

風力発電関連産業集積等調査等委託業務
報告書

平成 27 年 3 月

みずほ情報総研

Mizuho Information & Research Institute

環境エネルギー第 2 部

目次

はじめに	1
1. 風力発電関連産業の分析	2
1.1 国内外の風力発電の状況と動向	2
1.1.1 陸上風力発電	2
1.1.2 洋上風力発電	13
1.1.3 小形風力発電	18
1.2 風力発電に関する産業集積事例	26
1.2.1 風力発電に関する先進事例	26
1.2.2 まとめ	33
2. 風力発電関連産業の構造分析	35
2.1 風力発電の構成	35
2.1.1 風力発電機本体の構成	37
2.1.2 付帯設備	47
2.1.3 浮体の部品構成	49
2.2 風力発電機の国内サプライチェーン	54
2.2.1 風力発電機器の国内サプライチェーン	54
2.2.2 主要部品の製造と部品調達	55
2.2.3 浮体の国内サプライチェーン	62
3. 福島県の産業構造の分析	64
3.1 県内企業の現状分析、産業構造	64
3.2 風力発電関連産業につながる分野・技術の抽出	67
4. 産業集積のシナリオ	70
4.1 陸上風力発電	70
4.1.1 シナリオの基本的な考え方	70
4.1.2 シナリオの検討	76
4.1.3 陸上風力発電シナリオ	82
4.2 浮体式洋上風力発電	84
4.2.1 シナリオの基本的な考え方	84
4.2.2 シナリオの検討	84
4.2.3 事業化にむけたスケジュール	92
4.2.4 浮体式洋上風力シナリオ	93

4.2.5 経済波及効果の試算.....	96
4.3 小形風力発電	99
4.3.1 シナリオの基本的な考え方.....	99
4.3.2 シナリオの検討	99
5. まとめ	103
5.1 産業集積のシナリオ.....	103
5.2 産業集積に向けて	105
福島県風力発電関連産業集積等に関する検討会	
(1) 委員	106
(2) 開催記録.....	107

はじめに

「福島県再生可能エネルギー推進ビジョン」を受けて策定された「再生可能エネルギー先駆けの地アクションプラン」では、再生可能エネルギー推進に向けた行動計画が定められている。アクションプランは、「地域主導」、「産業集積」、「復興を牽引」が3つの柱となっており、再生可能エネルギー関連産業の集積による雇用創出、地域活性への期待は大きいものとなっている。

再生可能エネルギーの中でも特に風力発電は、関連分野が多くの産業にまたがり、自動車産業にも匹敵するほど裾野が広い産業である。さらに、現在実証研究が進められている浮体式洋上風力発電で使用される浮体も、数千トンもの鋼材で構成されているものであり、浮体式洋上風力発電は、福島の復興、新産業の創出といった波及が期待できる分野である。一方で、風力発電市場においては既存のサプライチェーンが強固であり、新規に参入することは容易なことではないとも言われている。

以上の背景から、風力発電関連産業の集積およびそれを通じた一層の産業振興を図るには、着実に実行可能なプランを策定することが重要である。本調査では、風力発電産業・福島県産業特性等の分析を通じて、風力発電関連産業の集積に向けた実施可能な目指すべきシナリオ、現実的な方策を提示することを目的として調査・検討を行った。

検討に当たっては、陸上風力発電、洋上風力発電、小形風力発電の3つの分野について、現実的に経済的効果および雇用を県内に創出するにはどのような方策が必要となるかという観点から、製造業のみにこだわらず広く検討することを基本としている。新たな大型工場進出・誘致が難しい状況の中、浮体式洋上風力発電の実証研究プロジェクトや陸上風力発電の導入の素地が整いつつある状況等を踏まえて、目指すべきシナリオの検討を行った。

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。

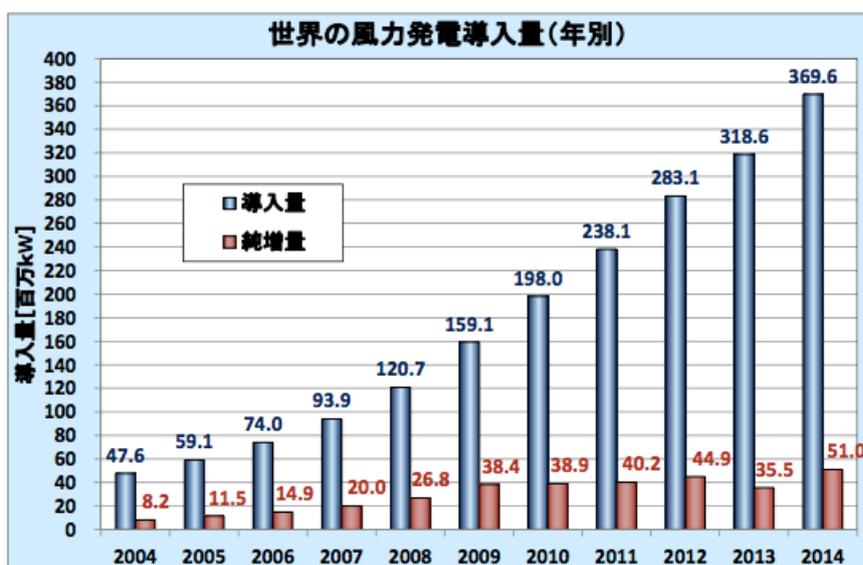


図 1.1-1 世界全体の風力発電導入量の推移

(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。

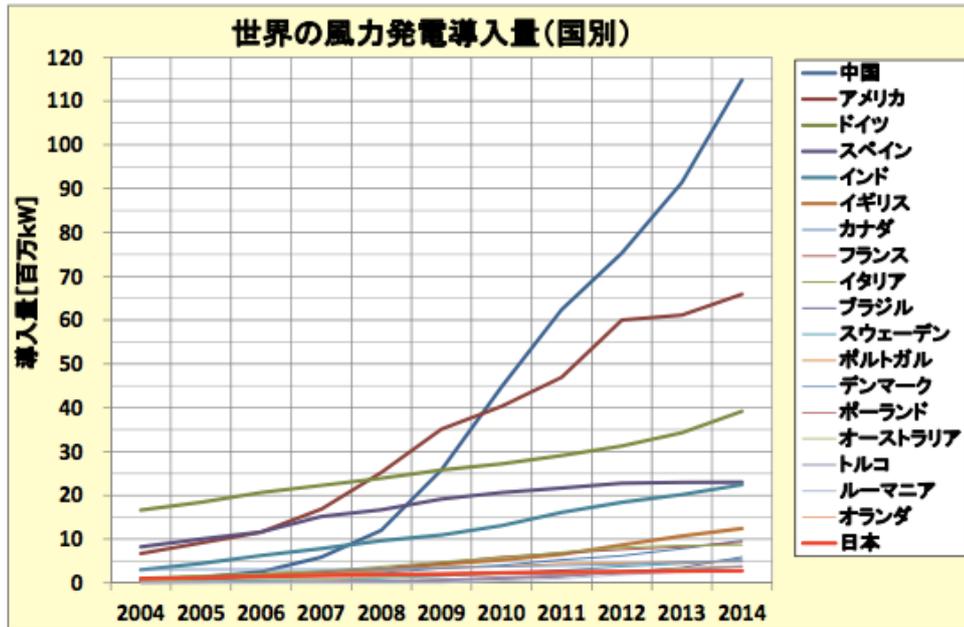


図 1.1-2 国別の風力発電導入量の推移

(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。

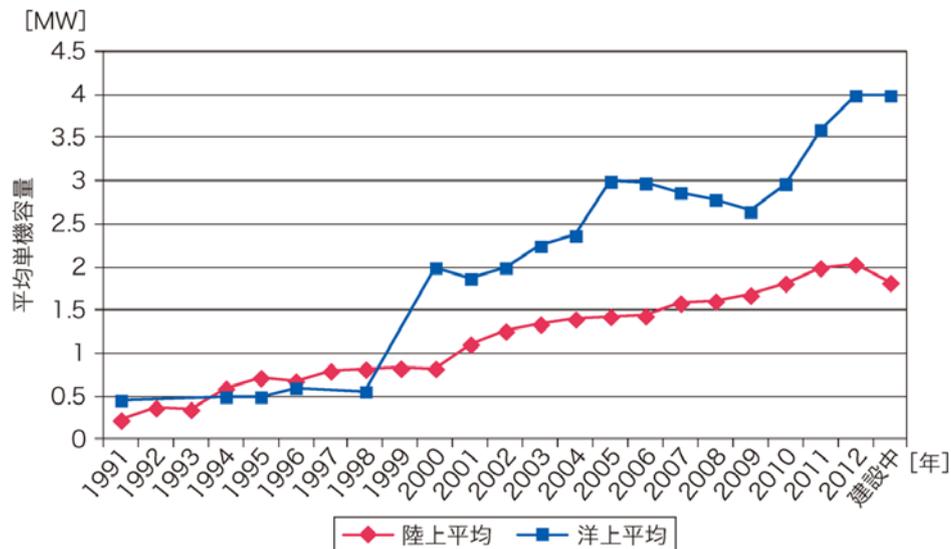


図 1.1-3 風車の平均単機容量の推移

(出典) NEDO 「再生可能エネルギー技術白書」(2013年)

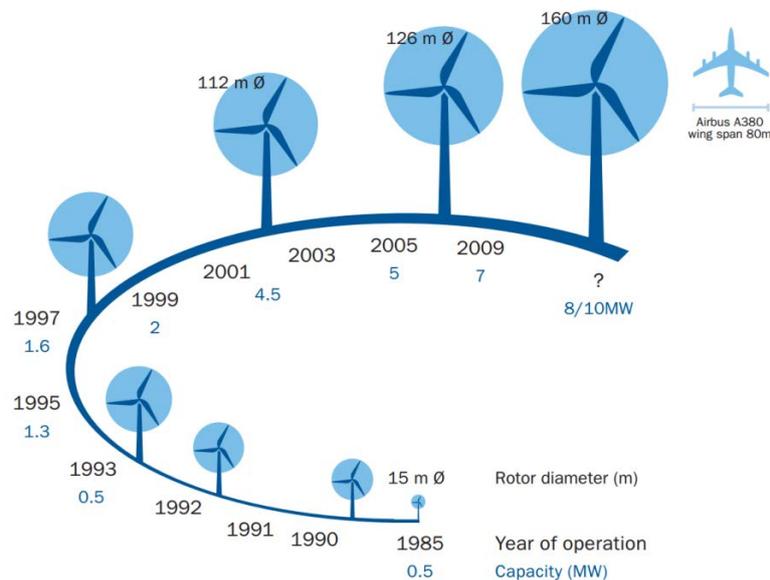


図 1.1-4 世界の風車の大型化の推移

(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

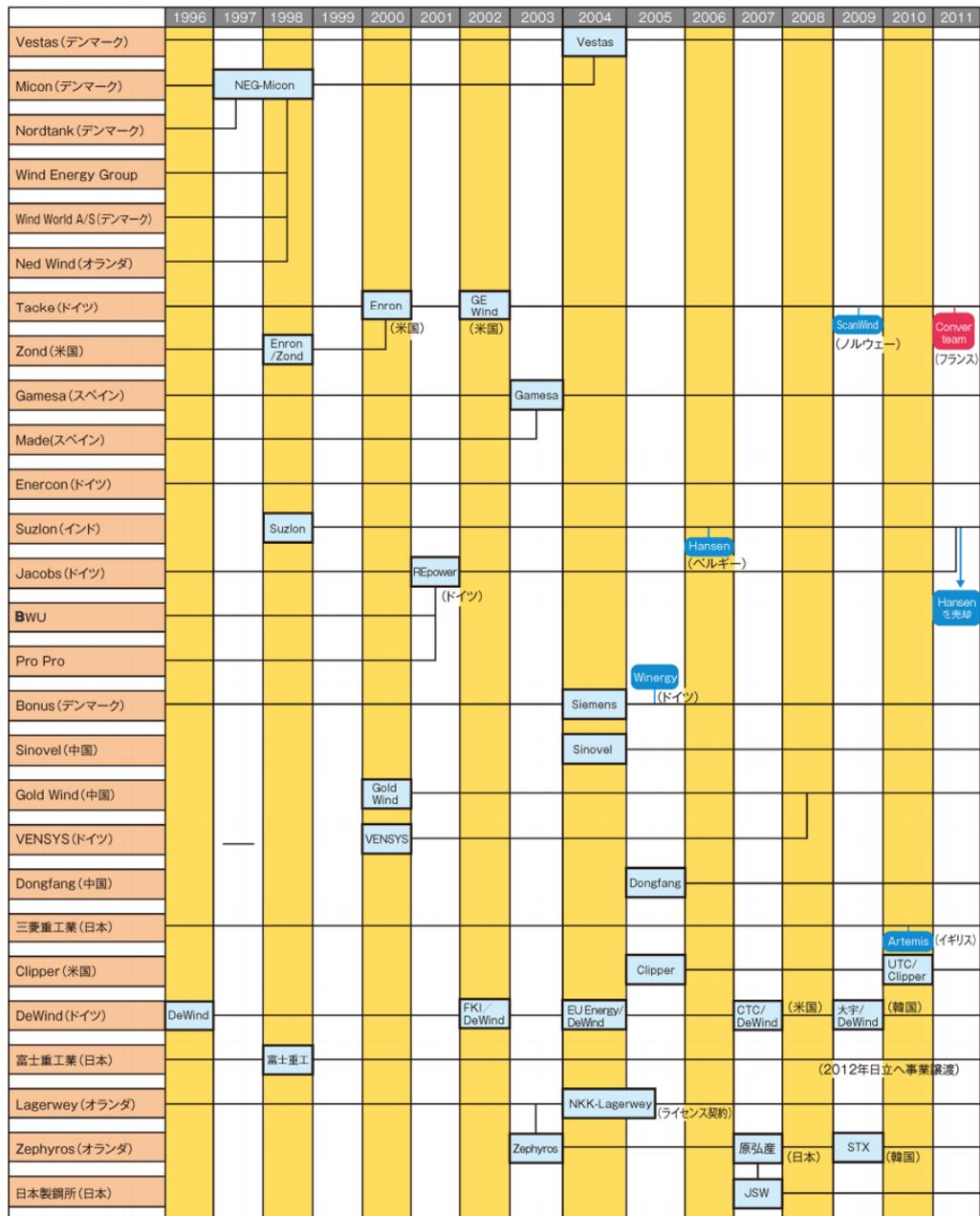


図 1.1-5 風力関連メーカーの再編の動き

(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。

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。

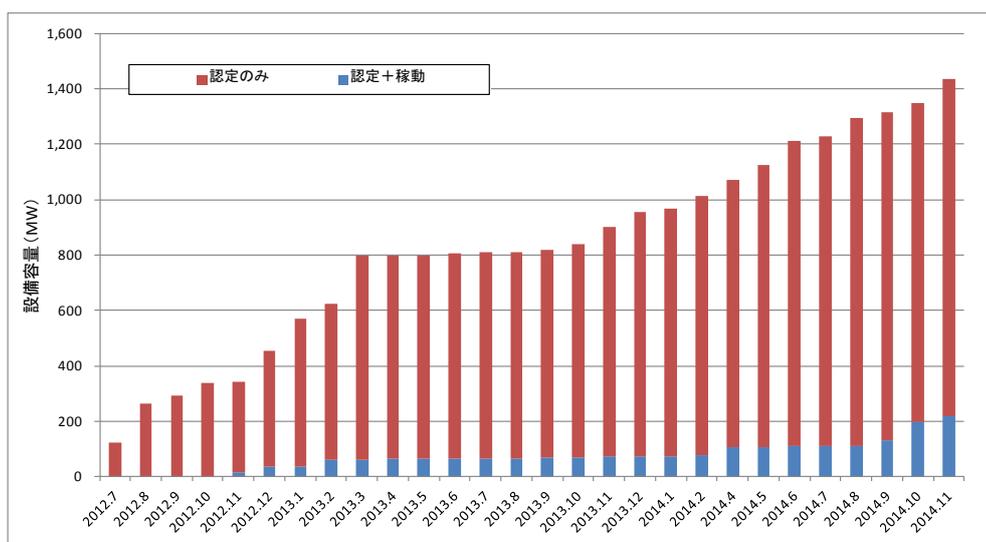


図 1.1-9 固定価格買取制度開始後の風力発電（20kW 以上）の認定設備容量の推移
 (出典) 資源エネルギー庁ホームページより作成

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。

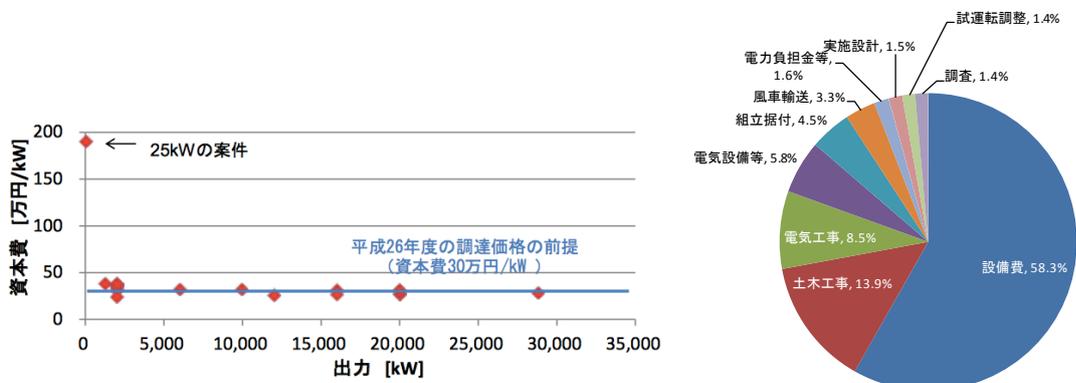


図 1.1-10 風力発電（20kW 以上）の資本費（左）とその内訳（右）
 (出典) 経済産業省調達価格等算定委員会資料

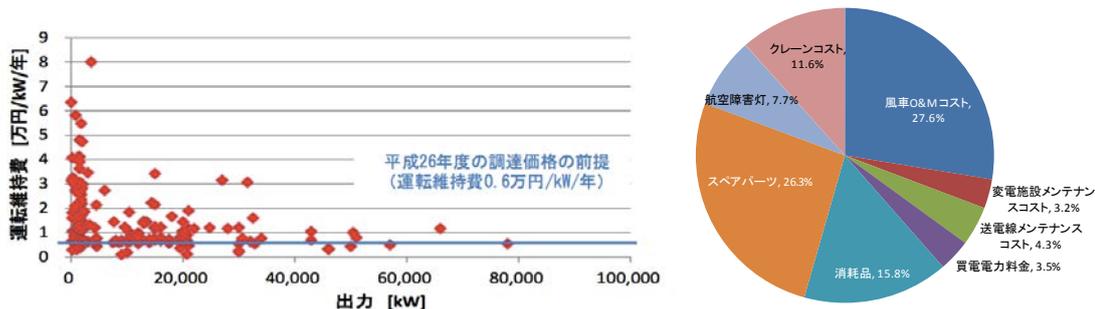


図 1.1-11 風力発電（20kW 以上）の運転費とその内訳（右）

(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。

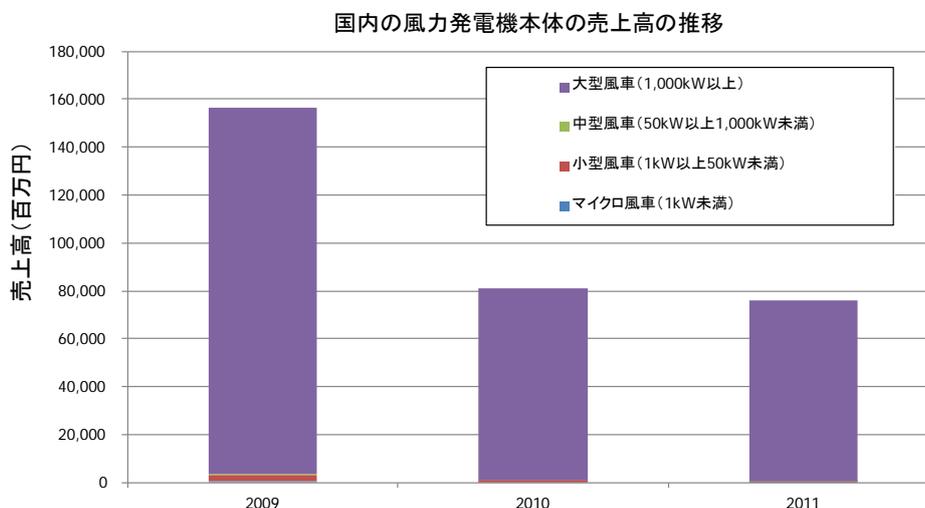


図 1.1-12 国内の風力発電機本体の売上高の推移

(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。

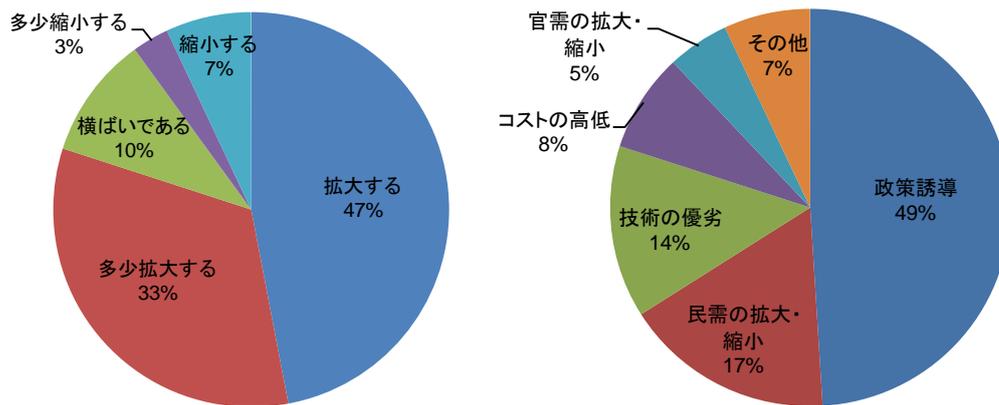


図 1.1-13 国内風車関連企業における風力発電市場の予測 (左) および国内市場の展開の因子 (右)
 (出典) 日本産業機械工業会「風力発電関連機器産業に関する調査研究報告書」

