

■特集：風力発電のブレークスルーを目指して 洋上風力発電の現状と今後の展望

日本風力発電協会 事務局 部長 海津 信廣

1. はじめに

風力発電は、導入ポテンシャルの多さや経済性から、再生可能エネルギーの導入拡大において重要な電源と位置付けられている。

洋上風力発電は、陸上に比べて風況が良好なため設備利用率が高く、広大な面積で大規模開発が可能、住居から離れており騒音や景観への影響が少ない等の利点がある。2014年4月に固定買取価格が設定されたことから、港湾区域を中心に洋上風力発電の導入が進みつつある。

本稿では、洋上風力発電の国内外の導入状況、導入拡大に向けた課題や今後の展望について述べる。

2. 国内外の洋上風力発電の導入実績と計画

(1) 世界の洋上風力発電の導入実績

世界の風力発電の導入実績は、2014年末で3.7億kWであり、日本は279万kWである（世界で第19位、表1）。

世界の洋上風力発電の導入実績は、876万kWであり、陸上・洋上を合わせた導入量に対しては2.4%である。2013年、2014年の単年の導入量は150万kWを超えており、洋上風力発電の導入量は着実に増えてきている（表1、図1）。

国別にみると、風況が良好で水深が浅い北海・バルト海に面したイギリス、デンマーク、ドイツで洋上風力発電の導入が進んでおり、3か国で世界全体の78%を占めている（表1）。

世界で上位の洋上風力発電所の発電出力は30万kW以上のものが多く、世界最大の発電所の出力は63万kWである（表2）。

洋上風力発電に採用されている風車は3.6MWが多いが、近年では5~6MWの風車が採用されており、今後は5MW以上の大型風車の増加が見込まれる（表2）。

なお、現在実用化され商用利用段階にあるのは着床式であり、浮体式は実証研究段階である。

表1 世界の洋上風力発電の導入実績(2014年)¹⁾

(単位：万kW)

国	洋上	陸上+洋上	国	洋上	陸上+洋上
イギリス	449.4	1,244	フィンランド	2.6	63
デンマーク	127.1	485	アイルランド	2.5	227
ドイツ	104.9	3,917	韓国	0.5	61
ベルギー	71.3	196	スペイン	0.5	2,299
中国	65.8	11,461	ノルウェー	0.2	82
オランダ	24.7	281	ポルトガル	0.2	491
スウェーデン	21.2	542	米国	0.02	6,588
日本	5.0	279	世界	875.9	36,960

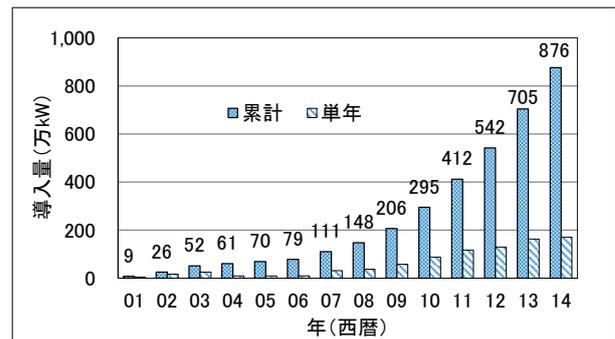


図1 世界の洋上風力発電の導入実績¹⁾

表2 世界の洋上風力発電所（発電出力順）²⁾

No.	発電所	国	発電出力(MW) (定格出力×基数)	運転開始 時期
1	London Array	UK	630 (3.6×175)	2013
2	Gwynt y Môr	UK	576 (3.6×160)	2015
3	Greater Gabbard	UK	504 (3.6×140)	2013
4	BARD Offshore 1	Germany	400 (5.0×80)	2013
5	Anholt	Denmark	400 (3.6×111)	2013
6	West of Duddon Sands	UK	389 (3.6×108)	2014
7	Walney (1-2)	UK	367 (3.6×102)	2011(1) 2012(2)
8	Thorntonbank (1-3)	Belgium	325 (5.0×6) (6.15×48)	2009(1) 2013(2) 2013(3)
9	Sheringham Shoal	UK	317 (3.6×88)	2012
10	Thanet	UK	300 (3.0×100)	2010

