風力発電システムの
導入促進に関する提言

平成２８年３月

一般財団法人新エネルギー財団
新エネルギー産業会議

風力発電システムの導入促進に関する提言

風力委員会

目　　次　　頁

緒　言　１

提言の概要　２

提　言

１．風力発電の系統制約の解消に向けて　４
　１．１　背景および課題
　１．２　提言

２．洋上風力発電の導入促進に向けて　７
　２．１　背景および課題
　２．１　提言

３．風力発電のコスト低減に向けた技術開発の促進　９
　３．１　背景および課題
　３．２　提言

４．風力発電設備のメンテナンスに係る人材育成　１１
　４．１　背景および課題
　４．２　提言

参考資料一覧　１５

新エネルギー産業会議　審議委員名簿　３９

新エネルギー産業会議　風力委員会委員名簿　４３

緒　言

2015 年末にはパリで、COP21 が開催され、すべての先進国、開発途上国が一丸となって温室効果ガスを削減し、気候変動の影響阻止に取り組むことで合意した。一方、7 月には、政府の「長期エネルギー需給見通し」における 2030 年の電源構成が発表され、これは火力発電で 56%程度、原子力発電と再生可能エネルギーが、ほぼ同量の 22~24%を占めることになっている。しかし、わが国の再生可能エネルギーのポテンシャルからは、更なる導入が可能であり、欧米の先進的な国や地域では、電源構成のうち再エネは 40%以上という数値目標が常識である。とくに、わが国の場合、量的にもコスト的にも主流となりうる風力を僅か 1.7%に抑えてしまっており、これは既設分と現在進行中の案件を合わせた低い水準に過ぎない。また、中東地区の政治的不安定状況などを考えると、エネルギー安全保障の観点からも、自国に賦与されている再生可能エネルギーの最大限の活用は、効果的なエネルギー政策のひとつと認識しうる。

再生可能エネルギーの中でも、風力発電は経済合理性に優れ、同時に短・中期的にも導入効果が大きいところから、世界の風力発電導入量は急速に増大しており、Wind Power Monthly によると 2015 年末で、4 億 1,500 万ｋW（415 GW）にも達し、原子力発電の総設備容量を凌駕した。一方、わが国の導入量は 2015 年末で 285 万ｋW (2.85GW)に止まっており、世界の導入量の約 0.7%、世界の 20 位であり、先進各国の中でも、日本は世界の趨勢に遅れをとっている。

（参考資料０．１ 主要国の風力発電導入量）

（参考資料０．２ 日本の風力発電導入推移）

風力発電は今後の再生可能エネルギーの量的拡大の鍵を握るものであり、独立した産業として定着させてゆくためにも長期的なエネルギー政策の中で、風力発電の導入目標や将来展望を明確にしておくことが重要である。これらの方向性を踏まえた上で、目標達成に向けて産業、市場、技術面などからの総合的な政策を踏まえて推進することが必要である。

今回の提言は、風力発電の抱えている課題について整理し、政策面、技術面を主体に「風力発電システムの導入促進に関する提言」として取りまとめ、各界各層に強く訴求するものである。

第一は、「風力発電の系統制約の解消に向けて」であり、調整余力のある電力会社との広域運用による出力変動対策の早期実施、風力発電出力のオンライン化の推進等である。

第二は、「洋上風力発電の導入促進に向けて」であり、国内の事業に適合した据付用船舶の開発・支援、洋上風力の事業に向けた作業船群の整備、洋上風力の拠点港湾の整備、国の主導による計画的な導入推進等である。

第三は、「風力発電のコスト低減に向けた技術開発の促進」であり、発電電力量増大に向けた低風速風車の開発、風車の故障率低減に向けた疲労評価手法の高度化等である。

第四は、「風力発電設備のメンテナンスに係る人材育成」であり、風力発電設備のメンテナンスサービスに係る実態調査、風車メンテナンス作業における技能等の標準化等である。

これらの提言に基づき、政府が高い目標を掲げ風力発電の導入促進を強く主導することを熱望するものである。

提　言　の　概　要

１．風力発電の系統制約の解消に向けて

（１）調整余力のある電力会社との広域運用による出力変動対策の早期実施

風力の資源が豊富なエリアでは、エリア内での新規の系統接続ができない状況にあり、全国的にも限界に近づきつつある。さらなる大量導入を図るためには、東京、中部、関西の各電力会社の調整力を活用した広域運用を採用し、系統連系可能量の拡大を早期にはかるべきである。

（２）風力発電出力情報のオンライン化の推進

全国の風力発電所出力をオンラインで閲覧可能なシステムを構築し、この情報を出力予測に活用できる仕組みの構築が必要である。このため、既設の風力発電所の出力情報のオンライン化に対する助成を行い、出力制御性の向上を図ることが望ましい。

（３）風力発電導入拡大の視点を含めた基幹送電線の計画推進

今後の風力発電導入拡大のためには、風力資源が豊富なエリアと需要地を結ぶ超高圧送電線の整備が必須であり、広域機関等での計画策定において、検討対象に含めるよう国が主導することを希望する。

２．洋上風力発電の導入促進に向けて

（１）国内の事業に適合した据付用船舶の開発、支援

日本の洋上風力の規模、離岸距離、海象条件を考慮した比較的安価で小規模な中型の自航式SEP船（SEP：Self Elevating Platform）の建造への支援が必要である。

（２）洋上風力の事業に向けた作業船群の整備

事前調査、基礎工事、風車等設置及びメンテナンスの作業船を各事業段階で適宜、活用できるように作業船群（フリート）として整備しておくことが必要であり、これらの整備に関する支援が必要である。

（３）洋上風力の拠点港湾の整備

設置コストの高い洋上での据付工事を最小化することが重要であり、大型の洋上風車や基礎の組立が可能な強度の高い岸壁やヤードの整備が必要である。

（４）国の主導による計画的な導入推進

今後の洋上風力発電の導入拡大のためには、優先的開発地域を選定するなど（ゾーニング）、国の主導による計画的な推進が不可欠である。また、港湾区域だけでなく一般海域への設置を考慮した水域占用に関する課題を整理し、対策を検討しておくことが必要である。

（５）近隣諸国に対する洋上風力発電関連事業の連携支援

欧州の環境と異なる東アジアの環境条件に適合可能な、我が国の洋上風力発電技術及びそれに関連したインフラを、我が国から近隣諸国に対して技術支援や輸出する事業に対して、国の支援が必要である。

３．風力発電のコスト低減に向けた技術開発の促進

（１）発電電力量向上に向けた低風速風車の開発

低風速域で発電電力量の向上が期待でき、一方で、台風などの強風に耐える高い基準風速を持つ、出力に対してロータ直径の大きな風車の研究開発を行うことが必

要である。

（２）風車の故障率低減に向けた疲労評価手法の高度化

風車の故障率低減、設備利用率の向上に向けて、我が国に多い複雑地形における風車の疲労評価手法の開発及び複雑地の乱流を含む高精度風況シミュレーションツールの開発が必要である。

４．風力発電設備のメンテナンスに係る人材育成

（１）風力発電設備のメンテナンスサービスに係る実態調査

今後の風力発電の導入拡大に向けた人材育成の規模、目標等を明確にすることが必要であり、現状における風車メンテナンスサービスに係る企業、従事者数等の実態調査が必要である。

（２）風車メンテナンス作業における技能等の標準化

現状、国内において風車のメンテナンスに必要とされる技能や資格については各社が独自に設定している。メンテナンス作業で求められる技能を標準化（資格化）して、人材育成の効率化と流動性拡大を図ることを国が主導して実施することが必要である。

（３）地域における人材育成の取り組み

風力発電の導入拡大のためには、既存の事業者に加え、地域における中小企業や地元企業等の多数の新規参入を促進し、市場を拡大することが重要である。特に、風車メンテナンス事業は、各地域での雇用拡大に直結しており、各地域と連携し、新規参入者を対象とした研修会やセミナーを実施する等の対策が必要である。