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。

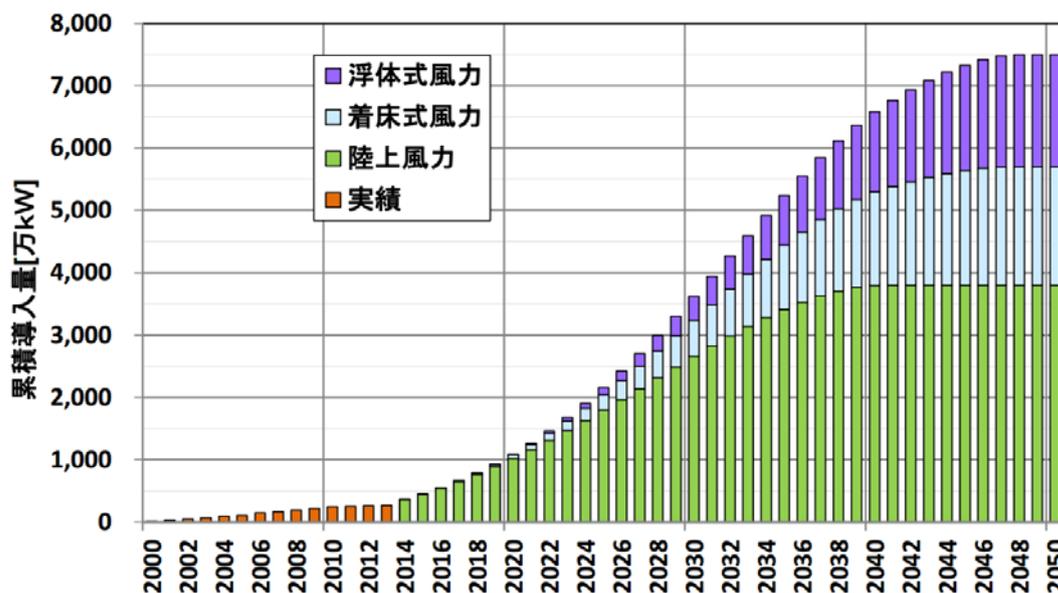


図 1.1-14 日本風力発電協会の風力発電導入量の見通し

(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。

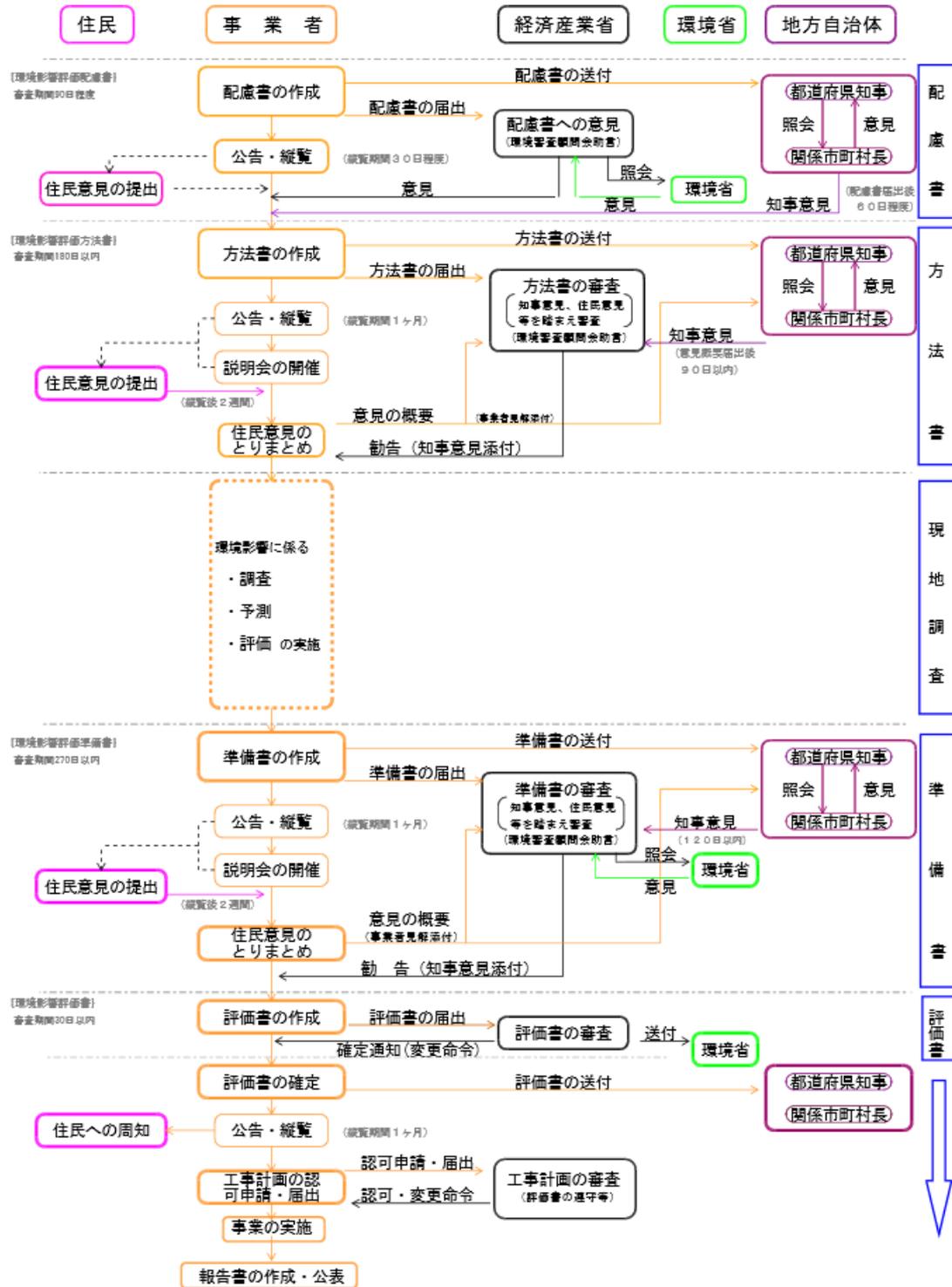


図 1.1-15 発電所に係る環境影響評価の手続フロー図

(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。

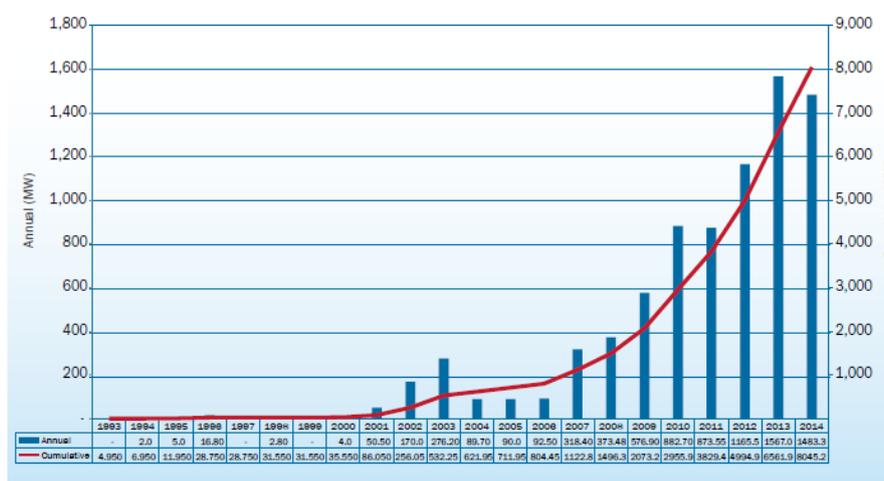


図 1.1-16 欧州における洋上風力導入量

(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。

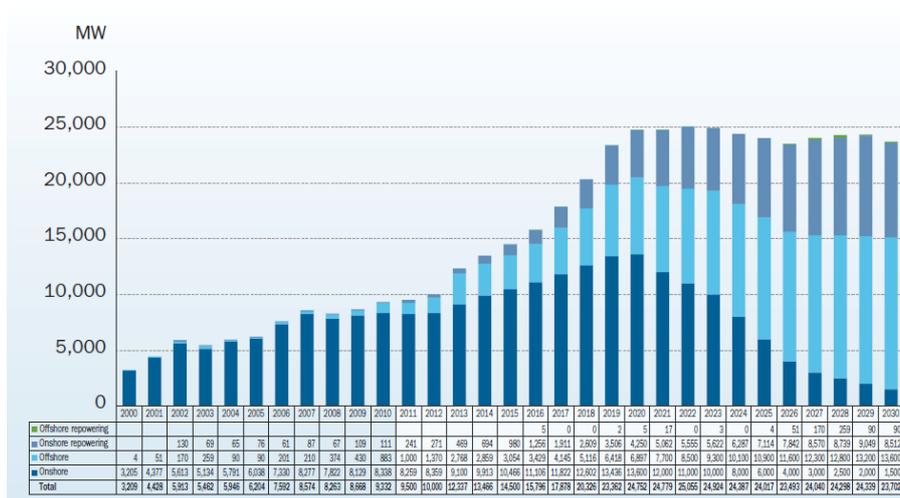


図 1.1-17 欧州における洋上風力発電導入量見通し

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

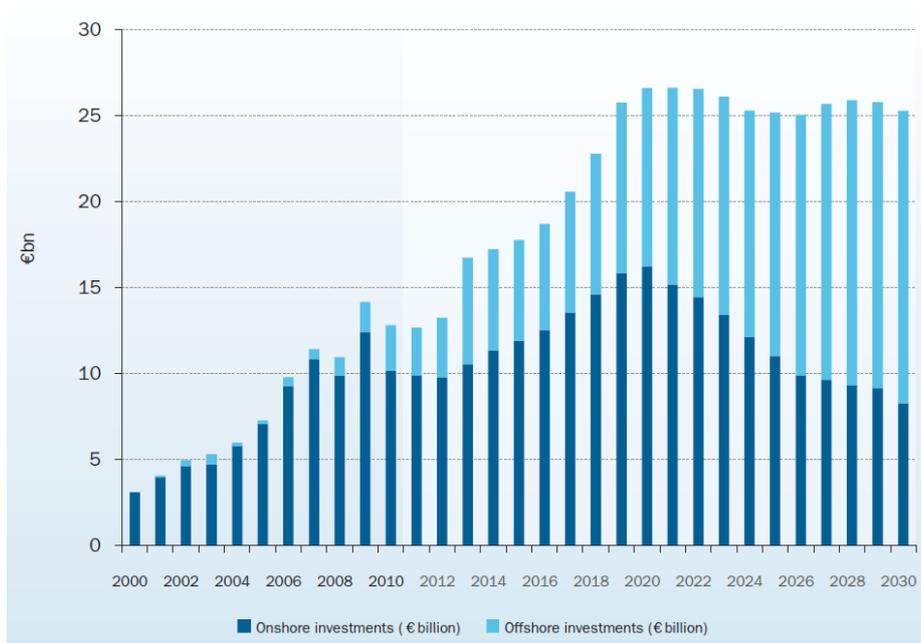


図 1.1-18 欧州における風力発電投資額の見通し

(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。

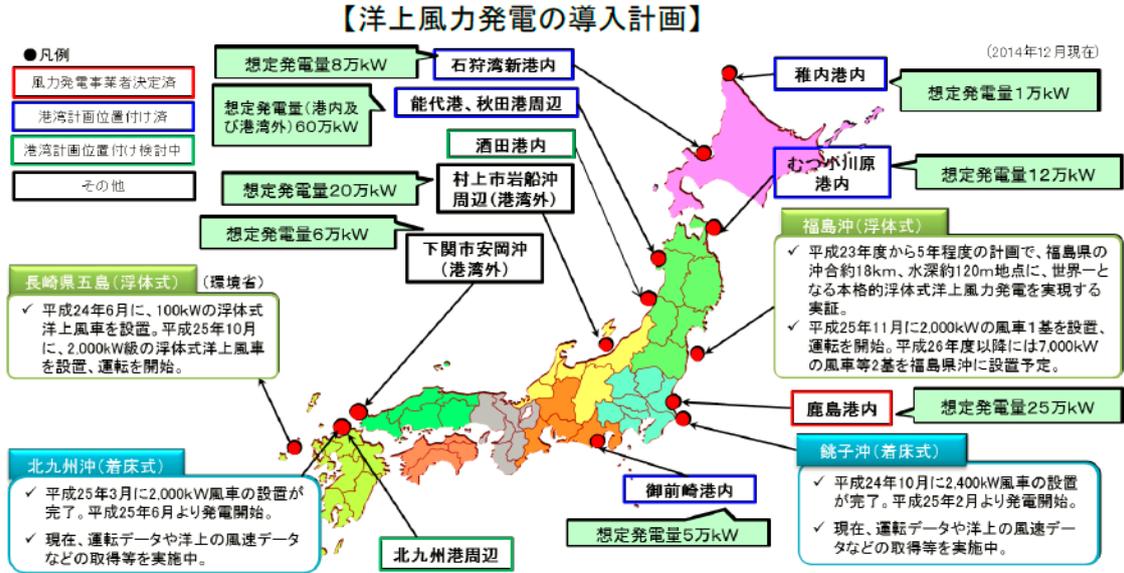


図 1.1-20 国内の洋上風力発電計画

(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。

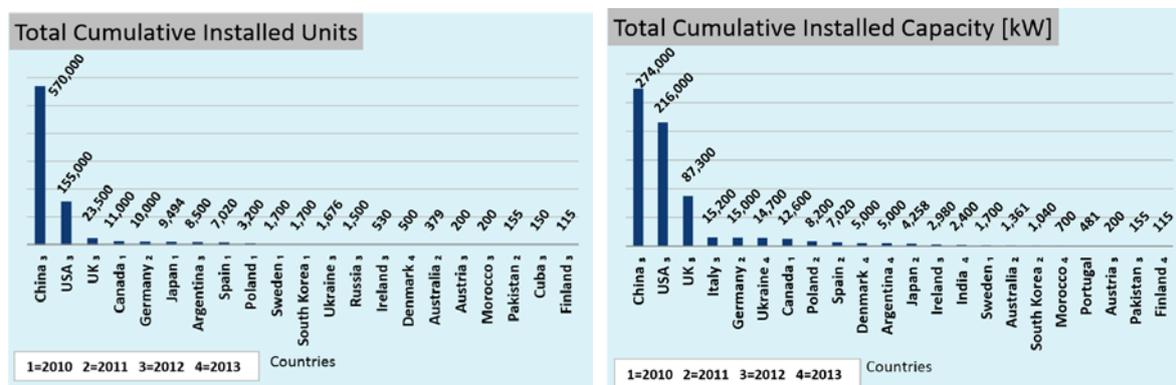


図 1.1-22 各国の小形風力発電装置の累積導入量（左：台数、右：設備容量）

（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)

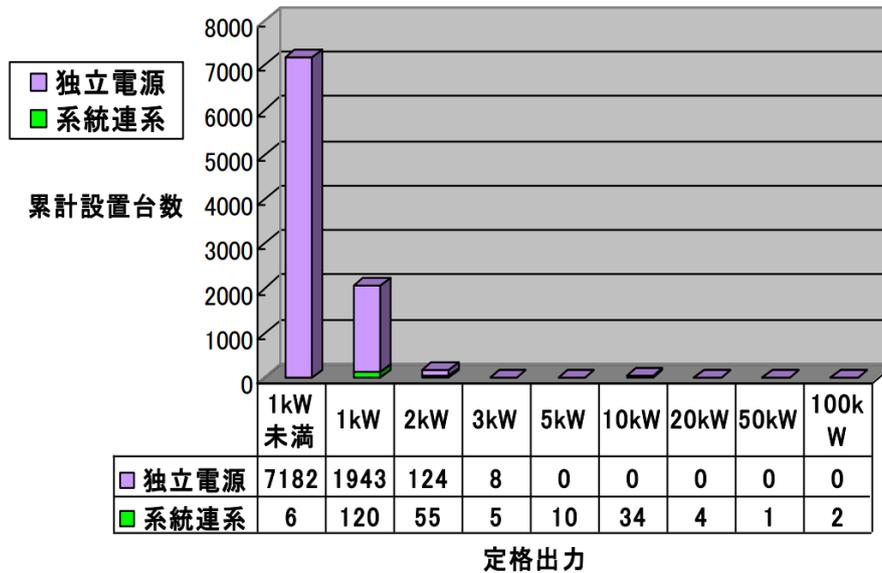


図 1.1-24 国内における小形風力発電装置の出力別設置状況

(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）

		買取り価格(円/kWh)					
		30	40	50	60	70	80
固定買取り 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。

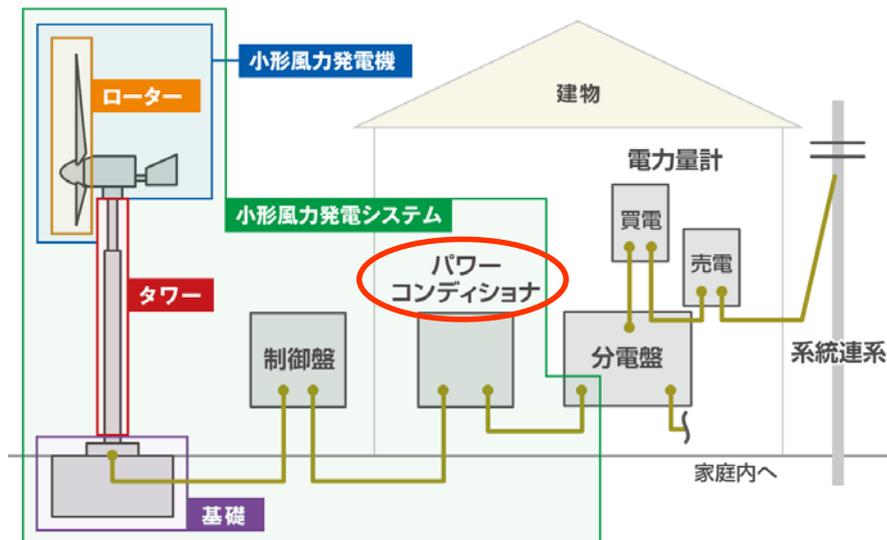


図 1.1-25 小形風車の構成例および名称

(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。

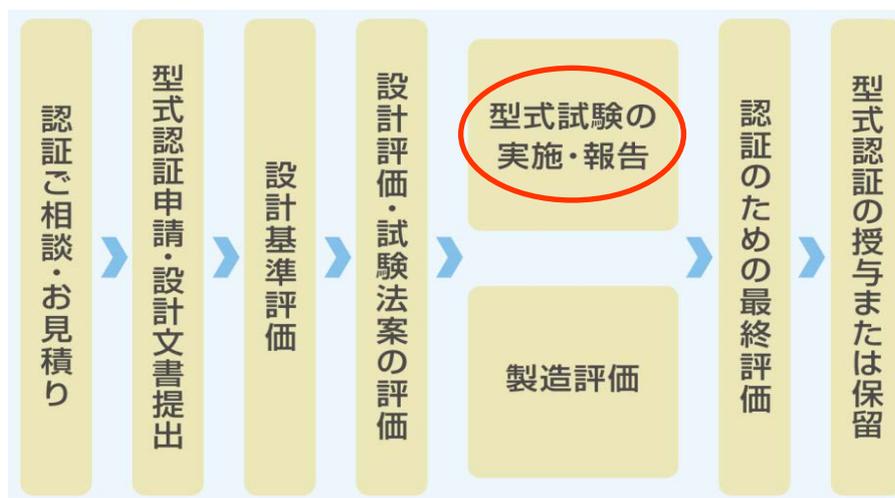


図 1.1-26 小形風力発電設備の認証を取得するまでの流れ

(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	ジャパンライプ株式会社	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	株式会社リアムウィンド	株式会社リアムウィンド	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。

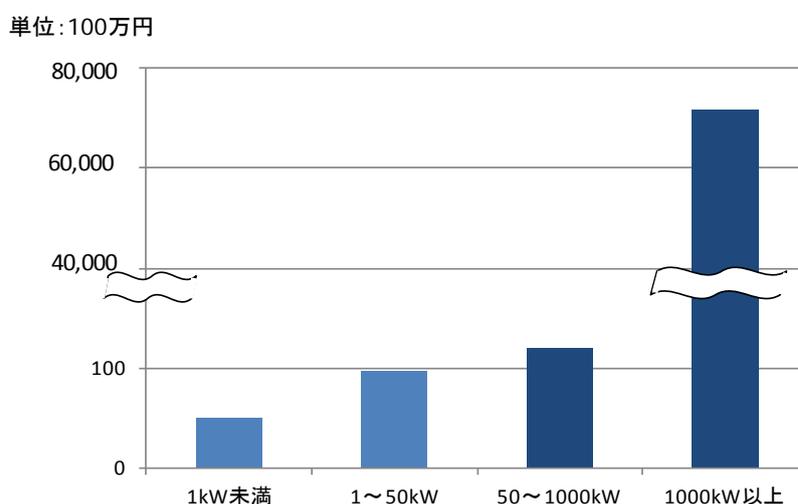


図 1.1-27 2012年度における国内の風力発電設備の売上高

(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。

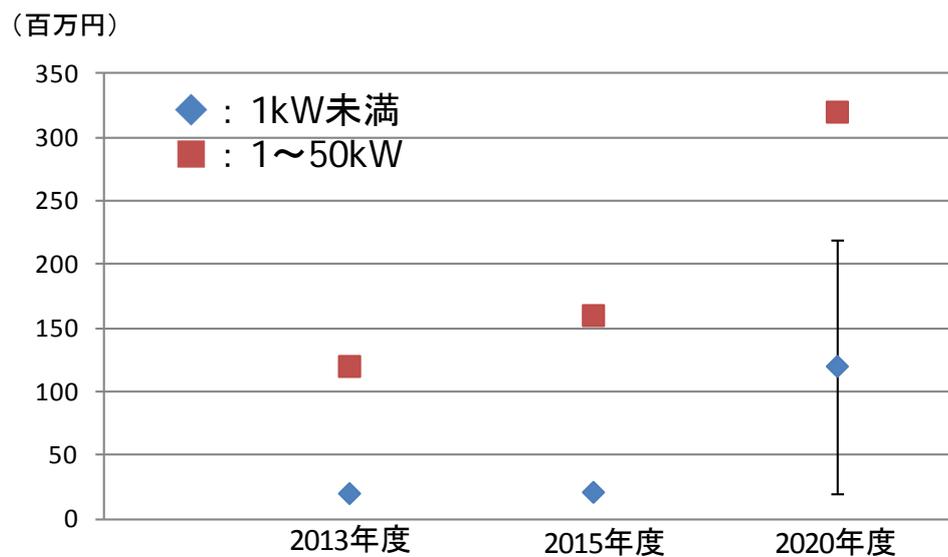


図 1.1-28 小形風力発電設備に関する市場規模の予測

(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注目して整理を行う。

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 $90\text{t}/\text{m}^2$ 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 $50\text{t}/\text{m}^2$ 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。

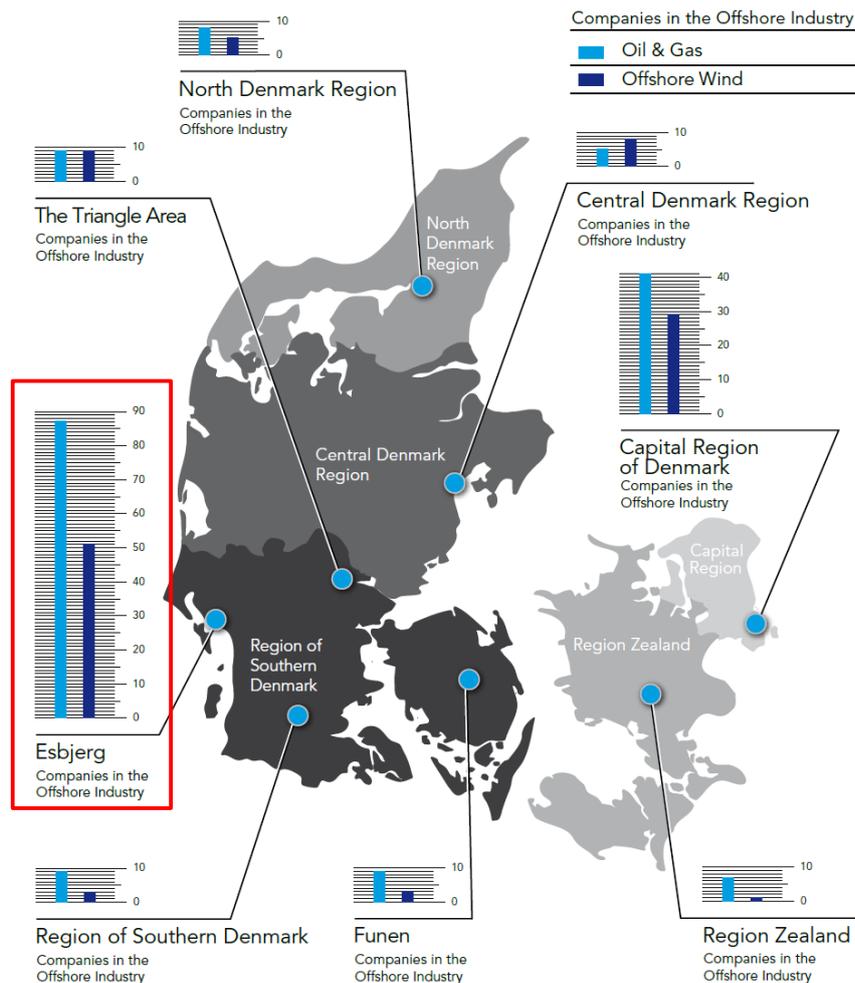


図 1.2-6 デンマークにおける洋上産業の都市別企業数

(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。

2. 風力発電関連産業の構造分析

本項では、風力発電関連設備および浮体がどのような部品から構成され、それぞれの部品がどのような機能を持つかを整理する。続いて、風力発電関連設備および浮体を構成する部品について、風力発電機メーカーや部品メーカーの納入先や仕入先の状況等を明らかにする。これらの整理結果を風力発電産業の集積および福島県内企業のサプライチェーンへの参入を検討する際の基礎情報とすることを目的とする。

2.1 風力発電の構成

風力発電機は、「ローター」・「ナセル」・「タワー」・「基礎」・「系統連系装置」・「その他付帯設備」の大きく6つの構成要素から成る。

各構成要素は複数の「部品」から構成されるが、その「部品」はそれぞれさらに細かい「部品群」から構成される。

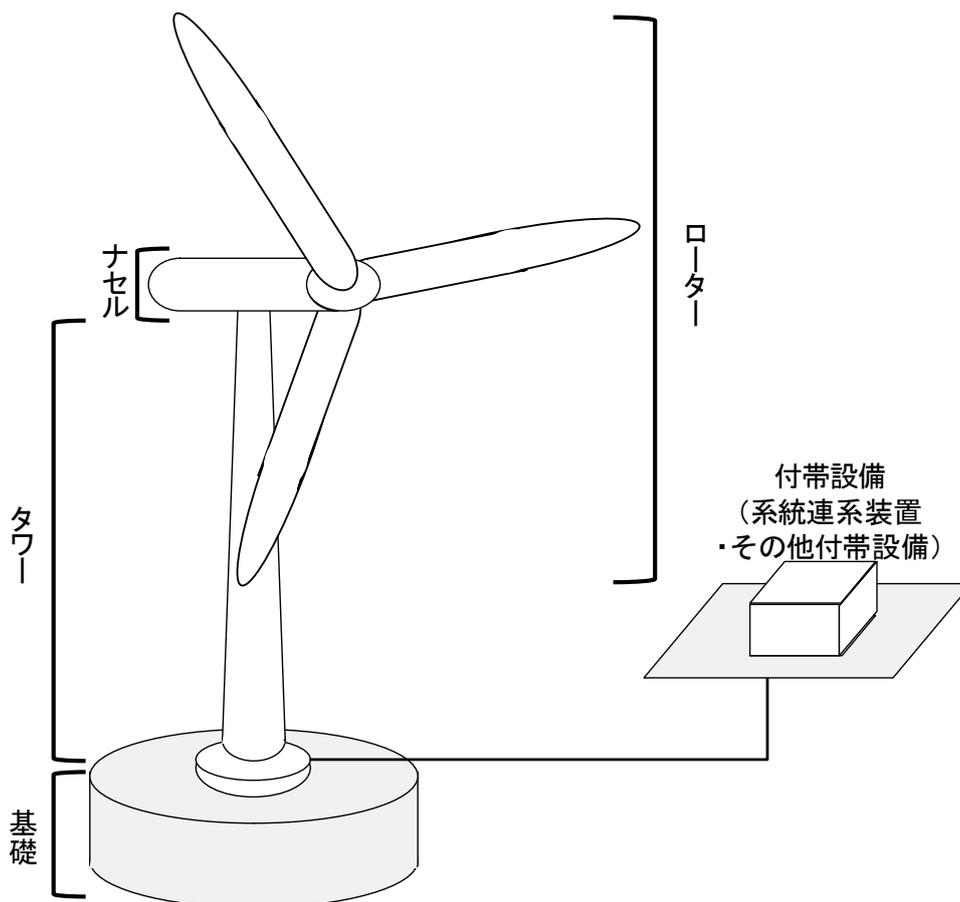


図 2.1-1 風力発電機の構成

表 2.1-1 風力発電機部品構成（その1）

構成要素	部品	二次部品（素材）	
ローター	ブレード	繊維強化プラスチック（FRP）	
		塗料	
		桁	
		ボルト等（金具）	
		レセプター	
	ハブ	ローターヘッド	
		ハブカバー	
	ピッチ制御装置 （電気式を例示）	ピッチ旋回ベアリング	
		ピッチ旋回モーター	
		減速機	
		制御盤	
		バッテリー	
		スリップリング	
位置検出器			
ナセル	主軸	主軸	
		主軸ベアリング	
	増速機	増速機ハウジング	
		キャリア	
		ギア（歯車）	
		ベアリング	
		軸	
		ディスクブレーキ	
		ロックピン	
		潤滑装置	
	発電機	フレーム（カバー）	
		回転子（ロータ）	
		固定子（ステータ）	
		界磁	
		シャフト	
		スリップリング	
		ブラシ	
		ブラケット	
		冷却ファン	
		カップリング	
	ヨー駆動装置	ヨー旋回ベアリング	
		ヨー旋回モータ	
		減速機	
		ヨーブレーキ	
	制御盤		
	ナセル制御盤	—	
	ナセル台板	鋼板	
	ナセルハウジング	繊維強化プラスチック（FRP）	
	タワー	タワー	鋼板
		フランジ	—
		昇降機	—

表 2.1-2 風力発電機部品構成（その2）

構成要素	部品	二次部品（素材）
基礎	アンカー	アンカーリング
		アンカーボルト・プレート
		タワー取付ボルト
	ペDESTAL	コンクリート
フーチング (杭)	鉄筋コンクリート	
	地盤が軟らかい場合のみ使用	
系統連系装置	コンバーター インバーター	筐体
		IGBT 素子
		VCB
		制御回路盤
		コンデンサー
		スイッチ類
		冷却装置
	変圧器（トランス）	ケーシング
		コイル
		ケイ素鋼板
		放熱器
		絶縁油、樹脂
	連系用スイッチギア	筐体
		遮断器
		ヒューズ
		リレー
		UPS
		表示灯
	制御盤	—
送電ケーブル	—	
その他付帯設備	遠隔監視装置	サーバー
		モニタ
		UPS
		クライアント PC
	冷却装置	—
	その他付属品	避雷針
		風向・風速計
		避雷導体
		カーボンブラシ
		サージ保護デバイス
シールドケーブル/光ファイバ		
氷結センサー		

2.1.1 風力発電機本体の構成

(1) ローター

ローターは風を受けて回転する部位を指す。主要な部品は「ブレード」・「ハブ」・「ピッチ制御装置」である。ただし、ピッチ制御装置はハブの中に取り付けられているため、ハブの一部品としてカウントされるケースもある。この2つはそれぞれ異なる機能を持つため、ここでは

独立した別個の部品として取り扱う。

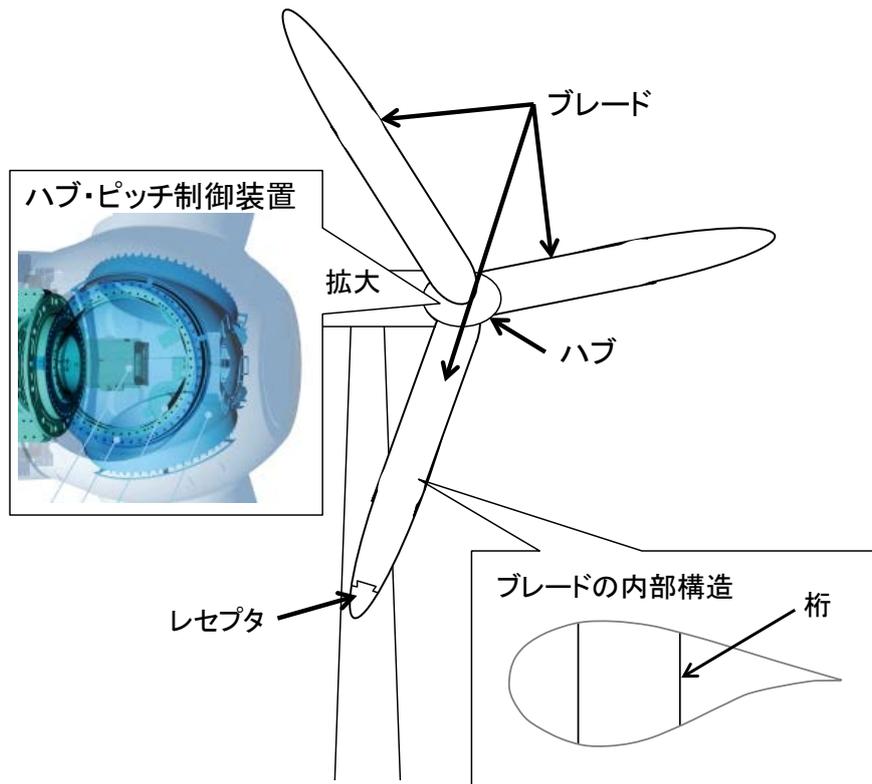


図 2.1-2 ローターの構成

(出典) 日立製作所ウェブサイトの一部用いて作成

①ブレード

ブレードの重量の大半は繊維強化プラスチック（FRP）であるが、その他にも重量比にすると小さいが重要な部品が含まれている。それらの二次部品の概要について以下に示す。