(2) 日本の洋上風力発電の導入実績と計画

日本で現在稼働中の洋上風力発電の84%、4.4万kW(23基)は護岸近傍に設置されている。

沖合(実証事業:離岸距離1km以上)に設置されている設備は、着床式0.44万kW(2基)、浮体式0.4万kW(2基)であり、沖合に設置された実績が少ない(表3、図2、写真1、2)。

計画中の案件は、港湾区域が78万kW、一般海域が61.2万kWであり、これら139.2万kWの案件は、2025年頃までには運転を開始すると想定される(表4、図2)。

表3 洋上風力発電の導入実績(2014年度)

形式	設置海域	定格出力(MW)	基数(基)	発電出力(万kW)	設置時期(年月)	
着床式	北海道	瀬棚港	0.6	2	0.12	2004.4
	秋田県	秋田港	3.0	1	0.3	2015.2
	山形県	酒田港	2.0	5	1.0	2004.1
	茨城県	鹿島港	2.0	7	1.4	2010.2
	茨城県	鹿島港	2.0	8	1.6	2013.2
	千葉県	銚子沖*	2.4	1	0.24	2013.3
	福岡県	北九州市沖*	2.0	1	0.2	2013.6
浮体式	長崎県	五島市梶島沖*	2.0	1	0.2	2013.10
	福島県	福島県沖*	2.0	1	0.2	2013.11
計			27	5.26		

*実証事業(離岸距離1km以上)

表4 洋上風力発電の導入計画³⁾

形式	設置海域	定格出力(MW)	基数(基)	発電出力(万kW)	設置時期(年度)	
着床式	北海道	稚内港		1		
	北海道	石狩湾新港	2.5	40	10	
	青森県	むつ小川原港	2	40	8	
	秋田県	秋田港	5	13	6.5	2021 ~2022
		能代港	5	16	8	
	山形県	酒田港			1.5	
	茨城県	鹿島港1(1期)	5	20	10	2017
		鹿島港1(2期)	5	5	2.5	
		鹿島港2	5	25	12.5	
	福岡県	北九州港			18**	
北九州市沖*				32**		
新潟県	村上市岩船沖*	5	44	22		
山口県	下関市安岡沖*	4	15	6		
浮体式	福島県	福島県沖*	7	1	0.7	2015
		福島県沖*	5	1	0.5	
計			139.2			

*一般海域

**公表データより推定(2014年3月)

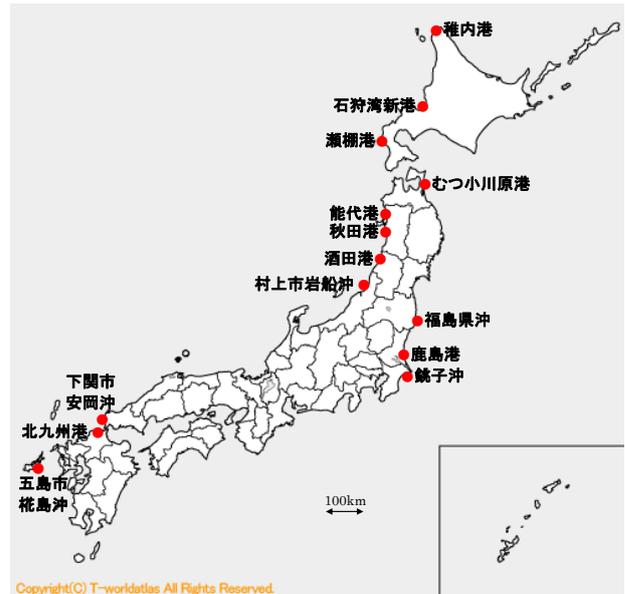


図2 洋上風力発電の導入実績と計画



銚子沖



北九州市沖

写真1 着床式洋上風力発電⁴⁾



福島県沖



五島市梶島沖

写真2 浮体式洋上風力発電^{5) 6)}

3. 日本の洋上風力発電の導入目標

(1) 導入見込量

(長期エネルギー需給見通し小委員会)

長期エネルギー需給見通し小委員会において、2030年度における洋上風力発電の導入見込量として、82万kWが示された(表5)。

今後洋上風力発電が、長期安定的に発電量が確保でき、低コストな電源として理解されていけば、導入見込量は増加していくものと想定される。

表5 2030年度における風力発電の導入見込量⁷⁾

	設備容量	発電量
陸上風力	918万kW	161億kWh
洋上風力	82万kW	22億kWh
合計	1,000万kW	182億kWh

(2) 導入目標(2014年5月、日本風力発電協会)