提 言

１．風力発電の系統制約の解消に向けて

１．１ 背景と課題

現状、政府において風力発電を含む再生可能エネルギーの最大限の導入を目指し、系統制約の解消に向けてソフト面やハード面からの検討を進めている状況である。これらの検討状況を踏まえて現状における主な課題や問題点について以下に示す。

（１）風力発電の連系可能量について

太陽光発電の急増を発端とした電力会社の系統接続の回答保留問題に対応すべく経済産業省新エネルギー小委員会系統ワーキンググループ（系統 WG）において各電力会社が想定している連系可能量の設定方法の妥当性や、出力制限の方法を、データに基づいた手法で検証しており、2014 年 10 月 16 日に第 1 回 WG が開催され、2015 年 11 月 10 日までに計 7 回の WG が開催されている。

第 7 回の WG では各電力会社から風力の連系可能量が報告されたが､太陽光と比べて大幅に少なく、今後解析条件などの情報開示や、第 3 者による検証などが望まれる。

また再エネ電源の出力制御方法については、日単位で風車を停止する方式と、時間単位で出力の上限を制約する方式が比較されている。結果としては、時間単位で出力の上限を制約する方が、きめ細かい制御が可能であり、連系量が多くかつ逸失電力量が小さくなる可能性が大きいことが報告されている。今後運用に向けた具体的な検討が望まれる。

第 7 回までの系統 WG での検討では、調整余力のある電力会社（東京、関西、中部）を除く各電力会社エリアでの導入可能量の策定を実施している。試算結果によると風力資源の豊富な北海道電力は、連系可能量が 36 万 kW であり出力制限が 720 時間以内とした場合の、新規の連系可能量がゼロと報告されている。また北海道と並んで大量導入が期待される東北電力は､連系可能量が､251 万 kW とされており既申込み済みを考慮すると同様に新規の連系可能量は０となる。

すなわち、各電力会社における想定した電源構成等を踏まえると、エリア内で対応することを前提とした場合、風力資源が豊富な北海道や東北での新規系統接続が不可となり、又、全国的にも限界に近づいている状況である。

（参考資料１．１ 2015 年風力発電の30日等出力制御枠）

（２）出力変動に対する対応について

風力は風速の 3 乗に出力が比例するという特性から、わずかな風速の違いでも出力が大きく変化する。そのため、局所的な気象に支配される個別のウインドファームの出力は、常に大きく変動し、精度の高い予測が困難であるが、エリアを広げると各ウインドファーム間で平滑化効果が見込めるため、系統に与える影響は緩和される。しかしながら、ランプ変動と呼ばれる急激かつ大規模な出力変動が発生する場合があり、この変動は系統に大きな影響を与える。このため、風力導入の拡大を図るためには、ランプ変動の発生要因や予測手法を解明する必要がある。

NEDO では、2014～2018 年度に、電力系統出力変動対応技術開発を実施しており、ランプ変動の予測技術や、需給シミュレーション技術開発を実施している。

当該研究開発は、変動電源を大量導入する際に重要となる系統運用技術の大規模な研究開発であり、その進捗状況については注視する必要があるものの、研究が終了し実運用開始までを考えると長期間を要するものである。従って、風力発電の当面の出力変動対応策

の進め方について早急な検討が必要とされるところである。

風力は夜間にランプ変動（出力増）が発生したような場合の下げ代不足が、導入の制約要因となる場合が多いが、そうした場合にも風車に運転制約を掛け、出力増大を防ぐことができれば、風力の連系拡大が可能になる。このため、東北電力は、NEDO 事業で、電力会社のニーズに応じてオンラインでの出力抑制する方式の実証を進めているところである。

（３）基幹送電線の整備について

2013 年 4 月 1 日に閣議決定された「電力システムに関する改革方針」では、再生可能エネルギーの導入拡大に対応するため（中略）「全国大での需給調整機能を強化する」また、「周波数変換設備、地域間連系線の送電インフラの増強に取組む」こととなっている。

（参考資料1．２　電力システムに関する改革方針　抜粋）

2015 年 4 月 1 日に設立された電力広域的運営推進機関では、送電線の増強に関して、地域内の送電線建設の入札制度や、地域間連系線の増強検討のプロセスなどが明らかにされ検討中の段階となっている。

特に、今後の基幹送電線の整備については、広域機関が地域間連系線の整備に関するルール（検討開始要件）を定めている。検討開始要件としては、災害時の電力融通や系統の混雑状況からの判断が主体となっており、風力発電の導入拡大の視点を含めた検討が取り込まれないことを懸念している。

（参考資料1．３　広域的取引の環境整備に関する検討開始要件　抜粋）

１．２ 提言

（１）調整余力のある電力会社との広域運用による出力変動対策の早期実施

風力の資源が豊富なエリア（特に北海道、東北）では、エリア内での新規の系統接続ができない状況にあり、全国的にも限界に近づきつつある。さらなる大量導入を図るためには、東京、中部、関西の各電力会社の調整力を活用した広域運用を採用し、系統連系可能量の拡大をはかるべきである。ただし、エリア間の連系線容量に留意する必要が有る。

広域運用による出力変動対策は、送電線の建設など他の自然変動電源連系量拡大対策と比べて、比較的短期間で実施可能であり、導入量拡大を図る短中期的な対策として早期実施を図る必要がある。

（２）風力発電出力情報のオンライン化の推進

スペインの再生可能エネルギー制御センターの取組みが良く知られているが、自然変動電源を大量導入するためには、正確な出力予測、系統運用者にとって発電量がわかること（可視性）、必要な時に出力を抑制できること（可制御性）の 3 点が重要になる。

可視性に関しては、風力発電は多くが特高連系され、エリア内での電力会社と発電所間の可視性は確保されているものの、出力予測の精度を向上させるには、全国の風力発電所出力をオンラインで閲覧可能なシステムを構築し、この情報を出力予測に活用できる仕組みの構築が必要である。

可制御性については、現状、多くの風力発電所は、「前日の通告による出力抑制」といった、発電事業者任せの不確実な方法に頼らざるをえない状況である。既設の風力発電所は、電力会社からのオンラインによる出力制御に対応できていない地点がほとんどであるが、監視制御装置を改造することで対応可能になる発電所も多い。オンライン化により、電力会社の系統運用は容易になる上、風力発電事業者にとっても、出力制約の損失が低減されるというメリットがある。このため、既設の風力発電所の出力情報のオンライン化に対す

る助成を行い、可制御性の向上を図ることが望ましい。

（３）風力発電導入拡大の視点を含めた基幹送電線の計画推進

風力資源が豊富で、開発も容易なエリアと需要地を結ぶ送電線は、一定の送電容量が必要で送電距離も長いため、187kV、275kV といった超高圧送電線が採用されることも多い。

このような地域間連系線や基幹送電線の検討開始要件は、広域機関の地域間連系線の整備に関するルールにおいて、災害時の電力融通や系統の混雑状況からの判断が主体となっているため、風力用送電線は計画策定のプロセスに乗せることが難しい。今後の風力発電導入拡大のためには、風力資源が豊富なエリアと需要地を結ぶ超高圧送電線の整備が必須であり、広域機関等での計画策定において、検討対象に含めるよう国が主導することを希望する。

２．洋上風力発電の導入促進に向けて

２．１ 背景と課題

洋上風力発電は欧州を中心に導入が進んでおり、2015 年末までの世界の風力発電の累積設備容量 414,964MW に対して、洋上風力発電の累積設備容量は 11,915MW（約 3%）に達している。これらの洋上風力発電は、英国（5,128MW）、ドイツ（3,283MW）デンマーク（1,292MW）といった、主に欧州の国々に導入されたもので、他の地域では、中国（808MW）が続いており、今後とも拡大することが予想されている。

