

1. 風力発電関連産業の分析

福島県において風力発電関連産業の集積化を志向するに当たり、まずは風力発電および関連産業を取り巻く動向を把握する必要がある。本項では、陸上風力発電、洋上風力発電、小形風力発電それぞれの国内外の動向を整理するとともに、風力発電関連産業集積における先進事例を調査し、福島県が産業集積を目指す上での示唆を得る。

1.1 国内外の風力発電の状況と動向

1.1.1 陸上風力発電

(1) 海外

①風車導入量の推移

世界風力エネルギー会議（GWEC）の報告書によると、2014年12月末時点における世界の風力発電導入量は369,550MWであった。また、2014年1年間の導入量は51,477MWであり、2013年の35,708MWから44%程度増加し過去最大の導入量となった。

国別の累積導入量では、中国が114,763MWで最大となっている。次いで米国の65,879MW、ドイツの39,165MW、スペインの22,987MWと続いている。なお、日本の累積導入量は2,788MWとなっており、2013年末時点の世界18位から19位に順位を下げている。

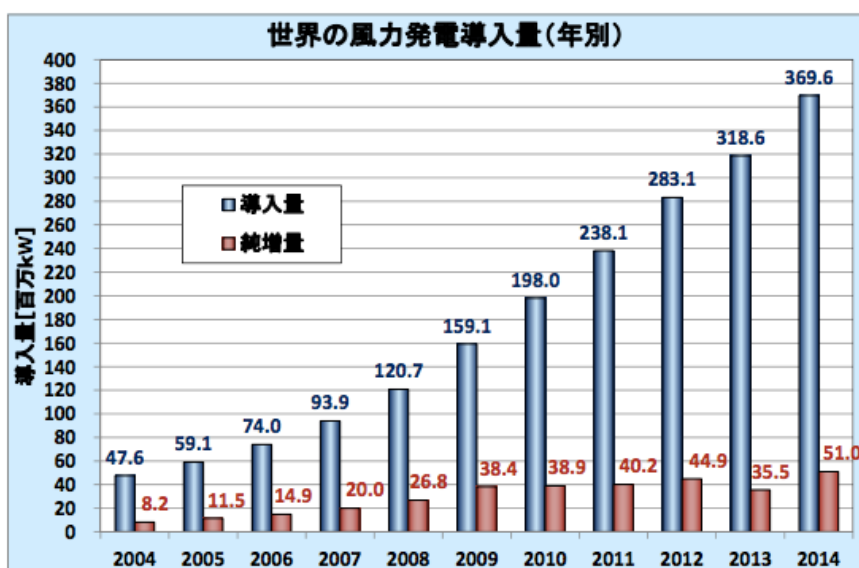


図 1.1-1 世界全体の風力発電導入量の推移

(出典) 日本風力発電協会ホームページ

2014年の国別導入量では、中国が23,351MW（45.2%）と最大であった。次いで、ドイツの5,279MW（10.2%）、米国の4,854MW（9.4%）、ブラジルの2,472MW（4.8%）の順となっている。2014年の導入量の拡大は、これらの国の政策誘導が大きく影響した結果となった。また、2013年は欧州経済および米国の税制優遇策の不透明感による投資減少により導入量が下がったが、2014年は前年の反動もあり、導入量の回復が見られた。

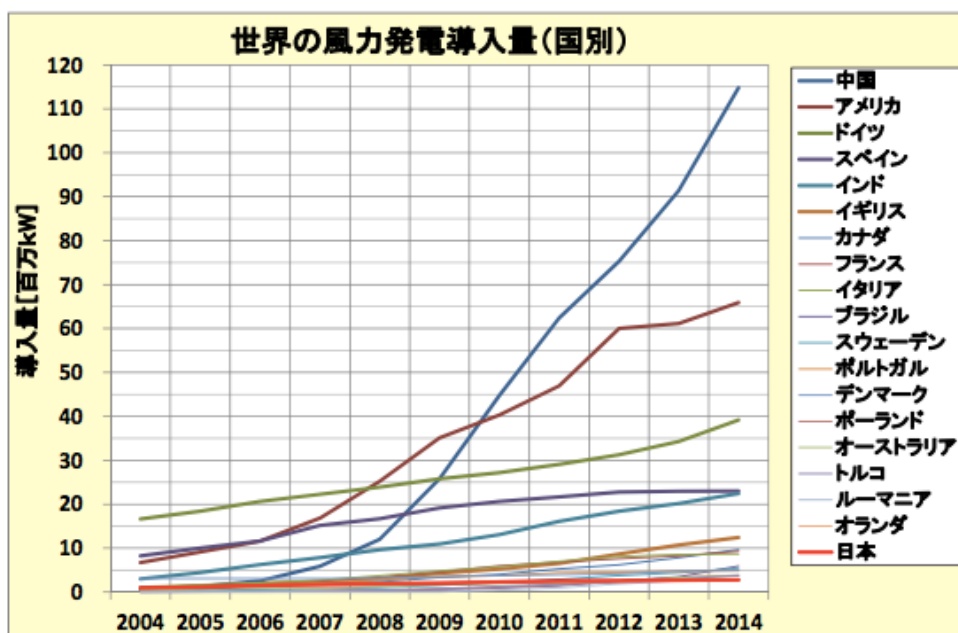


図 1.1-2 国別の風力発電導入量の推移

(出典) 日本風力発電協会ホームページ

②風車の大型化

近年、風力発電業界では経済性と効率を追求して、風車の大型化が進行している（図 1.1-3 および図 1.1-4）。最近では、陸上用で出力 3MW・ローター直径 100m 以上、洋上風力用は出力 6MW・ローター直径 126m まで実用化しており、一部の企業では出力 10~20MW の風車も開発が始まっている。

風車の大型化の主なメリットとして以下の 5 点が挙げられる。

- ・ 単機当たりの出力が増加するため、同じ面積のサイトでも合計出力を増加させることができること
- ・ プロジェクト全体の建設・輸送・配電工事の数を減らすことができること
- ・ 風車本体は割高になるが、工事費等を含めた総合コストの低減化、並びに工期の短縮ができること
- ・ サイト当たりの風車の本数減少に伴う運転維持コストの低減化ができること
- ・ 大型の風車ほど高さがあるため、上空の強い風を捉えることができること

これらを理由に現在世界中の風力発電メーカーが大型風車の開発を進めている。一方で、次のようなデメリットも存在する。

まず、風車本体の強度の確保とブレード（複合材料）の品質管理が難しくなる点が挙げられる。このような要求技術の高度化に伴い設備コストが増加する。

また、大型風車の建設と輸送に高レベルのインフラが必要になる。例えば、5MW 規模の風車ではナセル重量は 300t（2MW 機の場合概ね 80~90t）、タワー重量は 250t（2MW 機の場合概ね 50~60t）と言われている。したがって、このような大型風車の建設においては専用のトレーラーや巨大クレーン等の特殊インフラが必要となり、コスト増要因になり得る。

最後に、サプライヤーの減少が挙げられる。大型鋳物や大口径軸受に見られる高度な技術は、製造に関与可能な部品メーカーが限定的になる。また売上・合計出力が同じなら、風車メーカーの生産台数が減るため、風車の産業集積化にとってはネガティブな要因になり得る。

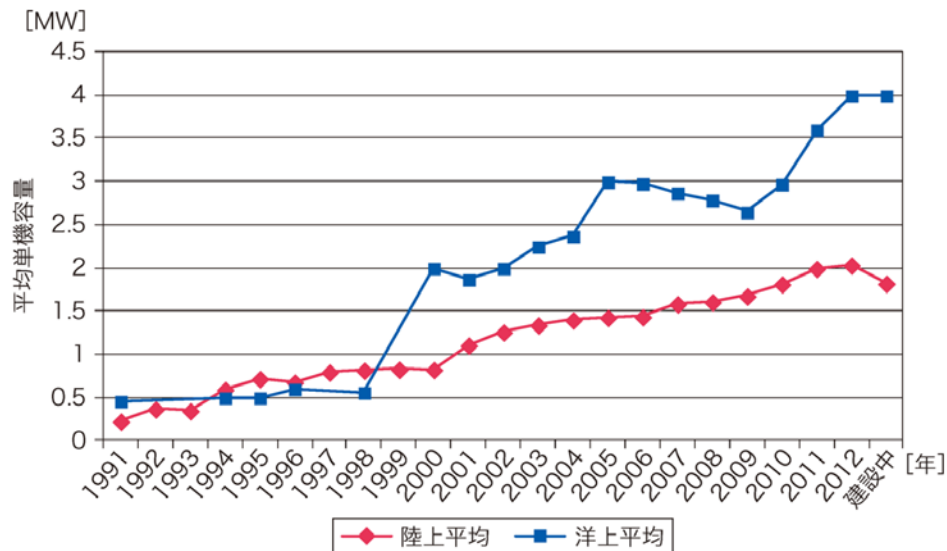


図 1.1-3 風車の平均単機容量の推移

(出典) NEDO 「再生可能エネルギー技術白書」(2013年)

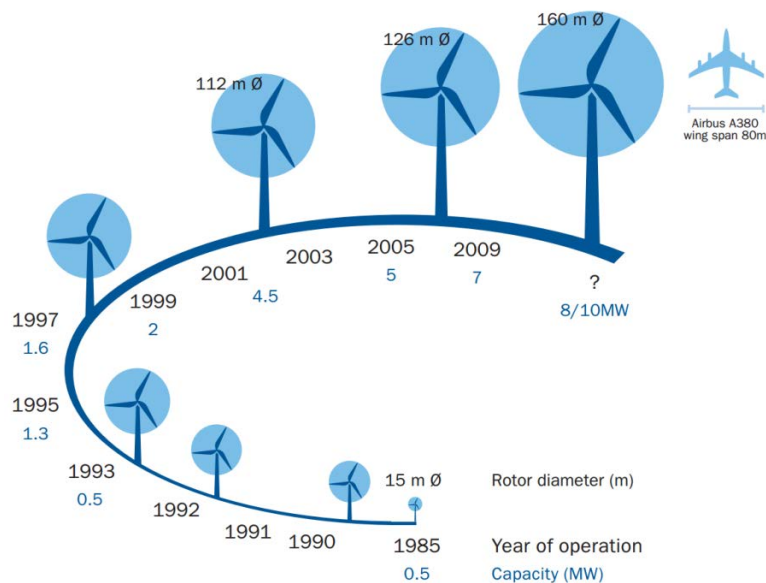


図 1.1-4 世界の風車の大型化の推移

(出典) EWEA 「Wind Energy Factsheets 2010」(2011年)

③業界再編の動き

風車の大型化と並び風車業界を取り巻くもう 1 つの動きとして業界再編が挙げられる。図 1.1-5 に示す通り、近年世界中の風車専門メーカーおよび重電系風車メーカーの集約化が進んでいる。代表的な事例としては、スペインの Gamesa とフランスの Areva の合併等が挙げられる。

日本の風車メーカーも、海外市場に焦点を当て、グローバルに活動している。特に最近では欧州の Offshore 市場に向けた動きが本格化している。

国内メーカーの主な動きは以下の通りである。

- ・三菱重工業はデンマークの Vestas 社と洋上風車に関する合弁会社を設立
- ・東レは Zoltec (Vestas のブレードを製造) を買収
- ・安川電機はフィンランドの風車用発電機メーカーである The Switch Engineering 社と業務提携

