウンド 3 は海岸線から離れ、より水深の深い場所へ移動している。ラウンド 3 の最も遠い区域は海岸線から 195km、最も深い区域は平均水深 50m となっている。これまでの洋上風力発電プロジェクトに比べ、ラウンド 3 は大きなチャレンジと言える。

英国では、洋上風力発電設備を設置する大陸棚の所有権は王室にあるため、その利用に当たって、英国国王の不動産・海域の資産管理を行う政府系特殊法人のクラウン・エステート (The Crown Estate) 社からの許可が必要である。つまり、北海の海底油田の鉱区と同じように、風力発電事業者が区域のリース料を支払って、洋上風力発電事業を行うこととなる。最初の入札が約 10 年前の 2001 年 4 月に行われ、18 区域の開発を決定し、現在 North Hoyle をはじめ 10 区域が完成している。その後、2003 年にラウンド 2 の入札が行われ、15 区域の開発が決定された。ラウンド 2 の計画は合計 710 万 kW の設備容量を誇り、既に 14 の区域において発電と送電が始まっている。そして 2010 年 1 月にラウンド 3 の開発事業者が入札で決定した。9 区域の合計設備容量は 3200 万 kW に達している。

2011 年末にイギリスの洋上風力発電の設備容量は 209 万 kW に達し、2016 年に 800 万 kW、2020 年に 1800 万 kW に達する予定である。洋上風力発電の可能性に注目しているのは欧米だけではなく、中国は 2020 年に 3000 万 kW、韓国は 2019 年までに 250 万 kW の導入目標を掲げている。米国のパイクリサーチ社の調査⁹⁾によると、2011 年末に世界の洋上風力発電は 400 万 kW 程度であるが、2017 年には 7100 万 kW、約 17 倍に増加し、その中でも中国の洋上風力発電市場が、欧州の洋上風力発電市場とともに 2017 年までの世界市場を牽引すると予測している。

3. 洋上風力発電における研究開発

洋上風力発電は急速に拡大している一方、いくつかの課題も抱えている。その一つは高コストの問題である。洋上風力発電は陸上風力発電に比べ、コストが2倍高くなる場合がある。これは、風況が同じである場合に、洋上風力発電では支持構造物、施工、送電および維持管理の費用が陸上に比べ高いことによる。洋上風力発電のコストを低減するために、5-10MWの大型風車の採用と大規模な開発が求められている。洋上風力発電における長期的な目標としては、発電コストを現在の半分以上にして、2030年に10セント/kWh（80円/ドル換算、8円/kWh）に近づけることである⁸⁾。

図-3には洋上風力発電設備支持物コストの水深による変化を示す。モノパイルおよび重力式は水深30m以下、ジャケット、トリポッドおよびトリパイルは30mから60mの範囲に適用できる。水深60m以上になると、着床式のコストが高くなり、浮体式が優位になる。特に、水深100-200mの範囲においては浮体式のコストは水深に殆ど依存しない。この特徴は大規模洋上風力発電所を建設する際には大変重要である。例えば、ローター直径126mの5MW風車から構成される100万kWの洋上風力発電所に必要な風車の数は200基、海域面積（10×8D=10.08km）は約10km×20kmである。このような広い海域では、水深が大きく変化する。浮体式基礎を採用した場合にはこのような水深の変化を吸収でき、ウィンドファームの最適化が容易となる。水深50m-100mの範囲では両形式とも高いため、今後の課題となる。

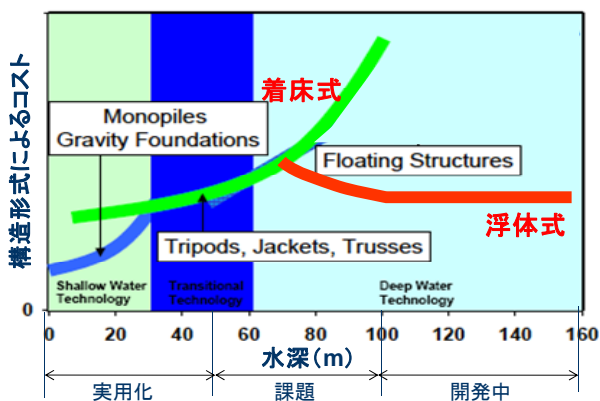


図-3 支持物コストの水深による変化

3.1 着床式洋上風力発電

図-4には着床式洋上風力発電設備支持物の構造形式を示し、図中の1~5はそれぞれモノパイル、重力式、ジャケット、トリポッド、トリパイルを示す⁹⁾。モノパイルは、構造的にシンプルであり、設計・施工上の問題は少ないが、大型風車および大水深に適用できない。また海底工事がなくコストが安価な反面、大径のパイルを打つための大型油