（参考資料０．１　世界における風力発電の導入量）

このように、欧州などで導入が進む洋上風力発電であるが、我が国も、世界有数の長大な海岸線を有する海洋国家であり、その特徴を生かし、洋上風力発電の導入拡大につなげることは、再生可能エネルギーの量的拡大を図る上でも不可欠である。

我が国の洋上風力は緒に就いたところであり、今後の導入拡大に向けては数多くの課題が残されているが、洋上環境の視点から当面の課題としては次のとおりである。

（１）船舶等と港湾インフラについて

我が国の海象条件や洋上風力発電所の規模に適合する風車設置や保守のための船舶がないため既存の船舶を利用した場合、海域の気象や海象条件から据付工事に制限を受けるほか、洋上での待機時間や位置決め時間などが増大し施工効率が低下、ひいては建設コストの大幅な増大を招くこととなる。又、風車の組立、輸送、据付けなどを行う場合、陸上拠点となる港湾施設が整備されていない場合が多く、設置コストの高い洋上や遠地での組立や据付工事となり建設コストの増大を招くこととなる。

（参考資料２．１　日本近海の海象条件）

（２）今後の洋上風力導入拡大に向けた進め方について

最近では民間の事業計画も徐々に動き出している状況にあるが、上記に示した船舶や港湾整備など共通するインフラ整備の課題、更には洋上風力発電の開発可能海域の選定や一般海域を含めた水域占用上の課題（申請窓口、占用期間・事業終了後の撤去等の許可条件、法整備）等を踏まえると個別案件での対応だけでは限界があるものと考える。これらの課題を解決し計画的な市場創出ができるかどうかが洋上風力発電導入拡大の鍵となる。

（参考資料2．２ 洋上風力発電の開発状況　抜粋）

（３）近隣諸国との協調

台湾、ベトナムをはじめとした東アジア諸国では、我が国と類似した台風、地震、雷などの気象条件と海象条件を有する海域において洋上風力発電所の計画が緒に付きつつある。日本の洋上風力発電事業計画ではこれらの東アジア特有の環境条件について十分な検討をされているが、概して温和な欧米の自然環境で育った欧米からの洋上風力発電の事業計画や機器には考慮されていない。このため、欧米式の風力事業計画では、東アジア特有の台風や過酷な海況に対して適合しない可能性があり、我が国の洋上風力発電に関する産業、技術、インフラ構築等に関して我が国の支援が望まれる。

２．２ 提言

（１）国内の事業に適合した据付用船舶の開発、支援

日本の洋上風力計画は、比較的離岸距離が近く、1 サイト当たりの設置基数が数十基程度で欧州と異なり規模が小さい。洋上風力の規模、離岸距離、海象条件を考慮すると比較

的安価で小規模なプロジェクトで投資の回収が可能で、有義波高 1.5m 程度の中型の自航式 SEP 船（SEP ： Self Elevating Platform）の建造が望ましい。日本国内における着床式洋上風力を緒に付けるため、欧州とは異なる日本型の据付用船舶の開発や建造への支援が必要である。

（参考資料2．3　国内の主な洋上風力発電所の計画）

（参考資料2．4　日本と欧州の特殊船舶の準備状況）

（参考資料2．5　風車据付用特殊船舶と適用発電所規模）

（２）洋上風力の事業に向けた作業船群の整備

洋上風力発電の事業には、事前調査、基礎工事、風車等設置及びメンテナンスの各段階があり、上記 SEP 船以外にもそれぞれの段階で数多くの作業船が必要となる。これらの作業船を各事業段階で適宜、活用できるように作業船群（フリート）として整備しておくことが必要であり、これらの整備に関する支援が必要である。

（参考資料2．6　洋上風車の各事業段階における各種船舶）

（３）洋上風力の拠点港湾の整備

欧州では洋上風力発電所の近傍の港湾を陸上拠点として風車などの組立、部品輸送などを行い、設置コストの高い洋上での据付工事を最小化する取組みが行われている。

このため拠点港では、大型の洋上風車や基礎の組立が可能な強度の高い岸壁やヤードの整備などが進んでいる。

日本の港湾インフラは、地耐力が数 ton/㎡程度で建設されており、ヤードの面積も欧州の洋上風力拠点港に比べ小さい。例えば、5MW 級風車 10 基程度の規模の場合、収容能力を有する 80,000 ㎡程度のヤードと地耐力 30ton/m^2、幅 30m、長さ 300m 程度のバースの整備が必要と考えられる。

（参考資料2．7　港湾インフラ整備の条件）

（４）国の主導による計画的な導入推進

今後の洋上風力発電の導入拡大のためには、国の主導による計画的な推進が不可欠である。英国やドイツなどのように優先的開発地域を選定するなど（ゾーニング）を行い、計画的に推進することにより作業船などの設備や人材の投入に関する投資を効率的に行うことが可能となる。

（参考資料2．8　欧州における洋上風力の取組み）

又、洋上風力を設置する場合、海域の一定区域を排他的に利用することとなるが、海域は公共用物であるため特定の人が排他的に利用できないため「水域の占用許可」を得る必要がある。今後、洋上風力拡大のためには、港湾区域だけでなく一般海域への設置が必要とされるところでもあり、水域占用に関する課題（申請窓口、事業者の条件、占用期間や事業終了後の撤去等の許可条件、必要とされる法整備等）を整理し今の内から対策を検討しておくことが必要である。

（５）近隣諸国に対する我が国の洋上風力発電関連事業の連携支援

欧州の環境と異なる東アジアの環境条件に適合可能な、我が国の洋上風力発電技術及びそれに関連したインフラを、我が国から近隣諸国に対して技術支援や輸出する事業に対して、国の支援が必要である。

３．風力発電のコスト低減に向けた技術開発の促進

３．１ 背景と課題

風力発電の発電コストは、大規模開発の場合、火力発電並（10 円/kWh）のレベルであり、再生可能エネルギー（大規模水力発電を除く）の中では最も競争力を有している電源であるが、諸外国と比べるとまだ高く、特に建設コスト（資本費）の低減と設備利用率の向上が主な課題である。

（参考資料３．１ 発電コストの国際比較）

特に、大規模案件に関する建設コストについては、固定価格買取制度と同時期に導入された環境アセスメントの影響により開発に長期間を要し、現状、導入量が足踏み状態となっており、導入拡大効果等による建設コストの低下には至っていない状況にある。現在、開発中の大規模案件を着実に運転開始に結びつけることが重要である。

ここでは、設備利用率の改善を対象に、風車の発電電力量向上と保守点検や故障に係る発電所停止時間の削減に関しての主な課題を述べる。

（１）風車の発電電力量向上について

日本における風車の選定に際しては、台風などの強風に耐えることが必要であり、高風速領域では従来からクラスⅠ（基準風速 50m/s）風車が主体となっており、この結果、ローター直径（受風面積）が制約され、他のクラスの風車と比較して大幅に発電電力量が減少し、設備利用率の低下を招いている。例えば、同型の 2,500ｋW 風車、風速 6m/s の場合で比較すると、クラスⅠでローター直径：88m、発電電力量：約 4,500MWh/年、クラスⅢでローター直径：120m、発電電力量：約 7,200MWh/年と 1.6 倍程度の発電電力量の差が発生する。

（参考資料３．２ 風車クラスによるパワーカーブの例、同型風車）

（２）発電所停止時間の削減について

現状、NEDO事業において、風車部品やメンテナンス技術の高度化による信頼性や設備利用率の向上を狙いに技術開発が実施中の段階であり、今後とも着実に進めていくことが必要である。