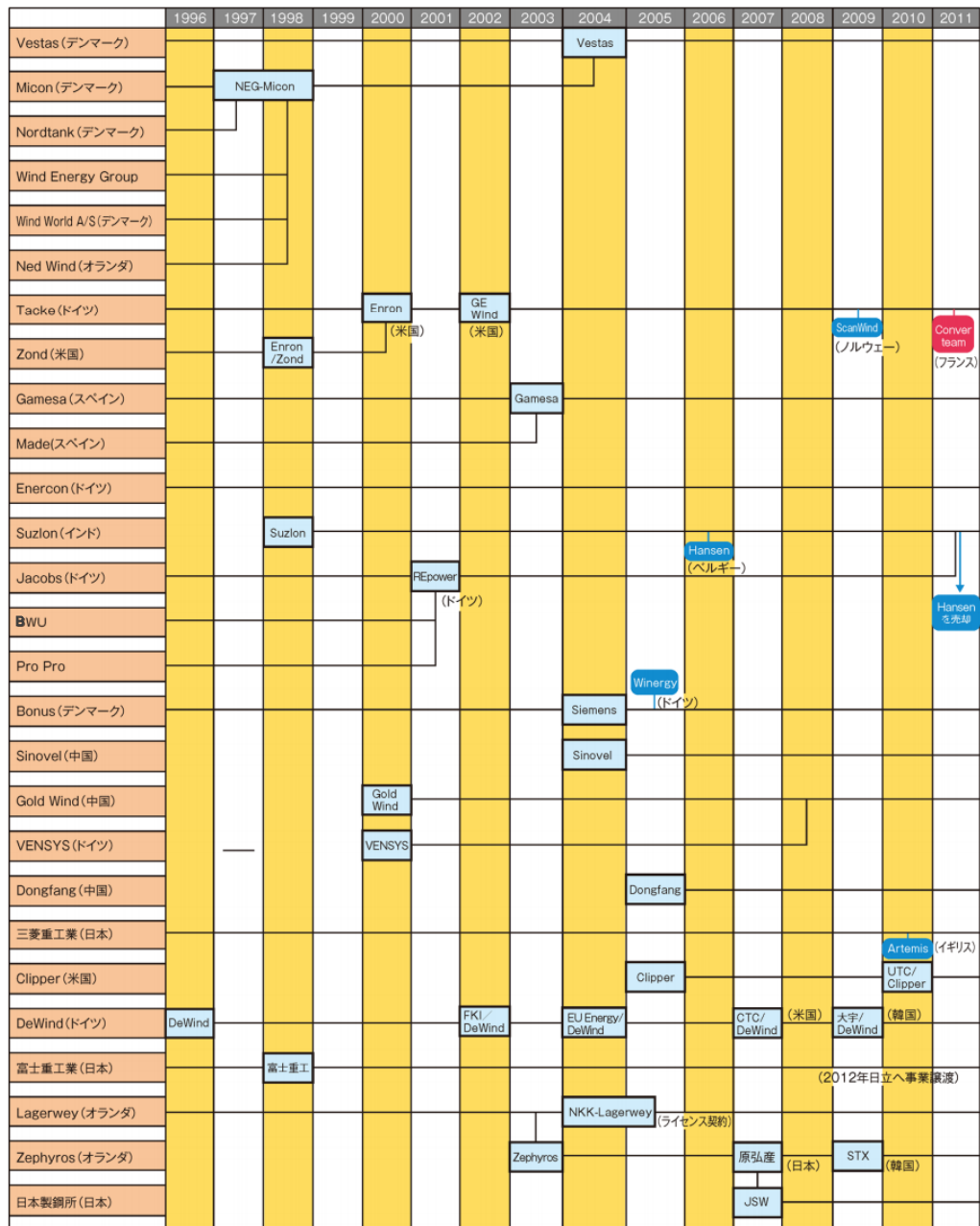


図 1.1-5 風力関連メーカーの再編の動き

(出典) NEDO 「再生可能エネルギー技術白書」(2013年)

(2) 国内動向

①国内の風車導入量の推移

日本風力発電協会によると、日本国内における風力発電導入量は、2015年3月末時点において、累積2,922MW（2,031基、428発電所）となっている。2014年度は14箇所の発電所において97基が新たに導入され、単年度導入量が215MWであった。



図 1.1-6 日本国内の風力発電推定導入量の推移 (2015年3月末時点)

(出典) 日本風力発電協会ホームページ

2012年7月に施行された固定価格買取制度（以下、FIT制度）によって、事業環境が大きく改善された一方で、同じく2012年に改正された環境影響評価法により環境アセスメント（法アセス）の手続きに3～5年程度の期間が必要となったことが導入量減少の一因となった。

また、系統連系についても現在大きな課題となっている。現在各電力会社が公表している風力発電の系統受け入れ可能量では、法アセス手続きをしているすべての案件を受け入れるのは困難である可能性があり、地域間連系線の活用、広域の系統運用、インフラ整備等による受入容量拡大が望まれる。

②都道府県別の風力発電導入量

都道府県別の風力発電導入量（累積値）について、青森県が最大の約360MW、北海道が約320MWとなっており、鹿児島県が約260MWと続く。風力発電導入量の多いこれらの地域は、図1.1-8の風力ポテンシャルマップに示す好風況地域と一致していることがわかる。

電力会社別に見ると、東北電力が最大の719MW、九州電力が471MW、東京電力が391MWとなっている。

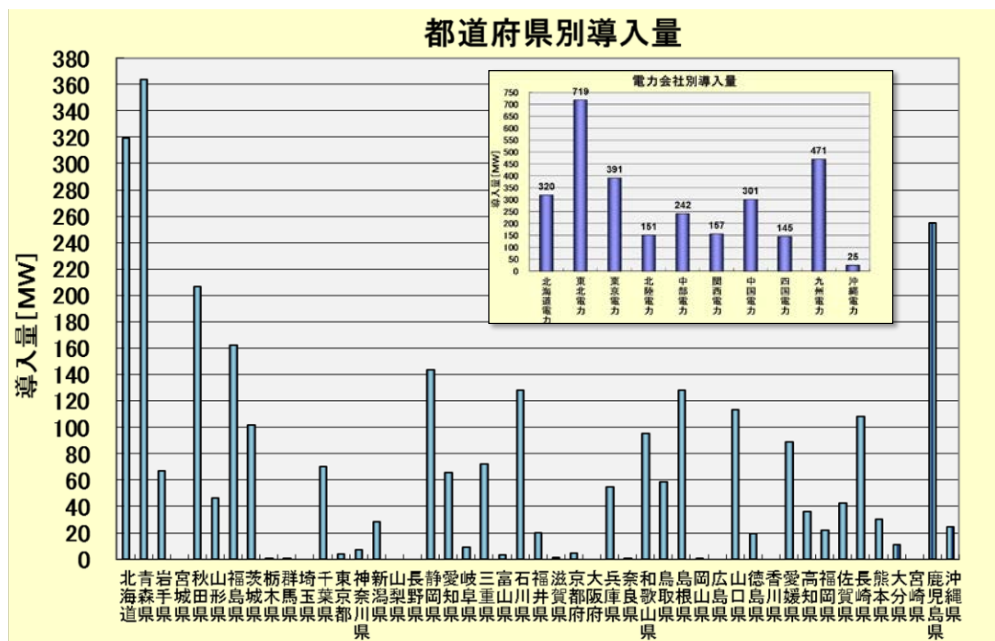


図 1.1-7 都道府県別推定導入量および電力会社別推定導入量（2015年3月末時点）
 (出典) 日本風力発電協会ホームページ

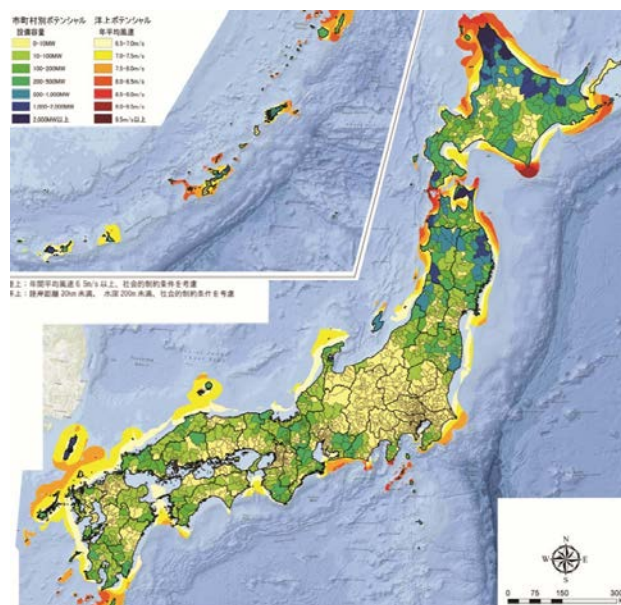


図 1.1-8 風力ポテンシャルマップ

(出典) 日本風力発電協会公開資料

③固定価格買取制度施行後の動向

2012年7月に施行されたFIT制度では、20kW以上の風力発電について22円/kWhという買取価格が設定された。2014年度からは新たに洋上風力が別途区分され、買取価格36円/kWhが設定がされた。2015年度においても上記の価格が維持されることとなっている。

2014年11月時点で約1,430MWの風力発電が認定を受けており、そのうち217MW程度が稼動を開始している。同時点で手続き中の風力発電所案件は北海道・東北を主体に623万kW程

度となっており、短中期的に導入が拡大することが予想される。

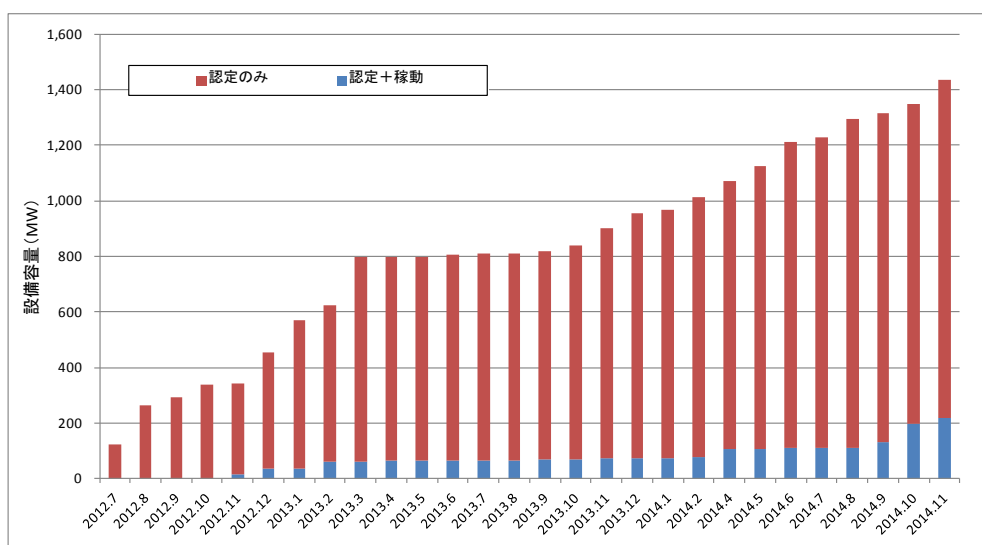


図 1.1-9 固定価格買取制度開始後の風力発電（20kW 以上）の認定設備容量の推移
 (出典) 資源エネルギー庁ホームページより作成

④発電コスト

平成 26 年度調達価格等算定委員会によると、2014 年度における風力発電の建設コストの平均値は 31.8 万円/kW（25kW 案件を除く）であり、2013 年度の想定値 30 万円/kW と比べると微増した結果となったが、2011 年以降大きな変化は見られていない。なお、下図に示す通り、建設コストの内訳としては 58.3%を設備コストが占めている。次いで、土木工事が 13.9%、電気工事が 8.5%となっている。

運転維持コストは、2014 年度の中央値は 1.1 万円/kW/年となっており、2013 年度の想定値 0.6 万円/kW/年を上回る結果となった。これは、大規模修繕（オーバーホール）が集中したことや、古い案件では品質・性能が低いこと等から一時的に高い値となった可能性があると考えられる。

運転維持コストの内訳について、風力発電技術者による O&M コストが 27.6%と最も大きな割合を占めている。続いてスペアパーツおよび消耗品の割合がそれぞれ 26.3%、15.8%となっている。