圧ハンマや大型作業船等が必要である。重力式は、海底地盤が比較的良好な場所に適する構造であり、軟弱地盤には適せず、海底面の平坦度を確認するために詳細な海底調査およびマウンドの製作が必要であり、また製作のための陸上ヤードおよび設置のための大型運搬船が必要である。ジャケットはモノパイルに比べ剛な構造であり、地盤からの影響および波浪等の外力を受けにくく、また鋼管杭で支持する構造形式のため、水深が深く軟弱な地盤条件においてその優位性を発揮する。石油ガスプラットフォーム等で多くの実績を有するが、構造が複雑であり、施工に特殊な技術が必要である。

表-2には各種支持物の構造形式の分類を示す。洋上風力発電設備支持物はモノパイル、重力式、ジャケットの3つの基本形式があり、他の構造形式はこの3つの基本形式の発展形またはハイブリッドと言える。例えば、PC重力式は従来のRC重力式の発展形であり、またトリパイルとドルフィンとはモノパイルの発展形である。トリパイルは3本のパイルを使用し、ドルフィンとは4本または8本のパイルを採用している。一方、トリポッドは、モノパイルとジャケットのハイブリッドであり、またハイブリッド重力式はジャケットと重力式のハイブリッドである。このように各種構造形式の最適化により、様々な水深に適した支持構造物が開発され、洋上風力発電のコスト低減にも貢献している。

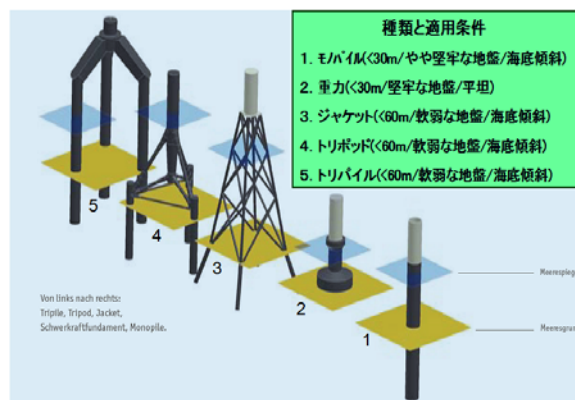


図-4 着床式洋上風力発電設備支持物の構造形式⁹⁾

表-2 洋上風力発電設備支持物の構造形式の分類

基本形	モノパイル	重力式	ジャケット
発展形	トリパイル	PC重力式	小型ジャケット
	ドルフィン		
	トリポッド		
	ハイブリッド重力式		

欧州風力発電協会の調査¹⁰⁾によると、これまでに建設された着床式風力発電設備支持物の中ではモノパイル75%、重力式21%、ジャケット2%、トリパイル2%である。

一方、2011年に建設された支持物の中では、モノパイル69%と圧倒的に多いが、ジャケットは20%、トリパイル10%に大きく増え、重力式は1%に減少していることが分かる。

洋上風力発電所建設の際に用いる施工方法もプロジェクトの成否を左右し、建設コストに大きな影響を与える。欧州で実施された実証研究では、天候の影響で実証機が予定通りに設置出来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。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。例えば、Bard Engineering 社の場合¹¹⁾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(図-5)。WINDLIFT-Iの許容吊上げ荷重は500ton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全て500ton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CuxhavenとEmdenの港で製造したのち、水深40m、離岸距離87kmの洋上にそれぞれ港から出荷されてから48時間で据付することが可能である。

わが国の気象・海象条件は欧州と異なることから、欧州での事例をそのまま適用するにはリスクが大きい。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、経済性に関する様々な課題がある。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(以下、NEDO)は2006年から洋上風力発電等技術研究開発を開始した。



図-5 BARD 5M 風車とトリパイル支持構造物

表-3にはNEDOで行われている洋上風力発電等技術研究開発の一覧を示す。2009年からNEDOはわが国の外洋

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実証研究を開始し、今年度中には北九州市および銚子市の沖合に風況観測タワーおよび洋上風車の実証設備の建設が完了する予定である。この研究では、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時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を確立することを目指している。

本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、洋上風力発電システム設計に関する国際基準の作成に活用される。また2011年度からは、洋上ウインドファームフィージビリティスタディーも開始し、今後の大量導入が期待される国内洋上ウインドファームにおける事業性及び実現可能性を評価すると共に、洋上ウインドファームの開発における様々な課題を検討している。

表-3 NEDOの洋上風力発電等技術研究開発の一覧

年度	研究開発テーマ
2006	洋上風力発電導入のための洋上風況精査に係わる調査
2006	洋上風力発電導入のための技術的課題に関する調査
2007	洋上風力発電 FS 調査に係わる先行調査
2008	洋上風力発電実証研究 FS 評価
2009	洋上風況観測システム実証研究
2010	洋上風力発電システム実証研究
2011	超大型風力発電システム技術研究開発
2011	洋上ウインドファーム・フィージビリティスタディー
2011	浮体式洋上風力発電 FS 調査