（参考資料３．３ NEDO風力発電高度実用化研究開発の概要）
（参考資料３．４ スマートメンテナンス構想 イメージ）
（参考資料３．５ コンディションモニタリングの例）
（参考資料３．６ 予兆診断の適用による運用停止期間の短縮）
（参考資料３．７ 予兆診断における警報分類の例）

特に、近年運転・保守費用に占める故障・事故対応の費用が多くを占めており、その対応の為に発電所を停止する時間も増え、設備利用率の低下の原因ともなっている。

故障や事故の発生原因については、様々であるが、山岳地などの複雑地形における乱流、強風など急激な変動荷重による風車の疲労に伴う不具合が懸念されるところである。

今後、国内では平坦な土地への立地が減少し、山岳地などの複雑地形への立地も増えてくることも踏まえて風車設計手法の高度化に関する検討が必要とされる。

（参考資料３．８ 運転保守費用について）

３．２ 提言

（１）発電電力量向上に向けた低風速風車の開発

風車事業にあっては、収益性に優れる高風速のエリアから風車の建設が進み、次第に風速の低いエリアに建設されるようになってきている。この結果、ロータ直径の小さい風車では発電電力量が減少し、設備利用率が良くならない状況になっている。

そこで、ロータ直径が大きく、低風速域でも発電電力量が増加するクラスⅡ（年平均風速:8.5m/s）あるいはクラスⅢ（年平均風速 7.5m/s）の風車が望まれるようになっている。しかし、日本では台風などの襲来もあり、単純にロータ直径を増大させるだけでは、耐風速性に劣る風車となり、安全性を確保できない恐れがある。そこで、少なくとも、耐風速性を示す基準風速は、国内においては最低でもクラスⅠ（基準風速 50m/s）が望ましいと考えられる。

さらに、IEC（国際電気標準会議）における国内風車関係者の活動の結果、次に改訂される IEC61400-1 edition 4「風車－設計要件」においては、基準風速 57m/s の風車クラス（クラス T）と、乱流カテゴリ（A＋、Iref=0.18）が採用予定であり、台風エリア向けの風車クラスの必要性が認められたところである。

以上から、今後、台風エリアにある日本を始めとした東南アジア向けの風車、あるいは同様な熱帯性低気圧のエリア向けとなる風車の技術開発を進めるために､以下を提言する。

① 低風速域で発電電力量の向上が期待でき、一方で、台風などの強風に耐える高い基準風速 57m/s を持つ､出力に対してロータ直径の大きな風車（例えば､クラスⅢA+,T）の研究開発を行う。

② 前項①の風車を実現化するためのブレードの開発（例えば､長大で耐風速性の高い、スレンダーなブレードの開発）をはじめ、主要なコンポーネントについて、基本設計や使用材料、素材まで含めて一体化した研究開発を行う。

（添付資料３．９　新しい風車クラスの分類（IEC61400-1、Edition4 の予定））

（２）風車の故障率低減に向けた疲労評価手法の高度化

主に平坦地に風車が設置されている欧米に比較して、国内では適当な平坦地が減少するに従い、山岳地などの複雑地形に設置される風車が多くなってきており、今後はさらに増加する状況にある。

山岳地などの複雑地形における乱流、強風など急激な変動荷重による風車の疲労に伴う故障等により設備利用率の低下が懸念されるところである。

（参考資料３．１０　乱流が発生し、余分な荷重がかかるしくみ）

以上の状況を踏まえ、我が国に多い複雑地形における風車の疲労評価手法の高度化及び、複雑地の乱流を含む高精度風況シミュレーションツールを開発し、風車開発やサイト建設計画に利用することで、風車の故障率低減、設備利用率の向上の強力なツールとする以下の研究開発が必要である。

① 複雑地形で運用中の風車運転状況（乱流等の風の状況と風車への荷重）を精密に測定し、複雑地における風車の疲労評価技術及び疲労軽減技術を開発する。

② 風車に流入する複雑な風を高精度で計測し、風況を高精度に予測する風況シミュレーション技術を開発する。

③ ここで開発した複雑地形に適合する技術を、世界に先駆けて IEC などの国際規格へ反映し国際貢献の一助とする。

４．風力発電設備のメンテナンスに係る人材育成

４．１ 背景と課題

（１）風力発電事業の導入拡大に向けた事業環境整備について

今年度策定された長期エネルギー需給見通しに示される通り、風力発電は現在の 3GW から 2030 年に 10GW 以上を目指して導入拡大することが必要とされる。

このためには、風力発電事業を安定的に運営・維持するための事業環境の整備の視点が重要であり、人材の育成・確保やリスクを低減し予見性の高い事業とするなどの課題を解決していくことが必要である。

事業環境整備に係る特に対応すべき課題について以下に示す。

① 風力従事者・技術者の確保・育成
既存技術者のスキル向上、新規参入者の育成など

② 風車運転・保守レベルの向上
既存技術者のスキル向上、新規参入者の育成など

③ 中立的機関によるプロジェクト認証制度の検討
風力発電サイトの適合性評価による事業性、安全性等の向上、リスク低減

④ セイフティネットの検討
事業破綻時における風力発電設備の保全など

これらの課題については、官民での速やかな調査、検討が必要とされる。特に風力発電事業に関わる人材の確保・育成については、事業環境整備に関わる諸施策の基盤をなすものであり、喫緊の課題としてその対応策について検討した。

（２）風力発電分野における人材育成について

平成 26 年度に経済産業省資源エネルギー庁で実施された「再生可能エネルギーに関する知識体系及びスキル標準を活用した人材育成基盤整備事業」において、再生可能エネルギー分野における人材の偏在・不足状況に関するアンケート調査が行われた。

アンケートは、当財団の新エネ産業会議構成員や再エネ事業を手掛ける企業（約 1,000 件）に対して実施しており、関連する調査結果の要点を以下に示す。

（参考資料４．１　人材調査アンケート結果　抜粋）

① 再エネ事業の今後の拡大にあたっての課題
再エネ分野全体で約 6 割、風力分野で約 7 割近い企業が「必要な人材の確保・育成」を最も大きな課題として掲げている。

② 今後の事業戦略の実現に向けての必要な人材の質と量の過不足感
再エネ分野全体で約 7 割、風力分野で約 8 割近い企業が「今後の事業戦略の実現に向けての必要な人材の質と量」とも不足しているとの回答を示している。

③ 現在、特に不足している人材
再エネ分野毎にばらつきがあるが、風力分野では、「発電設備運営（約 48%）」と「詳細検討（約 48%）」に係る人材が不足しているとの回答を示している。
特に、風力分野における「発電設備運営」に係る人材不足は、他の再エネ分野と比較した場合、最も高い比率を示している。

以上の調査結果の通り、風力分野においては多くの関係企業が現状、将来とも人材不足を最も大きな課題として認識している。特に現状において「発電設備運営（運転・保守）」に関する人材不足は、他分野と比較して大きな割合を示しており、今後の対応が急がれるところである。

なお、今後の人材不足対策を検討する際は、風車メンテナンスサービスに関わる企業やその従事者数といった基本的な情報を踏まえて計画することが必要であるが、現状は整理されていない状況となっており、今後、早急な実態調査が必要とされる。

（３）メンテナンス人材育成に係る国内外の現状について

国内における風力発電設備のメンテナンスは、設置した事業者自らが行うほか、作業内容によって当該風車のメーカーやメンテナンス専業の業者が実施する場合などがある。

国内における代表的なメンテナンス事業者では、それぞれ独自の教育や訓練プログラムを準備、更には独自の資格を設定している所もある。また、トレーニングセンターを設置している所もあり、座学だけでなく風車の実機による訓練も可能となっている。