日本風力発電協会(JWPA)では、2050年度の推定需要電力量に対して、風力発電から約20%以上供給することを導入目標(7,500万kW)として公表した(表6)。

2014年における風力発電による電力量の供給比は、日本では0.5%であるが、欧州ではデンマーク39%、ポルトガル27%、スペイン20%、ドイツ12%、イギリス9%である⁸⁾。

導入目標の設定にあたっては、陸上・洋上風力発電のポテンシャルを算出し、導入目標の7,500万kWと同等以上のポテンシャルが存在することを確認している。

洋上風力発電の導入目標は、2030年で960万kW、2050年で3,700万kWである(表6)。

表6 風力発電の導入目標(JWPA)

年度	導入実績と導入目標 万kW					発電電力量 億kWh
	陸上	洋上着床	洋上浮体	洋上計	合計	
2013	265.7	4.6	0.4	5.0	270.7	52
2020	1,020	60	10	70	1,090	230
2030	2,660	580	380	960	3,620	840
2040	3,800	1,500	1,290	2,790	6,590	1,620
2050	3,800	1,900	1,800	3,700	7,500	1,880

4. 洋上風力発電の導入拡大に向けた提案

(1) 洋上風力発電導入拡大の方策

洋上風力発電の導入拡大をはかっていくための方策を表7に示す。

最初に、導入目標設定および目標達成のための具体的なプラン(マスタープラン:風車設置

可能エリア設定、エリア毎の発電出力規模設定、拠点港整備計画策定、送電線整備計画策定、工程表作成など)を国主導で策定していくことが望まれる。

以下に、表7に示した方策のうち、洋上風力発電の導入拡大に向けたスケジュール、洋上風力発電のモデル事業、設備利用率向上のための技術開発、発電コストの試算例について示す。

表7 洋上風力発電導入拡大のための方策

1	中長期導入目標の設定(エネルギー基本計画等)	
2	マスタープランの策定(再生可能エネルギー等関係関係会議等)	
3	地域内基幹変電所までのアクセス線等(送電線)の整備	
4	一般海域の利用を促進する環境整備	一般海域利用のルール化
		風車設置エリアのゾーニング(指定海域・一般海域) 環境アセスメントの実施 利害関係者との調整
5	港湾インフラ等の整備	拠点港の整備
		SEP船等特殊作業船の整備
6	日本の自然条件に適した風車の技術開発支援	高性能風車の開発(ロータ直径の大型化等、設備利用率向上)
		大型風車の開発(設置基数の低減)
		風車基礎の技術開発(基礎形状、設計手法)
		洋上風況マップの策定(適地選定)
7	ウィンドファームの実証事業(着床式、浮体式)	スマートメンテナンス技術の開発(故障停止時間短縮)
8	債務保証などファイナンスに関する支援	
9	規制の緩和	水域占用許可期間の延長
		完全撤去を前提とする占用許可の規制緩和
		占用許可条件承継の許可
		海上施工における安全管理基準の策定
10	発電コストの将来見通しの検討	環境アセスメント期間の短縮

(2) 洋上風力発電導入拡大に向けたスケジュール

洋上風力発電の導入拡大のためには、送電線の整備とともに、ポテンシャルの大きい一般海域の利用を促進する環境整備、港湾インフラ等の整備が必要となる。

一般海域利用のルール化、ゾーニング、環境アセスメント実施、利害関係者との調整、港湾インフラ等の整備を計画的に実施(国・自治体主導)していくことで、洋上風力発電の導入拡大が進み、導入目標(JWPA)と同等の設備容量になっていくものと想定される(図3、図4)。

年度	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
送電線整備		枠組み		建設工事													
一般海域利用ルール化																	
風車設置エリアゾーニング			200万kW エリア1			620万kW エリア2				850万kW エリア3					1000万kW エリア4		
環境アセス実施利害関係者調整			エリア1			エリア2				エリア3					エリア4		
事業者公募						▼エリア1公募				▼エリア2公募					▼エリア3公募		
エリア1 工事						エリア1											
エリア2 工事										エリア2							
エリア3 工事															エリア3		
拠点港の整備			エリア1			エリア2				エリア3					エリア4		
SEP船等特殊作業船整備																	