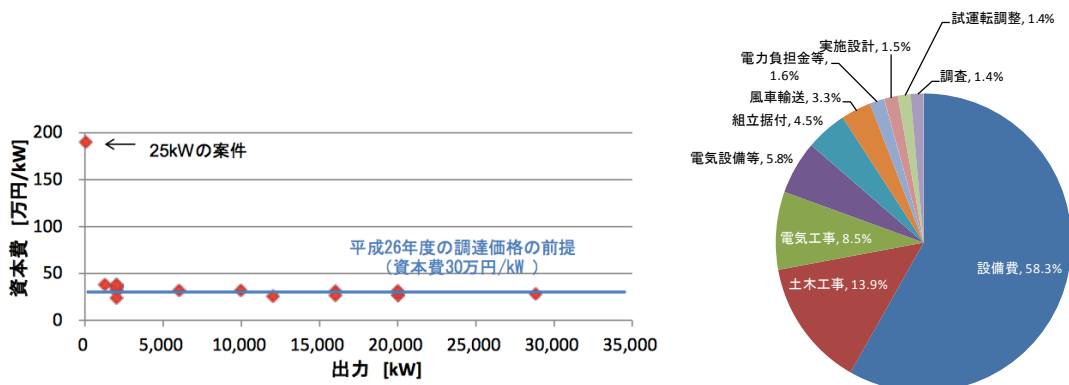


図 1.1-10 風力発電（20kW 以上）の資本費（左）とその内訳（右）
 (出典) 経済産業省調達価格等算定委員会資料

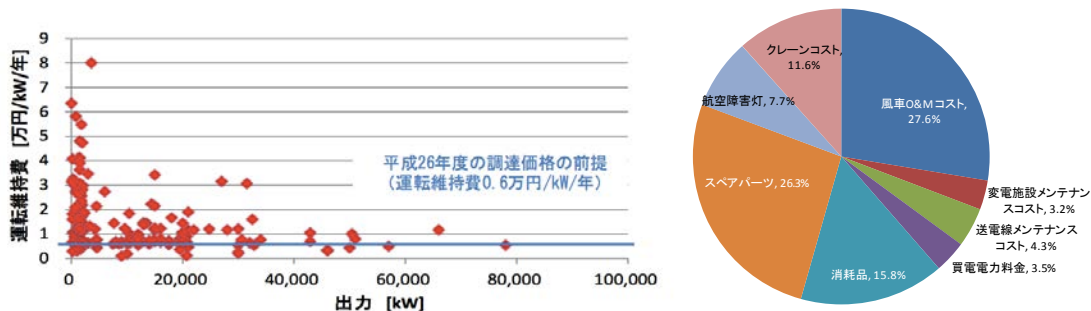


図 1.1-11 風力発電（20kW 以上）の運転費とその内訳（右）

(出典) 経済産業省調達価格等算定委員会資料、自然エネルギー財団「日本の陸上風力発電コストの現状と分析」(2013)

⑤市場規模

日本産業機械工業会が実施した風力発電機本体のメーカーへのアンケート調査結果によると、国内における風力発電機本体の売上高は、2009 年度時点では 1,525 億円であった。しかし、その後大幅に減少し、2010 年度は 799 億円、2011 年度は 757 億円となっている。

なお、2011 年度の国内の風力発電機本体の売り上げのほとんどは 1,000kW 以上の大型風車が占めていることがグラフから明らかである。

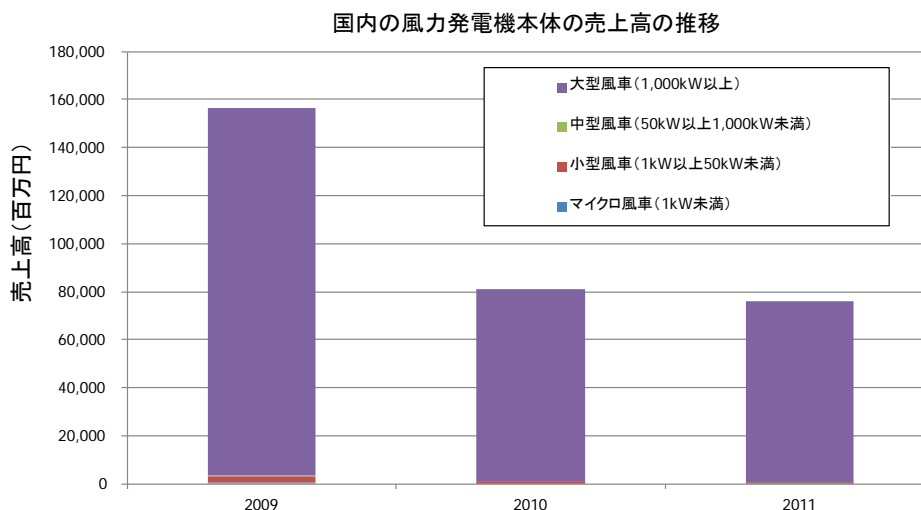


図 1.1-12 国内の風力発電機本体の売上高の推移

(出典) 日本産業機械工業会「風力発電関連機器産業に関する調査研究報告書」

同調査によると 7 割以上の企業が今後国内の風力発電市場が拡大すると予測している (図 1.1-13)。また、平均的な予測市場規模としては、2015 年には約 1,100 億円～2,000 億円、2020 年には 1,300～3,300 億円に達すると見込まれている。このような国内市場拡大の理由として、49%の企業が政策誘導を挙げている。

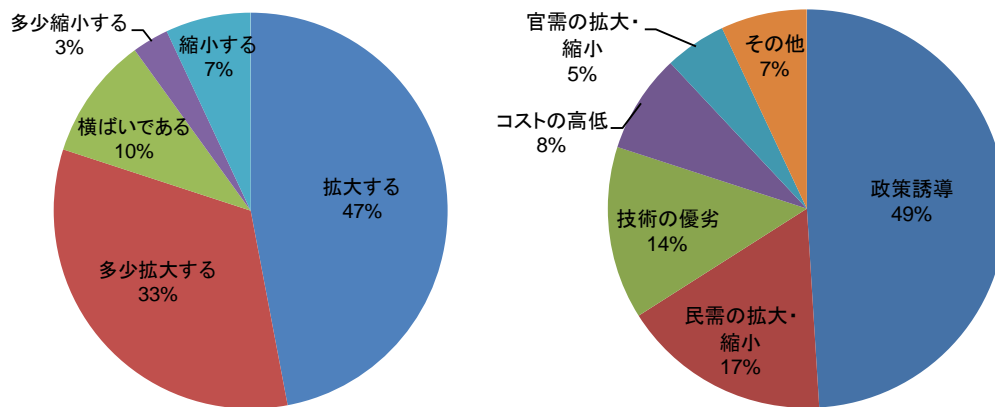


図 1.1-13 国内風車関連企業における風力発電市場の予測 (左) および国内市場の展開の因子 (右)
 (出典) 日本産業機械工業会「風力発電関連機器産業に関する調査研究報告書」

⑥導入見通し

2014年5月に発表された日本風力発電協会の風力発電ロードマップでは、2030年時点で約36GW（陸上27GW、洋上9GW）、2050年時点で75GW（陸上38GW、洋上37GW）の導入目標が掲げられている。同ロードマップによると、2030年代までは陸上風力が中心に導入されるが、それ以降は着床式および浮体式洋上風力の導入が加速することが見込まれている。

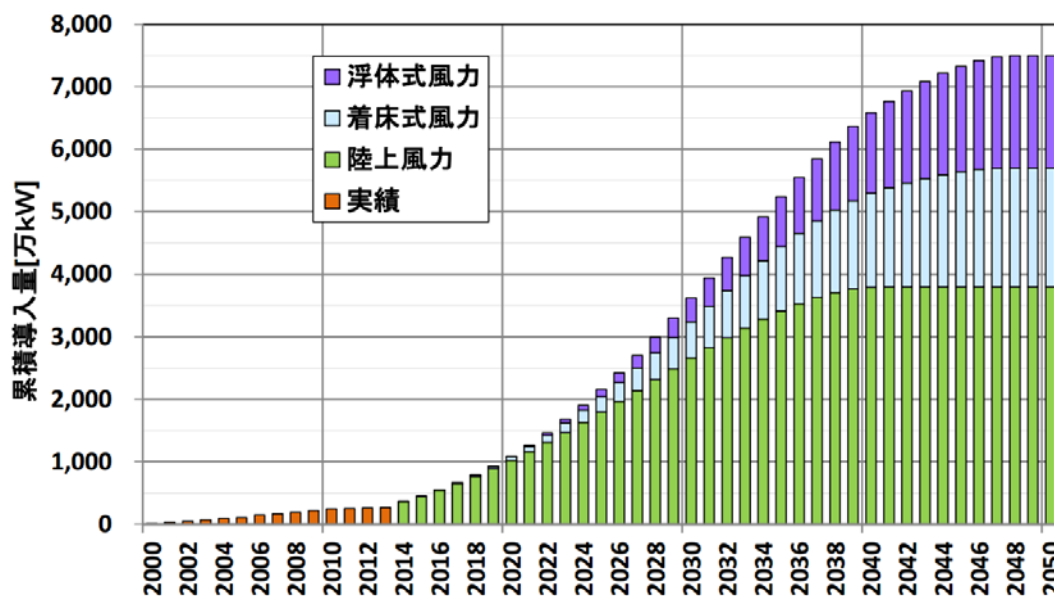


図 1.1-14 日本風力発電協会の風力発電導入量の見通し

(出典) 日本風力発電協会「風力発電ロードマップ」(2014年)

⑦導入拡大のボトルネック

1) 環境アセスメント

2012年に環境影響評価法が改正されたことによる環境アセスメントの手続きの長期化が課題となっている。同法では、発電事業者が風力発電事業を実施する場合、出力が1万kW以上である風力発電所の設置を第一種事業とし、出力が7,500kW以上1万kW未満である風力発電所

の設置を第二種事業として環境アセスメントの実施を義務付けている。

2015年3月現在の制度では、環境アセスメントは3～5年の期間を要するだけでなく、1～2億円の調査コストが掛かるため、導入の大きな制約の1つとなっている。

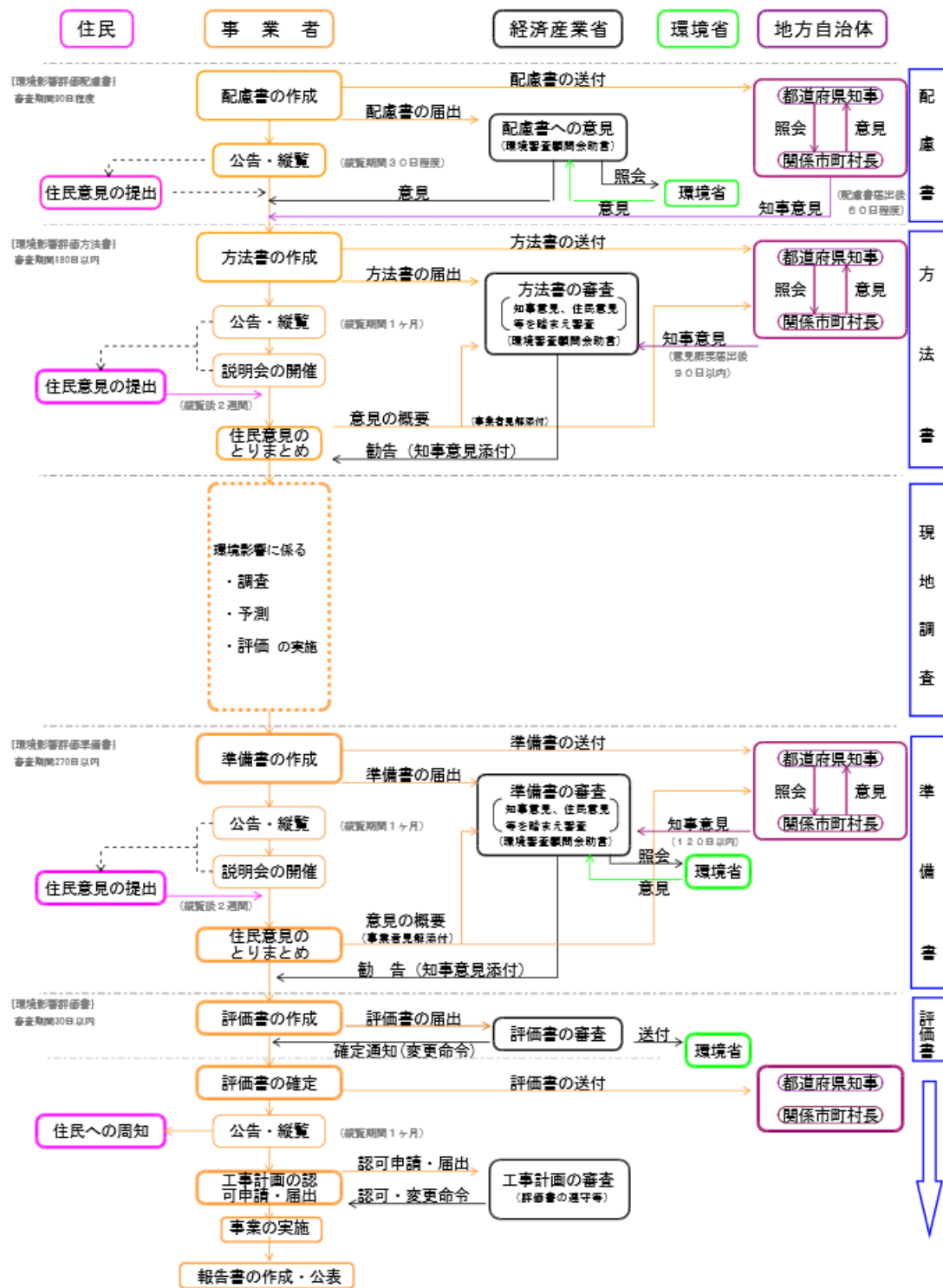


図 1.1-15 発電所に係る環境影響評価の手続フロー図

(出典) 経済産業省ホームページ

現在、環境アセスメントの迅速化のため、経産省・環境省で環境アセスメントの簡素化の検討が進められており、NEDO では環境調査の前倒し・並行実施（前倒環境調査）の方法などの実証が行われている。