表 2.1-3 ブレードの二次部品構成

二次部品	構成	材料	備考（役割等）	重量比
繊維強化プラスチック（FRP）	繊維	ガラス繊維（GFRP）	主流の材料	55%
		炭素繊維（CFRP）	桁など特に強化したい部位に使用	
	レジン（繊維を固める樹脂）	ポリエステルポリマー	加工性が良い	35%
		エポキシポリマー	強度が高い	
塗装	ゲルコート	ポリエステルを主とする樹脂	雨や紫外線から内部を保護	10%
桁	桁フランジ 桁ウェブ	不明	ブレードの内部構造を支える（フランジ：曲げ荷重を支える、ウェブ：剪断力を支える）	
ボルト等の金具	—	金属	ブレードとハブを結合する	
レセプター	—	ステンレス	ブレード先端付近の受雷部	

ブレードの製造工程は、繊維とレジンを重ねてブレードの形状に FRP を固める作業から始まる。このとき、ブレードの前面と背面で分けて固める。製造方法の改良が重ねられてはいるものの、この工程には非常に人手がかかる。FRP が固まるとそれぞれの面に桁を接着し、その後二つの面を合わせて一枚のブレードにする。ボルト等の付属品を取り付けたのち、最後に表面を磨き、塗装をして、製品として完成する。

②ハブ

ハブは、3本のブレード取付面、主軸取付面、作業用の人が出入りするアクセス穴の合計5つ以上の大きな面や穴を持つ、非常に複雑な形状の部品である。ハブ本体は鋳造品であり、日本では大型部品の鋳造ができるメーカーが減っているため、海外からの調達も増えていると考えられる。

表 2.1-4 ハブの二次部品構成

二次部品	構成	材料・サイズ	備考（役割等）
ローターヘッド（ハブ本体）	—	鋳鋼 2m×2m×2m 以上	ローターの回転中心
ハブカバー	—	繊維強化プラスチック (FRP) ハブ本体を覆えるだけのサイズ	ハブの保護 点検整備をする作業員の作業性・安全性確保

ハブ本体とハブカバーはそれぞれ材料が異なるため、別々のメーカーから調達することも考えられる。ハブカバーは材料が FRP なので、ブレード製造企業と同じ企業が担うことができる。

③ピッチ制御装置

ピッチ制御装置は、動力源によって電気式と油圧式の2つのタイプに分かれる。電気式の場合にはベアリングが必要となる。電気式のピッチ制御装置はハブの中に取り付けられている。一方、油圧式のピッチ制御装置は、油圧シリンダーの収縮によってブレードの角度を変える。なお、油圧式においても元々の動力が電気であることには変わりがない。

電気式と油圧式ではその部品構成に大きな違いがある。日本では現在、日立製作所と日本製鋼所が電気式、三菱重工業が油圧式を採用している。

なお、減速機は電気式のピッチ制御装置のみに含まれており、主に単純遊星歯車減速機、内接嚙合形遊星歯車減速機に分類される。前者は比較的安価で、欧州の風力発電機で比較的良好に用いられるが、日本の苛酷な環境に適用するには耐久性が足りず故障頻度が高いとも言われている。日本のメーカーは後者の研究開発を進めており、高度で耐久性に優れた製品の提供が可能である。

表 2.1-5 ピッチ制御装置の二次部品構成

二次部品	構成	特徴	電気/ 油圧式
ピッチ旋回ベアリング	外輪	2MW 級の風力発電機で直径 2m ブレードとハブを接続する	電気式
	内輪	ブレードの角度を変える	
	ベアリングボール	軌道輪間の過重を伝達する	
	ピッチ旋回小歯車（ピニオン）	小歯車が回転することで旋回ベアリングに回転を与える	
ピッチ旋回モータ	モータ本体	ブレードの角度を変える動力を供給する ブレードにつき 1 つ設置	電気式
	ピッチブレーキ	風で旋回しないように固定する	
減速機 （同軸式）	ハウジング	減速機のカバー	電気式
	キャリア	遊星歯車等の支持部材	
	ギア	遊星歯車等	
	ベアリング	軸を支える軸受	
	軸	モータから回転を受け取る	
制御盤	主制御盤	ナセル制御盤からのピッチ角指令を受けて各軸の制御盤に指令を出す	電気式
	制御盤（1~3 軸）	主制御盤からの指令を受けてピッチ角を変える	
バッテリー	鉛蓄電池	停電時に電力を供給する	電気式
スリップリング	—	ナセルからハブ内へ動力と制御信号を伝えるための回転式コネクタ 貴金属製	共通
位置検出器	—	モータ部についており、ピッチ角を検出する	共通
油圧シリンダー（アクチュエーター）	電気式のベアリングと小歯車に相当	ブレードの角度を変える	油圧式
油圧ポンプ	電気式のピッチ旋回モータに相当	ブレードの角度を変えるための動力を供給する	油圧式
制御バルブ	電気式の制御盤に相当	ナセル制御盤からの指令を受けてピッチ角を変える	油圧式
蓄圧器	電気式のバッテリーに相当	停電時に油圧による動力を供給する	油圧式

（出典）日本ムーグウェブサイト、わかりやすい風力発電（オーム社）等を参考に作成

（2）ナセル

ナセルはタワーの上に取り付けられた機械室を指し、このナセルの先端にローターが取り付けられている。ローターの取り付け向きは風上側か風下側かで「アップウィンド型」と「ダウンウィンド型」に分かれる。主要な部品は「主軸」・「増速機」・「発電機」・「ヨー駆動装置」・「ナセル制御盤」などであり、風力発電機の発電メカニズムを支える重要部品が多く格納されている。

最も重要な機器は、動力伝達を行う「ハブ→主軸→増速機→発電機」の流れ（ドライブトレイン）である（ただし、発電機の種類によっては増速機が必要でない場合がある）。

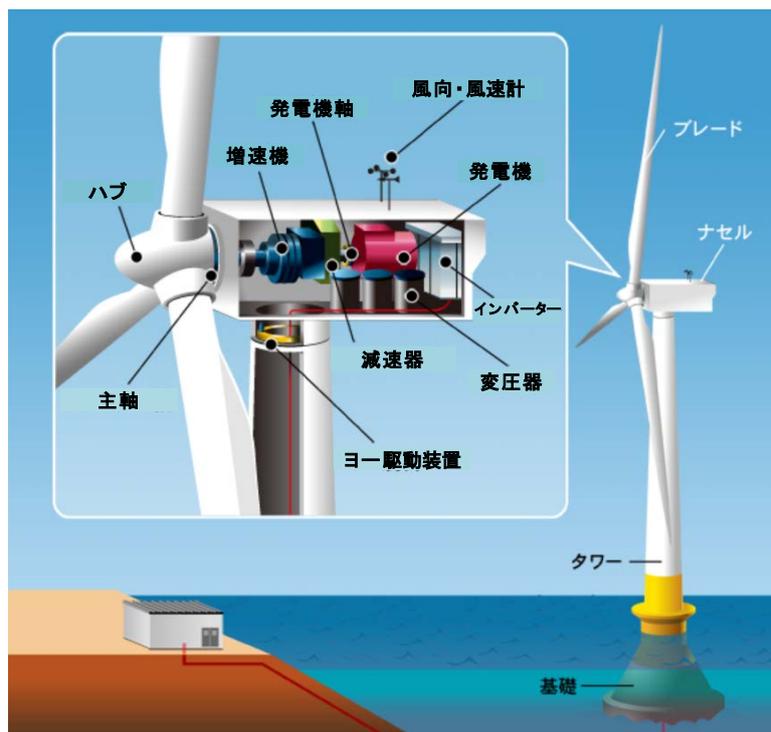


図 2.1-3 ナセルの構成

(出典) NEDO ホームページより作成

①主軸

主軸は、鋼材の鍛造ののち、機械加工によって表面を滑らかにする必要があり、強度とともに表面加工の精密さが求められる。主軸は、軸本体とそれを支えるベアリングから成る。ベアリングの数はレイアウトにより 1 つの場合と 2 つの場合がある。

表 2.1-6 主軸の二次部品構成

二次部品	構成	材料	備考（役割等）
主軸	—	ニッケルクロムモリブデン鋼などの強度のある鋼	ハブを支え回転を増速機に伝達する 中空になっている
主軸ベアリング	—	球状黒鉛鋳鉄などを用いて機械加工、熱処理した鍛造圧延リング	ハブと主軸を接続する 主軸を支持するための 2 つ目のハブが設置される場合もある

②増速機

各二次部品の材料は、主に球状黒鉛鋳鉄の鋳物（高級鋳鉄を含む）や鍛造品である。

増速機内部では、ローターからハブ、主軸へと伝わった低速・高トルクの入力を、遊星歯車を使ってまず 10 倍程度に増速する。さらに、低速軸・中間軸・高速軸と段階的に 100 倍程度にまで増速し、発電機へと伝達する。

なお最近では、増速機の代わりに油圧ポンプ・モータで増速するケースも出てきている。油圧

ポンプ・モータを用いる場合、信頼性の向上だけでなく、ポンプ・モータを制御することで回転速度も制御できるため、部品点数削減が可能というメリットがあると言われている。

このような状況を受け、風力発電機増速機の付加価値を高めるための技術開発も活発に進められている。最新の開発事例としては、ハブ軸受と発電機が内蔵されたコンパクトドライブトレインタイプやメンテナンスをしやすいような工夫をしたタイプなどがある。

増速機は、その開発過程において、実際に製造した機器について設計上の全負荷での試運転を行い、騒音・振動や遊星歯車の等配率の検証や潤滑油清浄度、寒冷地用試験など様々な試験を実施する必要がある。これらの試験には大掛かりな設備が必要となり、新規参入の障壁になっていると言われている。

表 2.1-7 増速機の二次部品構成

二次部品	構成	備考
増速機ハウジング	—	増速機構を覆う鋳造品
キャリア	—	遊星歯車を覆い支える
歯車（ギア）	遊星歯車	歯面の傾いたハス歯の歯車を使用
	リングギア	
	低速軸ピニオン	低速軸とそのベアリングに隣接する小歯車
	中間軸ピニオン	中間軸とそのベアリングに隣接する小歯車
	高速軸ピニオン	高速軸とそのベアリングに隣接する小歯車
ベアリング	低速用	最大接触応力：1,300MPa 要求寿命：30,000h
	中間用	最大接触応力：1,650MPa 要求寿命：40,000h
	高速用	最大接触応力：1,650MPa 要求寿命：80,000h
	遊星ギア用	最大接触応力：1,450MPa 要求寿命：100,000h
	キャリア用	最大接触応力：指定なし 要求寿命：100,000h
軸	低速軸	—
	中間軸	—
	高速軸	—
ディスクブレーク	—	高速機と発電機の間にある、保守作業時の回転系停止装置。油圧作動式。
ロックピン	—	低速軸の回転止め装置
潤滑装置	清浄度フィルター等	海外企業の方が品質が高いものが多いとの意見がある。

③発電機

大型風力発電システムに使用される発電機には複数の種類がある。主なものを以下にまとめ

た。ここでは、発電機の特徴として、「定速型」か「可変速型」の区別と、発電方式に注目して分類した。また、出力制御の方法として制御方法にも注目し、「ストール制御」か「ピッチ制御」かを整理した。ただし、実際には定格風速以下でストール制御、定格風速以上でピッチ制御を行う「アクティブストール制御」という出力制御方法も開発されている。また、現在主流となっているのは二次巻線型誘導発電機を用いたピッチ制御による出力制御であり、国内外の多くの風力発電メーカーがこの形式を採用している。したがって、ここでは二次巻線型誘導発電機（出力制御方法はピッチ制御）の部品を中心にとりまとめる。

表 2.1-8 発電機の種類

発電機の分類	発電方式	発電機形式	増速機有無	出力制御方法	長所	短所
定速	誘導発電機	かご型誘導	あり	ストール制御/ピッチ制御	安価 単純な構造で信頼性高い	出力変動大 機械的変動荷重大 ブレード騒音大
可変速	誘導発電機	巻線型誘導	あり	ピッチ制御	出力変動小 発電量大 インバーター容量が小さく比較的安価 ブレード音小	可変速範囲が限定 コンバーターサイズ大
可変速	交流励磁同期発電機	二次巻線型誘導	あり	ピッチ制御	出力変動小 コンバーターがコンパクト	速度範囲の制限 高価
可変速	同期発電機	巻線界磁型同期（多極同期）	なし	ピッチ制御	発電量大 出力変動小 増速機音無 ブレード音小	高価 インバーター容量大 発電機のサイズや重量が大きく輸送や建設に制約有
可変速	永久磁石発電機	永久磁石同期（多極同期）	なし/あり	ピッチ制御	発電量大 出力変動小 増速機音無 ブレード音小	高価 インバーター容量大 発電機のサイズや重量が大きく輸送や建設に制約有

発電機の種類によって二次部品の構成にも違いが出てくる点には留意が必要である。

表 2.1-9 発電機の二次部品構成

二次部品	構成	備考
フレーム（カバー）	—	アルミ合金等を用いた鋼板（溶接構造）
回転子（ロータ）	回転子	—
固定子（ステータ）	固定子心	低合金鋼（鍛造品）
	固定子巻線	銅線と周縁を覆う絶縁体
界磁	界磁鉄心	低合金鋼（鍛造品） かご型誘導発電機や永久磁石同期発電機にはない部品
	界磁巻線	銅線と周縁を覆う絶縁体 かご型誘導発電機や永久磁石同期発電機にはない部品
シャフト	—	増速機から回転を受け取る
スリップリング	—	貴金属製 かご型誘導発電機や永久磁石同期発電機にはない部品
ブラシ	—	カーボン製 かご型誘導発電機や永久磁石同期発電機にはない部品
ブラケット	—	軸受箱 鋼板溶接構造
冷却ファン	—	発電機内部の熱を放散し冷却する（空冷式の場合）
カップリング	—	増速機と発電機を接続

④ヨ一駆動装置

ヨ一駆動装置の二次部品を以下に示す。

表 2.1-10 ヨ一駆動装置の二次部品構成

二次部品	構成	備考（サイズ・役割等）
ヨ一旋回ベアリング	外輪	2MW 級風力発電機で直径 2m 程度 ナセルとタワーを結合する
	内輪	
	ベアリングボール	軌道輪間の過重を伝達する
	ヨ一旋回小歯車（ピニオン）	小歯車が回転することで旋回ベアリングに回転を与える
ヨ一旋回モータ	モータ本体	ベアリング上に複数台設置
	減速機	同軸式（入力軸と出力軸が同じ）
ヨ一ブレーキ（油圧式）	ブレーキディスク	風でナセルが旋回しないように固定
	ブレーキシュー	
制御系	制御回路	ナセル制御盤から旋回制御指令を受ける
	旋回カウンタ	どれだけ旋回したか計測しナセル位置を認識する
	ねじれ防止リミットスイッチ	限界を超えた回転をしないように制御する

発電機で発電された電気は、ナセルからタワー内に捻回ケーブルを通して送られる。ナセルが左右いずれかに2回転以上すると、捻回ケーブルは回転を吸収しきれず電気が送られなくなる。このような状況を回避するため、ヨー駆動装置を用いて、風の弱いときを狙って逆方向に自動的に旋回し、ねじれを元に戻す機能が備わっている。

また、減速機は繰り返し荷重や台風などに耐えられる耐久性が必要であるが、単純遊星歯車減速機は日本の風力発電サイトの過酷な環境には十分に適合しておらず、内接嚙合形遊星歯車減速機の方が高い耐久性を誇るとされる。

(3) タワー

タワーはナセルとローターを支える構造体であり、その下部は基礎に支えられている。タワーの種類には円筒タワー、ラテスタワー、張線付ポールタワーがある。国内の大型風力発電機はほぼ円筒タワーであることから、以降、円筒タワーについて述べるものとする。主な部品は「タワー本体」と「フランジ」と「昇降機」などである。

①タワー本体

タワー本体の製品としての特徴を以下にまとめる。

表 2.1-11 タワーの特徴

項目	内容	備考
機能	ナセルとローターを支持する 上空の高い風のエネルギーを利用する ローターと地表との間隔を保つ 保守員がナセルへアクセスする手段を提供 風力発電に必要な機器を収容する	—
材料	鋼板の溶接構造	コンクリート製や、下部はコンクリート製、上部は鋼鉄パイプのタワーなどの事例もある
サイズ	最も太い部分で直径 4~5m 高さ 80~100m	2MW 級の風力発電機
重量	200t 程度	2MW 級の風力発電機
求められる性能	高い疲労強度	—
汎用品/特注品	受注生産	一つ一つの部材が大きいので、在庫を保管するのは困難
国内製/海外製	海外製	安価な労働力を求め海外から調達する（日本国内からは撤退）

タワーは 20m 前後の長さのブロックごとに製造・輸送されたのち、風力発電機を設置する現地で溶接される。溶接を行う際には、次項で詳述するフランジを用いて溶接部を止め、タワーを内側から補強する。

②フランジ

フランジの製品としての特徴は以下のとおりである。

表 2.1-12 フランジの特徴

項目	内容	備考
機能	タワーの部材の溶接部接合用の口金	実際には、タワー溶接部だけでなく、ローターと主軸の接合など、複数の部位で用いられている
材料	鍛造・圧延加工し、溶接疲労強度を高めた鋼	—
求められる性能	応力集中を避けるような設計・工作	—

③昇降機

昇降機の製品としての特徴は以下のとおりである。

表 2.1-13 昇降機の特徴

項目	内容	備考
機能	保守人員がナセルに昇る際に使用する	梯子タイプと簡易エレベータータイプがある
材料	鋼材等	—
サイズ	高さ 80~100m (地上~ナセル台板まで)	2MW 級の風力発電機
汎用品/特注品	汎用品	—

(4) 基礎

基礎はタワー（とその上部に取り付けられているナセルとローター）を地盤に固定する役割を果たす。したがって、浮体式の風力発電機の場合は、この役割を浮体が果たすこととなる。基礎の二次部品の概要について以下に示す。

表 2.1-14 基礎の二次部品構成

二次部品	構成	材料	備考（役割等）
ペDESTAL	—	コンクリート	タワーとの接合部
アンカー	アンカーリング/アンカーボルト・プレート	鋼	タワーと基礎を結合 アンカーリング式とアンカーボルト式がある
	タワー取付ボルト	鋼	アンカーとタワーを止める
フーチング	—	鉄筋コンクリート	地盤と接する
杭	—	コンクリート等	地盤を強化する

2.1.2 付帯設備

(1) 系統連系装置

系統連系装置は、ナセル内部に設置された発電機由来の電力を、系統に接続するのに適した電流や電圧等に変換する設備や、接続の開閉を制御する設備などの全般を指す。それぞれの設備の設置場所はナセル内部、タワー下部、風力発電機外部など、メーカーや設計条件によって様々であり一概に言えないため、風車本体とは別の項で整理した。

①コンバーター/インバーター

コンバーターやインバーターは、発電機で発電した電流の交流・直流変換を行うために設置される。発電機の種類や接続先の電力系統によって必要な機器は異なる。

コンバーター/インバーターは、筐体、IGBT 素子、VCB、制御回路盤、コンデンサー、スイッチ類、冷却装置などから構成される。

②変圧器（トランス）

変圧器（トランス）は、発電機で発電した電圧を、接続先の電線の電圧と同等にするための設備である。変圧器（トランス）は、ケーシング、コイル、ケイ素鋼板、放熱器、絶縁油、樹脂などから構成される。

③連系用スイッチギア

連系用スイッチギアは、高圧配電線を開閉したり事故時に保護したりするために必要な遮断器やヒューズ等を格納した装置。連系用スイッチギアは、筐体、遮断器、ヒューズ、リレー、UPS、表示灯などから構成される。その他、制御盤や送電ケーブルなども系統連系を行うための部品として必要である。

(2) その他付帯設備

①遠隔監視装置

風力発電機の建設地は、市街地から遠く離れた場所であることが多く、現場での監視・制御は非常に困難である。したがって、風力発電事業者が遠方で監視できるよう、遠隔監視装置が必要となる。遠隔監視装置は、サーバー、モニタ、UPS、クライアント PC および各種センサーやカメラで構成される。

②冷却装置

冷却装置は大きく増速機冷却系と発電機冷却系にわかれ、それぞれ異なる仕組みで冷却が行われているため、別々の表にとりまとめた。

表 2.1-15 冷却装置の特徴（増速機冷却系）

項目	内容	備考
機能	増速機から発生する熱の冷却	増速機の熱：ベアリングの摩擦や潤滑油の循環や攪拌によるもの
仕組み	発生した熱を潤滑油が吸収し、潤滑油ポンプで熱交換器に送られ、熱交換器によってナセル外部の空気に熱放散し、再び増速機に戻る	—
求められる性能	塩分を含んだ空気を遮断する工夫	外気の導入から排気までを、ナセル内の空気とは独立した移送系統として確保

表 2.1-16 冷却装置の特徴（発電機冷却系）

項目	内容	備考
機能	発電機から発生する熱の冷却	発電機の熱：回転子、固定子に巻かれたコイルからの発熱
仕組み	空冷式：ナセル外部の空気を冷却ファンで発電機内部に導入 液冷式：発電機の外周に不凍液等の冷媒を通して熱を吸収し、熱交換器によってナセル外部に熱放散	—
求められる性能	塩分を含んだ空気を遮断する工夫	外気の導入から排気までを、ナセル内の空気とは独立した移送系統として確保

③その他付帯設備

その他の付属品として代表的なものを例示する。落雷対策のための部品と通信関係の部品、各種計測器やセンサーが主なものである。

表 2.1-17 その他の付属品（例）の名称と機能

項目	機能・設置場所
避雷針	風車本体への雷直撃を避けるため、ナセル上部のローターと逆側に取り付けられる
風向・風速計	ナセル上部に取り付け、風向と風速を計測し、制御装置に伝達
避雷導体	ブレード内部に埋め込まれる場合がある
カーボンブラシ	ロータおよびヨーの回転部に付属する場合がある
サージ保護デバイス	主回路、制御線、通信線に過電圧保護
シールドケーブル/光ファイバ	通信線への誘導ノイズ対策
氷結センサー	着雪・着氷状況を検知

2.1.3 浮体の部品構成

浮体式風力発電の浮体部分は、基本的に「浮体本体」、「係留索」、「艀装品」、「アンカー」の4つの構成要素からなる。風車と異なり、比較的新しい技術である浮体には様々な種類（形式）があり、現在それぞれの技術の実証がなされている。本項では、福島復興・浮体式ウィンドファーム実証研究事業で採用されている技術および部品を中心に概説する。

(1) 浮体の種類

①スパー型

スパー型は、垂直方向に伸びた単一の浮力体の大部分を水没させる形式の浮体である。単純な円筒形状のため生産性が高く、コストダウンの可能性が高い。また、復元力に富み、転覆しにくい構造となっている。一方で、タワー・風車の取り付けをドック・岸壁で行うことが困難なため、組み立てに工夫を要する。福島県における実証事業の他、ノルウェーの Statoil 社が 2009 年に開始した Hywind プロジェクトでも 2.3MW のスパー型が採用されている。

②セミサブ型

セミサブ型は、複数の浮力体から構成され、所定の喫水まで沈めて半潜水状態となる形式の浮体である。タワーや風車をドックまたは岸壁搭載可能で、施工性に富む。また、石油開発等でも世界的に実績のある方式である。一方、製作に広大な敷地を要し、かつ構造が複雑なため、生産性に課題がある。また、大波高時の復元性損失にも注意が要る。福島県における実証事業の他、ポルトガルの Principle Power 社と EDP 社が 2011 年に開始した Windfloat プロジェクトの 2MW 風車にて採用されている。

(2) 浮体本体

各構成要素は複数の部品および素材（二次部品）から構成されている。

表 2.1-18 浮体の部品構成

構成要素	部品	二次部品（素材）
浮体本体	コラム	鋼鉄
	ロワーハル	鋼鉄
	ブレース	鋼鉄
	バランスウェイト	コンクリート等
	ヒープレート	鋼鉄

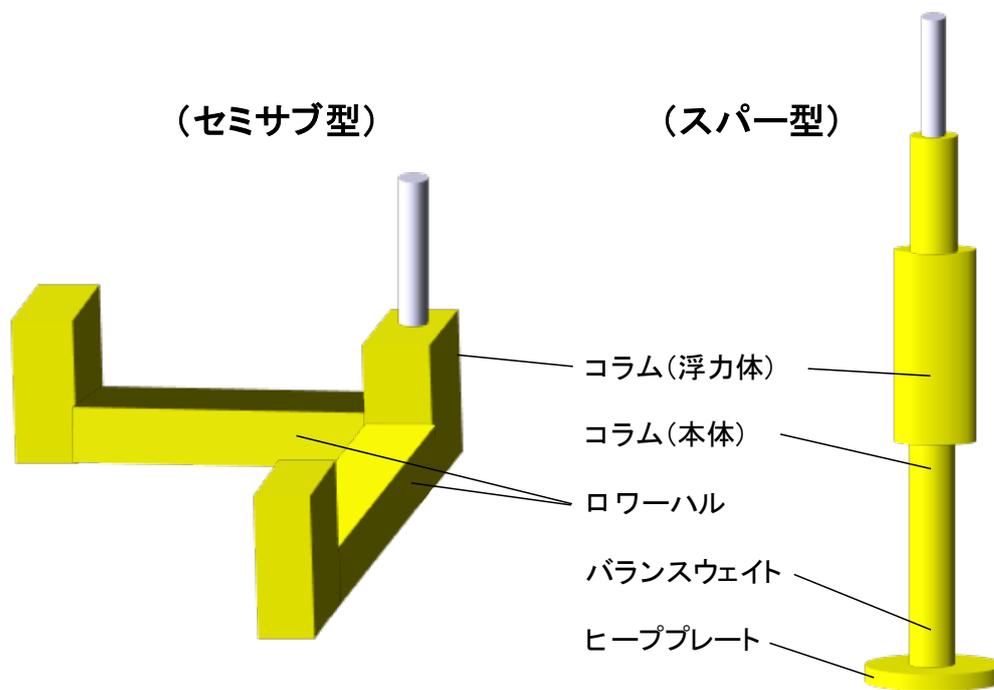


図 2.1-4 浮体本体の代表的な部品構成

浮体本体を構成する主要な部品に関する概要は以下の通りである。

①コラム

コラムは浮力を生み出すための筒状の部品。基本的に鋼鉄の部材で作られ、内部は空洞となっている。スパー型は1つ、セミサブ型は一般的に3~4つのコラムを有する。

②ロワーハル

セミサブ型において、複数のコラムを連結する長尺状の部品。完全没水が基本で、この浮力によって構造全体を支持している。

③ブレース

セミサブ型において、コラム間を連結する筋違構造の部品。

④バランスウェイト

浮体の重量のバランスをとり、安定を保つためにコラムの底部に積む重量物。多くの場合バラストタンク内に注入された海水やコンクリートが用いられる。

⑤ヒーププレート

スパー型のコラムの最下部に設置される平面上の部品。浮体の上下方向の動揺を低減させる効果がある。

(3) 係留索（係留チェーン）

浮体は波や風、潮流により漂流力を受けるため、係留索により設置された位置に留める必要がある。浮体の係留方法は、緩係留と緊張係留に分けられる。

緩係留は浮体の運動を拘束しない方法で、波による周期の短い浮体運動を抑えることは主たる目的にしていない。緩係留の代表的なものに、カタナリー係留が挙げられる。これは、係留チェーンの自重によって復元力を得る方式で、福島県沖のプロジェクトおよび、Hywind プロジェクトにおいて採用されている。