図3 洋上風力発電の導入拡大に向けたスケジュール (JWPA)

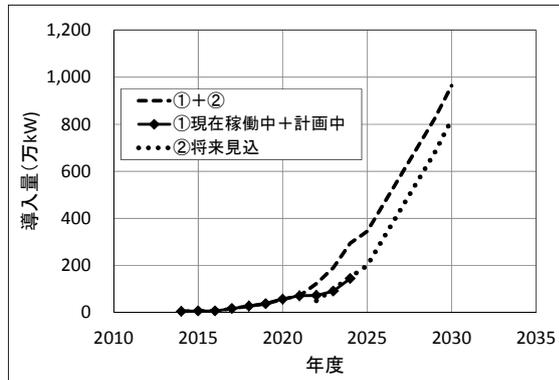


図4 洋上風力発電の導入予想 (JWPA)

(3) 洋上風力発電のモデル事業

環境省では、事業者の事業計画の推進と環境配慮の両面から「風力発電等の適地」を抽出する手法の構築を目指し、2015年度よりモデル事業を実施しており、洋上風力発電の適地抽出モデル地区として3海域を選定している(表8、出力142万kW)。

表8 適地抽出モデル地区 (環境省) ⁹⁾

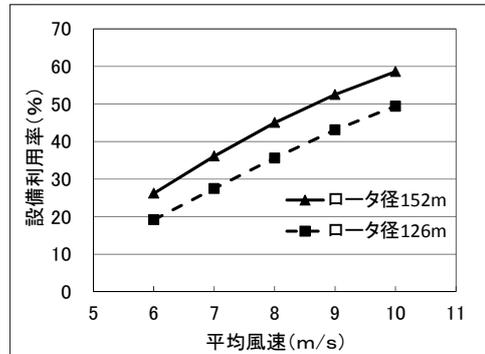
都道府県	地区名	種別	規模 (万 kW)
岩手県	洋野町沖合海域	着床式	20 (5MW×40基)
福岡県	北九州市 若松区響灘沖	着床式	20 (5MW×40基)
			50 (5MW×100基)
長崎県	五島市 崎山沖・黄島沖	浮体式	2.2 (2MW×11基)
			50 (5MW×100基)
計			142.2 万 kW

(4) 設備利用率向上のための技術開発

風力エネルギーは、受風面積 (ロータ直径の

2乗) に比例するため、ロータ直径を大きくすることが設備利用率向上につながる。

ロータ直径を大型化した実績によると、設備利用率が7~9%程度増加している(図5)。日本の風況に合せ、平均風速7m/s程度でも設備利用率40%以上を実現できる風車の開発が望まれる。



公表データに基づき JWPA にて試算

図5 設備利用率向上の例 (ロータ径大型化)

(5) 洋上風力発電の発電コストの試算例

洋上風力発電が電力供給に必要な電源として選択されていくためには、発電コストの低減が必要となる。そこで、将来の発電コストの試算を行った。以下に試算の前提条件を示す。

設備利用率は、技術開発によりロータ直径が大型化すること等を想定し40%とした。建設費、運転維持費は、IEAのレポート¹⁰⁾及び欧州でのコスト低減の取り組みを参考として、コストが20%、40%低減する場合を想定した。税引前IRRは、固定買取価格の試算においては洋上風力におけるリスクを考慮して10%としているが、洋上風力の施工実績の増加に伴いリスクが低減されることを考慮し将来は8%とした。また、一般海域利用の環境整備、港湾インフラ等の整備、規制緩和等が実施されていることも前提条件とした。

その上で発電コストを算出すると、低コストのケースでは、発電コストが20円/kWh以下となることが試算された(表9)。

表9 洋上風力発電の発電コストの試算例

項目	現状 ⁷⁾	横式 ¹⁾	低コスト1	低コスト2	
発電コスト (円/kWh)	36	27	19.5	14.5	
試算条件	設備利用率 (%)	30	40	40	
	IRR (%)税引前	10	10	8	8
コスト	建設費 (万円/kW)	56.5	56.5	45.2 20%減	33.9 40%減
	運転維持費 (万円/kW/年)	2.25	2.25	1.8 20%減	1.35 40%減