（参考資料4．２ E社の研修概要）

（参考資料4．３ H社の人材育成の体制）

一方、海外においては、EU の「Wind skill プロジェクト（2006～09 年）」やドイツの BZEE（再生可能エネルギー教育センター）による取組みが行われており、いずれも風車のメンテナンス要員の不足が懸念されたため、メンテナンス作業で求められる技能を標準化（資格化）して、人材育成の効率化と流動性拡大を図ることを目的として実施されている。

（参考資料4．４ Wind skill の開発計画）

（参考資料4．５ Wind skill のポートフォリオ）

（参考資料4．６ BZEE の風車ハブ保守作業技能の例）

また最近では IEC(国際電気標準会議)において、風力発電設備の国際認証制度の一環として、風車本体やプロジェクトの認証のみならず、風車のメンテナンスなどに従事する人材・技術の確保のため、人材の認証制度も構築して国際標準化しようとする構想がある。今後の進展に注意が必要である。

４．２ 提言

（１）風力発電設備のメンテナンスサービスに係る実態調査

風力発電に関連する製造業の統計情報については「風力発電関連機器産業に関する調査研究報告書」（一般社団法人 日本産業機械工業会）において毎年整理されているが、風車メンテナンスサービスについては、これに関わる企業やその従事者数といった基本的な情報が整備されていない。

従って、今後の風力発電事業拡大に必要とされる人材育成の規模や目標等を明確にするため、現状における早急な実態調査が必要である。

（２）風車メンテナンス作業における技能等の標準化

現状、国内において風車のメンテナンスに必要とされる技能や資格については各社が独自に設定している。また、海外においてはメンテナンス作業で求められる技能を標準化（資格化）して、人材育成の効率化と流動性拡大を図ることを国が主導して実施している状況である。

我が国においてもメンテナンス作業に必要とされる技能や訓練等の教育プログラムを統一、標準化し、資格認定の在り方を含めて国が主導することが必要である。

なお、検討に際しては、国内外の風力分野における人材育成の現状や動向、参考となるような資格制度や教育機関・設備などについて調査しておくことが重要と思われる。

（３）地域における人材育成の取り組み

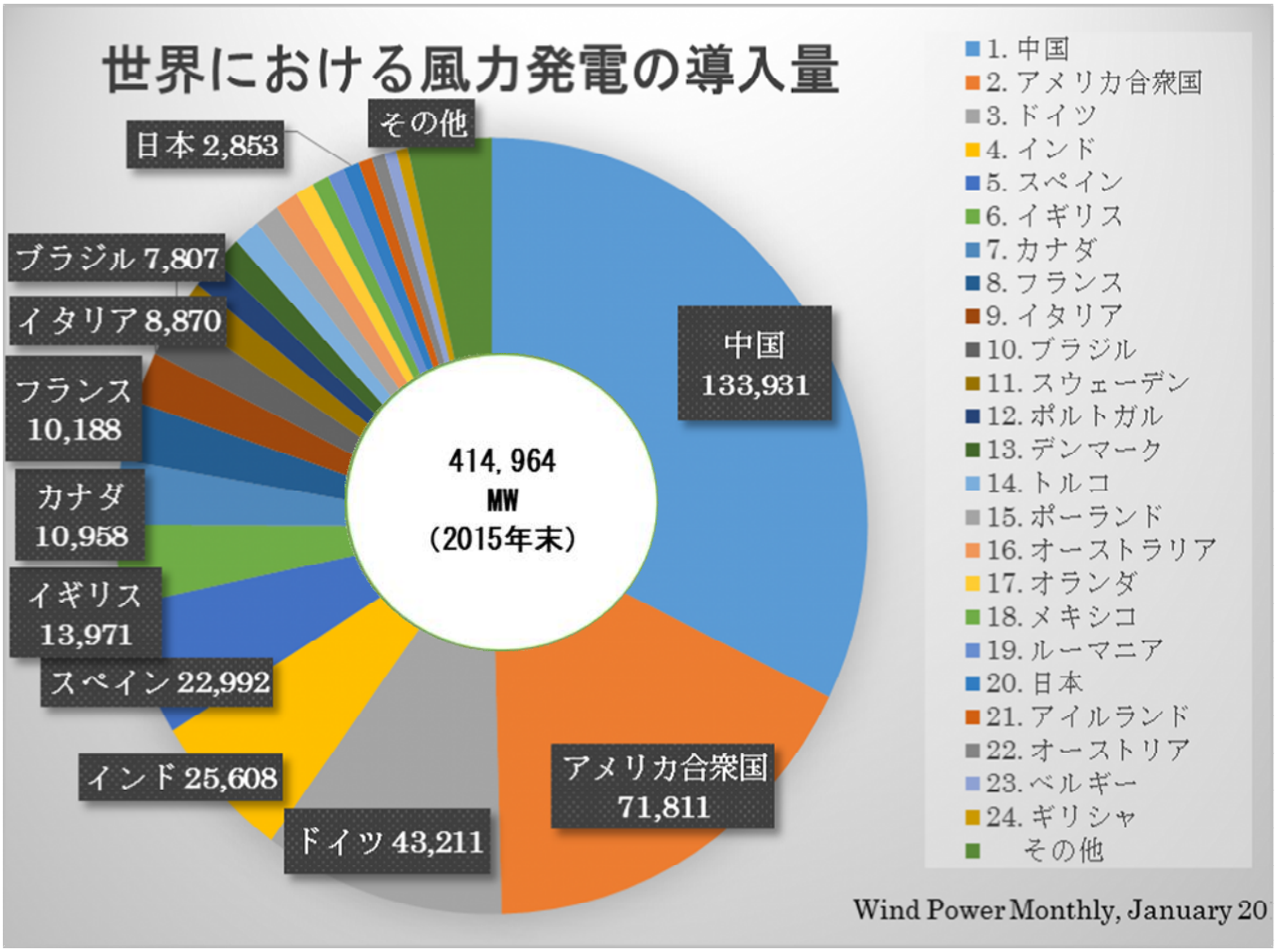
風力発電の導入拡大のためには、既存の事業者に加え、地域における中小企業や地元企業等の多数の新規参入を促進し、市場を拡大することが重要である。