3.2 浮体式洋上風力発電

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、浮体式風力発電の導入を早期に実現する必要がある。2011年度に実施した浮体式洋上風力発電 FS 調査では現在検討されている様々な浮体式洋上風力発電について、体系的に整理し、それらの特徴や技術的な課題等を取りまとめた。

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2300kW風車搭載のスパイ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2000kW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基のみを建設し、将来大規模浮体式洋上ウインドファームを実現す

るためにはいくつかの技術的な課題が残されている。

一方、わが国では、政府は 2011 年度 3 次補正予算で 125 億円を計上し、福島県沖合の海域に世界初の浮体式洋上ウインドファームを建設する実証研究を開始させた。福島県沖合の実証研究では、世界最大級の 7000 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し、また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、浮体式洋上ウイ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共に、浮体式洋上風力発電の性能評価を可能にする。さらに複数タイプの風車と浮体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徴および制御効果を明らかにし、腐食および疲労に強い高性能鋼材の開発も行う。

図-6 には福島県沖合浮体式洋上ウインドファーム実証研究の目的を示している。様々な技術課題に挑戦し、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、航行安全性と環境影響の評価手法も確立する。また本実証研究の目的および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・技術対話等にも積極的に取り組む予定である。

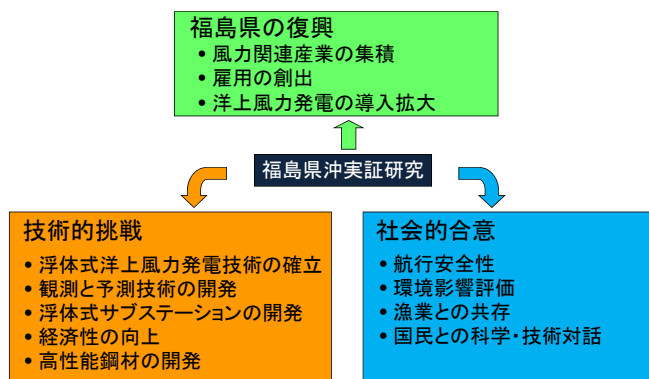


図-6 福島沖浮体式洋上ウインドファーム実証研究目的

図-7 には本実証研究の計画を示す。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 2000kW ダウンウイ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、様々な要素技術の開発を行い、浮体式洋上風力発電設備設計に必要な気象・海象・浮体動揺等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級の 7000 kW 風車搭載の浮体式洋上風力発電設備 2 基を建設し、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インドファームの事業性を検証する。

現在、丸紅、東京大学、三菱商事、三菱重工業、アイ・

エイチ・アイ マリンユナイテッド、三井造船、新日本製鐵、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共に、オールジャパンの体制で実証研究を進めている。

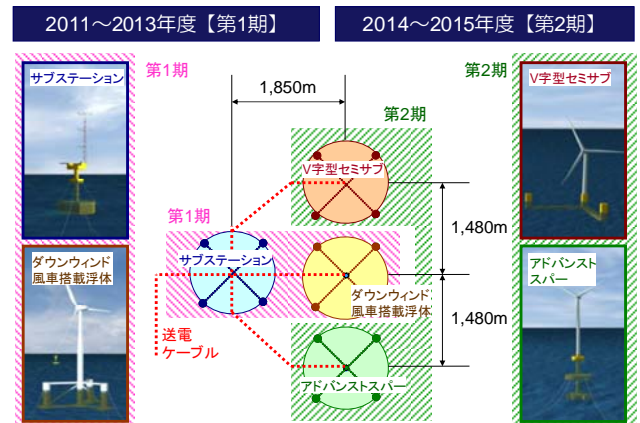


図-7 世界初の浮体式洋上ウインドファーム実証研究の計画（福島洋上風力コンソーシアム提供）

4. 洋上風力発電の導入促進策

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 12 億 kW に達し、水深 50-200m の範囲の賦存量は水深 50m までの賦存量の 4 倍以上である¹²⁾。着床式洋上風力発電の適応限界水深と考えられる 50m までの賦存量は約 2 億 1000 万 kW 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 1000 万 kW の設備容量が確保できる。さらに浮体式洋上風力発電が実用化されれば、水深 200m まで設置可能海域となり、利用可能率を 4% とすると 4800 万 kW の設備容量が確保されることになる。洋上風力発電所の設備利用率と原子力発電所の稼働率をそれぞれ 30% と 80% と仮定した場合、4800 万 kW の洋上風力発電設備は、100 万 kW の原子力発電所 18 基分に相当する。洋上風力開発は 2020 年に再生可能エネルギーによる電力供給を 20% とする政府目標に大きく貢献する可能性を秘めている。図-8 には日本沿岸における洋上風力賦存量を示す。この図から、海岸から離れるにつれ、水深 50m 以下の海域が急速に減少しており、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分かる。