共通試算条件: 買取期間20年、固定資産税率1.4%他⁷⁾

(6) 発電コストに関わる基礎データの整理

コスト低減の方策の一つとして風車の大型化があげられる。そこで、風車の大型化に伴うコストへの影響を把握するため、主に欧州での実績を基に、洋上風力に適用された風車のナセル・ロータ重量と定格出力の関係を整理した（図6、鋼材の重量とコストは比例すると想定）。

図6より、風車の定格出力に比例して風車重量が常に増加していく傾向はみられないことから、大型風車採用による風車設置基数の低減の効果は期待できると想定される。

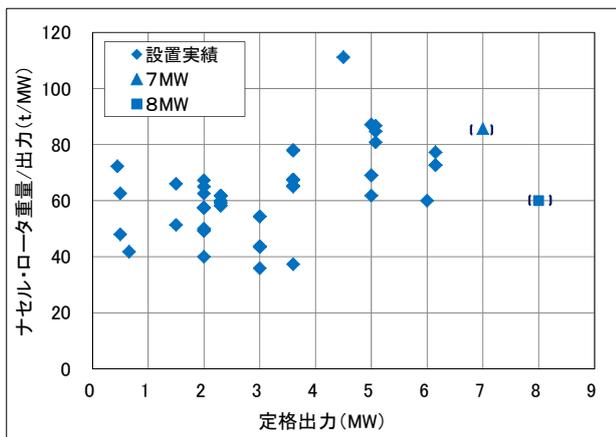


図6 風車の定格出力と風車重量の関係²⁾

風車基礎重量は、設置する海域の水深に比例して増加する。その影響を把握するため、主に欧州での実績を基に、洋上風力に適用された風車基礎の重量と水深の関係を整理した（図7）。

図7より、モノパイルよりもジャケットの方が水深の増加に対する重量増加の割合が低いことがわかる。水深の深い場所への風車設置にあたっては、風況の良い場所の選定、設備利用率の向上、大型風車の採用等によるコスト増加の抑制が必要と考えられる。

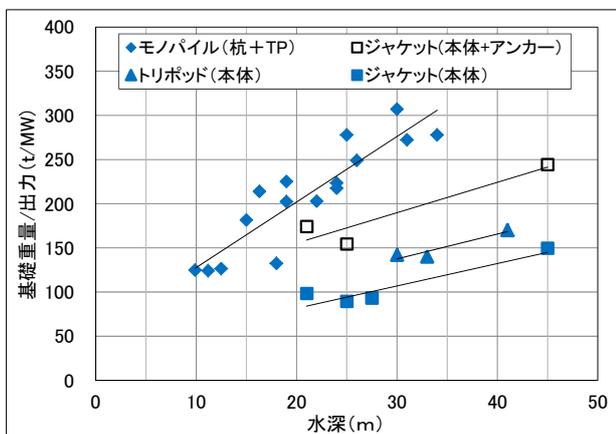


図7 水深と風車基礎重量の関係²⁾

5. むすび

日本の洋上風力発電は、欧州と比べ実績・経験が少ない。洋上風力発電への投資を拡大するためには、一般海域の利用を促進する環境整備、系統や港湾のインフラ整備、技術開発の支援、債務保証、関連法規制の緩和等、事業環境を整えることにより、リスクを排除し事業の予見性を高める施策が不可欠である。今後の更なる支援が望まれる。

参考文献

本稿は、情報誌「港湾」8月号（日本港湾協会）に掲載した原稿に加筆したものである。

- 1) GWEC : Global Wind Report 2014、March 2015、他
- 2) <http://www.lorc.dk/offshore-wind-farms-map/list>、他
- 3) 経済産業省：長期エネルギー需給見通し小委員会（第4回）資料2、2015年3月10日、他
- 4) 経済産業省：調達価格等算定委員会（第12回）参考資料2、2014年1月10日
- 5) 福島洋上風力コンソーシアムホームページ
- 6) 長崎県五島市ホームページ
- 7) 経済産業省：長期エネルギー需給見通し小委員会（第9回）資料4、資料2-2、2015年5月26日
- 8) FTI Intelligence : Global Wind Market Update-Demand & Supply 2014、March 2015.
- 9) 環境省：環境影響評価制度小委員会（第2回）資料6-1、2015年5月19日
- 10) IEA : Technology Roadmap Wind Energy 2013、October 2013.