緊張係留は、鋼管や剛性の高い係留部材を用いて浮体を海底に設置した基礎に繋ぐ方法であるが、現時点でフルスケールでの実証はなされていない。

浮体式洋上風力発電に適用する係留システムでは、船舶用チェーンに比べて使用条件が厳しいため、より高い耐久性が求められる。福島県沖の浮体風車では、 $\phi 125\text{mm}$ スタッド付チェーンが使用されている。1つの鎖の重量は 250kg となっている。基本的にチェーンは太くするほど全体の長さを短くすることができるが、鎖が大きすぎると操作性が損なわれる。また、海洋構造物用のチェーンは一本鎖である必要があり、製造には高度な技術力およびライセンスが要求される。

チェーンの製造方法は次の通りである。まず、製鉄所で作られたチェーン丸棒を所定の長さに切断する。次に、材料を $650\sim 750^{\circ}\text{C}$ に加熱し、環状に曲げる。さらに、通電時の電氣的な熱を使用して鉄を溶接するフラッシュバット溶接という方法により接合する。その上で、「バリ取り」と呼ばれる溶接部に突出した部分を削る作業を行う。最後に、鍛造品のスタッドを圧着し、整形する。



図 2.1-5 福島沖の浮体式洋上風力発電における係留チェーン

(出典) 福島洋上風力コンソーシアム

(4) 艀装品

艀装品は、浮体に取り付ける器具および物品のことである。具体的には、階段・手すり・タンク・鋼製扉、ハッチ、パイプ、梯子等多岐にわたる。ここでは、船舶・浮体特有の艀装品の例としてチェーンストッパとフェアリーダーについて記述する。

表 2.1-19 浮体の部品構成

構成要素	部品
艀装品	チェーンストッパ
	フェアリーダー
	その他

①チェーンストッパ

チェーンストッパは、係留チェーンを根止めし、浮体本体に直結するための部品である。

②フェアリーダー

フェアリーダーは、係留チェーンを導くための部品であり、突起型もしくは、ローラーによって構成される。三井造船製の 2MW 風車の浮体では、直径 4m、高さ 1m の円柱型で、総重量 20t のフェアリーダーが設置されている。

(5) アンカー

アンカーは浮体に取り付けられた係留索を海底に固定するための部品である。海洋の浮体構造物で使用されるアンカーは国際的なライセンスが必要であり、福島県沖のプロジェクトでは、浮体メーカーはいずれも欧州企業のアンカーを採用している。

シンカーは、アンカーと同じく係留索の先端に取り付けられる重量物で、係留索が絡まないようにアンカーを海底に沈めるための部品である。

表 2.1-20 浮体の部品構成

構成要素	部品
アンカー	アンカー
	シンカー



図 2.1-6 福島沖の浮体式洋上風力発電におけるアンカー
(出典) 福島洋上風力コンソーシアム

2.2 風力発電機の国内サプライチェーン

2.2.1 風力発電機器の国内サプライチェーン

(1) 風力発電機の製造と部品調達

①主要大型風力発電機メーカーと工場立地

国内で 2MW クラスの風力発電機を製造できるのは三菱重工業、日立製作所、日本製鋼所の 3 社のみである。日立製作所は、これまで富士重工業の製造した風力発電機の販売代理店であったが、2013 年に同社の風力発電部門を吸収合併し、自ら製造するようになった。これを受けて、富士重工業の宇都宮工場から撤退し、現在は日立工場で製造している。

表 2.2-1 大型風力発電機メーカーと工場立地

主要風力発電機メーカー (業種)	工場立地
三菱重工業 (重電メーカー)	横浜工場 (神奈川県) 長崎工場 (長崎県)
日立製作所 (重電メーカー)	日立工場 (茨城県)
日本製鋼所 (鉄鋼メーカー)	室蘭工場 (北海道)

(2) 部品調達方法概要

風力発電機メーカー各社は、主要部品の大半を外部から調達し組み立てているものの、一部の部品については自社で製造している。自ら製造している部品としては発電機やコンバータなどが挙げられる。また、細かな部品については、自ら調達する場合と EPC 事業者が調達する場合がある。細かな部品の調達については、組み立て地 (需要地) 近辺で調達する可能性もある。

調達した部品を組み立てる場所は、工場あるいは需要地近傍が候補となるが、洋上風力発電機のように風力発電機が大型になるほど、組み立て後の輸送が困難になるため、需要地付近で組立ができる土地や建屋があることが望ましい。

(3) 外部調達する部品のサプライヤー選定条件

外部調達に際しては、精密さが求められる部品であるほど、認証が取得されているかどうかを判断基準にするケースがある。認証取得を基準とする理由は、技術力があることの裏づけになるためである。精密さが求められる部品 (増速機、発電機、各種軸受等) は、先進国から調達する傾向にあり、特に軸受などは日本企業が強みを持つ。

また、鉄鋼品やブレード等の大型で重量のある部品は、輸送費と人件費や土地代等の兼ね合いで、どこから調達するかを考えることになるが、現状では日本で風力発電機を作る場合、中国や韓国が主要な調達先となっている。ブレードについてはこれら二国に加え、ベトナムからも調達されている。

なお、風力発電機の部品そのものではないが、一部の部材では熱処理加工という金属の強度を高めるための処理が必要となり、これは主として外注される。

2.2.2 主要部品の製造と部品調達

(1) ブレード

①主要ブレードメーカーと工場立地

大型風力発電機のブレードを日本国内で製造することができるのは、風力発電機メーカーのうち二社（日本製鋼所、三菱重工業）とジーエイチクラフトの計三社である。

ブレードメーカーは、ブレードと同じFRP製のハブカバーやナセルハウジングも製造可能であると推察される。

表 2.2-2 ブレードメーカーと工場立地

主要ブレードメーカー (業種)	工場立地
日本製鋼所 (鉄鋼メーカー)	室蘭工場（北海道）
三菱重工業 (重工メーカー)	横浜工場（神奈川県） 長崎工場（長崎県）
ジーエイチクラフト (重工メーカー)	御殿場工場（静岡県）

②ブレード調達方法とサプライヤー選定条件

日立製作所が製造する風力発電機のブレードは中国製のものである。また、日本製鋼所は自社製のブレードを用いている。三菱重工業は、自社でブレードを製造可能だが、現在、単価を抑えるために中国製のブレードを採用している（ただし、海外の風力発電機メーカーは自社でブレードを生産しているケースも多い）。

ブレードの価格差が生じる主な要因は、人件費と土地代である。FRPを用いたブレード生産は労働集約的なので人件費の割合が高くなっており、これを抑えるためには海外の安価な労働力を必要とするケースも多い。また、2MWクラスのブレードで長さ35~45m、重さ6~8トン（いずれも一枚当たり）なので、製造には広大な土地が必要となり、土地代が安い地方や途上国での製造が望ましいとされる。

なお、FRPは化学品を使って製造する素材であるため、化学物質の規制が厳しい場所では新たに製造を開始するのは難しいと考えられる。

③ブレード部品の調達方法

ブレードの主要部品であるFRPは、日本の化学メーカー・樹脂メーカーの得意分野である。ただし、日本メーカーが特に得意とするのはガラス繊維強化プラスチック（GFRP）ではなく炭素繊維強化プラスチック（CFRP）であり、より高級な素材である。この素材は、現在では、ブレードの桁に使われることが多いが、将来的には、ブレードの外側であるシェル部分に用いられるようになって見られている。GFRPや樹脂については特に、アジアのメーカーの台頭が目覚しく、CFRPについてもアジアのメーカーでの生産も始まっていることから、日本でコスト・品質優位に製造することは難しくなっている。

日本の主な炭素繊維メーカーと樹脂メーカーは次の表の通りである。

表 2.2-3 主な炭素繊維メーカーと工場立地

主要繊維メーカー (業種)	工場立地
三菱レイヨン (化学メーカー)	大竹事業所 (広島県)
東レ (化学メーカー)	石川工場 (石川県) 愛媛工場 (愛媛県)
東邦テナックス (化学メーカー)	三島事業所 (静岡県) 揖斐川事業所 (岐阜県)

表 2.2-4 主な樹脂メーカーと工場立地

主要樹脂メーカー (業種)	工場立地
東レ (化学メーカー)	石川工場 (石川県) 愛媛工場 (愛媛県)
東邦テナックス (化学メーカー)	三島事業所 (静岡県) 揖斐川事業所 (岐阜県)

(2) 軸受 (ベアリング)

①軸受 (ベアリング) メーカーと工場立地

大型風車の部品には多くの軸受が使われており、それらは軸受メーカーにより供給されている。軸受はどの部位に使われるものかに拠って、一次部品になるものと二次部品になるものにわかれるため、軸受メーカーも一次部品メーカーと二次部品メーカーの両方の性格を持っている。

軸受メーカーは国内にジェイテクト、NTN、日本精工の大手三社があり、これらの企業は海外からも高い評価を受けている。

表 2.2-5 軸受メーカーと工場立地

主要軸受 (ベアリング) メーカー (業種)	工場立地
ジェイテクト (軸受メーカー)	国分工場 (大阪府)
NTN (軸受メーカー)	宝達志水工場 (石川県) 桑名工場 (三重県) 三重工場 (三重県)
日本精工 (軸受メーカー)	藤沢工場 (神奈川県)

②軸受調達方法とサプライヤー選定条件

一次部品としての軸受 (ベアリング) は、主軸ベアリング、ピッチ旋回ベアリング、ヨー旋回ベアリングなどである。これらは、風力発電機の中でも最も重要な、発電機能とローターやナセルの制御機能を担う軸受であるため、高品質と高い信頼性が求められる。このため、日本や欧米などの先進国の製品を用いることが基本である。

二次部品としての軸受（ベアリング）である増速機や発電機、減速機等に用いられる軸受についても同様であり、やはり日本や欧米などの先進国の製品を用いることが基本である。海外にも大手軸受メーカーが3社あり、日本の大手3社を加えた6社のシェアが非常に高いものとなっている。

③軸受部品の調達方法とサプライヤー選定条件

国内の軸受メーカーの部品や材料の海外調達率は非常に低く、高い品質を保持するために高品質の部品・材料を日本国内で調達している。また、部品だけでなく、金属の強度を高めるための熱処理加工も国内メーカーに外注している。

(3) 歯車機械（増速機・減速機）

①主要歯車機械（増速機・減速機）メーカーと工場立地

現在の風力発電機の主流は、二次巻線型誘導発電機である。したがって、ローターの回転を、増速機を用いて増加する必要がある。また、ピッチ制御装置およびヨー駆動装置の電動式のものには減速機が含まれており、この減速機も歯車機械の一種であり、増速機と部品構成や仕組みに共通する部分がある。したがって、これらの機械は同じメーカーが製造可能な場合が多い。

日本の主要な歯車機械メーカーは現在3社程度であり、中でも石橋製作所は最も風力発電機向け増速機の実績が多い。

表 2.2-6 歯車機械メーカーと工場立地

主要増速機メーカー (業種)	工場立地
石橋製作所 (歯車メーカー)	直方工場 (福岡県)
住友重機械工業・セイサ (重機メーカー・歯車メーカー)	横須賀製造所 (神奈川県) ※現在製造停止中
三井三池製作所 (重機メーカー) [今後本格生産を目指す]	神奈川事業所 (神奈川県) 九州事業所 (福岡県)
コマツ (重機メーカー) [すでに事業を売却]	小松工場 (石川県)

②増速機調達方法とサプライヤー選定条件

石橋製作所は、国内企業で最も納入実績が多く、国内外の主要風車メーカーから声がかかる。GEも、一部、石橋製作所から増速機を調達している。増速機は基本的に精密さが要求される部品であるため、先進国のメーカーで実績を多く保有している会社に声がかかることが多い。減速機も同様に、先進国のメーカーで実績を多く有する会社に声がかかる。

③増速機部品の調達方法とサプライヤー選定条件

外部調達する主な部品は軸、軸受、ケーシング（鋳造品）である。増速機メーカーは規格への適合や大量生産への対応、コストなどを部品メーカーに要求しており、この要求についてく

ることができる部品メーカーが発注先となる。各部品は種類ごとに異なる会社が発注し、同じ部品を複数社に発注することは少ない。増速機用軸受は大きさ 30cm-50cm のものが複数種類、数十個必要であり、表面に特殊コーティングが必要とされる。

また、部材加工の一部も外注しているケースが多い。たとえば、熱処理加工業者であるオーネックスやネツレンなどへの外注などが挙げられる。主要金属製品の強度を上げるための熱処理加工を担っているのがこれらの企業である。

なお、増速機の主軸ディスク、潤滑システム内の清浄度フィルター、一部のベアリングは海外製が主流であるが、その他の部品は国内製が主流である。

(4) 発電機

①主要発電機メーカーと工場立地

国内の主要な発電機メーカーは以下の通りである。

表 2.2-7 主要発電機メーカーと工場立地

主要発電機メーカー (業種)	工場立地
日立製作所 (重電メーカー)	日立工場 (茨城県)
三菱重工業 (重工メーカー)	長崎工場 (長崎県)
明電舎 (電機メーカー)	太田工場 (群馬県)
東芝三菱電機産業システム株式会社 (TMEIC) (電機メーカー)	府中事業所 (東京都) 京浜工場 (神奈川県) 長崎事業所 (長崎県) など
安川電機 (電機メーカー)	行橋事業所 (福岡県)

②発電機調達方法とサプライヤー選定条件

信頼性を要する部品のため、日本・欧米や韓国などの先進国で製造する。ただし、一部の欧米メーカーは中国にも拠点や現地法人を持ち始めており、その場合、中国からの調達でも一定の品質が保証されていると捉える風力発電機メーカーもあり、競争環境は激化している。

③発電機部品の調達方法とサプライヤー選定条件

発電機部品は、発電機メーカーが鋼材を購入し自社で加工するケースと、完成した部品を外注先から購入するケースがある。某発電機メーカーでは、70%程度の部品を外注先から調達している。風力用発電機専業ではない発電機メーカーの場合、外注先の選定については、過去に自社の他製品で取引があったところが優先される傾向にある。風力発電機の市場が活況ではない現状では、風力発電機用部品のために新たに取引先を探すのはコストが大きい。コスト低減の方向に動いていることは確かなので、市場の拡大が見え始めれば、一定の品質を満たした企業は、コストと納期の対応能力によって新たに取引をする余地があると思われる。

具体的な部品の調達状況としては、たとえば、発電機用軸受は大きさ 50cm 程度のものが 2

個必要であり、いずれも高い精度が求められる。さらに、絶縁するためにセラミックコーティングされている場合も多い。これらの軸受も主軸受同様に日本を含む先進国の大手 6 社から調達される場合が多い。

(5) 電気機器

①主要電気機器メーカーと工場の立地

コンバーター、インバーター、スイッチギア、変圧器などの電気機器の主要国内メーカーは以下の通りである。会社によって扱っている製品が異なることに留意が必要である。工場は様々な場所に立地しており、必ずしも風力発電機メーカーの近傍には立地しているわけではない。

表 2.2-8 主要な電気機器メーカーと工場立地

主要電気機器メーカー (風車関連の主要製品)	工場立地
日立製作所 (コンバーター、インバーター)	日立工場 (茨城県)
明電舎 (コンバーター、インバーター等)	太田工場 (群馬県)
TMEIC (周波数変換装置、無効電力保証装置)	府中事業所 (東京都)、京浜工場 (神奈川県)、長崎事業所 (長崎県) など
安川電機 (コンバーター)	行橋事業所 (福岡県)
富士電機 (スイッチギア、変圧器等)	神戸工場 (兵庫県) 千葉工場 (千葉県) など
利昌工業 (変圧器のみ) (スイッチギア、変圧器等)	尼崎工場 (兵庫県) 滋賀工場 (滋賀県)

②電気機器調達方法とサプライヤー選定条件

これらの電気機器は、いずれも精密さと信頼性を要する機器のため、日本・欧米や韓国などの先進国で製造されたものを用いることが多い。ただし、一部の欧米メーカーは中国にも拠点や現地法人を持ち始めており、その場合、中国からの調達でも一定の品質が保証されていると捉える風力発電機メーカーもあり、競争環境は激化している。

(6) 機械装置・油圧装置

ピッチ制御装置やヨー駆動装置、ディスクブレーキなどを作る、機械装置・油圧装置メーカーのうち主要な企業を以下に示す。それぞれの企業に得意な製品・部品があり、ピッチ制御装置、ヨー駆動装置、ディスクブレーキのすべてを製造できる企業はあまり見られない。風力発電機のタイプによって必要となる部品が異なるのもこの装置に関する特徴である。

表 2.2-9 主要な機械装置・油圧装置メーカーと工場立地

主要機械装置メーカー (風車関連の主要製品)	工場立地
ナブテスコ (機械装置・油圧装置等)	垂井工場 (岐阜県) 津工場 (三重県) 等
豊興工業 (油圧装置)	岡崎工場 (愛知県)
日本ロバロ (旋回輪)	羽咋工場 (石川県)
曙ブレーキ (ブレーキ)	山形県、福島県、埼玉県、岡山県に事業所 (子会社) を保有
日本ムーグ (ピッチ制御装置 (電機式・油圧式))	平塚工場 (神奈川県)

素材、鍛造、歯車工作技術、熱処理など様々な技術に長けた企業が、二次部品メーカーとして上記のメーカーから発注を受ける。また軸受メーカーも二次部品メーカーとなる。

(7) 鉄鋼・鋳物

風力発電機の多くの大型部品は鉄鋼、鋳造品である。鉄鋼の成型加工品として、ナセル台板 (後部)、タワー、アンカー、主軸が挙げられる。また、主な鋳造品としてローターヘッド、ナセル台板 (前部) が挙げられる。各部品は求められる強度や性質によって様々な合金鋼を材料としている。

また、増速機や発電機などの部品の二次部品も鉄鋼・鋳物である場合が多いため、鉄鋼・鋳物メーカーは二次部品メーカーとしての役割も果たす。以下に、国内の主な鉄鋼・鋳物メーカーを示す。

表 2.2-10 主な鉄鋼・鋳物メーカーと工場立地

主要鉄鋼・鋳物メーカー (業種)	工場立地
日本製鋼所 (鉄鋼メーカー)	室蘭工場 (北海道) 等
日本鋳造 (鋳物メーカー)	川崎工場 (神奈川県) 秋田工場 (秋田県) 等

現在、コスト競争力が低下しているため、国内鋳物メーカーは減ってきている。したがって、海外、特に中国や韓国からの輸入による調達が多い。しかし、輸送費との兼ね合いによっては国内での製造可能性もゼロではないと風力発電機メーカーは考えている。

以上より、風力発電機のサプライチェーンの整理図を次ページに示す。



図 2.2-1 風力発電機のサプライチェーン

2.2.3 浮体の国内サプライチェーン

現在、浮体式風力発電は世界的に見ても実証段階にあり、浮体の量産化は行われていない。前述のとおり、浮体は船舶と同様に、鉄板を加工して作ったブロックの組み合わせにより製造される。国内の浮体メーカーは、基本的にブロックの製造から組立は自社内で行い、艀装品のみ外注を行っている。

(1) 浮体の製造と組立

現在国内で浮体を製造しているメーカーは4社程度存在しているが、いずれも実証段階のため、量産化は行われていない。また、各社浮体の方式や製造方法は異なる。

福島県沖のプロジェクトで2MWの浮体風車を担当した三井造船の浮体は、同社の市原造船所のドックで製造を行っている。艀装品以外は基本的に外注を行わず、市原造船所において、鋼材の加工・組立を行っている。鋼材は日本海事協会の認証を受けた会社の材料を使用しており、本浮体については新日鐵住金から調達している。なお、艀装品については、多くを外注しており、日本海事協会の認証を受けた製品を使用している。外注先としては、国内外の企業があり、フェアリーダーやアンカー、チェーンストッパ等の特殊な技術や設備が必要な艀装品については、東南アジアから調達をしている。

同じプロジェクトで7MW風車の浮体を製造した三菱重工業は、同社の長崎造船所のドックにて製造を行っている。この浮体は、V字型の1辺が106m(くの字に置いた時の幅は80m弱)、コラムの高さが86mであるため、製造可能なドックは、幅100m、長さ1kmの長崎のドックに限定される(同程度の規模のドックは日本では全部で3つしか存在しない)。三菱重工業も三井造船と同様に、鋼板の加工・組立は基本的に自社(長崎工場)で行っており、風車タワーと浮体の連結部(円状の部材)のみ同社の神戸工場で行っている。この連結部の部材は、厚さ80mmの板を直径9.7mの真円に曲げる必要があり、技術的に可能な工場が国内外ともに非常に少ないのが現状である。因みに、これよりも小さいサイズであれば、中国と韓国において製造可能な工場が多数存在する。

表 2.2-11 浮体製造メーカー

浮体メーカー	工場立地
三井造船	市原事業所(千葉県)
三菱重工業	長崎造船所(長崎県)
ジャパンマリンユナイテッド	磯子工場(神奈川県)等
日立造船	堺工場(大阪府)等

(2) 量産化を見据えた場合の浮体サプライチェーン

将来的に、浮体風車が量産された場合、鉄板の加工およびブロックの製造は外注される可能性がある。ブロックの最小単位でも一辺が5メートル程度あるため、曳航費用等を考慮した場合、製造場所は浮体風車の建設場所付近が望ましい。

①浮体の製造と組立

1) 組立場所

浮体を構成する部品（ブロック）の組立を行う浮体メーカーは、量産化に際し、風車需要地の付近に拠点を設けることが望ましい。風車の組立場所が設置地点から離れていると、数億円～数十億円の曳航費用が発生するためである（曳航距離によって大きく異なる）。

2) 浮体の構造

浮体を量産化する際、浮体の構造についても製造を簡易化する工夫が必要となる。例えば、鋼材の「曲げ」が必要な部品の場合、技術的かつ設備的に対応できる鉄工所が限定されるため、可能な限り鋼材を曲げずに製造可能な形状で設計することが必要となる。また、重量が大きく複雑な形状にすると、規模の大きな造船所の中でしか製造できないため、量産化が困難になることにも留意する必要がある。

3) 組立方法

浮体の最終組立は、現在のような造船所のドックではなく、需要地近くの平地を利用し、クレーンなどを用いて行うことが望ましい。造船所のドックを使用して浮体製造を行う場合、次の3つのデメリットが存在する。まず、製造が大型のドックを有する大企業に限られるため、製造コストが割高になる。次に、ドックサイズ等の面から、製造場所に制約が発生する。最後に、一定規模以上のドックが存在する場所から需要地までの曳航費用が必要となる。

以上のことから、浮体の組立は需要地付近の平地を利用すべきであるが、必要な広さや各部品や装置の配置図については、浮体メーカーの中では現時点では検討段階にある。なお、平地での組立の場合、超大型のクレーンやジャッキアップ装置などの機材の調達が課題となる。

②主要な外注部品

浮体式洋上風車の需要地付近で浮体メーカーが最終組立を行う場合、周辺地域の鉄工所において鋼材からブロックを製造し、集積する仕組みが、現地の風車産業の活性化のために重要である。ただし、このような地元での浮体製造において、鉄工所の処理能力や技術（組立精度）は異なるため、安定的な供給体制や品質の維持が課題となる。また、鋼材や艀装品については現状のサプライチェーン同様に外注が必要である。

3. 福島県の産業構造の分析

風力発電関連産業集積の検討をするに当たり、関連事業を実施するための基礎的なポテンシャルの把握を目的に、ここでは県内の産業構造の整理を行う。

3.1 県内企業の現状分析、産業構造

平成 25 年度の県内総生産（名目）は約 7.3 兆円であり、その内、製造業が約 1.6 兆円、サービス業が約 1.3 兆円となっている。

全国と福島県の経済活動別（産業別）GDP の構成比（福島県は 2012 年度）を図 3.1-1 に示す。福島県は、全国と比べて、鉱業、製造業および電気・ガス・水道業の GDP に占める割合が高い。製造品出荷額等の増加、東日本大震災により運転停止していた発電所が復旧・本格稼働したことから、前年と比べて製造業や電気・ガス・水道業などで総生産が増加している。

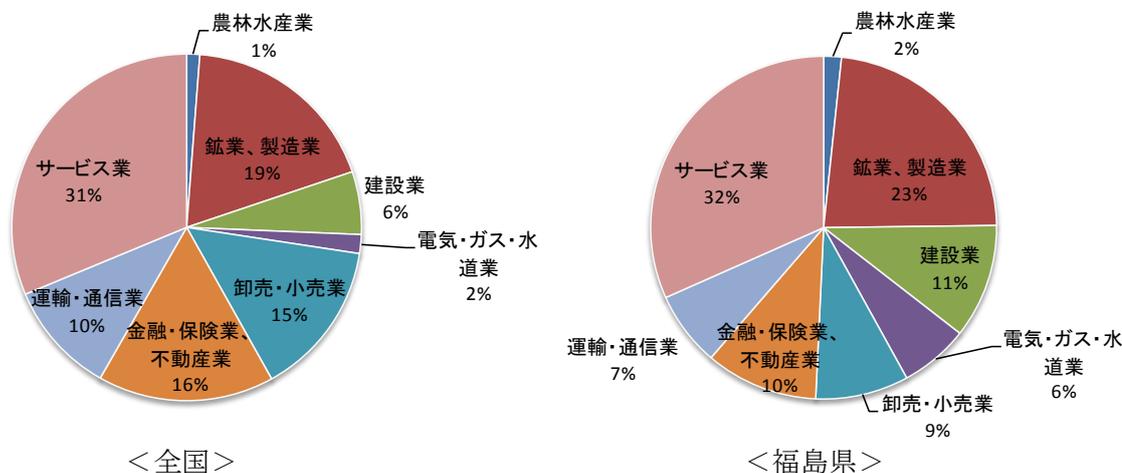


図 3.1-1 全国と福島県の産業構造（2013 年度 GDP 比）

（出典）内閣府「2013 年度国民経済計算」、福島県統計課「平成 25（2013）年度 福島県県民経済計算の概要」より作成

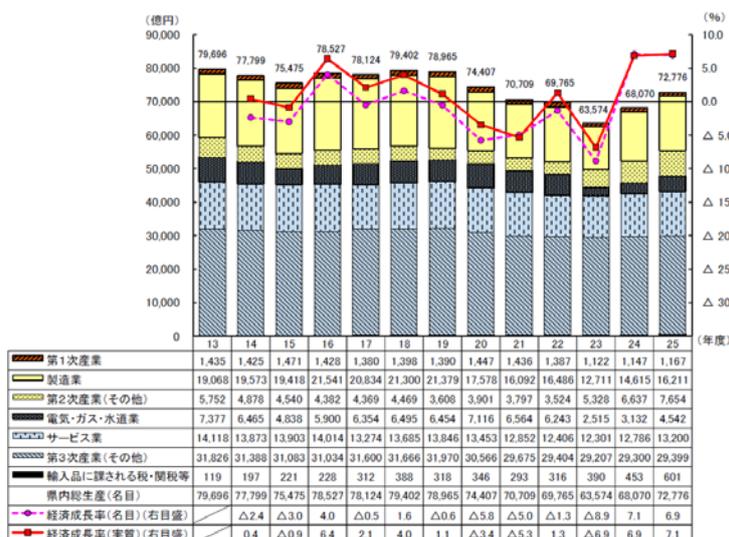


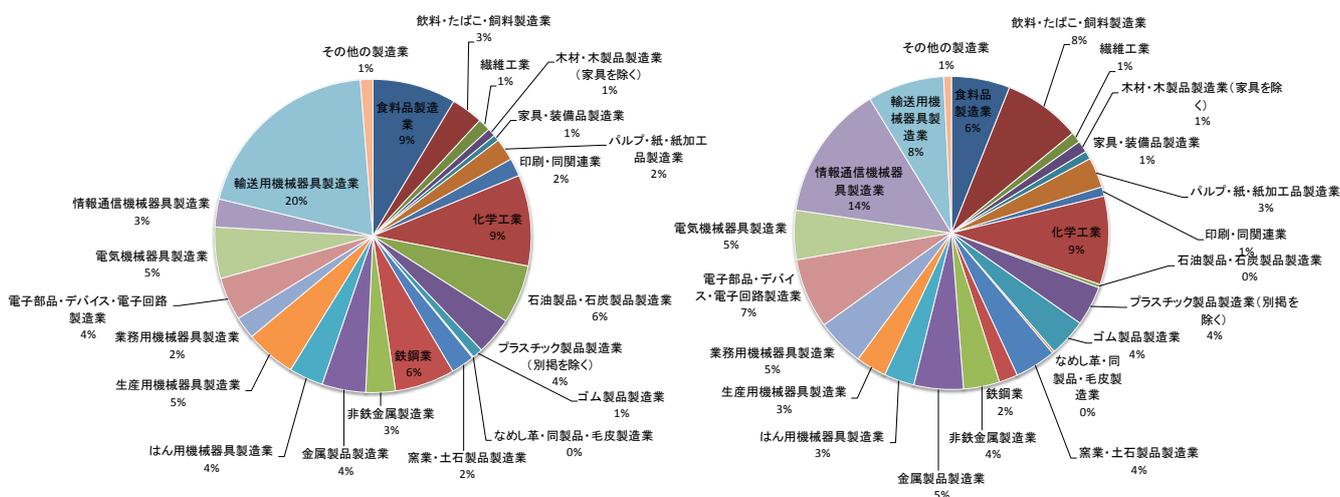
図 3.1-2 産業別県内総生産（名目）の推移

（出典）福島県「平成 25（2013）年度福島県県民経済計算（早期推計）の概要」

次に、製造業における製造品出荷額の構成比について、図 3.1-3 および図 3.1-4 に示す。

福島県の製造業は、「情報通信機械器具製造業」の割合が高く、次いで「化学工業」、「電子部品デバイス電子回路製造業」の順である。特に「情報通信機械器具製造業」は全国の構成比と比較して非常に高く、全国の情報通信機械器具製造業の製造品出荷額の 7.9% を占めており、福島県を代表する産業となっている。電子部品・デバイス電子回路製造業の割合が高いことも特徴となっている。