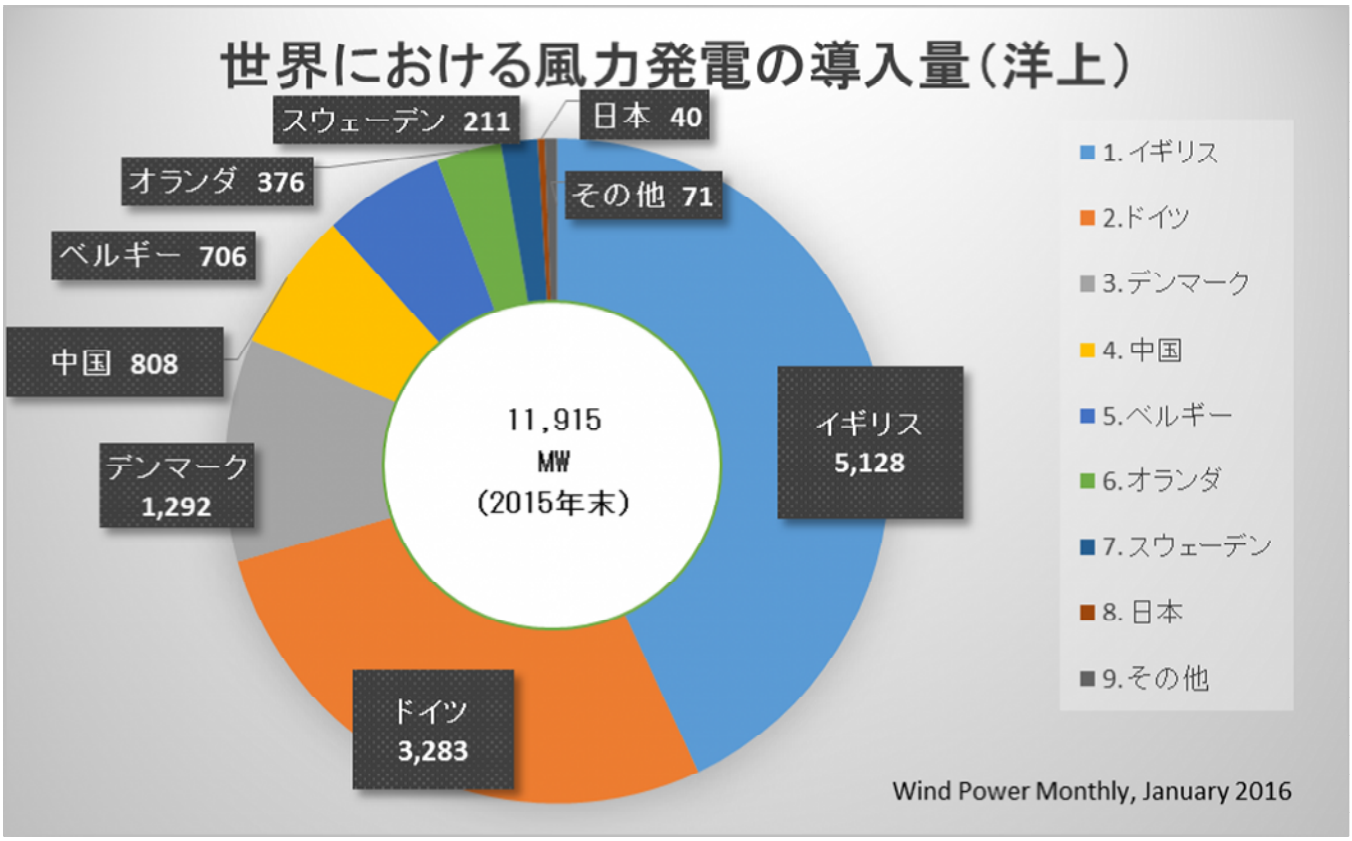
特に、風車メンテナンス事業は、各地域での雇用拡大に直結しており、各地域と連携し、新規参入者を対象とした研修会やセミナーを実施する等の対策も必要である。

参 考 資 料 一 覧

		頁
０．１	世界における風力発電の導入量	１６
０．２	日本における風力発電導入量の推移	１７
１．１	２０１５年風力発電の３０日等出力制御枠	１８
１．２	電力システムに関する改革方針　抜粋	１９
１．３	広域的取引の環境整備に関する検討開始要件　抜粋	２０
２．１	日本近海の海象条件	２１
２．２	洋上風力発電の開発状況　抜粋	２１
２．３	国内の主な洋上風力発電所の計画	２２
２．４	日本と欧州の特殊船舶の準備状況	２２
２．５	風車据付用特殊船舶と適用発電所規模	２３
２．６	洋上風車の各事業段階における各種船舶	２３
２．７	港湾インフラ整備の条件	２４
２．８	欧州における洋上風力の取組み	２４
３．１	発電コストの国際比較	２５
３．２	風車クラスによるパワーカーブの例	２５
３．３	ＮＥＤＯ風力発電高度実用化研究開発の概要	２６
３．４	スマートメンテナンス将来構想　イメージ	２７
３．５	コンディションモニタリングの例	２７
３．６	予兆診断の適用による運用停止期間の短縮	２８
３．７	予兆診断における警報分類の例	２８
３．８	運転保守費用について	２９
３．９	新しい風車クラスの分類　（IEC61400－1、Edition４の予定）	２９
３．１０	乱流が発生し、余分な荷重が掛かるしくみ	３０
４．１	人材調査アンケート結果　抜粋	３１
４．２	Ｅ社の研修概要	３５
４．３	Ｈ社の人材育成の体制	３６
４．４	Ｗｉｎｄｓｋｉｌｌの開発計画　（２００６～２００９年）	３７
４．５	Ｗｉｎｄｓｋｉｌｌのポートフォリオ２００９	３７
４．６	ＢＺＥＥの風車ハブ作業技能の例	３８

参考資料０．１　世界における風力発電の導入量　　（出典：Wind Power Monthly 2016 年１月）





参考資料０．２　日本における風力発電導入量の推移　　（出典：JWPA ホームページ　2016 年 1 月）

第７回系統WGの概要（２０１５年度）

資料１０－３

（現状の接続状況等を追記。四国は７月末時点、北海道・東北・九州・沖縄は９月末時点、北陸・中国は10月末時点）

□は30日等出力制御枠

○太陽光の2015年度算定値の算定結果

算定値	北海道	東北	北陸	中国	四国	九州	沖縄	合計
2014年度	117万ｋW	552万ｋW	110万ｋW	558万ｋW	257万ｋW	817万ｋW	49.5万ｋW	2,562.5万kW
2015年度	0万ｋW	505万ｋW	101万ｋW	660万ｋW	230万ｋW	849万ｋW	48.3万ｋW	
増減要因	需要減少	需要減少	需要減少等	電源構成等	需要減少	電源構成等	需要減少	
	×見直さない	×見直さない	×見直さない	○見直す	×見直さない	×見直さない	×見直さない	
接続未	127	586	38	302	103	376+申込 825	12.4	2369.4
接続済	80	202	48	229	148	545	24.8	1276.8
合計（万kW）	207	788	86	531	251	1746	37.2	3646.2
空き容量	×	×	○	○	○	×	○	—

○風力の2015年度算定値の算定結果

算定値	北海道	東北	北陸	中国	四国	九州	沖縄	合計
過去試算	36万ｋW	200万ｋW	45万ｋW	100万ｋW	60万ｋW	100万ｋW	2.5万ｋW	717.3万kW
2015年度	0万ｋW	251万ｋW	59万ｋW	109万ｋW	64万ｋW	180万ｋW	18.3万ｋW	
接続未	7	114+申込 190	2	17	19	18+申込 59	0.1	426.1
接続済	32	66	15	30	19	47	1.4	210.4
合計（万kW）	39	370	17	47	38	124	1.5	636.5
空き容量	×	×	○	○	○	○	○	—

【注記】空き容量は、現状の接続未や申込み案件がすべて接続済となった場合の値である

（出典：2015年4月閣議決定）

電力システムに関する改革方針

（平成25年4月2日
閣　議　決　定）

低廉で安定的な電力供給は、国民生活を支える基盤である。

東日本大震災とこれに伴う原子力事故を契機に、電気料金の値上げや、需給ひっ迫下での需給調整、多様な電源の活用の必要性が増すとともに、従来の電力システムの抱える様々な限界が明らかになった。

こうした現状にかんがみ、政府として、エネルギーの安定供給とエネルギーコストの低減の観点も含め、これまでのエネルギー政策をゼロベースで見直し、現在及び将来の国民生活に責任あるエネルギー政策を構築していく一環として、再生可能エネルギーの導入等を進めるとともに、以下の目的に向けた電力システム改革に、政府を挙げて取り組む。その際、電気事業に携わる者の現場力や技術・人材といった蓄積を活かす。

Ⅰ　電力システムの改革の目的

1．安定供給を確保する

東日本大震災以降、原子力発電への依存度が大きく低下し、大半の発電が既存火力に依存する中、分散型電源を始め、多様な電源の活用が不可避である。特に、出力変動を伴う再生可能エネルギーの導入を進める中でも、安定供給を確保できる仕組みを実現する。

これまでの「同じ価格で需要に応じていくらでも電力を供給する」仕組みではなく、需要家の選択により需要を抑制したり、地域間の電力融通等の指示を行うことができる仕組みを導入し、需給ひっ迫への備えを強化する。

2．電気料金を最大限抑制する

原子力比率の低下、燃料コストの増加等による電気料金の上昇圧力の中にあっても、競争の促進や、全国大で安い電源から順に使うこと（メリットオーダー）の徹底、需要家の選択による需要抑制を通じた発電投資の適正化により、電気料金を最大限抑制する。