なお、過去の県内プロジェクトにおいては、環境保護団体および住民との話し合いが上手くいかず実施に至らなかった事例もあり、開発に当たっての合意形成等が制約となることにも留意すべきである。

2) アクセス道路

風車設置に関して、建設地までのアクセス道路が存在しない、もしくは十分な道路幅がない等の理由により、発電事業者が新規に道路整備を行うケースがあり、採算性悪化の要因となる場合がある。一般的に 2,000kW 規模の風車本体を運ぶには 5.5m 程度の道路幅が必要と言われている。そのため、とりわけ山間部において設備輸送の観点から風車設置の適地が限定されることが少なくない。なお、福島県の郡山布引高原風力発電所のように建設時の風車輸送の際、道路幅の狭いところで発電機を傾けることのできる専用の特殊トレーラーが使用される事例もある。

3) 系統連系・送電線

風力発電を山岳地帯や農村地帯等に導入する場合、国内では送電設備や変電設備が脆弱なケースが多く、導入が妨げられる事例が少なくない。

また、2012 年に開始された FIT 制度による太陽光発電等の急激な増加に伴い、2014 年に各電力会社は再生可能エネルギー電源に対する接続の制限を行った。これにより福島県では、東北電力管内への接続が限定されることになった。そのため、県内において風力をはじめとする再生可能エネルギーの導入を拡大するためには、東京電力管内、すなわち原子力発電所の送電に使用されていた新福島変電所への接続を実現することが喫緊の課題とされている。しかしながら、最近福島県の精力的な取り組み等により、これらの接続問題が解決されつつある。本動向については 4.1 において詳述する。

1.1.2 洋上風力発電

(1) 海外

洋上は風況が良く風の乱れが小さく、土地や道路の制約がないため陸上と比べると大型風車の導入がしやすいなどのメリットがある。技術開発の進展に伴い発電コストが低下してきていることから、近年、洋上風力発電は欧州を中心に急速な導入普及が進められている。

洋上風力発電の設置方式は大きく分けて、着床式（風車を載せる基礎を海底に固定する方法：水深の浅い沿岸部に適する）と浮体式（風車を載せる浮体施設をチェーン等で海底に係留する方法：水深 50～200m 程度の海域に適する）がある。現在導入普及が進められている洋上風力発電は着床式であり、欧州では着床式洋上風力発電は既に商業化ベースの技術となっている。

イギリスを中心に、洋上風力発電の導入が拡大しており、2014 年までに累計 800 万 kW を超える洋上風力発電が既に稼動している。建設コストは陸上風力発電より高くなるため、大規模な開発となることが多く、2014 年に建設された洋上ウィンドファーム 1 ヶ所当たりの平均出力は 36.8 万 kW であった。

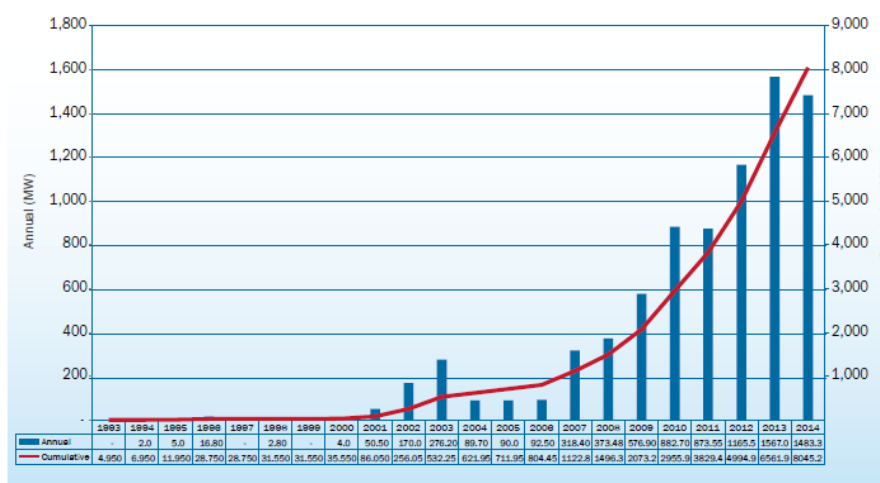


図 1.1-16 欧州における洋上風力導入量

(出典) EWEA 「The European offshore wind industry – key trends and statistics 2014」 (2015 年)

表 1.1-1 欧州における国別洋上風力導入量

国	箇所数	累計出力 (1,000kW)
ベルギー	5	712
デンマーク	16	1,048
オランダ	12	1,271
スペイン	1	5
フランス	2	26
アイルランド	1	25
オランダ	5	247
ノルウェー	1	2
ポルトガル	1	2
スウェーデン	6	212
イギリス	24	4,494
合計	74	8,045

(出典) EWEA 「The European offshore wind industry – key trends and statistics 2014」 (2015 年)

今後も洋上風力発電の導入が一層進むことが予想されている。欧州風力発電協会（EWEA）の導入量見通しでは、2020年頃には陸上風力発電の年間導入量は頭打ちとなり、以降陸上風力発電の年間導入量は減少していくが、洋上風力発電は2030年まで年間導入量は拡大している。また、2020年代の前半にも洋上風力発電の年間投資額が陸上風力発電投資額を超えるという見通しが出されている。

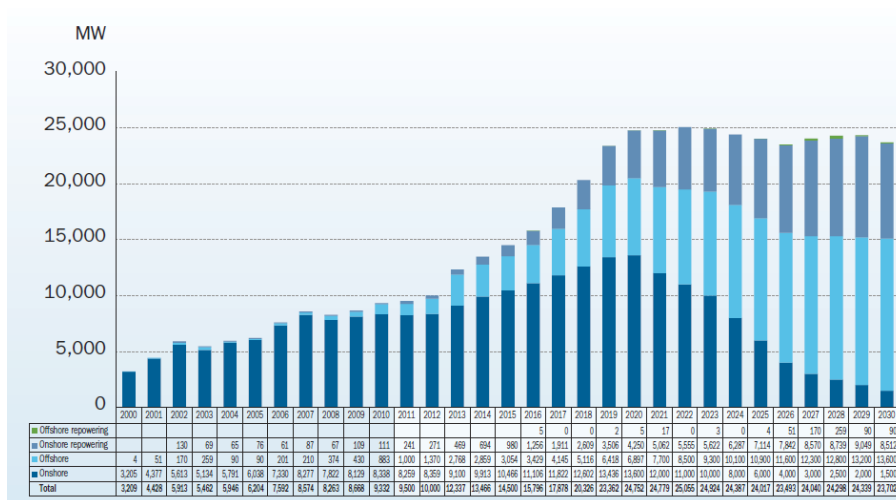


図 1.1-17 欧州における洋上風力発電導入量見通し

(出典) EWEA 「Pure Power wind energy target for 2020 and 2030」 (2011年)

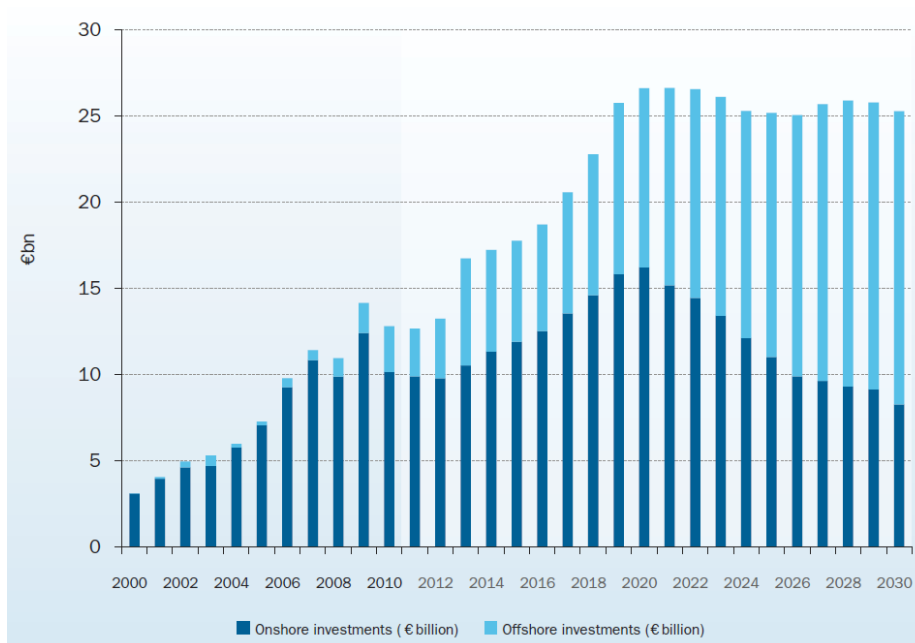


図 1.1-18 欧州における風力発電投資額の見通し

(出典) EWEA 「Pure Power wind energy target for 2020 and 2030」 (2011年)

浮体式洋上風力発電は、まだ商業化の段階ではなく、実証事業が進められているところである。ノルウェーの Statoil 社は 2009 年、ノルウェー沖において世界で初めて浮体式洋上風力発電

設備「Hywind」の運転を開始している。また、米国の Principle Power は 2011 年ポルトガル沖で「Windfloat」の運転を開始している。



図 1.1-19 Hywind

(出典) Statoil 社 Hywind brochure

表 1.1-2 主な浮体式洋上風力発電の実証プロジェクト

プロジェクト	国	出力	導入年
Blue H	オランダ	80kW	2008 年
Sway	ノルウェー	15kW	2011 年
Hywind	ノルウェー	2,300kW	2009 年
Wind Float	ポルトガル	2,000kW	2011 年
福島復興・浮体式ウィンドファーム実証研究事業 (Fukushima Forward)	日本	2,000kW (7,000kW 級 1 基、 5,000kW 級 1 基)	2013 年 (2015 年)
浮体式洋上風力発電実証事業 (GOTO FOWT)	日本	2,000kW	2013 年
Voltorn US	アメリカ	20kW	2013 年

これまで単基の実証事業が進められてきた。現在、福島県沖で実証中の「福島浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業」は、世界初の浮体式洋上ウィンドファームとして研究が行なわれているが、欧米でもウィンドファームの実証計画が進められている。欧州委員会の NER300 (低炭素エネルギー技術に対する支援プログラム) の採択プロジェクトには、浮体式洋上ウィンドファームプロジェクトが複数採択されている。