風力発電に関連する業種としては、「鉄鋼」、「金属製品」、「はん用機械器具」、「電子部品・デバイス」、「電気機械器具」等が挙げられる。鉄鋼業は全国と比較して低く、優位にあるとはいえない。



<全国>

<福島県>

図 3.1-3 全国と福島県の製造品出荷額 (その 1)

(出典) 経済産業省 「工業統計」、福島県企画調整部統計課編 「平成 25 年工業統計調査結果報告書」より作成

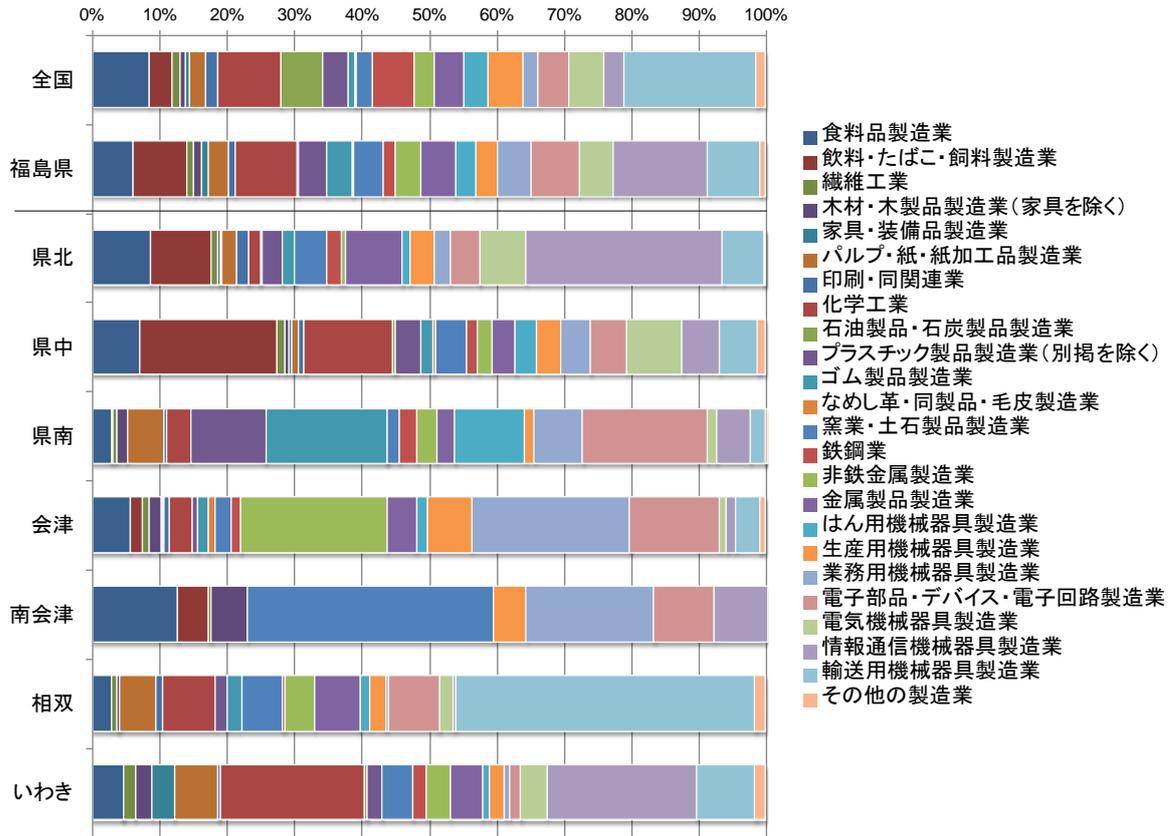


図 3.1-4 全国と福島県の製造品出荷額（その2）

（出典）経済産業省「工業統計」、福島県企画調整部統計課編「平成25年工業統計調査結果報告書」より作成

表 3.1-1 事業所数、従業者数、出荷額の状況

	事業所数		従業者数		出荷額(万円)	
		構成比		構成比		構成比
福島県合計	3,832	100%	150,818	100%	476,250,808	100%
食料品製造業	508	13%	16,116	11%	28,742,489	6%
飲料・たばこ・飼料製造業	87	2%	1,705	1%	38,055,439	8%
繊維工業	343	9%	7,558	5%	5,239,147	1%
木材・木製品製造業(家具を除く)	143	4%	2,415	2%	5,684,487	1%
家具・装備品製造業	92	2%	2,152	1%	4,025,148	1%
パルプ・紙・紙加工品製造業	81	2%	3,266	2%	14,793,538	3%
印刷・同関連業	146	4%	2,914	2%	4,545,999	1%
化学工業	101	3%	7,595	5%	43,365,905	9%
石油製品・石炭製品製造業	22	1%	184	0%	1,696,290	0%
プラスチック製品製造業(別掲を除く)	225	6%	7,989	5%	19,389,469	4%
ゴム製品製造業	57	1%	5,582	4%	18,556,401	4%
なめし革・同製品・毛皮製造業	42	1%	1,082	1%	1,092,416	0%
窯業・土石製品製造業	236	6%	7,185	5%	20,184,173	4%
鉄鋼業	61	2%	2,642	2%	9,201,941	2%
非鉄金属製造業	60	2%	3,980	3%	17,721,112	4%
金属製品製造業	374	10%	10,366	7%	24,213,018	5%
はん用機械器具製造業	110	3%	5,282	4%	14,924,514	3%
生産用機械器具製造業	300	8%	8,476	6%	14,955,954	3%
業務用機械器具製造業	131	3%	8,828	6%	23,363,169	5%
電子部品・デバイス・電子回路製造業	182	5%	13,091	9%	34,410,954	7%
電気機械器具製造業	168	4%	7,881	5%	24,084,102	5%
情報通信機械器具製造業	114	3%	12,240	8%	66,604,708	14%
輸送用機械器具製造業	115	3%	10,131	7%	37,588,393	8%
その他の製造業	134	3%	2,158	1%	3,812,042	1%

（出典）経済産業省「工業統計」

3.2 風力発電関連産業につながる分野・技術の抽出

(1) 風力発電関連産業につながる技術

風力発電機の部品の多くは、高い信頼性や精密さが求められるため、簡単には参入できない場合が多く、既存のサプライチェーンに参入することは容易なことではない。また、大型の加工用機械やクレーン、広い作業エリアを必要とする場合も多く、これも簡単には主要部品の製造に参入しにくい要因となる。また、風車の部品によって、外注している部品の割合や、外注先に要求される技術は大きく異なる。表 3.2-1 に風力発電関連産業につながる技術を示す。

表 3.2-1 風力発電関連産業につながる技術

		鍛造	穿鑿 (せんさく)	熱処理	鑄造	鉄板加工 (切断、加工)	鉄板加工 (曲げ)	機械製造	化学品製造 (FRP等)	コンクリート 加工
浮体	本体					●				●
風車本体	ブレード								●	
	タワー					●	●			
	ナセル台板				●					
増速機	ケーシング				●					
	軸受	●	●	●						
	主軸ディスク									
	清浄度 フィルター									
	リングギア									
軸受	歯車	●	●	●						
	リング	●	●	●						
軸受	保持器	●	●	●		●	●			
	ケーシング				●					
変速機	軸受	●	●	●						
	その他加工部品							●		
	ケーシング				●					
発電機	軸					●				
	軸受	●	●	●						
	その他加工部品							●		
	ケーシング									
艀装品					●	●	●	●		

(出典) 浮体式洋上風力発電関連産業への市内事業者参入可能性調査

浮体は構成するブロックが大きいため、移動が難しい。そのため、建設場所付近で製造することが望ましい。また、高度な技術が要求されずコスト面が重視されている。浮体およびタワーのサプライチェーンには、鉄板加工技術があれば、参入できる可能性があるが、タワーは鉄板の曲げ加工を含むため、浮体に比較して技術的なレベルは高いとされる。ただし、コンクリートタワーを採用する場合には、十分参入の可能性はある。

艀装品については、様々な種類があるが、基本的に高度な技術が要求されず、コストが重要視されることが多い。表 3.2-2 に浮体製造に関連する業種の県内事業所数および従業者数を示す。

表 3.2-2 浮体製造に関連する業種の事業所数、従業者数、

中分類	細分類	事業所数	従業者数
船舶製造業	船舶製造・修理業	1	29
	船体ブロック製造業	1	5
	舟艇製造・修理業	2	32
	船用機関製造業	5	96
鉄鋼業	製鋼・製鋼圧延業	1	149
	鋼管製造業	1	19
	引抜鋼管製造業	3	166
	鋳鉄鋳物製造業	11	575
	可鍛鋳鉄製造業	1	100
	鋳鋼製造業	3	938
	鍛工品製造業	7	66

(出典) 経済産業省 工業統計

増速機は、歯車以外の加工部品は基本的に外注されている。歯車についても鍛造や穿鑿（せんさく）、熱処理等の一部の工程は社外で実施されている。増速機は GL 規格を満たすスペックが要求され、個々の部品に求められる技術レベルは高い。例えば、主軸ディスクや潤滑油装置内の清純度フィルターは、欧州の数社のみ製造技術を有している。

軸受は、歯車と同様に鍛造や穿鑿、熱処理工程について外注している。このうち、鍛造については要求される技術レベルが高く、国内で対応可能な企業は限定される。一方で、鍛造によって形作られたリングの形状をさらに整える穿鑿工程は、装置の能力に依存するため、技術者の能力はそれほど問われない。また、ある軸受メーカーでは、保持器については、内製を行わず、パートナー企業に完全に外注している。

変速機および発電機については、加工部品を中心に外注を行っている。外注条件には、要求スペックを満たす技術力が第一に挙げられる。なお、ケーシングについては、鋳造技術が必要となるが、近年国内には大型の鋳造品を製造できるメーカーが減少しており、海外から輸入するケースもある。

(2) 関連企業

県内産業を取り巻く環境の変化により、再生可能エネルギー分野への期待はこれまで以上に高まっている。

2012年7月に設立された「福島県再生可能エネルギー関連産業推進研究会」には500社を超える事業者が参加している。同研究会は、再生可能エネルギー分野において産学官連携によるネットワークを構築し、研究開発の推進や産業人材の育成により、再生可能エネルギー分野への進出を幅広く支援することを目的としたものである。このうち風力分科会の参加企業は、200社超（太陽光分科会など他分科会との重複を含む）と多くの事業者が風力発電産業に対して興

味を持っていることが分かる。

表 3.2-3 に県内の主な風力発電関連産業に携わっている事業者を示す。

表 3.2-3 主な県内風力発電参画企業

事業者	所在地	内容
北芝電機(株)	福島市	発電機・変圧器
会川鉄工(株)	いわき市	タワー（中型）
東北ネチ製造(株)	いわき市	特殊太径ボルト
大島工業(株)	三春町	風車（小形）
(株)ランプハウス	福島市	パワーコンバータ（小形）
(株)ニッターボー・エフアールピー研究所	郡山市	ブレード材料
(有)エイチ・エス・エレクトリック	喜多方市	パワーコンバータ（小形）
日本クリーンシステム(株)	小野町	風車用増速発電機（小形）

(3) 県内企業活用の可能性

前述のとおり、県内には風力発電関連産業に進出している企業もあり、また、風力発電関連産業への期待は大きいものとなっている。

一方で、産業分類から見ると、船舶製造業や鉄鋼業に分類される事業所は少なく、県内産業構造が風力発電産業と親和性が大きいとは言えない。また、例えば数百トン規模のクレーンなど大規模な設備を持つ県内企業はなく、大型の加工等を実施することは現状の設備では難しい。さらに、製造には広い作業エリアを必要とする場合も多く、設備面から見ても、大規模な風力発電産業の素地があるとは言えない。

しかし、(1)に記載した浮体製造、タワー製造や各種装備等を含む艀装品、その他交換部品のような2次構成部品、3次構成部品については、一定の技術力を有すれば県内企業参入のポテンシャルはある。特に、製造拠点と導入地点との近接さがコストに直結する浮体式洋上風力発電の導入が本格化するならば、その基本部品である浮体製造や、陸上風力発電の大量導入等の展開により必要となる交換部品、2次構成部品、3次構成部品等の製造に関しては、県内企業の活用が十分考えられる。

4. 産業集積のシナリオ

4.1 陸上風力発電

4.1.1 シナリオの基本的な考え方

陸上風力発電の産業集積化シナリオでは、第一に福島県内における風力発電導入量の拡大を図った上で、風車サプライチェーンに参入することを想定する。したがって、4.1.1において県内の風力発電導入量や企業動向、並びに福島県の施策動向を整理し、4.1.2にて、風力発電の更なる導入拡大および産業集積に向けた現実性の高いシナリオの検討を行う。

(1) 福島県の風力発電に関する動向

①風力発電の導入状況

1章で示したとおり、県内の風力発電導入規模は2015年時点で全国5番目の約160MWとなっている。また、合計24.8万kWが環境アセスメントを実施している状況にあり、今後の導入拡大が期待される。

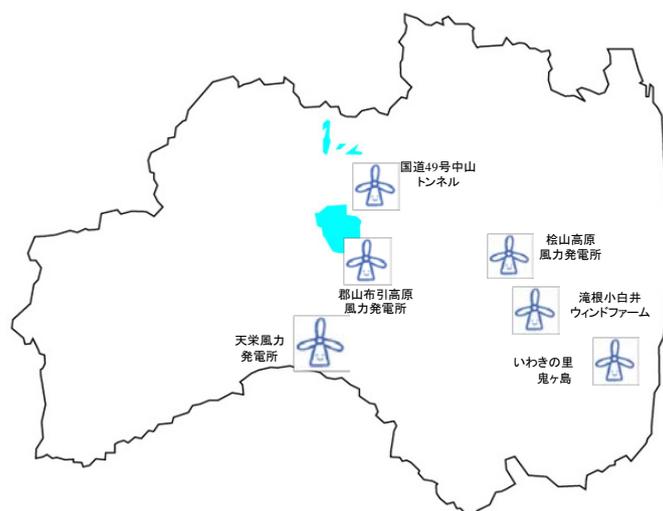


図 4.1-1 福島県において稼働中の風力発電所

(出典) 福島県産業創出課資料および福島県庁「福島県再生可能エネルギー推進ビジョン（改訂版）」をもとに作成

表 4.1-1 福島県における環境アセスメント実施プロジェクト

事業名	事業者	出力(kW)	場所
(仮称) 沢又山高原風力発電事業	沢又山風力発電株式会社	34,500	須賀川市、玉川村、平田村
(仮称) CEF 福島黒佛木ウインドファーム事業	クリーンエナジーファクトリー株式会社	65,000	川内村
(仮称) CEF 福島檜葉ウインドファーム事業	クリーンエナジーファクトリー株式会社	40,000	檜葉町
(仮称) 三大明神風力発電事業	株式会社ユーラスホールディングス	最大 54,000	いわき市
(仮称) 田人風力発電事業	株式会社ユーラスホールディングス	最大 36,000	いわき市、鮫川村
野馬追の里風力発電事業※	南相馬風力発電株式会社	9,400	南相馬市
万葉の里風力発電事業※	南相馬風力発電株式会社	9,400	南相馬市

※は条例適用除外事業

(出典) 環境省 環境アセス支援ネットより配慮書・方法書・準備書・評価書案件を抽出

(2) 福島県内企業の状況

「3.福島県の産業構造の分析」で記載したとおり、福島県の製造業は、「情報通信機械器具製造業」の割合が全国的に見ても高く、その他「化学工業」、「電子部品デバイス電子回路製造業」も盛んである。しかしながら、風力発電に関連する業種として該当する「鉄鋼」、「金属製品」、「はん用機械器具」、「電子部品・デバイス」、「電気機械器具」等については、全国と比較して割合が低く、優位にあるとはいえない。

一方で、表 4.1-2 に示すとおり、様々な県内企業が小～中規模の風力発電の関連部品製造に携わっており、今後さらに大型の風車のサプライチェーンへの参画が期待される。また、特殊技術が要求されない浮体の部品製造については、多くの製造業に参入の可能性があると考えられる。

表 4.1-2 主な県内風力発電参画企業（再掲）

事業者	所在地	内容
北芝電機(株)	福島市	発電機・変圧器
会川鉄工(株)	いわき市	タワー(中型)
東北ネチ製造(株)	いわき市	特殊太径ボルト
大島工業(株)	三春町	風車(小形)
(株)ランプハウス	福島市	パワーコンバータ(小形)
(株)ニッターボー・エフアールピー研究所	郡山市	ブレード材料
(有)エイチ・エス・エレクトリック	喜多方市	パワーコンバータ(小形)
日本クリーンシステム(株)	小野町	風車用増速発電機(小形)

(3) 福島県庁の取り組み

① 導入目標の設定

2012年3月に発表された「福島県再生可能エネルギー推進ビジョン」では、県内の一次エネルギー供給に占める再生可能エネルギー比率について、2020年度に約40%、2040年ごろに100%を目指すことが掲げられた。

このビジョンの中で、風力発電分野については2030年度で陸上風力2GWという意欲的な目標が掲げられている。これを受けて現在福島県では再生可能エネルギー導入推進連絡会において、風力発電をはじめとする再生可能エネルギーの導入促進施策の検討が行われている。

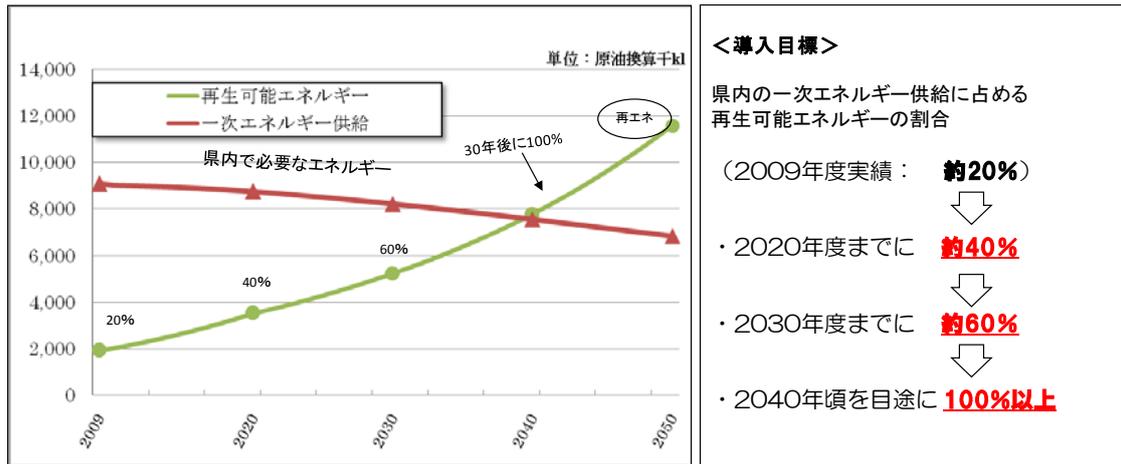


図 4.1-2 福島県における再生可能エネルギーの導入目標

(出典) 福島県産業創出課資料

種 類	2009年度実績		2020年度目標		倍率	2030年度目標		倍率
	原油換算	設備容量 (発電電力量) ^②	原油換算	設備容量 (発電電力量) ^②		原油換算	設備容量 (発電電力量) ^②	
再生可能エネルギー								
太陽光発電	9,298kl	38,874kW (41百万kWh)	239,175kl	1,000,000kW (1,051百万kWh)	25.7	478,349kl	2,000,000kW (2,102百万kWh)	51.4
太陽熱利用	11,262kl		33,786kl		3.0	50,000kl		4.4
風力発電	27,856kl	69,880kW (122百万kWh)	996,561kl	2,000,000kW (4,380百万kWh)	35.8	1,993,122kl	4,000,000kW (8,760百万kWh)	71.6
うち洋上風力発電	0kl	0kW (0百万kWh)	597,936kl	1,000,000kW (2,628百万kWh)	—	1,195,873kl	2,000,000kW (5,256百万kWh)	—
水力発電	1,598,280kl	3,973,490kW (7,025百万kWh)	1,608,326kl	3,980,690kW (7,069百万kWh)	1.0	1,634,360kl	4,000,000kW (7,183百万kWh)	1.0
うち小水力発電	20,091kl	14,400kW (88百万kWh)	30,136kl	21,600kW (132百万kWh)	1.5	55,807kl	40,000kW (245百万kWh)	2.8
地熱発電	77,732kl	65,000kW (342百万kWh)	80,522kl	67,000kW (354百万kWh)	1.0	281,030kl	230,000kW (1,235百万kWh)	3.6
うち地熱バイナリー発電	0kl	0kW (0百万kWh)	2,790kl	2,000kW (12百万kWh)	—	41,856kl	30,000kW (184百万kWh)	—
バイオマス発電	75,390kl	66,360kW (331百万kWh)	408,989kl	360,000kW (1,798百万kWh)	5.4	568,040kl	500,000kW (2,497百万kWh)	7.5
バイオマス熱利用	123,760kl		150,084kl		1.2	200,000kl		1.6
バイオマス燃料製造	597kl		2,985kl		5.0	29,850kl		50.0
温度差熱利用	175kl		1,750kl		10.0	3,500kl		20.0
雪氷熱利用	29kl		290kl		10.0	580kl		20.0
計	1,924,379kl	4,213,604kW (7,861百万kWh)	3,522,467kl	7,407,690kW (14,651百万kWh)	1.8	5,238,830kl	10,730,000kW (21,777百万kWh)	2.7
一次エネルギーに占める割合	21.2%		40.2%			63.7%		
一次エネルギー供給 ^③	9,087,228kl		8,747,117kl		1.0	8,219,734kl		0.9
二酸化炭素削減量 ^④	5,841,872t-CO ₂		9,228,863t-CO ₂			11,725,739t-CO ₂		

図 4.1-3 福島県における再生可能エネルギーの導入目標

(出典) 福島県庁「福島県再生可能エネルギー推進ビジョン (改訂版)」(2014年3月)

②再生可能エネルギー関連産業推進研究会

福島県では、再生可能エネルギー分野の研究開発推進や産業人材の育成により、再生可能エネルギー分野への進出を幅広く支援することを目的とした福島県再生可能エネルギー関連産業推進研究会が発足した。具体的な活動内容としては、再生可能エネルギー関連産業の集積・育成等に関するセミナーの開催、再生可能エネルギー関連メーカーとのマッチング、関連技術情報の共有化とホームページ等による情報発信等が挙げられる。

本研究会は風力、太陽光、バイオマス、スマートコミュニティの4つの分科会が設置されており、風力分科会には200を超える企業および団体が会員となっている。

③福島再生可能エネルギー研究所との連携

福島県では、国立研究開発法人産業技術総合研究所（AIST）が再生可能エネルギーに関する研究拠点（福島再生可能エネルギー研究所）を郡山市に設置し、2014年4月に開所した。同研究所では、風力発電、太陽光発電、水素等の再生可能エネルギーに関する最先端の研究開発が実施されている。また、2014年3月には県とAISTとの間で連携・協力に関する協定を締結しており、研究開発、人材育成、情報発信等の観点から、図4.1-5に示す10のプロジェクトを展開することとなっている。



図 4.1-4 福島再生可能エネルギー研究所の全体風景

(出典) 産業技術総合研究所福島再生可能エネルギー研究所ホームページ

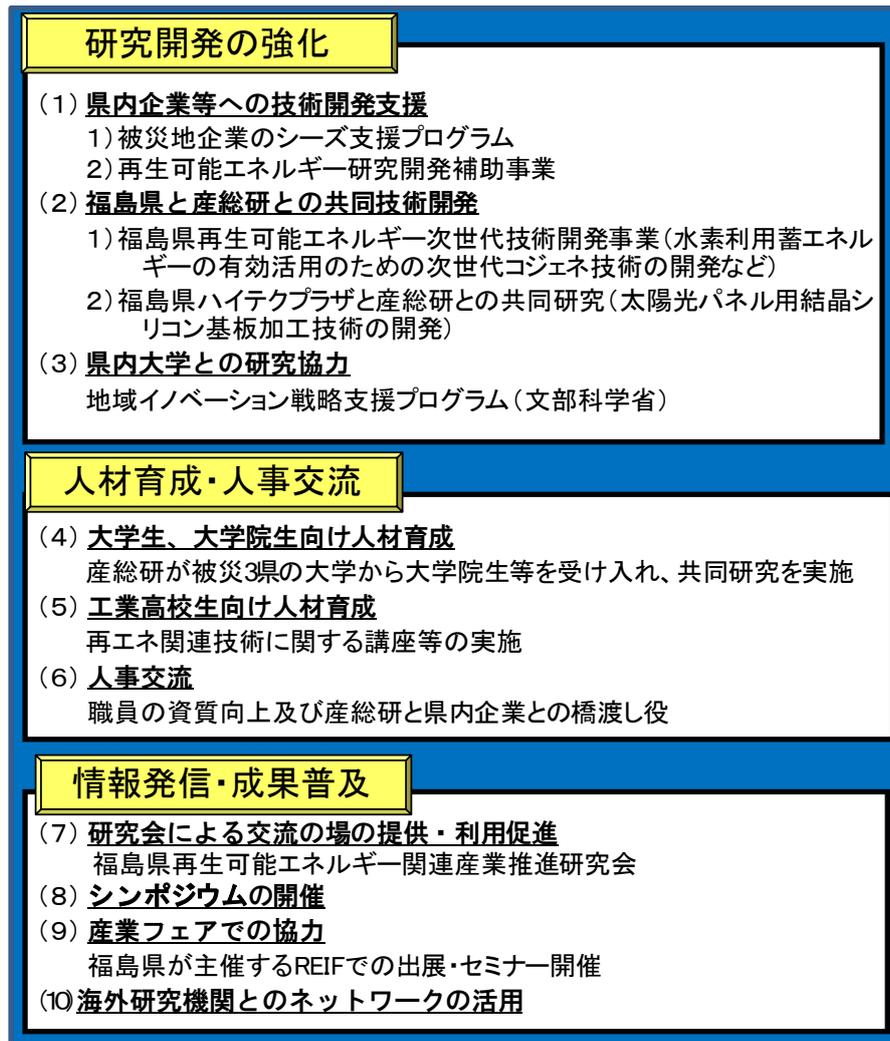


図 4.1-5 福島再生可能エネルギー研究所と福島県における 10 の連携プロジェクト
(出典) 福島県産業創出課資料

④系統接続問題への対応

1 章で述べたとおり、国内における風力発電の導入拡大の最大のボトルネックの 1 つに系統連系の問題が挙げられる。2012 年に開始された固定価格買取制度による太陽光発電導入量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。これにより福島県においても、東北電力管内への接続が限定されることになった。したがって、福島県内において風力発電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が鍵であり、県による関係機関への積極的な働きかけが行われていた。その結果、2015 年 1 月、資源エネルギー庁は次ページに示すような福島県内の再生可能エネルギー接続に関する特別対策を発表するに至った。