3．需要家の選択肢や事業者の事業機会を拡大する

電力会社、料金メニュー、電源等を選びたいという需要家の様々なニーズに多様な選択肢で応えることができる制度に転換する。また、他業種・他地域からの参入、新技術を用いた発電や需要抑制策等の活用を通じてイノベーションを誘発し得る電力システムを実現する。

Ⅱ　主な改革内容

上記の3つの目的からなる電力システム改革につき、以下の3つの柱を中心として、大胆な改革を現実的なスケジュールの下で着実に実行する。

1．広域系統運用の拡大

電力需給のひっ迫や出力変動のある再生可能エネルギーの導入拡大に対応するため、国の監督の下に、報告徴収等により系統利用者の情報を一元的に把握し、以下の業務を担う「広域系統運用機関（仮称）」を設立し、平常時、緊急時を問わず、安定供給体制を抜本的に強化し、併せて電力コスト低減を図るため、従来の区域（エリア）概念を越えた全国大での需給調整機能を強化する。

①需給計画・系統計画を取りまとめ、周波数変換設備、地域間連系線等の送電インフラの増強や区域（エリア）を越えた全国大での系統運用等を図る。

②平常時において、各区域（エリア）の送配電事業者による需給バランス・周波数調整に関し、広域的な運用の調整を行う。

③災害等による需給ひっ迫時において、電源の焚き増しや電力融通を指示することで、需給調整を行う。

④中立的に新規電源の接続の受付や系統情報の公開に係る業務を行う。

（周波数変換設備、地域間連系線等の整備）

なお、広域系統運用を拡大するため、広域系統運用機関が中心となって周波数変換設備、地域間連系線等の送電インフラの増強に取り組む。

また、地域間連系線等の整備に長期間を要している現状にかんがみ、関係法令上の手続きの円滑化等を図るため、重要送電設備を国が指定し、関係府省等と協議・連絡の場を設置するなどの体制を整備する。

2．小売及び発電の全面自由化

（小売全面自由化）

家庭部門を含めた全ての需要家が電力供給者を選択できるようにするため、小売の全面自由化を行う。その際、需要家が適切に電力会社や料金メニュー、電源別メニューなどを選択できるよう、国や事業者等が適切な情報提供や広報を積極的に行い、また、スマートメーターの導入等の環境整備を図ることで、自由な競争を促す。

（適正な料金の確保）

ただし、一般電気事業者の料金規制は、電気の小売業への参入の全面自由化後も、実際に競争が進展していることを確認するまでの間、経過措置として継続する。また、料金規制の撤廃後（電気の小売料金の全面自由化後）も、需要家保護のため、最終的な供給保障を送配電事業者が行うことや、離島において離島以外の地域と遜色ない料金での安定供給を保障する等の措置を講じる。

参考資料１．３　広域的取引の環境整備に関する検討開始要件　抜粋（出典：2015 年 4 月 電力広域的推進機関、計画策定プロセス検討開始の要件適否の状況とその扱いについて）

1. 広域的取引の環境整備に関する検討開始要件とは
①業務規程及び送配電等業務指針での取り扱いについて

計画策定プロセス検討開始要件のうち、広域機関発議による広域的取引の環境整備に関する検討開始の要件とは以下の通りとなります。

業務規程

「計画策定プロセス」は、以下により開始することとなっています。（業務規程第31条）
一　広域機関による発議
二　電気供給事業者による提起
三　国の審議会等からの要請

「広域機関による発議」は、以下の観点から、送配電等業務指針で定める検討開始要件により判断いたします。（業務規程第31条第1項第一号）
ア　安定供給　：大規模災害等の場合において、電力の融通により安定供給を確保する観点
イ　広域的取引の環境整備　：現に発生し又は将来発生すると想定される広域連系系統の混雑等を防止し、広域的な電力取引の環境を整備する観点