浮体式洋上風力発電の本格的導入はまだ時間がかかるとされるが、低コスト化、安全性などの技術開発が進められており、将来の事業化に向けた取り組みが各国でなされている。

表 1.1-3 主な計画中の浮体式洋上ウィンドファームプロジェクト

プロジェクト	国	出力	概要
Hywind 2	イギリス	30MW	<ul style="list-style-type: none"> ・スコットランド北東部のピーターヘッド約 25km 沖に設置 ・イギリスにおける初めての浮体式洋上ウィンドファームプロジェクト ・5 基の 6MW 風車をスパー浮体で 2017 年稼働予定
WindFloat Pacific	アメリカ	30MW	<ul style="list-style-type: none"> ・オレゴン州 Coos 湾約 24km 沖に設置 ・6MW 風車を 5 基のセミサブ浮体で設置予定 ・2016 年第 2 四半期の運転開始予定
Vertimed	フランス	26MW	<ul style="list-style-type: none"> ・フランスマルセイユから 50km 沖に設置 ・13 基の 2MW 浮体式風車を設置予定
Windfloat	ポルトガル	27MW	<ul style="list-style-type: none"> ・ポルトガルの 14km 沖合いに設置 ・2 段階で進められ、第 1 ステージでは 3MW 風車を 2 基、第 2 ステージでは 7MW 風車を 3 基設置する
BALEA	スペイン	26MW	<ul style="list-style-type: none"> ・スペイン Gran Canaria 島の沖合い 1.5~3.7km に設置 ・5MW 風車を 5 基のセミサブ浮体で設置予定
FloCan5	スペイン	25MW	<ul style="list-style-type: none"> ・スペイン Armintza の沖合いに設置 ・5MW 風車を 2 基、8MW 風車を 2 基設置予定

(2) 国内

欧州では本格的に洋上風力発電の導入が進められているが、日本国内においては洋上風力発電の導入が始まったところである。日本において洋上風力発電の導入拡大が進まない理由として、気象・海象条件が欧州と異なること、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ったことなどが挙げられる。

銚子沖、北九州沖において、国内初となる着床式洋上風力発電の実証試験が実施されている。2012 年に 2,400 kW、2,000kW の着床式洋上風力発電が導入され、風車の信頼性や継続的に発電を行うために不可欠となる風車の運用やメンテナンス技術の技術開発が進められている。また、固定価格買取制度に洋上風力発電の買取区分が 2013 年に新設されたことを受け、全国の港湾で商業ベースの着床式洋上風力発電の導入計画が始まっている。

浮体式洋上風力発電は、長崎県五島市栴島沖と福島県広野・檜葉沖において、国内で 2 つの実証試験が進められている。さらに、NEDO「次世代浮体式洋上風力発電システム実証研究」にて、水深 50~100m で設置する低コストの浮体式洋上風力発電の実証研究が始まっている。

着床式洋上風力発電は欧州で実用化されており、その本格的な導入が始まっている。一方、浮体式洋上風力発電は、日本だけでなく欧州においても複数基の実証が計画されるなど、技術開発が進められているものである。浮体式洋上風力は、造船産業、海洋施工、重電機器など各種産業が関わるものであり、遠浅の海岸線が少ない日本にとっては再生可能エネルギー導入量の面でも、産業面においても、浮体式洋上風力発電への期待は大きいものであり、事業化に向け一層の低コスト化が求められている。

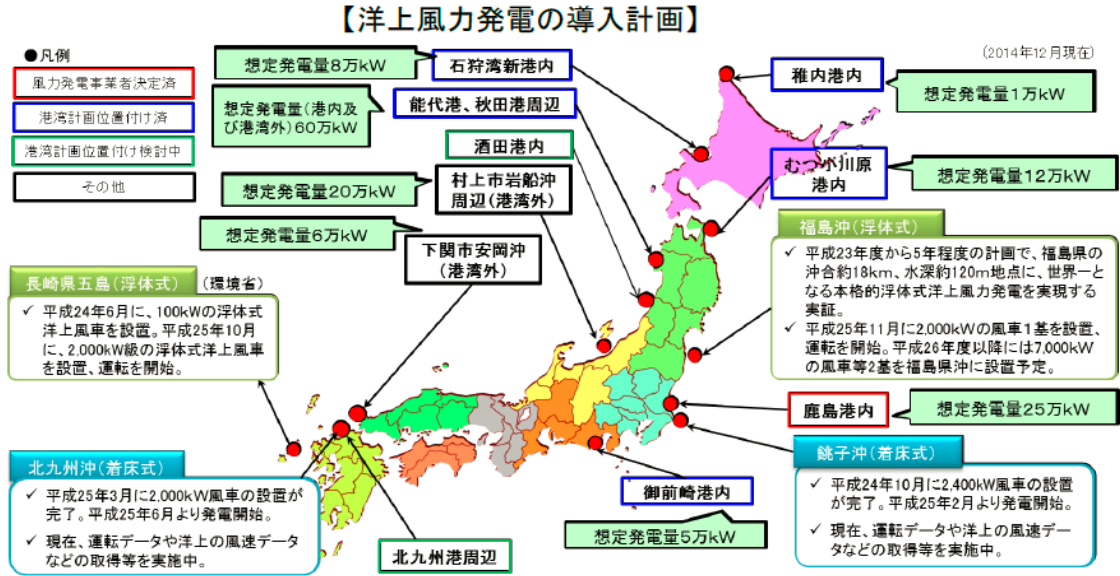


図 1.1-20 国内の洋上風力発電計画

(出典) 経済産業省 調達価格等算定委員会 第16回配布資料

表 1.1-4 国内の主な浮体式洋上風力発電プロジェクト

プロジェクト	場所	概要
福島復興・浮体式ウィンドファーム実証研究事業 (Fukushima Forward)	福島県広野・楢葉沖	<ul style="list-style-type: none"> 世界最大級の7MW風車搭載セミサブ浮体や世界初の25MVA浮体式洋上変電設備、66kVの大容量ライザーケーブルの開発を行い、浮体式洋上風力発電の事業性の検証 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 2013年に2,000kWと洋上変電所を設置し運転開始 2015年度中に、7,000kWと5,000kWの2基を設置予定
浮体式洋上風力発電実証事業 (GOTO FOWT)	長崎県五島市 椛島沖	<ul style="list-style-type: none"> 大規模ウィンドファーム建設のための実証研究(大規模システム、経済性、気象・海象対応、環境影響評価、漁業協調) 2012年に100kWのスケールモデルを設置 2013年に2,000kWを設置し運転開始



図 1.1-21 福島沖の浮体式洋上風力発電

(出典) 福島洋上風力コンソーシアム

1.1.3 小形風力発電

(1) 海外

世界風力エネルギー協会（WWEA）の「Small Wind World Report 2014」によると、2012 年における世界全体の小形風力発電導入台数は累積 806,000 台、設備容量 678MW と推計されている。累積導入量では、中国と米国が大半を占めており、欧州各国がそれに続く構造となっている。なお、2012 年は中国、米国、英国が導入量の伸びを牽引し、2011 年（累積 730,000 台、576MW）と比較して導入台数が約 10% 増、設備容量が約 18% 増となった。

なお、上記報告書の中では、世界的に見ても小形風力発電の市場は初期段階にあるとしており、現時点の各国の市場規模は量産化が必要なレベルに達していないと報告されている。

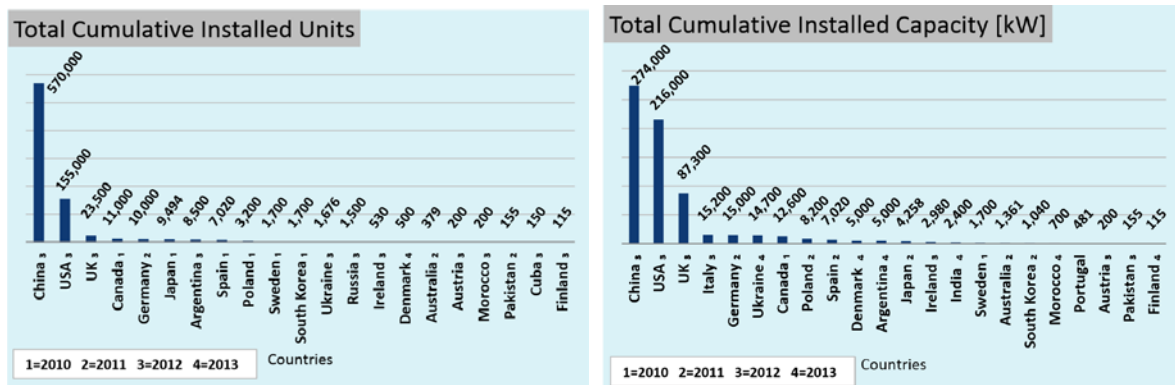


図 1.1-22 各国の小形風力発電装置の累積導入量（左：台数、右：設備容量）

（出典）World Wind Energy Association 「Small Wind World Report 2014」（2014 年）

しかしながら、WWEA によると今後世界的な再生可能エネルギーの需要増、化石燃料価格の高騰等を理由に小形風力発電の市場規模は拡大するとしている。

特に発展途上国の農村地域における電力供給を目的とした導入が進むことが予想され、現在国際再生可能エネルギー機関（IRENA）等の国際機関がこれらの地域の電力需要のポテンシャル調査を開始していると報告している。

近年の動向を踏まえると、小形風力発電市場は毎年 19~35% 程度増加しており、今後もこの傾向が継続すると各国の業界関係者の中では予測されている。WWEA が示した市場予測によると、2015 年から 2020 年にかけて市場規模は毎年 20% 増加し、2020 年時点では年間 480MW、累積 3GW の小形風車が導入されるとしている。

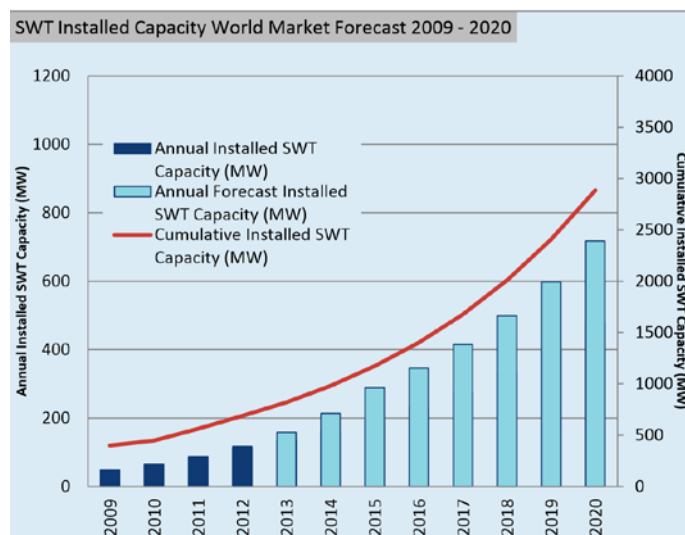


図 1.1-23 世界全体の小形風力発電装置導入量の予測

※SWT: Small Wind Turbine





(出典) World Wind Energy Association 「Small Wind World Report 2014」 (2014 年)

(2) 国内

①国内導入実績

日本では一般的にローター受風面積が 200m² 未満、かつ定格出力が 1kW~20kW の規模の風車が小形風力発電に該当する。大型風車と異なり、様々な中小規模のメーカーが独自の技術で開発・製造を進めている。表 1.1-5 に国内の小形風力発電メーカーによる主な機種を示す。

表 1.1-5 国内の小形風力発電メーカーによる主な機種

事業者名	主な製品名	出力	備考	
ウィンドレンズ	WL500	5,000W	水平軸、ダウンウィンド	
		(独立タイプは 3,000W)	風レンズ(集風体)	
ゼファー	Zephyr9000	4,700W	FIT 対応(型式認証)	
	エアドルフィンGTO	585W		
シンフォニアテクノロジー	そよ風くん(WK18-20)	1,070W	垂直軸直線翼太陽電池とセットで独立	
ニッコー	NWG-4K II など	4,000W	水平軸(200W から 10KW までラインナップ)	

事業者名	主な製品名	出力	備考	
WINPRO	WP200-3B WP1000-3B など	200W	垂直軸型	
		1,000W		
FUJITA ビジネスパートナーズ	望 (DS300~DS3000)	300W、700W、1,500W、3,000W	FIT 対応 (型式認証)	
			垂直軸型、サボニウス形	
LOOPWING	TRONC	500W	塩害・多塵地域をイメージして設計	
	μシリーズ	2,000W~11,000W		