表 4.1-3 資源エネルギー庁による News Release（一部抜粋）

題名「福島における再生可能エネルギーの導入拡大に向けた取組を促進します」

1. 福島県内にある東京電力の送変電設備の活用

本日、東京電力に福島の復興に寄与する再生可能エネルギー発電事業の接続のために、新福島変電所の必要な改修工事を実施するとともに、現在使用していない送電線を活用できるようにすることについて、その具体化を要請しました。

東京電力の系統に接続し、また発電設備、蓄電池や送電線等の導入にあたり下記支援措置と併せて活用することを通じ、再生可能エネルギー発電事業の推進を図ります。

2. 再生可能エネルギー発電設備、送電線や蓄電池等の導入・実証の支援

本日閣議決定された平成 26 年度補正予算案により、下記の支援を措置します。

- (1) 福島県全域(下記(2)の地域を除く)における、自治体と連携し地域の復興に寄与する再生可能エネルギー発電事業について、発電設備、蓄電池・送電線等の導入を支援。

補助率: 発電設備 1/10、蓄電池・送電線等 1/3

(注) 岩手県及び宮城県の津波浸水地域においても同様に措置

- (2) 福島県の避難解除区域等における、発電事業の収益の一部を復興活動に活用する再生可能エネルギー発電事業について、発電設備、蓄電池・送電線等の導入を支援。

補助率: 発電設備 1/10*、蓄電池・送電線等 2/3

* 福島県内に本社を有する中小企業等については 1/5

- (3) 基幹系統に大規模蓄電池を設置して行う、再生可能エネルギーの受入可能量を拡大するための実証を支援。

3. 避難解除区域等における優先的な接続枠の確保

本日、東北電力に避難解除区域等の復興に寄与する再生可能エネルギー発電事業に対し、蓄電池の活用や接続枠を確保しているにも関わらず事業開始に向けた取組が進まない案件の接続枠の解除等により、系統における優先的な接続枠の確保を図ることを要請しました。

東北電力の系統への接続を可能とし、上記支援措置と併せて活用することで、避難解除区域等のうち新福島変電所への接続が困難な地域における、再生可能エネルギー発電事業の推進を図ります。

(出典) 資源エネルギー庁「News Release」(2015年1月9日)より作成

今回の決定により、東京電力が新福島変電所の改修を行い、原子力発電所用の送電線を再生可能エネルギー用として活用できることになった。また、避難解除区域等を対象に東北電力の系統に大型蓄電池が導入され、再生可能エネルギーの接続が促進されることも併せて発表された。

したがって、福島県における最大のボトルネックであった系統接続問題は解決される見通しであり、風力発電導入量の拡大に関する下地が整った状況にあると言える。

(4) シナリオの方向性

以上を踏まえ、福島県における陸上風力発電における関連産業の集積化シナリオを検討する。陸上風力発電に関する産業集積を達成するためには、県内で安定的かつ継続的に陸上風車の導入が行われることが第一条件となる。したがって、本シナリオでは、まず陸上風車導入促進施策を実施し、導入量の拡大を踏まえた上で、福島県内企業の陸上風力発電関連産業への参画を

目指すものとする。

風力発電関連産業への参画について、欧州の事例のような風車関連産業の集積のためには、風車メーカー等の工場誘致が有力な選択肢として挙げられる。しかしながら、国内メーカーへのヒアリングによると工場を新設するためには、年間 100 基程度の需要が必要であり、現状の国内市場規模を鑑みると、短期的には困難と考えられる。また、増速機や軸受をはじめとする主要な風車部品は特殊技術が必要な上、強固なサプライチェーンが確立しており、参入は容易ではないと推察される。

したがって、福島県内企業が参画可能と想定される陸上風力発電関連産業は次の 3 つと想定される。まず 1 つ目は風車建設関連産業、2 つ目は風車メンテナンスにおける交換部品産業、3 つ目は風車メンテナンス産業である。次節より具体的な内容を示す。

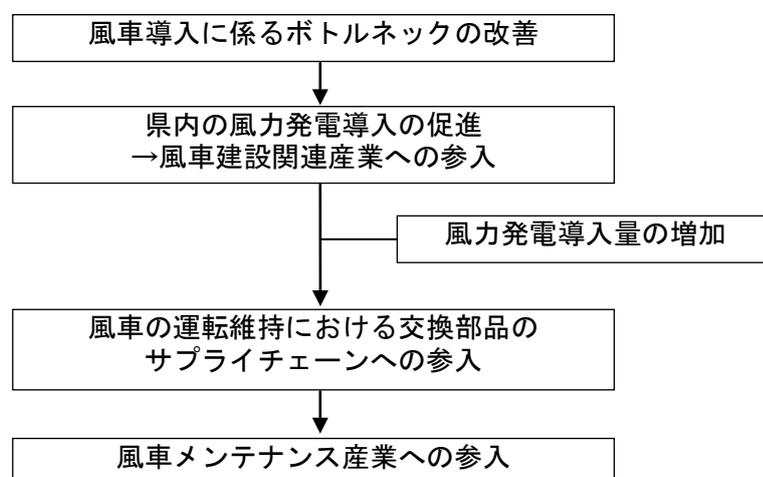


図 4.1-6 シナリオの基本的な考え方

4.1.2 シナリオの検討

(1) 福島県における風力発電導入促進施策

①風力発電導入促進施策

新福島変電所の改修に伴い、これまで風力発電の導入が限定的であった浜通り地区および中通り地区の事業環境が大幅に改善されることとなった。しかしながら、これらの地域は風況にばらつきがある上、変電所への接続し易さも一様ではない。したがって、風力発電導入促進施策の一環として、県主導のゾーニングを実施することが求められる。

その際、風況適地の対象範囲の下限値を 5m/s まで広げてゾーニングを行うことが望ましい。これまで風力発電事業を実施可能な風速の最低ラインは 6m/s 程度といわれていたが、最近 GE 120 シリーズをはじめ 5m/s 程度の低風速でも 30%近い設備利用率を達成可能な風力発電機が存在する。そのため、高風況地域が限定的と言われている浜通り地区でも、5m/s 以上を対象範囲とすることで相当の面積が事業候補地になる可能性が高い。

また、現在発電事業者にとって環境アセスメントに係る人的コストおよび期間がハードルの一つになっているため、ゾーニングと併せて県主導の環境アセスメント調査を実施することは、

県内の風力発電導入量の迅速な拡大に直結すると推察される。

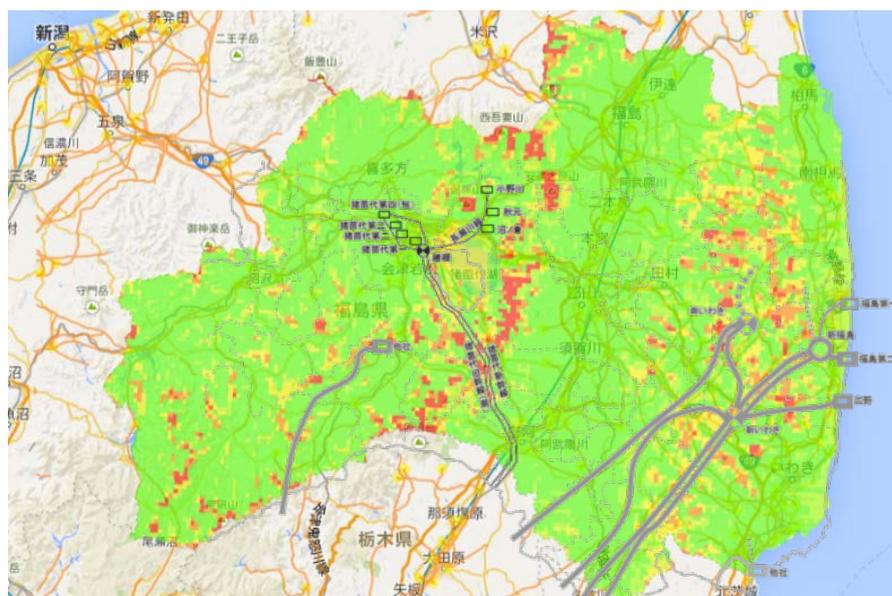


図 4.1-7 福島県における風力発電ポテンシャルマップと東京電力送電線

(出典) 福島県庁「福島県再生可能エネルギーデータベース」および東京電力ホームページより作成

②風力発電設備導入に伴う地元企業の参画

風車が導入されるに当たり、土木建築に関する工事は地元の企業が全面的に担うことができる。したがって、今後県内の風力発電導入量が増加することは地元企業の活性化に繋がる可能性が高い。

なお、現時点では、浜通り地区および中通り地区における風力発電導入可能量は 10 万 kW 程度と言われているが、一部の有識者によると低風速型の風車を用いれば 180 万 kW 程度のポテンシャルが存在するとしている。そのため、県による早急な適地調査が望まれる。

風力発電設備の建設に当たり、今後新たに 180 万 kW の風車が導入されると仮定した場合の県内の土木建設業への経済波及効果の推計結果を以下に示す。風車の建設コストには幅があるが、福島県の企業が全ての工事を担当すると仮定した場合、1,440 億円～2,160 億円程度の経済効果が生まれることが推算された。

表 4.1-4 陸上風車の建設時における県内の土木建設業への経済波及効果

前提条件	新規風車導入量	180 万 kW
	建設コスト	20 万円～30 万円/kW(※1)
	うち風車本体比率	60%(※2)
	うち工事費等	30%(※2)
	工事費のうち地元企業が担う割合	100%
推計結果	工事費	1,440 億円～2,160 億円

※ 1 経済産業省「第 3 回調達価格等算定委員会」(2012 年 3 月)より引用

※ 2 日本風力発電協会「自然エネルギー白書(風力編)2013」(2013 年 3 月)より引用

(2) 発電事業者・地元企業に対する“提案型”事業公募の実施

前節で述べた風力発電に関する適地選定により、発電事業者が福島において風力発電事業を行う下地が整ったと言える。しかしながら、事業者が県外から風車設備を運び、設置するだけでは製造業に対する産業集積効果や経済効果を期待することは難しい。したがって、風力発電事業によって地元企業を活用するための仕組みが重要となる。

①実施内容

福島県の企業を活用するためには、風力発電事業適地における発電事業者を公募する際、県が「提案型」の事業公募の枠組みを作ることが重要である。

地域外から発電事業者のようなサービス供給者を募る際、地域内の企業の製品やサービスを有利にすることは、世界貿易機関（WTO）の「政府調達に関する協定」第3条「内国民待遇及び無差別待遇」に違反する。すなわち、福島県で風力発電事業者の入札を行うに当たり、福島県内企業が製造した風車部品の使用を条件付けることはできない。

そのため、事業者から発電事業に関する“提案”を募った上で、県が最も福島県全体にメリットのある事業者を選択する、という形式を採用する方式が有効と考えられる。以下に、風力発電事業者に期待する提案項目の例を示す。

1) 地元資本を一定割合投入すること

風力発電事業は、大手風力発電事業者と地元ファンド等のコンソーシアム形式が望ましい。具体的には、公募により採択されたコンソーシアムには、適地を分割した工区を各事業者に分ける方式が想定される。これにより各ウィンドファームで必ず一定割合地元が参画した風力発電設備を保証することが可能となる。また、大手風力発電事業者と共同で事業を実施することにより、運転管理についても安定性を確保することが可能と推察される。

2) 地元企業と最大限協力すること

風力発電事業者が風車を運転管理するに当たり、毎年のメンテナンス時に必要となる交換部品を極力福島県内企業から調達することが望ましい。メンテナンス時の交換部品とは、例えばネジやベアリング、歯車等が挙げられる。上述のとおり、発電機や増速機等の一次構成部品の製造への新規参入は極めてハードルが高いが、交換部品のような二次構成部品、三次構成部品については、一定の技術力を有する企業であれば参入可能性はあり得る。なお、風力発電事業者が県内企業に交換部品の発注を行うに当たり、技術情報を開示することができれば、福島県内企業の風車部品サプライチェーンへの参画はより円滑になると考えられる。

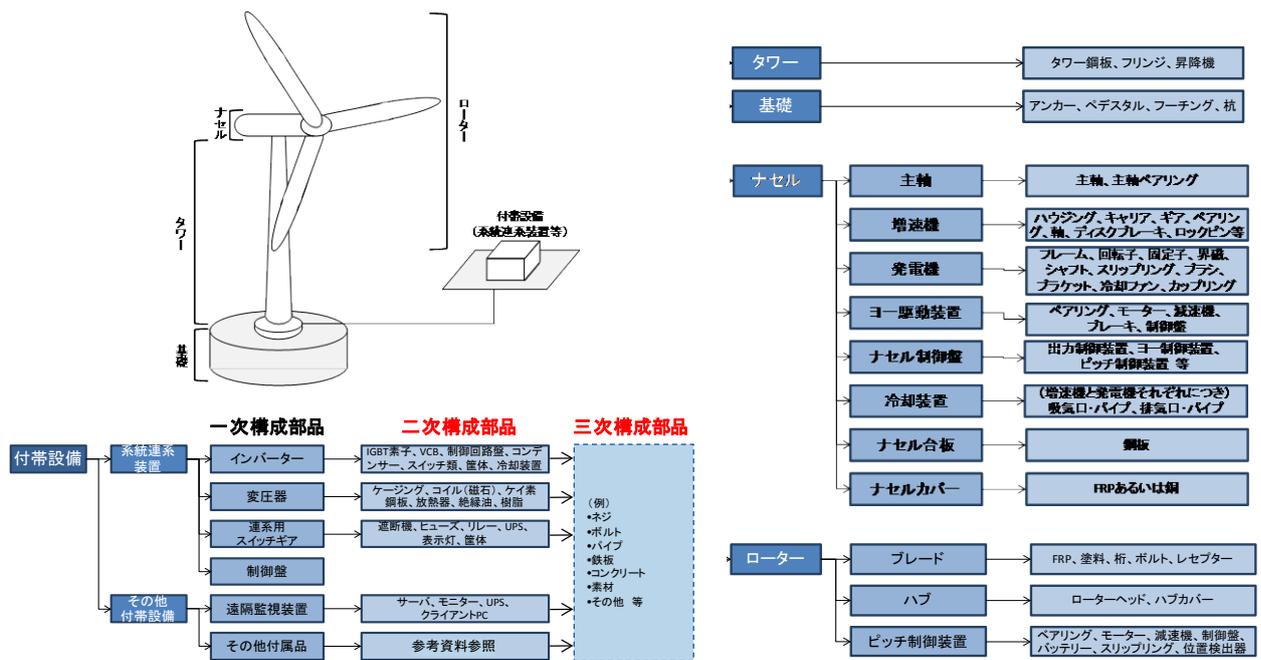


図 4.1-8 風力発電設備に関する部品構成

また、メンテナンスサービスについても地元企業および技術者との連携により実施することが望ましい。基本的に、風力発電事業では風車 30 基毎にメンテナンスサービスセンターが設置される。サービスセンターでは、4 名程度が在籍し、2 名が定期メンテナンス、2 名がトラブル対応を担当するのが一般的である。したがって、各パートの 2 名のうち 1 名について地元技術者を採用することは十分可能と考えられる。このように風車の運転管理において地元を活用することは、雇用創出の面だけでなく、後述するメンテナンス産業の育成の面からも重要と言える。

3) 風況条件に適した風車の導入

今後風力発電の導入が期待される浜通り地区および中通り地区では、新福島変電所等への系統アクセスが可能という利点がある一方で、一般的な採算性ラインといわれる風速 6m/s に満たない低風速地域が多く存在する。このような場所でも安定的な風力発電事業が実施できるためには、低風速型の風力発電機を採用するなど、風況条件に適した対応をすることが求められる。また、低風速でも発電可能な風車という軸を設定することは、風車メーカーを統一し、メンテナンス効率を高めることにも繋がる可能性が高い。

②経済効果

福島県内に今後目標値である 2GW の風力発電設備が導入されることを想定した場合の交換部品の市場規模を表 4.1-5 に示す。上述の 2GW 分の風車の維持管理に伴う交換部品を全て福島県内で調達すると想定した場合、約 13~51 億円の経済波及効果が発生することが推計された。

表 4.1-5 陸上風車の維持管理における交換部品産業に関する経済効果

前提条件	県内風車導入量	200 万 kW
	風車発電規模	2MW/機
	風車メンテナンス費	300 万円/年(※1) ~1,200 万円/年(※2)
	うち交換部品・消耗品割合	42.1%(※3)
推計結果	メンテナンス市場規模合計	30 億円~120 億円
	交換部品市場	約 13 億円~51 億円

※ 1 NEDO 「風力発電導入ガイドブック」(2008) より引用

※ 2 資源エネルギー庁調達価格等算定委員会資料(平成 24 年 4 月) より引用

※ 3 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) より引用

(3) メンテナンス産業の育成

福島県内の陸上風力発電の導入量拡大に伴い、それらを維持管理するためのメンテナンス需要が相応規模生まれると考えられる。このような風車メンテナンスに福島県内の企業および技術者が参入することで、安定かつ継続的な経済効果が発生すると予想される。以下に、具体的な実施内容を示す。

①実施内容

陸上風力発電に関する継続的なメンテナンス産業を創出するために重要となる施策案について以下に示す。

1) トレーニングセンターの設立

福島県において風車のメンテナンス産業を創出するためには、訓練用のトレーニングセンターを設立することが望ましい。ここで想定しているのは、メンテナンスに係る基礎的な技術を習得するためのセンターである。

現在は、国内の風車メンテナンスメーカーでは、各社独自に候補者を採用し、基礎的訓練→各メーカーの風車の専門技術の習得、という流れで技術者を養成している。しかし、高等専門学校等で技術に係る知識を習得した人材であれば 1 年程度で技術者として働くことができるのに対し、関連分野の経験を有していない人材の場合は、一般的に数年間に及ぶ訓練期間が必要となる。また、関連業界へのヒアリングによると、国内に導入されている風車約 2,000 台に対し、メンテナンスの技術者は数百人程度であり、技術者の需要が逼迫している状況にある。今後国内および福島県において風力発電設備の導入量が拡大していくにつれ、より技術者不足の問題が顕著になると考えられる。

したがって、風力発電のメンテナンス技術者の育成は今後の国内の風力発電市場を考える上で非常に重要であり、福島県において基礎的技術を習得するためのトレーニングセンターを設立することは、福島県内の継続的な産業育成の観点からも、県内外の風力発電市場の観点からも意義があると推察される。

同センターで基礎的な技術を習得した技術者は、その後県内の風力発電メーカーまたは発電事業者等に属し、これらの事業者が有するベテランのメンテナンス技術者と連携した OJT トレーニングを実施しながら、風車特有の専門的な技術を習得していくことが望ましい。一般的に、風車のメンテナンスは 2 人 1 組で実施されるため、そのうちの 1 名に上述の訓練センターを卒業した人材が活用されることが想定される。

ただし、施設の設立には大きなコストやリスクが伴うため、国内および県内の風力発電動向を鑑み、費用と生産性の観点から検討を行うことが必要である。

2) 県内の教育機関における人材育成

トレーニングセンターの設立の他、県内の教育機関において風力発電に関する教育体制を構築することも有効な施策の 1 つと考えられる。福島県内には福島大学や福島工業高等専門学校、福島県立テクノアカデミーをはじめとする複数の技術者教育機関が存在する。これらにおいて、ドイツのブレーマーハーフェンのように風力発電に関する講座を開講したり、風車の専門家を招聘し、若手人材の教育を施すことは県内における安定的な風車メンテナンス産業を育成する上で高い効果が見込まれる。ここで述べた風車技術に関する知識を習得した人材（学生）が、卒業後上述のトレーニングセンターで技術者としての訓練を受けるといった流れができることも想定される。

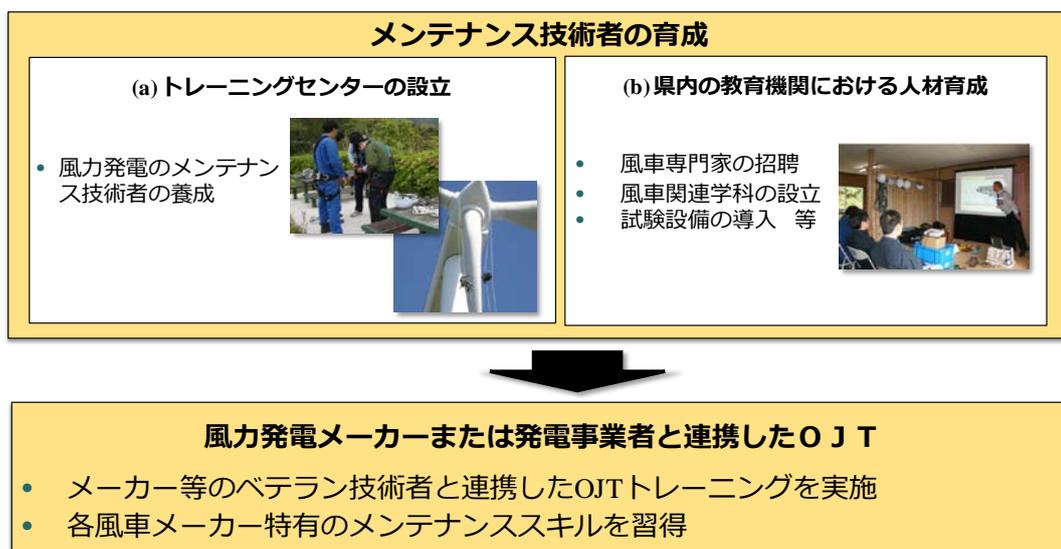


図 4.1-9 メンテナンス技術者の育成に関するイメージ

② 経済効果

今後、福島県内に目標値である 2GW の風力発電設備が導入されることを想定した場合のメンテナンスの市場規模を表 4.1-6 に示す。上述の 2GW 分の風車の維持管理に伴うメンテナンスを全て福島県内で担うと想定した場合、メンテナンス市場全体で、30 億円～120 億円程度、メンテナンス技術者の定期点検等に関する市場規模として、約 11 億円～42 億円の経済効果が発生することが推計された。

表 4.1-6 陸上風車の維持管理における交換部品産業に関する経済効果

前提条件	県内風車導入量	200 万 kW
	風車発電規模	2MW/機
	風車メンテナンス費	300 万円/年(※1) ~1,200 万円/年(※2)
	うち人件費割合	35.1% (※3)
推計結果	メンテナンス市場規模合計	30 億円~120 億円
	交換部品市場	約 11 億円~42 億円

※ 1 NEDO 「風力発電導入ガイドブック」(2008) より引用

※ 2 資源エネルギー庁調達価格等算定委員会資料(平成 24 年 4 月) より引用

※ 3 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) より引用

4.1.3 陸上風力発電シナリオ

以上の想定のもと作成した陸上風力発電のシナリオを図 4.1-10 に示す。それぞれの主体の今後の取り組みは、以下のとおりである。

(1) 福島県庁

2015 年度から次の検討を進めることが必要となる。

- ・ 県内における陸上風力発電の導入目標達成に向けたステップを明確化する。
- ・ 浜通り地区および中通り地区における開発計画を明確化するとともに、新福島変電所周辺地域のゾーニングと環境アセスメントを行う。
- ・ 福島県内の学術機関に対して風車の専門家の招聘について検討する。
- ・ 陸上風車メンテナンス訓練センターの設立支援に向けた検討を進める。

(2) 福島県内企業

2015 年度から次の検討を進めることが必要となる。

- ・ 福島県内に導入された風力発電設備の運転管理に関する交換部品の供給について、発電事業者と調整を図る(供給可能な部品に関する検討を行う)。
- ・ メンテナンス技術の習得に関して、発電事業者と調整を図る。

陸上風力発電産業集積シナリオ

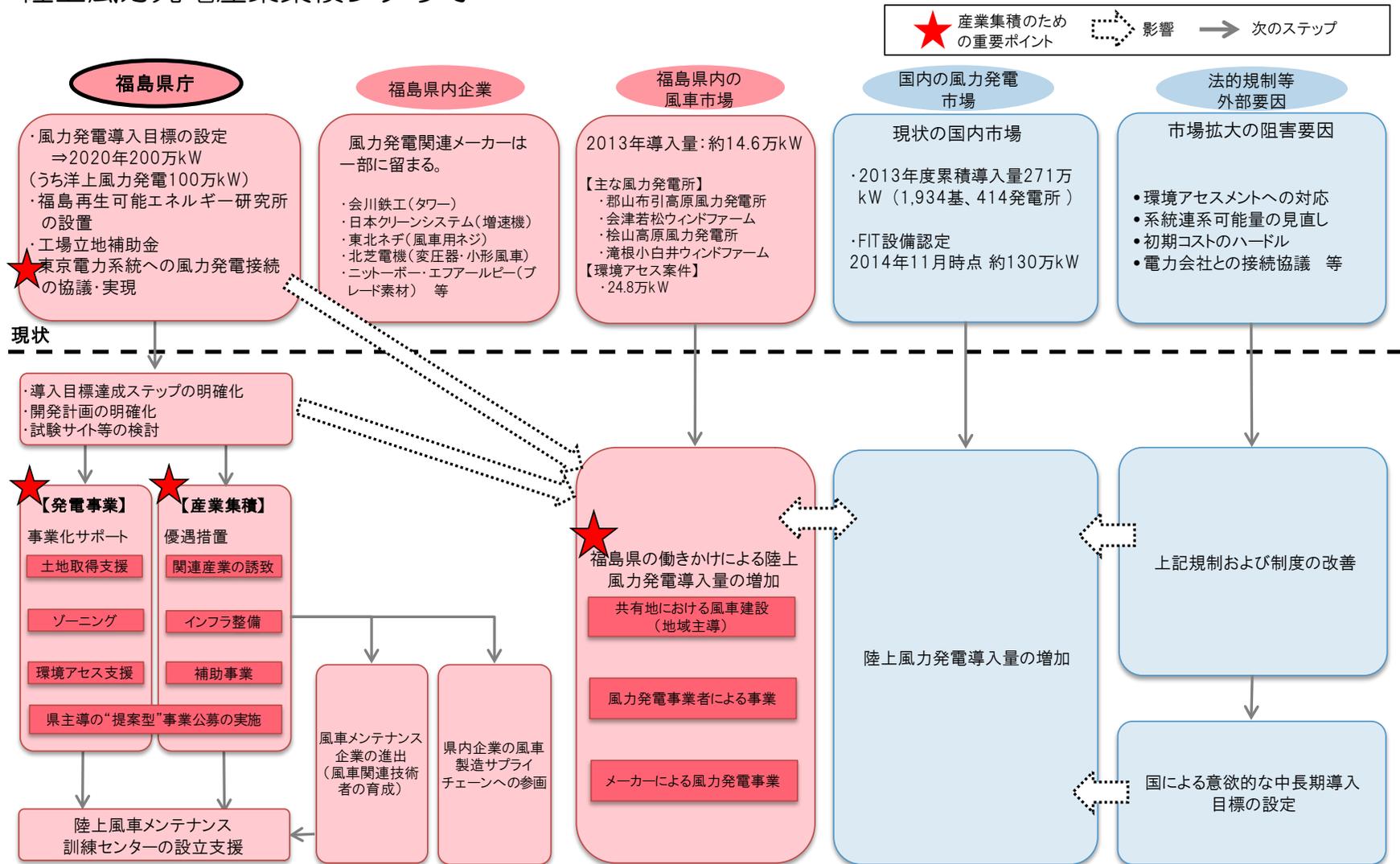


図 4.1-10 陸上風力発電のシナリオ

4.2 浮体式洋上風力発電

4.2.1 シナリオの基本的な考え方

1章に記載したとおり、浮体式洋上風力発電は実証段階の技術であり、これから商用化がなされていく段階の技術である。経済産業省「浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業」が福島県沖にて実施されているところであり、実証事業における知見をはじめとして、福島県は国内の他地域と比較してアドバンテージを有しているものである。