洋上風力発電を普及させていくために、研究開発の他に、政策も重要である。風力発電を普及させるために最も有効な政策は固定価格買い取り制度であり、ここ数年で多くの国で導入されている。固定価格買い取り制度の成功例としてドイツ、スペイン、中国等が挙げられる。中国に固定価格買い取り制度が導入されたのは 2005 年であり、その僅か 5 年後の 2010 年に中国は世界一の風力大国となった。

2005 年以前は中国の風力発電設備容量は日本と殆ど同じであったが、2011 年末には中国の風力発電設備容量は 6236 万 kW となり、日本の 25 倍となった。わが国においても、今年 7 月に固定価格買い取りが開始する予定であり、今後の導入拡大が期待される。

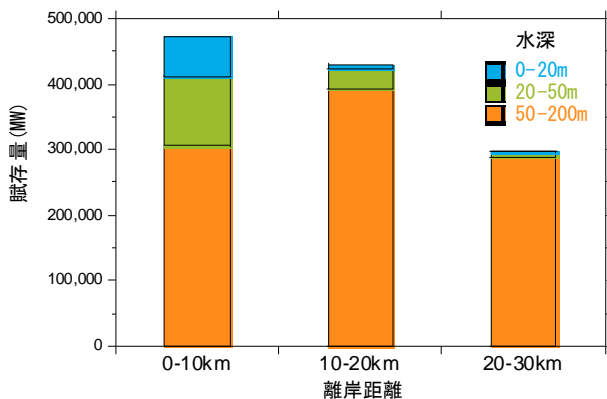


図-8 日本沿岸における洋上風力賦存量

もう 1 つ重要な政策は政府目標の制定である。政府目標を制定した国は、2005 年の 45 カ国から 2009 年までに 85 カ国以上へと増加した。例えば、スペインでは風力発電の設備容量は 2000 年の 223 万 kW から 2010 年の 2068 万 kW まで約 10 倍拡大し、さらに 2020 年までに 4500 万 kW の風力発電を導入する目標を掲げている。今後わが国においても同様な高い政府目標が必要である。

洋上風力発電の場合には、開発海域の指定なしでは大規模な開発が不可能であり、イギリス、ドイツなどのヨーロッパの国だけではなく、アメリカも同様な政策を掲げている。日本における排他的経済水域はイギリスよりも広いが、2011 年までの導入実績はイギリスの 80 分の 1 である。近年のイギリスにおける洋上風力発電の躍進は、イギリス政府の政策によって支えられていると言える。

最後に系統連系の問題である。スペインの供給電力は日本の約 1/3 であるが、風力発電の設備容量は、日本の約 9 倍である。スペインは、デンマークやドイツと異なり、電力系統の国際連系が弱い上、風力発電適地と電力消費地域が一致していないという問題も抱えているにもかかわらず、風力発電の大量導入に成功している。スペインの経験は日本としても大いに参考になる¹³⁾。

今後わが国における洋上風力発電の導入拡大を促進するために、現在経済産業省、環境省、NEDO 等で実施している洋上風力発電等技術研究開発を確実に成功させると共に、2020 年までの洋上風力発電における政府目標の策定および洋上風力開発のための海域指定が強く望まれる。

5. おわりに

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、世界的に見ても経済・雇用効果の極めて大きい産業である。浮体式洋上風力発電は、世界でもまだ新しい技術であるが、重電、造船、素材等、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行く可能性がある。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も大きい。世界の風力開発では、土地の制約が少なく、大型化と大規模化の容易な洋上風力発電に大きく舵を切っており、その市場規模は今後さらに拡大していくと思われる。そのニーズに日本が浮体式洋上風力発電技術で応えることができれば、産業的にも大きな成長を期待できる。

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/>
- 4) Salazar : Chu Announce Major Offshore Wind Initiatives, <http://www.energy.gov/news/10053.htm>, 2010.
- 5) 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, pp.39-43, 2010.
- 6) 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, Vol.31, No.4, pp.63-76, 2007.
- 7) The Crown Estate : <http://www.thecrownestate.co.uk/>
- 8) Pike Research : Offshore Wind Power: Market Opportunities and Challenges, Technology Issues, Key Industry Players, and Global Capacity and Production Revenue Forecasts, 2011.
- 9) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 : 平成 19 年度洋上風力発電実証研究 F/S に係る先行調査報告書, 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, ネクストエナジー, 2007.
- 10) EWEA : The European offshore wind industry key 2011 trends and statistics, <http://www.ewea.org/>
- 11) 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, Vol.33, No.4, pp.38-45, 2009.
- 12) 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.
- 13) 石原孟 : 「風力発電大国」の実像 ～その背景に電力系統制御への挑戦～, 日経エレクトロニクス, 2011.