(出典) 各社ホームページ等より作成

日本小形風力発電協会によると、2010 年末時点で国内に約 9,500 台が導入されているとしている。図 1.1-24 に示すように、既存の小形風力発電のうちほとんどが独立電源として設置されており、系統に連系しているものは 3% 未満となっている。

表 1.1-6 国内における小形風力発電装置の設置状況

項目	導入実績
累計設置台数	9,494 台
うち系統連系累計設置台数	237 台
定格出力の合計値	4,258kW
年間計画発電量の合計値	3,085MWh/年

(出典) 日本小形風力発電協会「小形風力発電機業界 再生可能エネルギー固定価格買取制度への取り組み」(2012 年 3 月)

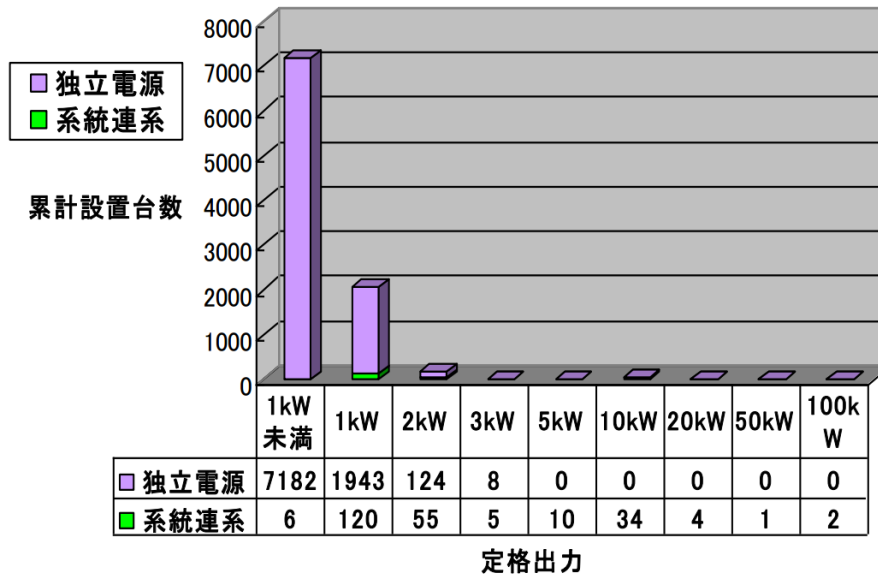


図 1.1-24 国内における小形風力発電装置の出力別設置状況

(出典) 日本小形風力発電協会「小形風力発電機業界 再生可能エネルギー固定価格買取制度への取り組み」(2012年3月)

2012年7月に施行された固定価格買取制度において、20kW未満の小形風力発電装置は55円/kWhという高額な買取価格が設定された。しかしながら、2015年2月末時点における認定件数は63件、合計613kWである。このように現時点で、FIT制度の利用が限定的である理由について次項に示す。

②小形風力発電の導入拡大に関するボトルネック

小形風力発電に係るボトルネックとして、設備コスト、パワーコンディショナーシステム(以下、PCS)の認証、小形風車本体の認証の3点が挙げられる。

1) 設備コストに係る課題

現状の小形風力発電のコストは125万円~200万円/kWと言われており、20kW以上の大型風力発電の設備コストより3倍から5倍程度高い。また、表1.1-7からわかるとおり、現時点では買取価格(55円/kWh)を発電コストが上回っている状況にある。

表 1.1-7 小形風力発電設備の IRR（内部収益率）

		買取価格(円/kWh)					
		30	40	50	60	70	80
固定買取 期間(年)	15	-8.90%	-6.08%	-3.70%	-1.61%	0.27%	2.01%
	16	-7.81%	-5.09%	-2.80%	-0.79%	1.03%	2.71%
	17	-6.87%	-4.24%	-2.03%	-0.08%	1.68%	3.31%
	18	-6.04%	-3.50%	-1.36%	0.53%	2.24%	3.82%
	19	-5.30%	-2.85%	-0.77%	1.06%	2.73%	4.27%
	20	-4.65%	-2.27%	-0.26%	1.53%	3.15%	4.65%

条件

- ・ IEC 基準出力 1kW 風車(風速 11m/s)にて試算
- ・ 風車条件： 風車直径=2.1m、カットイン風速=4m/s、
カットアウト風速=15m/s、
- ・ 年間の発電量：1460kWh(設備利用率=16.7%を想定)
- ・ 風況条件： 年平均風速=5m/s
- ・ 投資額 150 万円 (1kW 風車) で計算

(出典) 日本小形風力発電協会「小形風力発電機業界 再生可能エネルギー固定価格買取制度への取り組み」(2012年3月)

このようにコストが割高な要因として、構成部品の形式や組み合わせが多様化していること、並びに市場規模が小さく量産化が進まないこと等が挙げられる。

小形風車メーカーは、大型風車メーカーのような重工系ではなく、比較的中小企業が独自に技術を発展させ、製作しているものがほとんどであるため構成部品が多様化し、コストが下がりにくい状況にあると考えられる。

しかしながら、2014年12月、日本小形風力発電協会の働きかけにより、NEDOにおいて小形風車の主要な構成部品である「発電機」、「PCS」、「支柱」を標準化するための研究開発が実施されることが発表された。NEDOによると、標準仕様に基づいた小形風車部品の製作と実証フィールドでの試験・評価を行うことで、システム全体で現状より30%以上のコスト削減を目指すとしている。

2) PCS 設備の認証に係る課題

現状では、電気安全環境研究所 (JET) が系統接続用 PCS の認証を行っているが、国内外の小形風力発電用 PCS メーカーにとっては、系統保護装置への厳格な要求条件への適合が困難な場合が少なくない。また、系統接続に当たり、電力会社との協議に時間が掛かることも導入の逆風となっている。電力会社との協議には必ずしも JET 認証は必要ないが、個別協議の場合、事業者は様々なデータの提出が求められ、手続きはより煩雑化する。

現在、上で述べた NEDO の研究開発において、JET 認証の要求水準を満たす装置の開発が進められている。

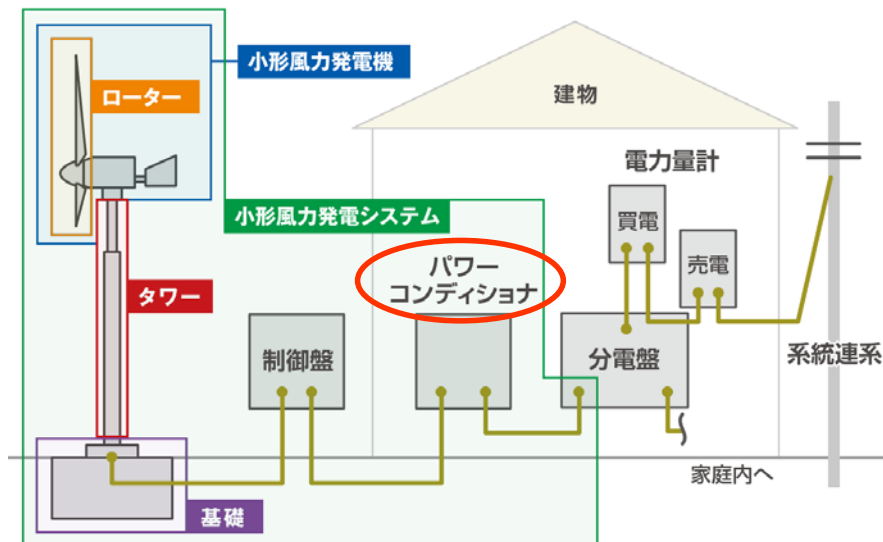


図 1.1-25 小形風車の構成例および名称

(出典) 日本海事協会 「小形風車の型式認証サービス」

3) 小形風車本体の認証に係る課題

FIT 制度では、小形風力発電装置による売電を行う条件として、日本海事協会（NK）による認証を取得した発電装置を使用することが義務付けられている。しかし、本認証の取得に係る厳密な要求事項をクリアすることができないメーカーも多く、大きな課題の1つとなっている。

図 1.1-26 に NK における小形風車の認証を取得するまでの流れを示す。

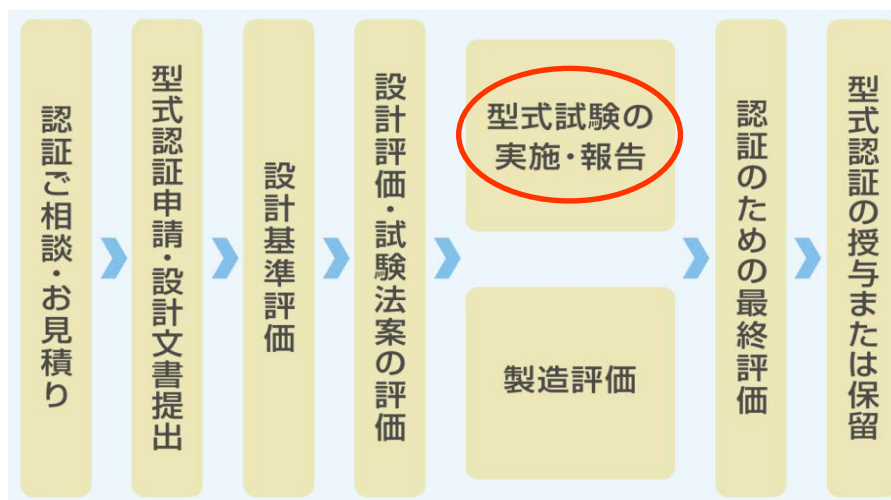


図 1.1-26 小形風力発電設備の認証を取得するまでの流れ

(出典) 日本海事協会 「小形風車の型式認証サービス」

また、風車本体の認証取得に当たり型式試験を行う必要があるが、国内ではそのための試験フィールドの整備が進んでいない。そのため、認証手続きを行うメーカーの多くは海外の試験フィールドで型式試験を行っている。これには場合により数千万円程度のコストが必要となるため、各メーカーが開発を行う上でのハードルの1つとなっている。

このような課題も起因し、現在NKの認証を取得した11機種のうち、国内メーカー製は3機種のみとなっている（表1.1-8）。

表 1.1-8 日本海事協会の認証を取得した小形風力発電装置一覧（2015年3月時点）

型式認証番号	申請者名称	製造者名称	初回認証日	認証された製品型式番号	基準年間発電量 (kWh)	基準出力 (kW)	基準騒音レベル dB(A)
TC-0001	ゼファー株式会社	ゼファー株式会社	2012年06月29日	Airdolphin GTO / Z-1000-250	786	0.59	54.55
TC-0002	ゼファー株式会社	E Vance Wind Turbines Ltd	2013年02月20日	Z-9000	9,167	4.7	53
TC-0003	株式会社FUJITAビジネスパートナーズ	Hi-VAWT Technology Corp.	2013年06月03日	DS3000	2,669	1.8	59
TC-0004	ジャパソライフ株式会社	SONKYO ENERGY	2013年07月18日	WINDSPOT3.5kW	4,818	3.2	43
TC-0005	ニッコー株式会社	ニッコー株式会社	2013年11月22日	NWG-1K	1,435	0.91	43
TC-0006	Bergey WindPower Co.	Bergey WindPower Co.	2013年12月12日	EXCEL 10	13,842	8.9	51
TC-0007	株式会社リアムウインド	株式会社リアムウインド	2014年07月17日	RW3K-JA-01	1,478	1.6	55
TC-0008	Xseries Corp.	Xseries Corp.	2014年09月10日	Xseries 442SR	16,899	10.4	57
TC-0009	C&F Green Energy Ltd	C&F Green Energy Ltd	2014年09月26日	CF20	35,285	20.1 (日本仕様: 19.5kW)	53
TC-0010	Gaia-Wind Ltd	Gaia-Wind Ltd	2014年10月14日	GW133	27,502	10.7	52
TC-0011	Ennera Energy and Mobility S.L.	Ennera Energy and Mobility S.L.	2015年02月20日	Winderas S	6,179	3.1	49