風力発電市場において県内企業が既存のサプライチェーンに参入することは、容易なことではない。一方で、浮体式洋上風力発電に関しては、浮体建造に使用される部品は大きく、また設置サイトへの曳航にも費用がかかることから、現地で浮体の製造、風車組み立てを行うことがコストの面でも望ましいことがわかった。

そこで、浮体式洋上風力発電のシナリオとして、以下のことを基本的な考え方として検討を行った。

- (ア) 2020年断面の姿として、商用浮体式洋上風車が福島県沖に導入されている
- (イ) プロジェクトは拡張段階で、浮体式洋上風車の導入が継続的に続く
- (ウ) 浮体の製造および風車浮体組み立てが福島県港湾で行われ、関連産業の集積が図られている

このうち(ア)を2020年の1つの目標として想定し、バックキャスト的に現実的か否かを事業者へのヒアリング等を通して検討を行った。

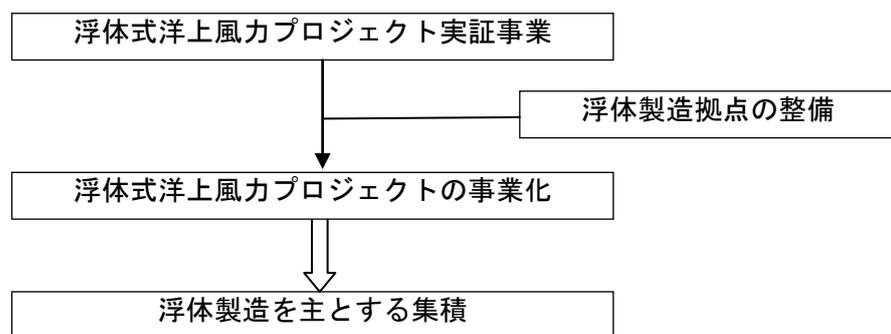


図 4.2-1 シナリオの基本的な考え方

4.2.2 シナリオの検討

(1) 浮体式風車が今後事業化するための条件

現在実施されている実証事業の終了後、福島県沖で浮体式洋上風力発電が事業化されるためにはどのような条件が必要となるかの整理を行う。

洋上風力発電の課題の一つは高コストである。経済産業省「浮体式洋上ウィンドファーム実

証研究事業」では、技術的な確立を行うとともに、安全性・信頼性・経済性について研究が進められているが、500億円近い予算（平成23年度第3次補正予算、平成25年度予算、平成25年度補正予算の合計）がつけられている事業であり、現状のコストレベルでは事業化することは出来ない。事業化を果たすには、同実証研究事業を通じて、一層の低コスト化への道筋をつけることが必要といえる。

以下に実証研究事業における主な課題を示す。

表 4.2-1 実証事業における主な課題

浮体製造にかかる主な課題	<ul style="list-style-type: none"> ・浮体のコンパクト化（使用鋼材の使用量の減少、コンパクト化に伴う制御コンセプト設計） ・浮体製造・設置の短期間化（現状条件より厳しい条件での設置可能な技術・設備） ・曳航の短縮化（製造拠点の最適化、曳航方法（国内大型曳航船が少ない、適切な曳航・航行安全））
海洋工事にかかる主な課題	<ul style="list-style-type: none"> ・外洋におけるアンカーチェーン・ケーブル敷設にかかるコスト（金属チェーンからワイヤーロープ、その他素材の使用） ・アンカーに求められる基準検討（浮体係留のための適切な把駐力の検討）
その他課題	<ul style="list-style-type: none"> ・漁業との共存策 ・メンテナンス、保険（アクセス船の高効率利用、予測技術の活用、適切なリスク評価） ・ウィンドファーム設計（サブステーションの必要性など）

風車が搭載される浮体は非常に大きいものであり、実証事業で7,000kWの風車が搭載される浮体に使われる鋼材は5,000tと使用される鋼材量も大きいものとなる。鋼材の使用量の減少、コンパクト化に伴う制御コンセプト設計などが浮体製造においては課題となる。

また、洋上風力発電は海上工事が必須であり、風車、浮体、海底ケーブル等の設置工事のコストは陸上風力発電と比較して数倍以上掛かる。日本国内の海洋土木建築工事事業者は、海洋石油開発を代表とするような外洋における工事経験が少ない。浮体式洋上風力の設置サイトとなる海域での経験が蓄積していないため設置コストが掛かることに加えて、大型の海洋工事に適する工事船がないことも課題となる。また、設置した後においても、維持管理およびメンテナンスでは設置サイトへのアクセスが海象条件などで制限されてしまうことなどもあるため、陸上風力発電の維持管理より多くのコストが発生する。製造・設置・運転維持の各段階において一層の低コスト化を図り、風力発電システム全体で発電コストが低減することが必須である。

また、コスト面以外では、漁業との共存など社会受容性を考慮した風力発電の在り方が課題である。つまり、地域の漁業関係者・漁業協同組合との間で良好な関係を築き、浮体式洋上風力発電事業と漁業関係者が共存できるような方策を検討し、公共海域での同事業の実施について、漁業者関係者の同意を得ることが必要となる。現時点では、公共海域における浮体式風車の設置等に関する明確なルールが存在しない。そのため、公共海域上の浮体式風車の扱いについて検討する必要がある。

事業化のための主な条件をまとめると以下のようになる。

表 4.2-2 事業化のための主な条件

条件	内容
浮体風車製造（量産化）および海洋施工に関する技術の確立、および低コスト化の実現	<ul style="list-style-type: none"> ・浮体式風車は、主に海洋施工等に関するコストが大きな割合を占めている。 ・実証事業等を通じてシステム全体のコストの低減化が必須である。
浮体式洋上風力発電に関する適正なFIT 価格の認定	<ul style="list-style-type: none"> ・浮体風力発電事業の採算性を担保する買取価格が設定される必要がある。 ・発電事業者と経済産業省との間で浮体式風力発電に関する適正なFIT価格の設定について協議を行うことが想定される。
漁業者と浮体式 WF 事業について合意	<ul style="list-style-type: none"> ・現在の実証後の福島県沖の公共海域への浮体風車事業の実施について、漁業者の同意を得ることが必要である。
福島県において浮体式風力発電事業を実施するためのインセンティブの存在（ゾーニング、税制優遇策等）	<ul style="list-style-type: none"> ・浮体式風車の発電事業に関する実施見通し（技術的・経済的）が立った後、発電事業者が、風車設置場所として福島を選ぶためのインセンティブが存在する必要がある。
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・現時点では、公共海域における浮体式風車の設置等に関する明確なルールが存在しない。そのため、公共海域上の浮体式風車の扱いについて検討される必要がある。

(2) 風車／浮体製造の検討

風車メーカーおよび風車部品メーカー合計 6 社にヒアリングを実施し、浮体式洋上風力発電の事業化を見据えた上で、風車・浮体製造の可能性・現実性について検討した。

①風車製造

風力発電機の部品の多くは、高い信頼性や精密さが求められるため、簡単には参入できない場合が多く、既存のサプライチェーンに参入することは、容易なことではない。また、大型の加工用機械やクレーン、広い作業エリアを必要とする場合も多く、これも簡単には主要部品の製造に参入しにくい要因となる。

可能性として、回転機器（鉄道、自動車等）の製造経験、鉄板加工や FRP 加工技術を有する（ヨットや釣り船等の小型船の）メーカー等の関連技術を持つ事業者・工場が考えられるものの、これら技術を有する県内事業者は限定的となる。

一次構成部品への参入は難しいが、価格や技術の要件によって二次構成部品、三次構成部品への参入可能性は存在するため、風車メーカーへの働きかけや技術マッチングの機会を引き続き継続させることが重要である。

表 4.2-3 風車製造に関連する主なヒアリング結果

サプライチェーンへの参入について

- ・ 風車関連メーカーの現在の取引先は、ほとんどがこれまでの実績に基づく信頼関係により選択されており、発注元にとって外注先の変更はリスクを伴うため、艀装品以外の部品について既存のサプライチェーンへの新規参入は容易ではない。
- ・ 高度な技術と高いコストパフォーマンスがあれば、参入可能性は存在するが、産業集積というよりは単なるジョブマッチングに過ぎないとも考えることもできる。

新規製造拠点の設立について

- ・ 風車メーカーは、年間 100 基程度の規模で現地需要がない限り工場移転は難しい。
- ・ 部品メーカーとしては、風車メーカーの組立工場がない状態では、現地製造を行う意義が小さい。
- ・ 日本国内で製造拠点を新たに設けるには、欧州のような国の明確な導入目標およびインセンティブが不可欠である。

②浮体製造

浮体製造工程は、船舶と同様に、巨大な鉄製のブロックの製造および、それらの組み立て作業がほとんどを占める。現在、浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業で使用される浮体は、各社自製しており、いわゆる“造船所”の設備が必要ということとなる（一般的にブロック製造や組み立てにおける鋼材の加工には、高度な技術が必要であるため）。

ところが、同実証研究事業の三菱重工業製の浮体のように、将来的な量産化を考慮して製造を容易にするため、曲げ作業を極力必要としない構造（単純形状の組み合わせの採用）の浮体であれば、つまり、組み立てにおける鋼材の曲げ加工を伴わない角材を中心とした構造ならば地元企業でも参入可能性が十分にある。単純形状の組み合わせが採用されているため、造船所のドックではなく、平地を利用しクレーンなどを用いて建造を行うことが可能となっている。また、建造場所についても、建造場所から設置場所への曳航費や建造後のメンテナンス費用を考慮すると、設置サイト近隣での建造が望まれるものである。

さらに、艀装品は技術的な面での参入ハードルが低い。浮体メーカー各社によると、現在の浮体で使用する艀装品のほとんどを外注しており、ブロック製造に比べて県内企業への発注の現実性が高いとされる。

表 4.2-4 浮体製造に関連する主なヒアリング結果

新規製造拠点の設立について

- ・ 将来の量産化時において、曳航費用を考えると、少なくとも需要地（風車建設地）近辺で組立てるようにしなくては適正費用にならないだろう。
- ・ まずは福島県または周辺地域にマーケットが立つ必要がある。それがあって初めて、最終組立地をどこに用意するか、各ブロックをどこが製造するか等の検討ができる。
- ・ 福島県に 100MW 規模（5MW 風車の場合浮体 20 基）の WF ができるのであれば、福島県で浮体製造を行うことが望ましい。
- ・ おおよそ、新たな浮体製造の拠点を作る際、5 基／年程度の需要は必要だろう。

サプライチェーンへの参入について

- ・ 浮体の製造・組立は、一定レベルの溶接技術や鉄板加工技術が必要となる。
- ・ 浮体を量産化するに当たり、曲げを伴わない角材を中心とした構造ならば地元企業でも参入可能性がある。
- ・ 円形部材の溶接は要求される技術レベルが高い。

③その他

事業計画・環境アセスメント、風車据付工事、電気工事、運転開始後の維持管理等については、事業化の際に県内企業が関わることが出来る場面が多く出てくることが想定される。

以上より、現実的な浮体式洋上風力発電の産業集積シナリオを考えると、風車製造、浮体製造は次のようになる。

風車製造自体を県内で行うことは難しいが、浮体式洋上風力発電の導入が本格化する将来においては、風車需要ができることから風車メーカーの進出は十分考えられるため、継続的な工場誘致をすることは重要と考えられる。浮体製造については導入サイト近傍地での製造がコスト面で望まれており、また、浮体製造自体も県内事業者の活用が十分可能であるため、浮体製造に必要な設備や組み立てに必要なインフラを整備し、県内港湾で浮体製造を行うことを想定することとした。

表 4.2-5 風車製造、浮体製造について

<p>風車製造について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・風車製造は、2020 年時点では県内製造を想定せず、浮体への組み立てを港湾で実施することを想定。 ・2020 年以降の本格的な浮体式洋上風力の展開を見越し、継続的な工場誘致は実施。 <p>浮体製造を福島県港湾で実施</p> <ul style="list-style-type: none"> ・浮体は現地で製造した方が効率的なため、福島県事業者が活用される。 ・溶接等の鉄板加工技術を有する企業が浮体製造の一端を担う。 ・浮体製造に必要な港湾設備や組み立てに必要なインフラを整備する。
--

(3) 浮体製造拠点化に向けた取り組み

①浮体建造場所

浮体製造を県内で行うことを想定すると、建造場所の確保が必要となる。浮体は前述のとおり、導入サイト近傍地での港湾で製造されることが望ましい。浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業で使用される浮体は造船所のドックにて建造されるが、必ずしもドックは必要ではないため、ここでは平地での建造も可能な浮体の導入を想定することとした。

表 4.2-6 風車製造、浮体製造について

<p>浮体組立に必要な設備について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・組立に必要な設備としては、電力、水道等の基本的なインフラ以外に、クレーン、平坦な土地の整備、塗装用設備（台等）、地耐力強化工事等が必要となる。 ・ブロックの組立を行う上で、必ずしもドックは必要ではなく、平地でも可能である。 ・ただし、進水時や組立効率上、ドックがあることが望ましい。 ・平地での組立を行う際、浮体の三角形の面積の 10 倍程度の面積が必要となる。 <p>(参考) ドックの建設について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ドックに必要な面積はアドバンストスパー浮体：100×70m、セミサブ浮体：100×60m（2 基建造を想定）となる。 ・浮体組立用のドックを製造した場合、4~5 基／年程度の製造が可能となる。既存の工場の場合、他の船舶製造とドックを共用するため、2 基／年程度となる。 ・ドックの建造には数十億～100 億程度の投資が必要となる。

浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業では、浮体と 7MW 風車の取り付け工程が、小名浜港において行われる。地耐力強化等が施された場所を利用することが可能なこと、並びに浮

体建造に必要な広域な場所が存在することから、本検討では小名浜港を製造拠点として検討することとした。

小名浜港を浮体の製造拠点として整備する場合、図 4.2-2 に示す①藤原ふ頭地区、②東港地区の利用が考えられた。しかし、現在埋め立て作業が進められている東港地区は、浮体建造・浮体ストック場所などとして好条件であったが、主に石炭を取り扱うふ頭として既に港湾計画に位置づけられている地区であることから、その利用は難しいことが分かった。一方、藤原ふ頭地区については浮体建造エリアとして利用できる可能性があるため、ここを候補とすることとした。ただし、藤原ふ頭地区についてもその利用に問題がないわけではなく、現状残土の保存場所となっていること、木材専用ふ頭であること、公共岸壁のため恒久的利用は難しいこと、といった問題が存在する。しかし、今後の浮体製造の計画の具体化の段階で利用への調整が可能であるため、藤原ふ頭地区を浮体製造の拠点として想定する。



図 4.2-2 小名浜港

藤原ふ頭地区を浮体の建造エリアとして利用する場合の浮体製造イメージの 1 つを図 4.2-3 に示す。

建造ヤードにおいて、組み立て用クローラクレーンを配置し、ブロック組み立てを行う。なお、ブロック自体は小名浜港での製造は難しく、海上運搬により他地域からの供給が現実的である。荷役用のクローラクレーンにて水切りし、建造ヤードに運搬される。

この場合、浮体製作・クレーン移動等の通路に約 150,000m² のヤードの造成が必要である。ヤード内は、浮体組み立て用のクローラクレーン、浮体の移動部などに地耐力が確保できるよう地盤改良などの工事が必要となる。

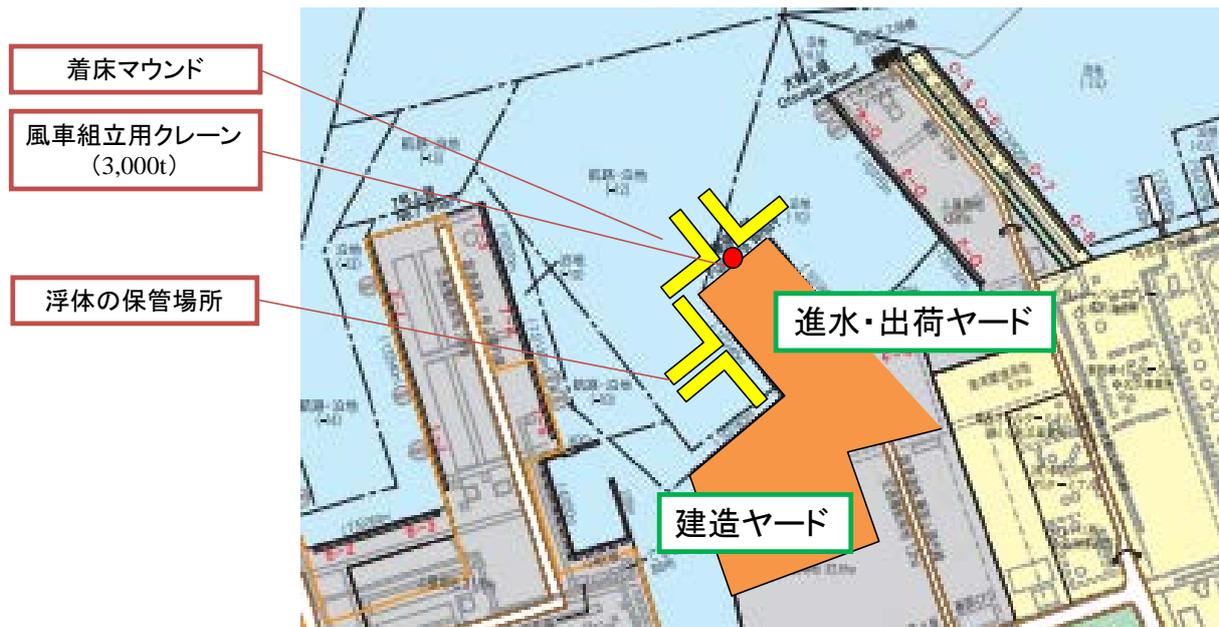


図 4.2-3 藤原ふ頭での浮体製造イメージ

②組み立て工程

ブロック製造自体は県内でせず海上運搬により他地域からの供給を想定すると、浮体組立において関与できる県内企業の業種として、鉄板の溶接・塗装、電気工事、艀装品、コンクリート等が挙げられる。また、浮体に風車を設置する組み立て工程や、港湾工事においては共通仮設、警戒船、調査、タワー内配線工事等が挙げられる。

表 4.2-7 風車製造、浮体製造について

浮体風車の組立作業における地元企業の参画について

- ・ 浮体の組立の際、地元企業は、溶接作業、塗装、電気工事、コンクリート製造において参画可能である。
- ・ ただし、溶接作業を行うには、工場および技術者が船級協会から認証を受ける必要がある。
- ・ 組立てドックがあることで、艀装品のような細かな部品製造に波及効果が期待される。
- ・ 浮体の組立工場には、200～300人の技術者が集結するため、雇用創出効果が期待される。

風車設置工事等における地元企業の参画について

- ・ 事務所や宿舍、ヤード工事等の共通仮設整備、調査、浮体風車の配線工事等で参画可能性がある。

表 4.2-8 組立について

作業	項目	備考
浮体組立	溶接作業	工場と技術者が資格を取得する必要あり
	塗装作業	
	電気工事	
	一般組立作業	配管整備等
	コンクリート	
風車設置工事等	共通仮設(事務所や宿舍等)	直接工事費のうちの 2~3%程度を占める。(ヤード工事を含めると 5%程度)
	警戒船配備	
	調査	磁気探査、ボーリング、音波探査等
	タワー内配線工事	

4.2.3 事業化にむけたスケジュール

浮体式洋上風力発電は、海象条件のよい夏季(5月~8月)に設置することが望ましく、そのため年間に設置できる基数は、現状だと1船団当たり4~5基と検討されている。ただし、大規模な開発が進められた場合では、設置作業を実施する船数を増やすことは可能である。

藤原ふ頭を浮体の建造エリアとして利用する場合に、4~5基/年の製造が可能である。ストックしておく場所の検討は別途必要であるものの、浮体の建造方法にもよるが浮体製造の建造拠点の整備に3年程度の期間が必要となる。ここから考えると、浮体建造拠点を整備し、そこで作られる浮体による浮体式洋上風力発電所は、2020年7月時点で運転を開始することが可能と考えられる。

ただし、2020年時点での稼働を目指す場合は、浮体製造拠点整備に向けて計画を早急に詰める必要がある。

表 4.2-9 風車製造、浮体製造について

<p>浮体風車組立における港湾工事について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 浮体は夏期しか係留作業が実施できないため、冬季に製造した浮体をストックする場所が必要である。現在の小名浜港は、敷地面積が十分とはいえない。 ・ 計画から港湾整備・組立工場建設完了まで、3～5年の期間が必要となる。
<p>浮体風車の設置工事について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 海底工事や係留作業等の浮体風車の設置は5基/年/1船団と見込まれる。 ・ 2船団の場合、10基/年、3船団の場合は15基/年の設置が可能となる。 ・ 福島県沖で施工が可能なシーズンは5～8月に限定される。 ・ 現在のチェーンと浮体の係留作業には非効率な部分が多いため、今後チェーンの係留も考慮した浮体設計等が進むことで、浮体風車設置の工期は短縮される可能性がある。 ・ 浮体風車が完成する前に、チェーンのみを現地に設置することは可能である。 (三菱重工製V字型浮体の場合、チェーン数は8本) ・ アドバンストスパー浮体は喫水部が深いため、風車組立時は小名浜沖に着底させることを想定している。

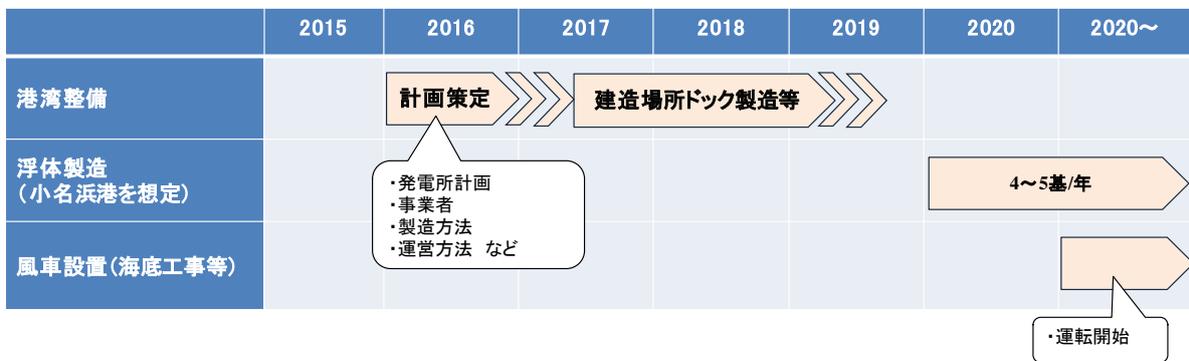


図 4.2-4 2020年までのスケジュール

4.2.4 浮体式洋上風力シナリオ

以上の想定のもと作成した浮体式洋上風力発電のシナリオを図 4.2-5 に示す。それぞれの主体の今後の取り組みは、以下のとおりである。

(1) 福島県庁

2015年度から次の検討を進めることが必要となる。

- ・ 浮体式洋上風力発電の事業化に向けて、そのプロジェクトの実現のための各種調整を早期に進める。

- ・小名浜港での浮体建造に向けた取り組みを進める。浮体製造業者と連携をとりながら、詳細な必要設備や整備面積（必要地耐力）を整理し、港湾用地のインフラ整備のための検討を進める。
- ・事業実施者の発電事業計画が円滑に進められるよう、漁業関係者との調整や導入海域のデータ収集等のサポートを行う。
- ・浮体式洋上風力発電の事業化に向けた浮体建造・産業集積を支援する。
- ・事業化を視野に発電事業者のサポートとして、海域選定の支援や環境影響評価の支援を行う。
- ・小名浜港での浮体建造に向けた県内企業への技術・企業マッチングや進出企業への優遇策などの支援を検討し、浮体建造の拠点化への取り組みを実施する。
- ・事業化の際に県内企業が積極活用されるように技術・企業マッチングを行う。

表 4.2-10 必要な施策・課題

項目		内容
プロジェクト計画		導入海域ゾーニング 許認可取得支援
インフラ整備	港湾整備	港湾計画の変更の検討 臨港用地確保 拠点港湾の整備（作業船の係留港、非難港、浮体の積出・メンテ等） 施設の整備（護岸、荷捌施設、用地等）の確保
産業支援	企業誘致	用地確保 税制優遇策 インフラ優遇 技術・企業マッチング 技術者育成・活性化
その他		漁業者との共存 FIT 価格要望 教育、研修施設

(2) 発電事業者・メーカー

2015年度から次の検討を進めることが必要となる。

- ・浮体式洋上風力発電の事業化に向けて、福島県庁と連携をとりながら、漁業関係者と事業実施に向けた調整を進める。
- ・浮体式洋上風力発電の事業化に向けて、特に低コスト化を目指した技術開発を進める。