(出典) 日本海事協会ホームページ

③小形風力発電の市場規模

日本産業機械工業会が実施した風力発電機本体のメーカーへのアンケート調査結果によると、2012年度国内売上高は、1kW未満の風車が約5,000万円、1kW以上、50kW未満の風車が約9,700万円となっている（図1.1-27）。大型風車製造と比較しても、2012年度の小形風力市場の広がり は限定的であったと言える。

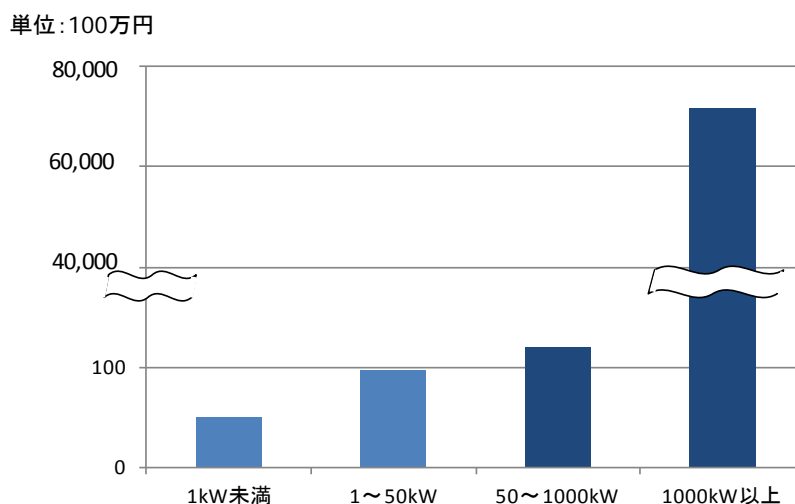


図 1.1-27 2012年度における国内の風力発電設備の売上高

(出典) 日本産業機械工業「風力発電関連機器産業に関する調査研究報告書」

ただし、同調査によると、近年災害時対応の独立電源としての価値が見直されつつあり、図1.1-28に示すとおり、2013年以降、市場規模が拡大していくと予測する事業者が多い。

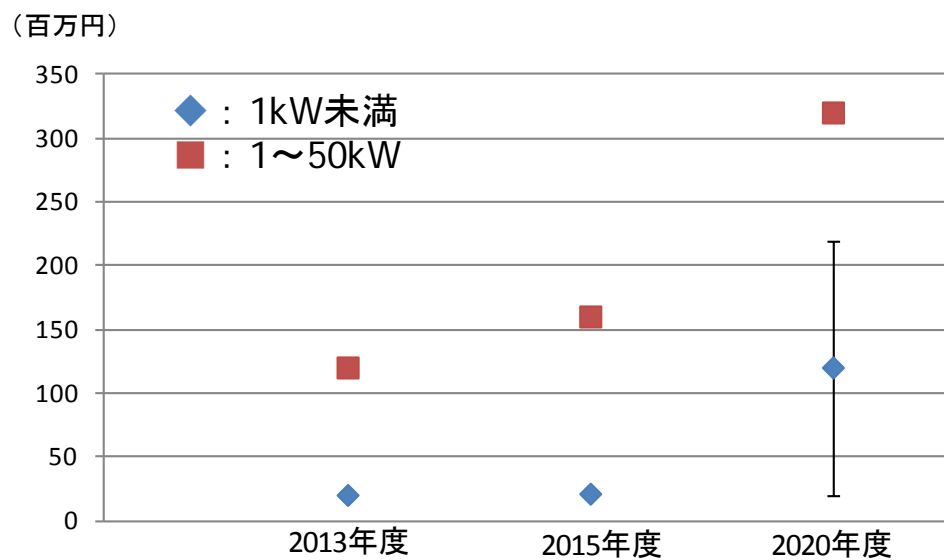


図 1.1-28 小形風力発電設備に関する市場規模の予測

(出典) 日本産業機械工業「風力発電関連機器産業に関する調査研究報告書」

1.2 風力発電に関する産業集積事例

1.2.1 風力発電に関する先進事例

風力発電に関する産業集積は、これまで欧州を中心とする様々な都市において取り組みが進められてきた（表 1.2-1）。本節では、風車産業集積に関する代表的な成功事例について、経緯や港湾設備、行政の取り組み等に着目して整理を行う。

表 1.2-1 風力発電に関する産業集積事例

都市	概要
ブレーマーハーフェン (ドイツ)	風車メーカーの Senvion 社をはじめとする 300 以上の部品メーカー、研究機関等が集積しており、研究開発から部品製造、風車組立、出荷まで一貫した生産を行っている。 市政府が中心となって、世界最大級の風洞試験設備、ブレード試験設備、ナセル研究室、作業員のための安全訓練センターを整備。
クックスハーフェン (ドイツ)	AMBAU 社や Cuxhaven Steel Construction 社をはじめとする洋上風車用タービンおよび土台の製造、組立、メンテナンス企業が集積しており、北海のサイトにむけて出荷している。 EU、州、市政府、民間による投資により、大規模なターミナルやクレーン、バースを整備。
フースム (ドイツ)	風車メーカーや風力発電協会の出資により設立されたトレーニングセンター（BZEE アカデミー）により、毎年 1,000 人程度の風車メンテナンス技術者を養成している。
エスピアウ (デンマーク)	Simens Wind Power 社等のブレード工場やタービン工場、風車組立工場が存在し、北海の洋上 WF サイト向けに出荷している。 また、洋上風力に関する研究機関や教育機関（Danish Offshore Academy 等）、エネルギー分野のコンサルタントの集積を図っている。 市政府が、エスピアウ港の周辺に、空港、広大な工業団地、耐荷重性道路、デンマーク最大のヘリポートを整備。
ノルデンハム (ドイツ)	A&T や TAGU をはじめとする風車メーカーおよび部品メーカー、Technologiezentrum Nordenham 等の研究機関が集積。 ニーダーザクセン州政府を中心に、広大な工業団地、耐荷重性プラットフォーム、港湾設備を整備。
ブラケ (ドイツ)	Niedersachsen Ports 社等の複数の港湾インフラ企業が集積。 ニーダーザクセン州政府を中心に、広大な工業団地、耐荷重性ターミナルを整備。
ブレーメン (ドイツ)	Alstom や Simens 等の風車工場や部品工場、Fraunhofer をはじめとする多数の洋上風力に関する研究機関が集積。 ブレーメン市内の中小企業が洋上風車向け部品を各地に向けて出荷している。
その他	英国：ブライス、メトヒル 等 米国：テキサス州、アイオワ州 等 ドイツ：レムヴェルダー、ベルン、ハーゲン、エルスフレート、ドルム、ランゲン、シフドルフ、ロックシュテット 等 日本：北九州市響灘地区 等

(出典) 各種資料より作成

(1) ブレーマーハーフェン（ドイツ）

①経緯および行政の取り組み

ブレーマーハーフェンはドイツ北部ブレーメン州に属する人口 11 万人の港湾都市である。ブレーマーハーフェン港は、世界第 6 位のコンテナ取扱量、欧州第 4 位の貨物取扱量、欧州第 2 位の自動車輸出入台数を誇る巨大な港湾となっている。

本都市は風力発電に関する産業集積の代表的な成功事例であり、Senvion 社をはじめ、海外を含む 300 以上の部品メーカー・研究機関等が集積し、ドイツにおける洋上風力の拠点となっている。

1980 年代まで、ブレーマーハーフェン市の経済は駐留米軍、海運業、造船業、水産加工業の 4 分野を中心に栄えていた。しかし、東西統一後に米軍が去ったこと、また 1980 年代以降、アジア・東欧の造船業の競争力上昇によって、経済状況の悪化が進んでいった。2000 年までこの状況が続き、失業率は 1980 年代の 5.8% から 2000 年代に入り 20% を超える結果となった。

この状況を受けて、2001 年から 2002 年、市政府のなかに経済復興チームが結成され、港湾再生計画が打ち立てられた。同チームは、計画を策定するに当たり、第一に市が有する比較優位なリソースの確認作業から開始した。その結果、次の 4 つのポイントが抽出された。すなわち、①港湾施設、②海運企業の存在、③造船メーカーに部品を供給してきた機械産業の集積・熟練労働者の存在、④北海で開発中の洋上風力サイトに対する地理的好条件である。

これらの優位性を最大限活用するため、港湾再生計画において、風車メーカー等の誘致を行い、これらの企業に対して地元メーカーが部品を供給するビジネスモデルの構築が目標に掲げられた。また、洋上風車の組み立てを行い、北海の開発サイトに向けて出荷するための拠点となることも目標として掲げられた。ブレーマーハーフェン市がこのような方向性を決断した背景として、2000 年に連邦政府によって制定された再生可能エネルギー法において、2010 年に再生可能エネルギーによる電力を全電力の 10% とするという意欲的な数値目標が掲げられ、国を挙げての政策支援が存在したことも重要である。

ブレーマーハーフェンにおける産業集積を行うに当たり、EU、州政府、市政府等より 3.22 億€（約 420 億円）の投資が行われた。また、ブレーマーハーフェン市は、風車メーカーに実証試験サイト等を提供するとともに、大規模な研究開発施設や訓練センター等を設立するというインセンティブを軸に風車メーカーの誘致を行った。市が中心となって設立した設備や組織の例を表 1.2-2 に示す。

このようなハード面の支援に加え、市のソフト面の取り組みも特筆に価する。市政府は、各企業を現地に招き、希望するインフラ内容を丁寧に聞き取り、彼らの要望に沿って開発を実施したとしている。例えば、AREVA は、工場の拡張計画の際、広い土地を希望したため、市政府は Labradorhafen にあった古い建屋を撤去し、地盤沈下対策を施して土地を提供したとされる。また、Weser Wind はトライポッド工場から直ちに海に出荷可能な環境を求めたため、市政府は線路を敷設し、出荷港近くの土地を提供したとされる。

なお、実際に風力発電の産業集積に向けた活動を行うに当たり、ブレーマーハーフェン市では次の 2 つの組織が重要な役割を担った。1 つ目は、経済振興公社（BIS）である。BIS は、ブ

レーマーハーフェン市とブレーメン州の出資により設立された組織であり、市政府の産業集積に関する業務に特化した実働部隊として港湾整備および工場誘致がスピード感を持って実現されることに貢献した。

表 1.2-2 ブレーマーハーフェン市が風力発電関連産業集積に当たって設立した組織の例

主な設備		概要
Deutsche Wind Guard	世界最大級の風洞実験設備	
Fraunhofer Center for Wind Energy and Maritime Engineering (CWMT) ※	ブレードの直径 70m までの実験が可能な施設	 
Falck Nutec	作業員の安全のための訓練センター	  
University of Applied Sciences Bremerhaven	ドイツ国内で初めて Wind Energy 学科を設置	

※ 2009年に Institute for Solar Energy Technology ISET in Kassel と合併し、現在は Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy System Technology (IWES) となっている。
 (出典) 経済産業省 岩本晃一「洋上風力産業による港湾都市ドイツ・ブレーマーハーフェンの経済復興成功物語」

2 つ目はブレーマーハーフェン・ブレーメン風力エネルギー・エージェンシー (WAB) である。WAB は、ドイツ北西地域における風力発電開発を促進する目的で 2002 年に設立した業界団体であり、現在 350 社が加盟している。本組織は、ブレーマーハーフェンにおける産業集積を行う上で、様々な企業と政治家等とのパイピングの役割を担った。

②成果

上述のような取り組みが功を奏し、Senvion 社や Multibrid をはじめ、300 を超える風車メーカーおよび関連部品メーカー、認証機関や研究機関、コンサルティング等が集積した。その結果、2008 年以降、直接雇用として、洋上風力分野で約 3,000 人、港湾全体では約 1.7 万人の雇用が創出され失業率は 2000 年代初頭の 20% 超から 2009 年には 15.3% にまで大幅に改善した。また、事業所売上高計は 2000 年時点の 28.4 億€から 2008 年には 34.0 億€となり、8 年間で 20.0% 増加した。ブレーマーハーフェン市では 2020 年目標に、更に 1 万人の雇用創出を目標としている。

(2) クックスハーフェン（ドイツ）

①経緯および行政の取り組み

クックスハーフェンはドイツ北部ニーダーザクセン州に属する人口 4 万 8000 人程度の港湾都市である。同市は歴史的に漁業、水産加工業、海運業が盛んであったが、2000 年代に入り、国内外の都市との間での相対的な競争力の低下に伴い経済危機に直面した。

州政府は、クックスハーフェン市の有する港湾設備の優位性を活かすべく、新たな産業として洋上風力による地域経済の復興を期待し、洋上風力発電産業集積計画を策定した。具体的には、風力発電用のタービンおよび土台、タワーの製造、組立、メンテナンスの拠点化という目標が掲げられた。なお、同市の洋上風力発電産業集積計画の背景にも、再生可能エネルギー法をはじめとする政府の政策目標および支援が存在する。

2003 年、州政府はクックスハーフェン港湾の周辺地区を洋上風力の拠点とする旨を正式に決定し、年間 80 基の風車の出荷を目標とした。同港には、EU、州、市、民間企業より、合計 1.25 億€（約 163 億円）の投資が行われ、ターミナルの整備および風車組立用のクレーン等のインフラが設置された。特徴的な設備として、Heavy-duty-platform と Offshore Terminal の 2 つが挙げられる。Heavy-duty-platform は、高重量の洋上風力発電設備の部品を運搬するための、地耐力 90t/m² を有するプラットフォームである。Heavy-duty-platform の地耐力はブレーマーハーフェン港における 50t/m² を大きく上回っており、世界最高水準となっている。Offshore Terminal は、Terminal 1 および 2 があり、650t のガントリークレーンを配備した洋上向け産業に特化したターミナルとなっている。



図 1.2-1 Heavy-duty-platform の概観

(出典) Offshore Basis Cuxhaven ホームページ



図 1.2-2 Offshore Terminal1（左）および Terminal2（右）の概観

(出典) Offshore Basis Cuxhaven ホームページ

②成果

上述のような取り組みにより、クックスハーフェンには、AMBAU 社、STRABAG Offshore wind 社等の有力な風車メーカー、並びに CSC 社(Cuxhaven Steel Construction)のような風車基礎メーカーが進出した他、建設業、コンサルティング、ロジスティクス等の企業が集積した。

例えば、AMBAU 社はクックスハーフェン港において直径の大きいタワーを製造しており、クックスハーフェン市を含めドイツ全体で 850 人を雇用している。また、STRABAG 社は同港湾内で重力式の土台の実証実験を実施している。CSC 社は北海にて 80 基の洋上風力発電設備の建設が行われている BARD Offshore1 プロジェクトに向け、同港湾においてトリパイル式土台を製造・出荷している。

これらの中核 3 社における 2010 年時点の雇用者数は 900 人となっており、2014 年には 1,500 人に拡大する見込みである。



図 1.2-3 クックスハーフェン港の全体風景

(出典) 経済産業省 岩本晃一「洋上風力産業による港湾都市ドイツ・ブレーマーハーフェンの経済復興成功物語」

なお、上述の工場地帯の整備のための資金は、2006 年から 2012 年で EU、国、州から合計 2 億€（約 260 億円）、民間から 1.8 億€（約 234 億円）であったが、2013 年には民間から約 2.5 億

€の投資が行われたとしている。

(3) フースム（ドイツ）

①経緯および行政の取り組み

フースムはドイツニーダーザクセン州に属する人口約 2,300 人の町村であるが、現在風力発電のメンテナンス拠点として重要な役割を發揮している。

同町村では、2000 年に風車メーカーや風力発電協会の出資によりトレーニングセンター（BZEE アカデミー）が設立された。同センターを運営するのは非営利組織である BZEE であり、風車メーカーおよび教育訓練会社が会員として参画している。

BZEE 設立の背景には 2000 年前後におけるドイツ国内の急激な風車導入量の増加に伴いメンテナンス技術者が不足しつつあったことが挙げられる。また、BZEE は設立後、いち早く保守点検方法の標準化（ISO29990 を取得）を行っており、ドイツ全体として、風車事業におけるハードだけでなくソフトまで売り込み、風力発電市場を囲い込む戦略があったことも着目に値する。

②成果

BZEE は毎年 1,000 人程度のメンテナンス技術者を目指す訓練生に対して教育訓練を施し技術者の資格を付与している。また、北米やアジアをはじめ世界中に 29 の拠点を設立するなど、積極的な国際展開を図っている。

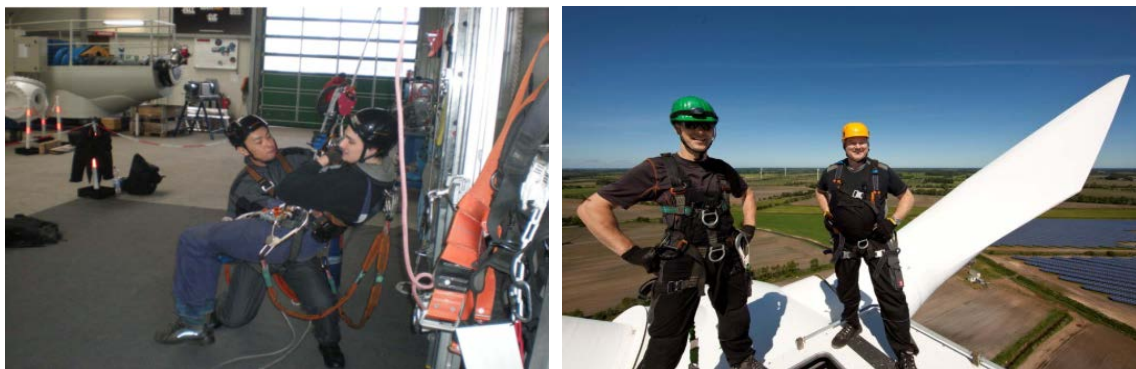


図 1.2-4 BZEE における訓練の様子

(出典) BZEE Academy 「Maintenance Training Concepts for the Wind Industry」

(4) エスビアウ（デンマーク）

①経緯および行政の取り組み

エスビアウ市は、人口約 7 万人のデンマーク第 5 番目の都市である。エスビアウ港は、北海にて行われる石油や天然ガスの掘削等の洋上産業の拠点港として重要な役割を果たしていた。しかし、開発による北海の石油埋蔵量の減少等、懸念されるエネルギー構造の変化を踏まえ、2000 年代後半から洋上産業都市としてのリソースを活用した風力発電産業の拠点化に方向転換を行った。

なお、デンマークでは 1996 年に政府が打ち出した「エネルギー 21」の中で、一次エネルギー

供給に占める再生可能エネルギーの割合を 2030 年に 35%とする意欲的な目標が掲げられていたこともエスビアウ市の掲げた計画の背景として重要である（エネルギー21 の中では、再生可能エネルギーの中でも特に風力発電とバイオマスに注力していくことが明記された）。

市政府は風力発電の産業集積化を実施するために、エスビアウ港の周辺に空港を整備するとともに、広大な工場団地、耐荷重性道路、デンマーク最大のヘリポート等のインフラを整備した。

また、デンマーク気候エネルギー省 (Ministry of Climate and Energy) の支援の下、港から 250km 内に 5 ヶ所の実証実験サイトを設置した。さらにデンマーク風力産業協会および再生可能エネルギー洋上風力センター、洋上風力アカデミーを設立する等、研究開発機関や教育機関の拠点化にも注力した。



図 1.2-5 エスビアウ港の全体風景

(出典) 経済産業省 岩本晃一「洋上風力産業による港湾都市ドイツ・ブレーマーハーフェンの経済復興成功物語」

②成果

これらの施策の結果、Siemens Wind Power 等の有力風車メーカーをはじめとする 270 超（洋上風力以外の分野も含む）の企業がエスビアウ市に拠点を移し、約 8,000 人の雇用が創出された。現在、デンマーク最大の洋上風力関連産業都市として、国内で製造される風力発電装置の約 65%、風力タービンの 75%がエスビアウ港から出荷されている。また、洋上ウインドファーム整備の際に、洋上風力発電の整備や部品の輸出拠点にもなっている。エスビアウ市は、2020 年 40GW、2030 年 150GW の規模が、同港から出荷可能とみている。

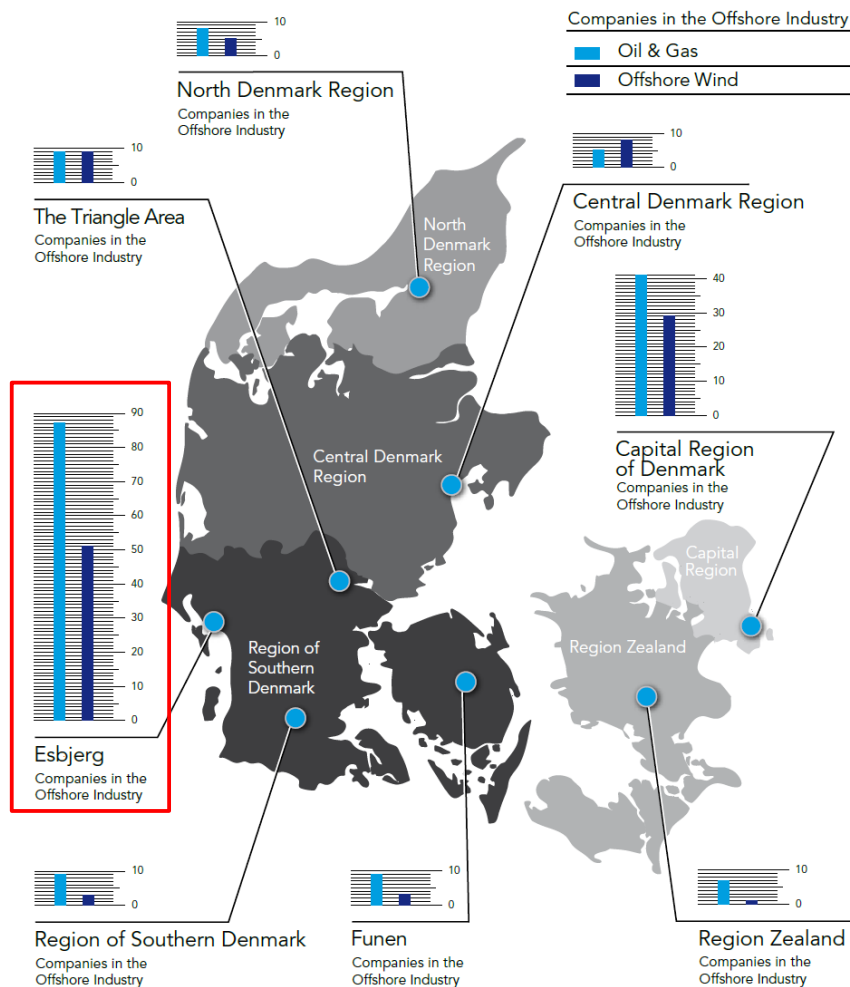


図 1.2-6 デンマークにおける洋上産業の都市別企業数

(出典) Esbjerg Kommune 「A natural hub for the offshore and energy technology industries」

1.2.2 まとめ

上述の(1)~(4)の事例をまとめると、以下のような共通点があることが伺える。

- 自治体が有するリソース（強み）の十分な活用
- 国による風力発電に関する政策支援の存在
- 自治体主導による大規模な開発の実施

これら 3 点について、福島県の産業集積の可能性を考察する。まず、1 つ目の「リソースの活用」については、福島県はブレーマーハーフェンのような大規模な港湾設備こそ有していないが、復興事業として世界初の浮体式洋上ウィンドファームの実証事業が行われているという点で、他都市には例を見ないアドバンテージが存在すると言える。

2 つ目の「国による政策支援」については、近年国全体で積極的な支援が行われていることは重要である。経済産業省による福島県沖の実証事業の他、環境省および NEDO において浮体式風力発電の実証が実施されている。

3つ目の「自治体主導の開発」について、4.1.1 (3)で示すように、福島県は風力発電をはじめとする再生可能エネルギーの導入拡大に向けた意欲的な取り組みが行われている。今後産業の集積を進める上でも、上記事例の都市のように、福島県主導の積極的な支援が成功の鍵を握ることが示唆される。