浮体式洋上風力発電産業集積シナリオ

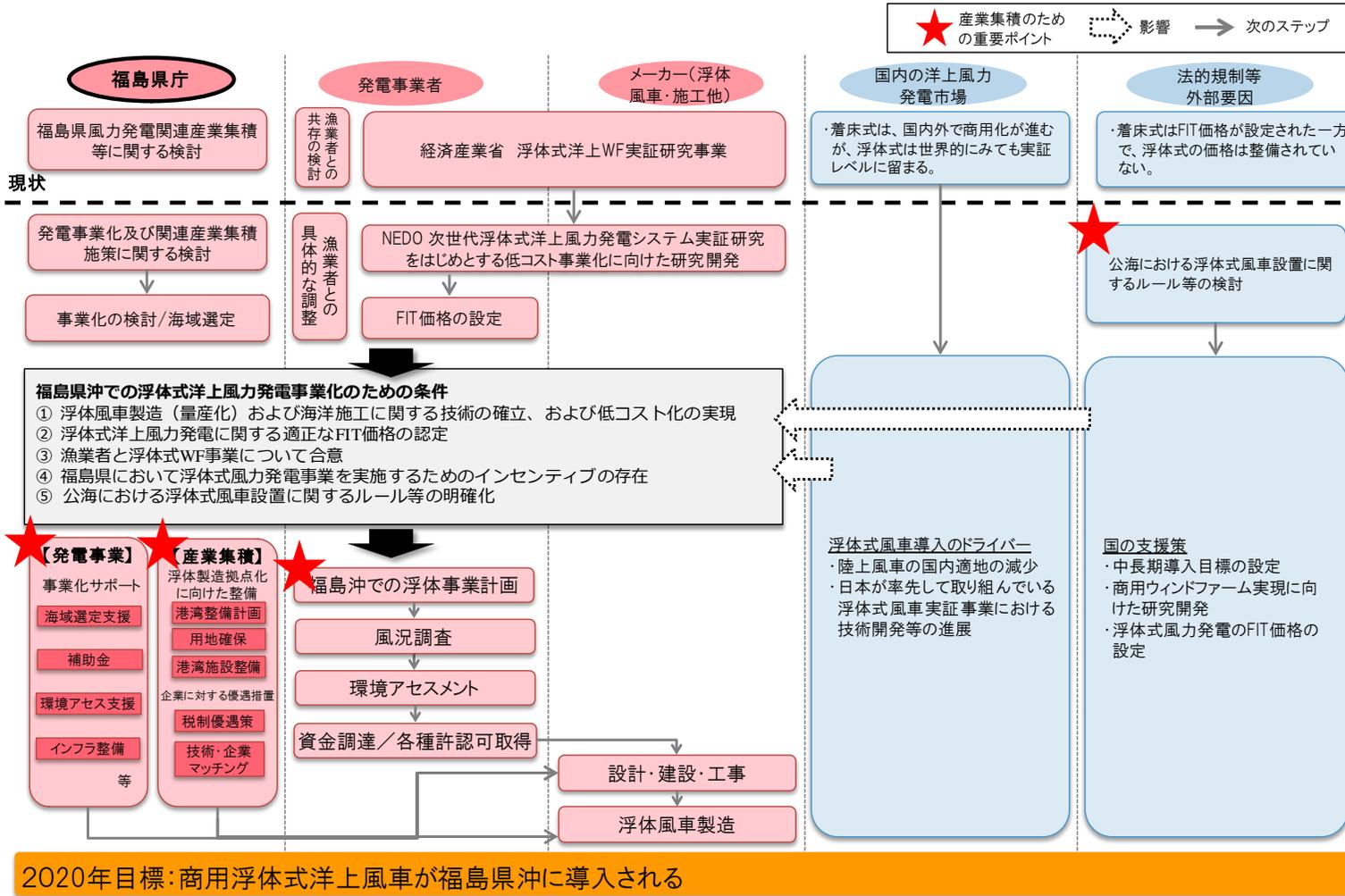


図 4.2-5 浮体式洋上風力発電のシナリオ

注) 特に浮体製造拠点整備に向けては、コスト、費用対効果等の検討が不十分であるため、次年度以降より詳細な検討が必要である。

4.2.5 経済波及効果の試算

浮体式洋上風力発電の浮体が県内で製造される場合の県内経済波及効果の試算を行った。なお、ここで行った試算は、シナリオに基づいて浮体製造が県内企業において実施されるなどの各種仮定を置いて試算を行っていることに注意が必要である。

(1) 試算の前提条件

導入量の想定は2つのケースについて試算することとした。

- ①ケース1 80,000kW (8,000kW×10基)
- ②ケース2 2,000,000kW (洋上風力目標)

それぞれのケースにおいて、80万円/kWとして総事業費（O&Mを含まず）¹を設定した。なお、80万円/kWは、現在の洋上風力の買取価格36円/kWhで、プロジェクトIRRが10%確保できる水準である。

表 4.2-11 (参考) IRR・kW単価と買取価格の関係

単位：円/kWh

IRR	70万円/kW	80万円/kW	90万円/kW	100万円/kW	110万円/kW	120万円/kW
12%	35.0	39.1	43.1	47.2	51.3	55.3
11%	33.3	37.1	41.0	44.8	48.6	52.4
10%	31.7	35.2	38.8	42.4	46.0	49.6
9%	30.0	33.4	36.8	40.1	43.5	46.9

(計算条件)

- ・設備利用率：40%
- ・運転維持費：2.25万円/kW
- ・買取期間などその他の条件は、調達価格等算定委員会「平成26年度調達価格及び調達期間に関する意見」での、洋上風力発電における調達価格算定における条件と同様として、IRRの計算を行っている。

総投資額のうち、県内への直接投資は、これまでのシナリオで検討した内容を踏まえ、浮体設備製造、風車搭載工事、陸上変電設備、許認可等（環境影響評価）にのみ起こることを想定して金額を設定した。

それぞれの項目の部門は、表4.2-12のとおり設定した。浮体製造は造船メーカーで製造されてきたことを踏まえて、船舶・同修理部門へ帰属するものとした。

1 浮体式洋上風力発電のO&Mについては、現在実証試験が進められているところであり、不透明な点が多い。なお、着床式洋上風力の事例を元に推計した場合、

- ・80,000kW導入では、直接投資960百万/年、雇用48人
- ・2,000,000kW導入では、直接投資24,000百万/年、雇用1,200人となる。

表 4.2-12 帰属部門と県内投資比率の想定

大項目	中項目	県内投資比率	部門名
風力発電機	タワー(鉄パイプ)	0%	建設・建築用金属製品
	ブレード(ガラス繊維強化プラスチック製)	0%	その他の一般機械器具及び部品
	ローターハブ(鋳鉄製)	0%	その他の一般機械器具及び部品
	軸受(ベアリング)	0%	その他の一般機械器具及び部品
	シャフト(主軸、鋳鉄製)	0%	その他の一般機械器具及び部品
	ナセル台板(鋳鉄製)	0%	その他の一般機械器具及び部品
	増速機	0%	一般産業機械
	発電機	0%	一般産業機械
	ヨ一駆動システム	0%	一般産業機械
	ピッチシステム	0%	その他の一般機械器具及び部品
	コンバータシステム	0%	一般産業機械
	変圧器	0%	一般産業機械
	ブレーキシステム(ディスクブレーキ)	0%	その他の一般機械器具及び部品
	ナセルカバー(ガラス繊維強化プラスチック製)	0%	その他の一般機械器具及び部品
	ケーブル	0%	非鉄金属加工製品
歯車	0%	一般産業機械	
搭載工事	100%	その他の土木建設	
浮体設備	浮体設備	100%	船舶・同修理
	係留系	0%	非鉄金属加工製品
	工事費	0%	その他の土木建設
洋上変電設備	変電所	0%	その他の土木建設
	ケーブル材料	0%	非鉄金属加工製品
	ケーブル施工	0%	その他の土木建設
	陸上変電	100%	その他の土木建設
その他	許認可、環境影響評価	100%	その他の対事業所サービス

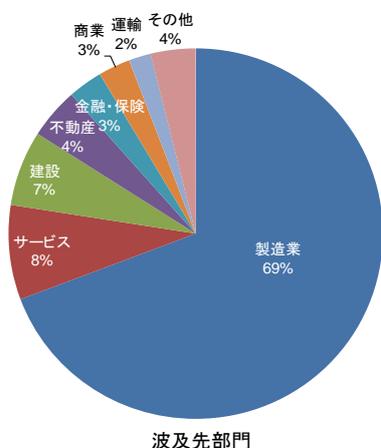
(2) 試算結果

(1)で設定した条件をもとに、平成17年福島県産業連関表107部門表(統合中分類)を用いて経済波及効果の試算を行った。なお、両ケースとも逆行列係数表は開放型を用いて試算を行った。

①ケース1 80,000kW (8,000kW×10基)

- ・総投資額640億円のうち、県内直接投資額141億円となる
- ・二次波及効果まで含めた県内経済波及効果は193億円、県内雇用創出効果は2,582人[※]

※直接だけでなく、波及効果までを含めた雇用誘発効果



県内投資額	141億円
直接＋一次波及効果	164億円
二次波及効果	30億円
県内直接＋一次波及効果＋二次波及効果	193億円
県内雇用創出効果	2,582人
(直接＋一次＋二次波及)／投資	1.37

kW当たり投資額	18万円/kW
kW当たり波及効果	24万円/kW
kW当たり雇用創出効果	0.032人/kW

図 4.2-6 経済波及効果の試算結果 80MW ケース

②ケース 2 2,000,000kW（洋上風力目標）

- ・総投資額 1 兆 6,000 億円のうち、県内直接投資額 3,185 億円となる
 - ・二次波及効果まで含めた県内経済波及効果は 4,365 億円、県内雇用創出効果は 58,201 人※
- ※直接だけでなく、波及効果までを含めた雇用誘発効果

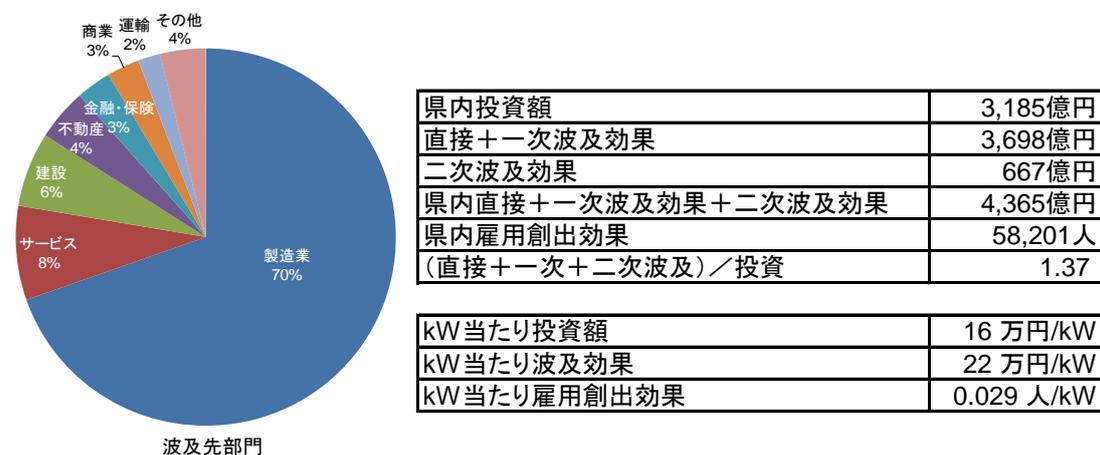


図 4.2-7 経済波及効果の試算結果 2,000MW ケース

経済波及効果の試算について

経済波及効果を試算するに当たり、直接効果の設定は、浮体製造・風車搭載工事・陸上変電設備・許認可等が県内へ直接投資されるとし、それぞれの帰属部門は、表 4.2-12 のとおりとした。一次波及効果および二次波及効果の計算には「平成 17 年福島県産業連関表 107 部門表（統合中分類）」の逆行列係数表（開放経済型）を用いて算出している。

なお、二次波及効果の算出に当たり、貯蓄されずに新たに消費支出に回る比率は、平成 26 年家計調査（総務省）より求めた。

注) 直接効果：新たな消費や投資によって発生する生産額

(例：工事実施により請負業者が受ける直接的な効果)

一次波及効果：直接効果による原材料等の投入によって誘発される生産額

(例：工事実施による資材需要の建築資材関連部門が受ける波及効果など)

二次波及効果：直接効果と一次波及効果を通じて発生した雇用者所得のうち、貯蓄されずに新たに消費支出されることで誘発される生産額

(参考) 平成 17 年（2005 年） 福島県産業連関表

<http://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/11045b/17025.html>

4.3 小形風力発電

4.3.1 シナリオの基本的な考え方

1章に記載したとおり、現状の国内の小形風力発電市場は限定的である。また、小形風車は、陸上風車と異なり、本体の製造が概ね自社内で完結することからも、産業の裾野が広いとは言いがたく、県内における産業集積は現実的ではないと考えられる。

しかしながら、現在福島県では、県内企業4社と福島大学によるコンソーシアムにおいてオリジナルティのある小形風力発電装置の開発が進められている。また、上述のとおり、現在国内の小形風力開発では試験フィールドの不足がボトルネックになっており、福島県として整備を行うことについても検討する必要がある。

そこで、小形風力発電のシナリオとして、以下のことを基本的な考え方として検討を行った。

(ア) 福島県内の小形風力発電開発の現状と課題

(イ) 福島県内において小形風力発電の試験フィールドを設置することの現実性

4.3.2 シナリオの検討

(1) 福島県内における小形風力発電システムの開発

福島県では、文部科学省の地域イノベーション戦略支援プログラム事業において、図4.3-1に示すような垂直軸型の小形風力発電システムの開発が実施された。本風車は、低風速時でも高効率の発電ができること、低騒音であること、風向の制御が不要であること等が特長となっている。



図 4.3-1 垂直軸型の小形風力発電システム

(出典) 福島大学ホームページ

現在は、上記技術を県内4社に移転し、同コンソーシアムにおいて実用化に向けた開発が進められている。

本研究開発に関するヒアリング調査の結果、風車本体の軽量化等の技術的課題に加え、次の2つの問題が開発を促進する上でのボトルネックになっていることが明らかになった。

まず1つ目は専門家の不在である。福島県内の学術機関において、風力に関する専門家が不在であるために、先進的な技術開発を行う上での技術的アドバイスが受けられない状況にあることが課題として挙げられた。

2つ目は小形風車のポテンシャルが明確でないことである。小形風車は建物の屋上や山小屋等、様々な場所に導入可能性があると言われていたが、実際のポテンシャルは明らかにならず、市場規模を推し量ることが難しいという問題が挙げられた。

(2) 福島県における試験フィールド整備の可能性

福島県内のコンソーシアムを含め、国内で小形風力発電の開発を行う上で、直面する課題の1つに試験フィールド不足の問題が挙げられる（固定価格買取制度の適用のためNK認証を取得する場合）。

現在、国内には六ヶ所村（青森県）、豊橋市（愛知県）、北九州市（福岡県）等の数箇所で小形風車用試験フィールドが運転または計画されている。これらはいずれも、小形風車メーカーによって設立・運営される予定であり、自治体等の公的機関によって整備された例はない。また、ここではメーカーの自主試験という名目でデータの取得が行われており、NK認証の手続きに当たっての信頼性について懸念されていた。しかしながら、最近上記の某試験フィールドについて、NKとの提携が結ばれたことが同組織へのヒアリング調査より明らかになった。本フィールドではそれまでのようなメーカーの自主試験ではなく、NKの立会いのもと試験が行われることが予定されている。NKによると、既に特定のフィールドとの協力体制を推進していること、また小形風車認証の需要が限定的であることから、新規に試験フィールドを整備する必要性は、現時点では低いとしている。

加えて、風車試験場の要件を記したJIS C1400-12によると、試験フィールドには、風況の良い、平坦な土地が必要としており、好風況地が山岳地域に集中する福島県には適さないと推察される。

したがって、現段階から福島県として新たに試験フィールドを整備することは、現実性が薄いと考えられる。

(3) 小形風力発電シナリオの検討

以上を踏まえ、福島県における小形風力発電シナリオを策定した結果を図4.3-2に示す。

それぞれの主体の今後の取り組みは、以下のとおりである。

①福島県庁

今後次の検討を進めることが必要となる。

- ・福島県内における小形風車の研究開発に対して経済的な支援を実施する。

- ・福島大学をはじめとする県内の学術機関に風力の専門家を招聘する。
- ・福島県内の企業が開発に成功した小形風車を県自ら率先して導入を図る（県保有の公共施設等）。
- ・県内企業が開発した小形風車について需要者とのマッチングを支援する。

②福島県内企業

今後次の検討を進めることが必要となる。

- ・今後県内で開発する小形風車について NEDO のコスト目標値（現状より 30%ダウン）を意識して開発を行う。（具体的には、125 万円/kW（現在の市場価格）× 30%（NEDO 低コスト化目標値）= 87 万円/kW 以下のイニシャルコストを目指す必要があると推察される）

小形風力発電市場は、現時点では限定的ではあるが、FIT 制度の適用および NEDO による技術の標準化をはじめ、事業環境が大きく変わろうとしている状況にある。市場は決して後退することはせず、今後緩やかに拡大していくことが予想される。したがって、現時点においては県内の技術開発を最大限支援しつつ、国内の風力発電市場の動向を見据え、市場拡大の兆候が見えたタイミングで本格的な産業育成に注力することが望ましいと言える。

小形風力発電産業集積化シナリオ

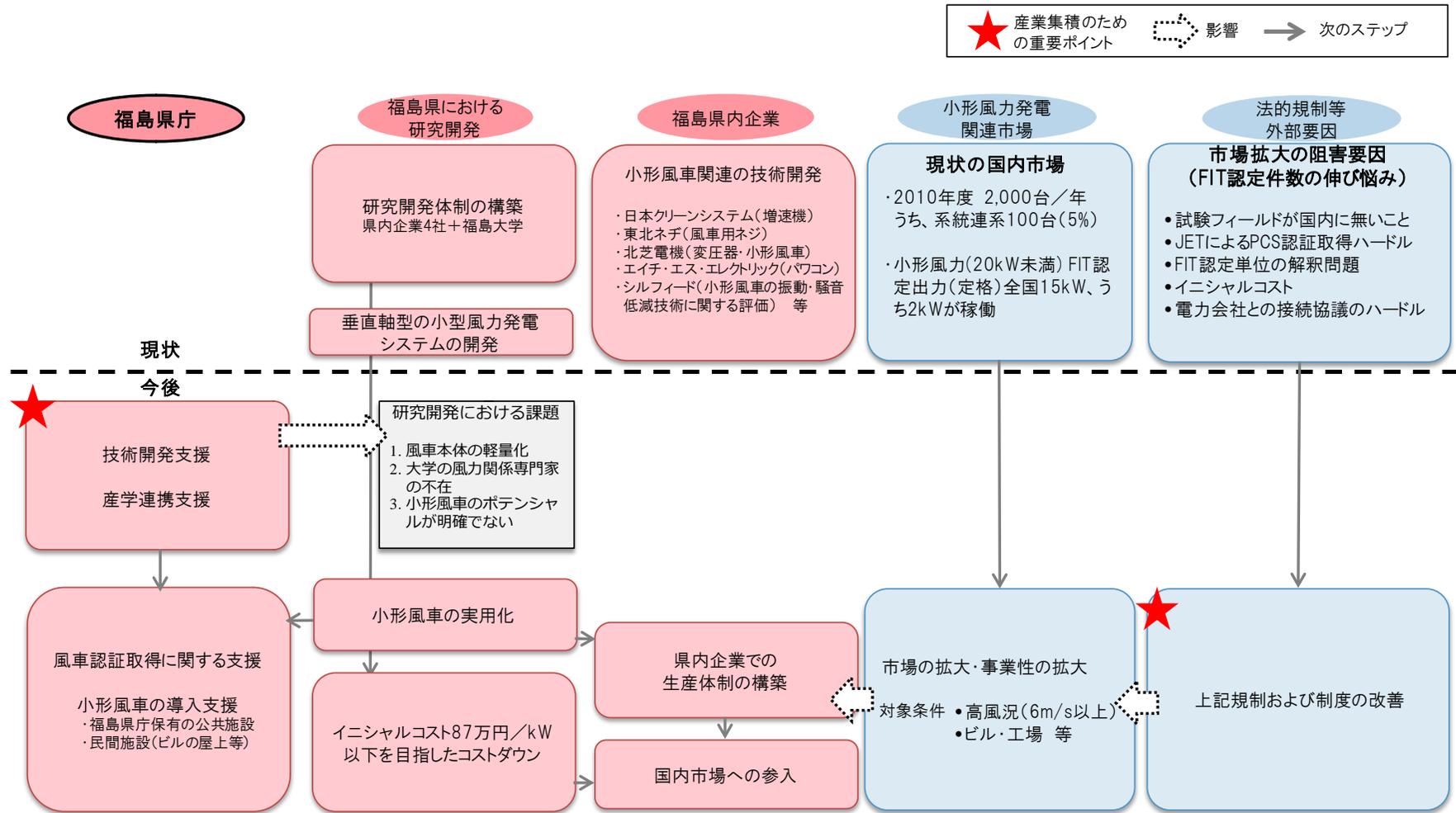


図 4.3-2 小形風力発電のシナリオ

5. まとめ

5.1 産業集積のシナリオ

陸上風力発電、浮体式洋上風力発電、小形風力発電のそれぞれについて、産業集積のシナリオの検討結果は以下のとおりである。

(1) 陸上風力発電

陸上風力発電に関する産業集積を図るためには、福島県における風力発電導入量を拡大し、県内における風車関連市場を形成することが鍵となる。平成 26 年度に東京電力系統への風力発電の接続が実現する見込みが立ったことで、導入拡大に関わるボトルネックは解消されつつある。これから導入量の拡大が期待されるが、風力発電設備の建設、および運転管理に当たり、いかにして県内事業者を巻き込むかが重要である。そのためには、県内事業者の最大限の協力等を求める県主導の提案型事業公募の実施が効果的であると考えられる。

上記事業に関して、特に風車の運転管理における地元企業の活用が挙げられる。風車関連メーカーへのヒアリングからは、新たに工場を移転するためには、大量かつ継続的な需要が条件であり、短期的に福島県内に風車工場や部品工場を誘致することは容易ではないという結果が得られている。しかしながら、導入された風車の運転管理については、現時点で国内のメンテナンス需要が増加している状況から鑑みても、福島県内企業が関与できる可能性は十分存在する。また、風車のメンテナンスに関わる交換部品についても同様に県内企業が関与できる可能性がある。このようにして、風車メンテナンス産業の育成を推進していくことが県内産業の活性化に効果的と推察される。(シナリオは 83 ページ 図 4.1-10 参照)

<風力発電の導入拡大に向けて必要となる取り組み>

- ・ゾーニング
- ・土地取得支援
- ・環境アセス支援
- ・県主導の“提案型”事業公募の実施

<産業集積に向けて必要となる取り組み>

- ・関連産業の誘致
- ・インフラ整備
- ・補助事業
- ・県主導の“提案型”事業公募の実施

(2) 浮体式洋上風力発電

浮体式洋上風力発電において産業集積を図るには、浮体の製造を県内で行うことが鍵となる。浮体製造は県内事業者の持つ技術の活用が可能な分野であり、ヒアリング等によると小名浜港の藤原ふ頭地区における製造可能性も現実性があることがわかった。浮体式洋上風力発電の導

入地点と浮体製造拠点が近接していることは、導入コストに大きく影響することから、次年度以降、小名浜港における浮体製造拠点化と事業化の両方を目標とした、より詳細な検討を進める必要がある。(シナリオは 95 ページ 図 4.2-5 参照)

＜浮体製造拠点化に向けて必要となる取り組み＞

(拠点化)

- ・製造拠点整備に向けた各種費用の精緻化
- ・浮体式洋上風力発電の事業化計画とあわせた製造拠点計画

(港湾整備)

- ・用地確保
- ・拠点港湾の整備
- ・施設の整備

(企業誘致)

- ・用地確保
- ・税制優遇策
- ・インフラ整備、優遇
- ・技術・企業マッチング
- ・技術者育成・活性化

なお、浮体式洋上風力発電の福島県沖における事業化の実現が最も大きな条件である。事業化の実現に向けては、技術的課題に加え社会的課題も大きいことから、県・国・事業者が一体となった本格的な検討が必要である。

(3) 小形風力発電

小形風力発電については、現在限定的な国内市場が今後どのように拡大していくかが、「県内産業」に発展するための鍵となる。県内では、コンソーシアム 4 社がオリジナリティのある小形風力発電の開発を実施しているため、それらに対する経済支援の他、学術機関の専門家等とのマッチングを行うことが効果的と考えられる。また、実用化された暁には、福島県自ら関連施設に積極的な導入を図ることが重要である。

現在、小形風力発電は、FIT 制度の適用および NEDO による技術の標準化等の政策動向を踏まえ、事業環境が大きく変わろうとしている状況にあるため、市場動向を見守りつつ産業育成支援を検討していくことが望ましい。(シナリオは 102 ページ 図 4.3-2 参照)

5.2 産業集積に向けて

検討会における陸上風力発電、浮体式洋上風力発電、小形風力発電に共通する提言を以下に整理した。これらの点に留意しながら、効率的にシナリオで検討した内容について実施していくことが求められる。

表 5.2-1 検討会における提言

提言	内容
風力発電導入量目標に対して達成する意欲を示すべき	<ul style="list-style-type: none"> ・陸上風力 200 万 kW、洋上風力 200 万 kW に対して、県として政策的にどのように進めるのか、もっと具体的な達成計画の整備が必要である。 ・県が強力なリーダーシップで進めようとするなら、イノベーションコースト構想を活用することは有効である。 ・風力発電の専門家が県内におらず、再生可能エネルギー推進ビジョンを具体化する計画が必要である。
浮体式洋上風力の事業化および浮体製造拠点化に向け、今すぐ取り組むべき	<ul style="list-style-type: none"> ・今まさに始めなければ間に合わなくなってしまうことを認識し、早く取り組みを進展させる必要がある。 ・漁業関係者に受け入れられるようなルール作りも同時に進める必要がある。 ・福島県内だけでなく東日本全体を視野に入れて考えることが重要である。
政策誘導的にマーケットを作るべき	<ul style="list-style-type: none"> ・風力発電の場合、産業の近くにマーケットがあることが重要である。 ・産業が地域に興る方法としていくつかあるが、今回は誘致により大企業が進出することで産業が集積拡大するケースに該当する。
スピード感を持って取り組むべき	<ul style="list-style-type: none"> ・他県でも行政が積極的に動いており危機感を持って、遅れをとってしまわないようにしなければならない。
風力発電により発電した電力の活用も考えるべき	<ul style="list-style-type: none"> ・BCP 対応、工業団地や港湾エリアなどにおける優遇など、地産池消の事業の考えは重要である。 ・風力発電産業だけではなく、発電された電力の使用先・活用方法も重要である。

浮体式洋上風力発電の事業化・拠点整備の検討などについては、実証事業が 2015 年度に終了する予定であるため、実証事業終了後に向けて既に検討を開始している。次年度以降、その検討を本格化し、例えば事業者を巻き込んだ事業化実施検討、コスト算定の精緻化、スケジュールの精緻化、費用対効果の検討、予算獲得に向けた検討等を進める必要がある。本調査の中では、精緻な費用検討を行っていないため、産業集積のシナリオの実施に向けては、特に費用対効果の面では詰めるべき項目が残されている点に留意が必要であるが、上記提言を踏まえて、シナリオで検討した内容について実施していくことが求められる。

福島県風力発電関連産業集積等に関する検討会

(1) 委員

氏名	所属
阿久津 文作	福島県商工会連合会 専務理事
石井 浩	福島県商工会議所連合会 常任幹事
石原 孟（委員長）	東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授
小垣 哲也	独立行政法人 産業技術総合研究所 福島再生可能エネルギー研究所 再生可能エネルギー研究センター 風力エネルギーチーム 研究チーム長
小松 信之	福島県市長会 常務理事兼事務局長
佐藤 博史	いわき商工会議所 中小企業振興部長 兼 中小企業相談所長
佐野 成信	株式会社日本政策投資銀行 東北復興支援室 室長
鈴木 和夫	一般社団法人日本風力発電協会 副代表理事
中村 道彦	一般社団法人日本小形風力発電協会 副理事長
奈良 宏一	福島工業高等専門学校 名誉教授
新妻 英正	いわき市 商工観光部 部長
服部 靖弘	福島県再生可能エネルギー関連産業推進研究会 会長
三保谷 明	イオスエンジニアリング&サービス株式会社 顧問
安田 清敏	福島県町村会 事務局長
山田 純	会津電力株式会社 代表取締役副社長

(敬称略・50音順)

(2) 開催記録

「福島県風力発電関連産業集積等に関する検討会」では、本調査の進捗報告や結果の妥当性についてご議論いただいた。開催記録を以下に示す。

日付	回数	議事等
2014年5月27日	第1回	<ul style="list-style-type: none">・ 調査の概要について・ 福島県における再生可能エネルギー関連産業の育成・集積に向けた施策・ 日本における風力発電の現状について
2014年8月4日	第2回	<ul style="list-style-type: none">・ 浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業の概要と浮体式洋上風力発電の今後の展開について・ 産業集積の方向性について
2015年1月26日	第3回	<ul style="list-style-type: none">・ 浮体式洋上風力発電産業集積シナリオ・ 陸上風力発電産業集積シナリオ・ 小形風力発電産業集積シナリオ
2015年3月23日	第4回	<ul style="list-style-type: none">・ 浮体式洋上風力発電産業集積シナリオ・ 陸上風力発電産業集積シナリオ・ 小形風力発電産業集積シナリオ