送配電等業務指針

広域的取引の環境整備に関する検討開始要件は以下のとおりです。（送配電等業務指針第23条第1項第二号）

ア　連系線の利用実績
イ　連系線の年間計画
ウ　連系線の長期計画
エ　市場取引状況
→ 地域間連系線に係る広域的取引 → 四半期に1回

オ　地内基幹送電線の制約による出力制限の実績 → 年1回

カ　電気供給事業者の増強ニーズ

要件適否の状況を取りまとめ、広域系統整備委員会に報告するとともに公表することとなっております。

本資料によるご報告

キ　連系線に直接影響を与える系統アクセス

ク　その他広域的取引の環境整備を行う必要性が認められる蓋然性が高く、本機関が広域系統整備を検討すべき合理性が認められる場合

3

②地域間連系線に係る要件について

地域間連系線に係る広域的取引の環境整備に関する検討開始要件（前頁ア～エ）の適合要件は下表のとおりです。

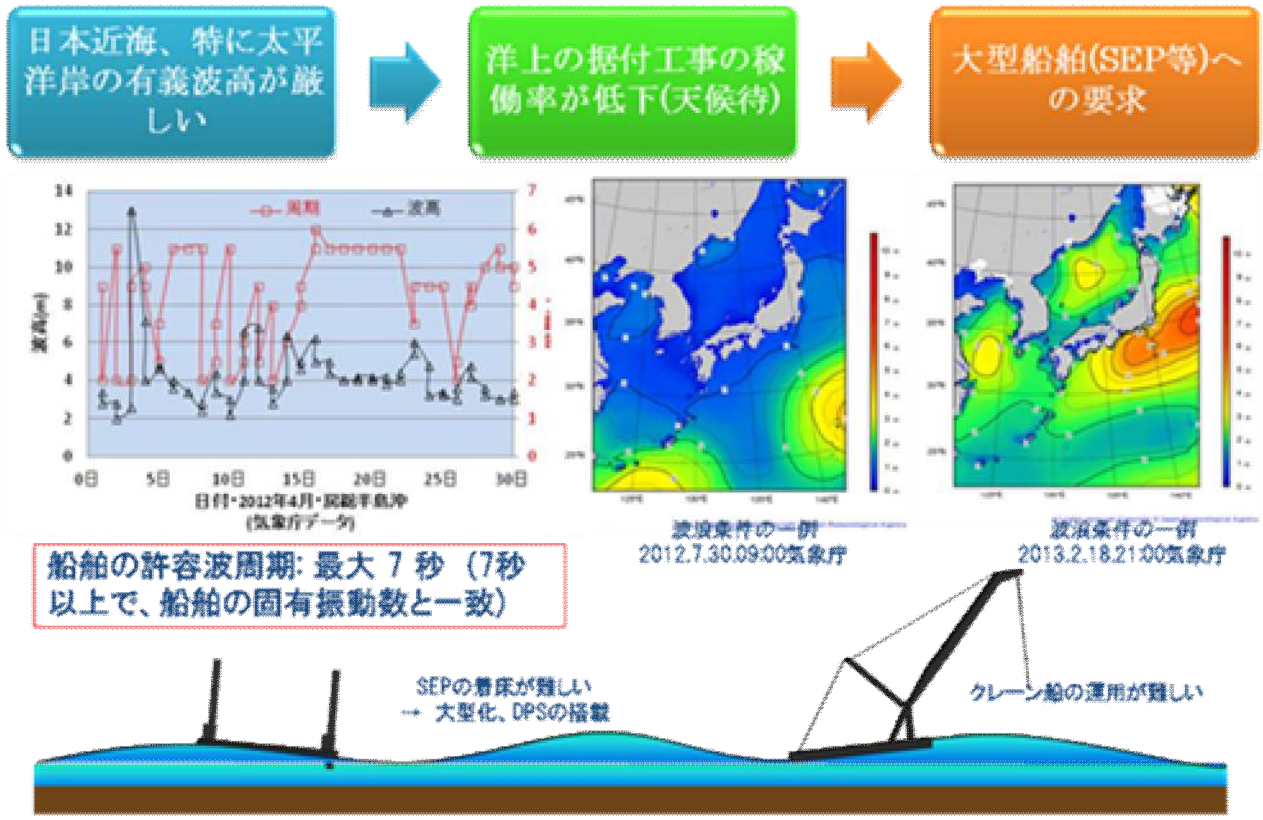
（送配電等業務指針第23条第1項第2号ア～エ）

検討項目	適合要件
ア 連系線の利用実績	連系線の利用実績において、過去1年間（対象期間：2014年度）に運用容量に対する空容量が5%以下となった時間数が、過去1年間の総時間数の20%以上となった場合。※1
イ 連系線の年間計画	連系線の年間計画（対象期間：2015年6月～2017年3月）において、運用容量に対する空容量が5%以下となる時間数が、年間計画を管理する対象の期間の総時間数の20%以上となった場合。※1
ウ 連系線の長期計画	連系線の長期計画（対象期間：2017～2024年度）において、運用容量に対する空容量が10%以下となる年度が、3年度以上となった場合。※1
エ 市場取引状況	JEPXが運営するスポット取引において、過去1年間（対象期間：2014年度）に市場分断処理を行った商品の数が、過去1年間の総商品数の20%以上となった場合。※2

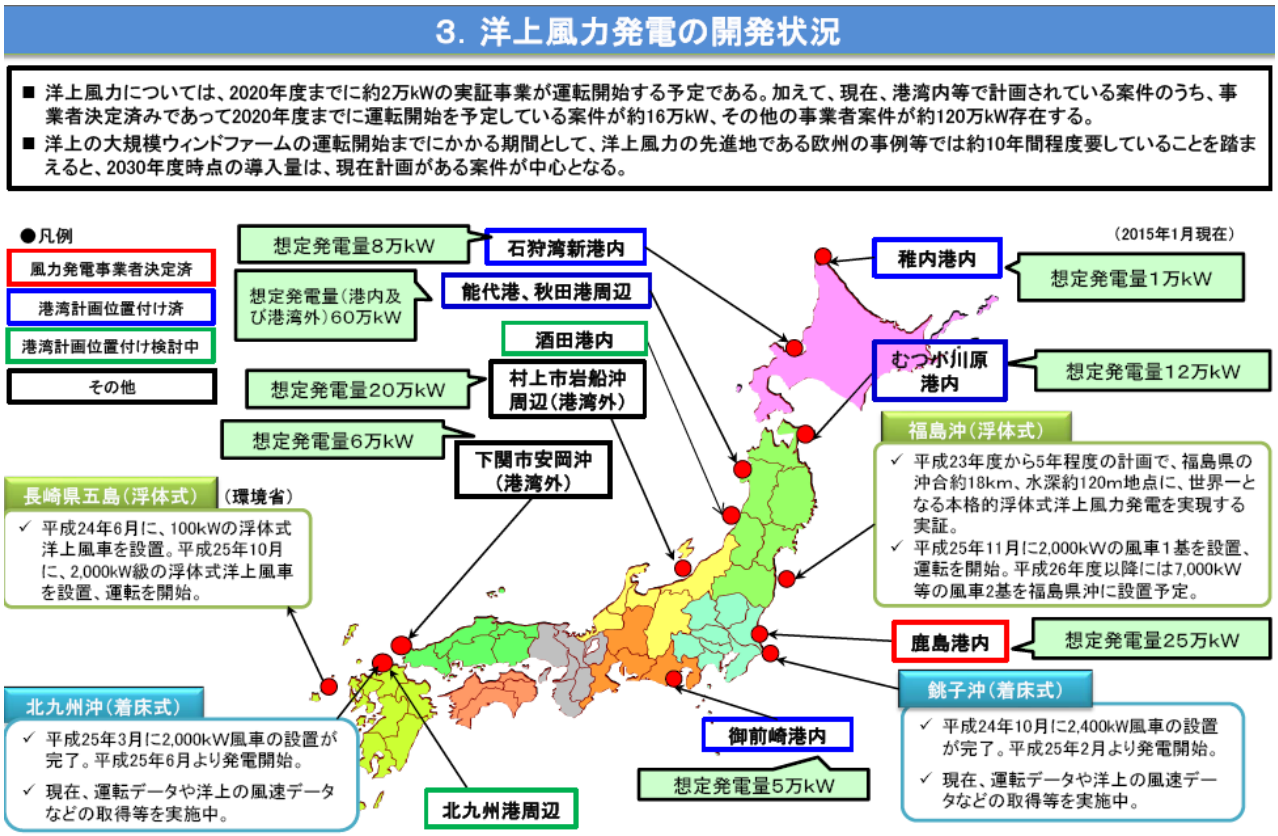
※1　他の連系線を迂回することができる場合は、迂回ルートの状況も含め総合的に分析する。

※2　「市場分断処理」とは、日本卸電力取引所（JEPX）がスポット取引において約定処理を行った結果、スポット取引の連系線利用計画値が連系線の空容量を超過する場合、託送（送電）可能量を制約条件としてエリアごとに再度約定処理を行うこと。

参考資料２．１　日本近海の海象条件　（出典：日立製作所, 高知県洋上風力発電に関する勉強会, 2014. 8. 29）



参考資料２．２　洋上風力発電の開発状況抜粋（出典：2015 年 3 月 第 4 回長期エネルギー需給見通し小委員会）



参考資料２．３　国内の主な洋上風力発電所の計画

（出典：公開文献ベースに NEF 風力委員会にて集計）

洋上風力発電の実績と計画

区分	形式	設置(計画)海域		事業区分等	出力 (MW)	基数 (基)	離岸距離 (km)	平均風速 (m/s)	施設出力 (MW)	備考
稼働中	着床式	北海道	瀬棚港	売電事業	0.6	2	0		1.2	
		山形県	酒田港		2.0	5	0.04		10.0	
		茨城県	鹿島港沿岸		2.0	15	0.04		30.0	かみす洋上風力
		千葉県	銚子沖	実証事業	2.4	1	3.0		2.4	NEDO
		福岡県	北九州市沖		2.0	1	1.4		2.0	NEDO
	浮体式	長崎県	五島市椛島沖		2.0	1	1		2.0	環境省
		福島県	福島県沖		2.0	1	20		2.0	経産省
	計						3.6		49.6	
計画中	着床式	北海道	稚内港	港湾計画反映済	5.0	2			10.0	
			石狩湾新港		2.5	40	3.0		100.0	アセス方法書手続中
		青森県	むつ小川原港	港湾計画検討中	2.5	32	2.0		80.0	アセス方法書手続中
		秋田県	能代港		5.0	14	0.3		70.0	H27公募
			秋田港		5.0	15	0.3		75.0	H27公募
		山形県	酒田港		5.0	3	0.5		15.0	H27公募
		茨城県	鹿島港	港湾計画反映済	5.0	50	5	7	250.0	建設準備中
		静岡県	御前崎港		4.5	9	1		40.5	
		福岡県	北九州港	港湾計画検討中						
		山口県	下関市安岡沖	一般海域	4.0	15	2		60.0	アセス方法書手続中
	浮体式	福島県	福島県沖	実証事業	7.0	2	－		14.0	経産省、H27年度までに設置
		新潟県	粟島浦村沖	実証フィールド			－			小型プロトタイプ向け
		佐賀県	唐津市加部島沖	実証フィールド			－			浮体式潮流・風力ﾊｲﾌﾞﾘｯﾄﾞ発電
		長崎県	五島市椛島沖	実証フィールド			－			
				平均/計	3	12	2.7	7	714.5	
合計									764.1	

参考資料２．４　日本と欧州の特殊船舶の準備状況

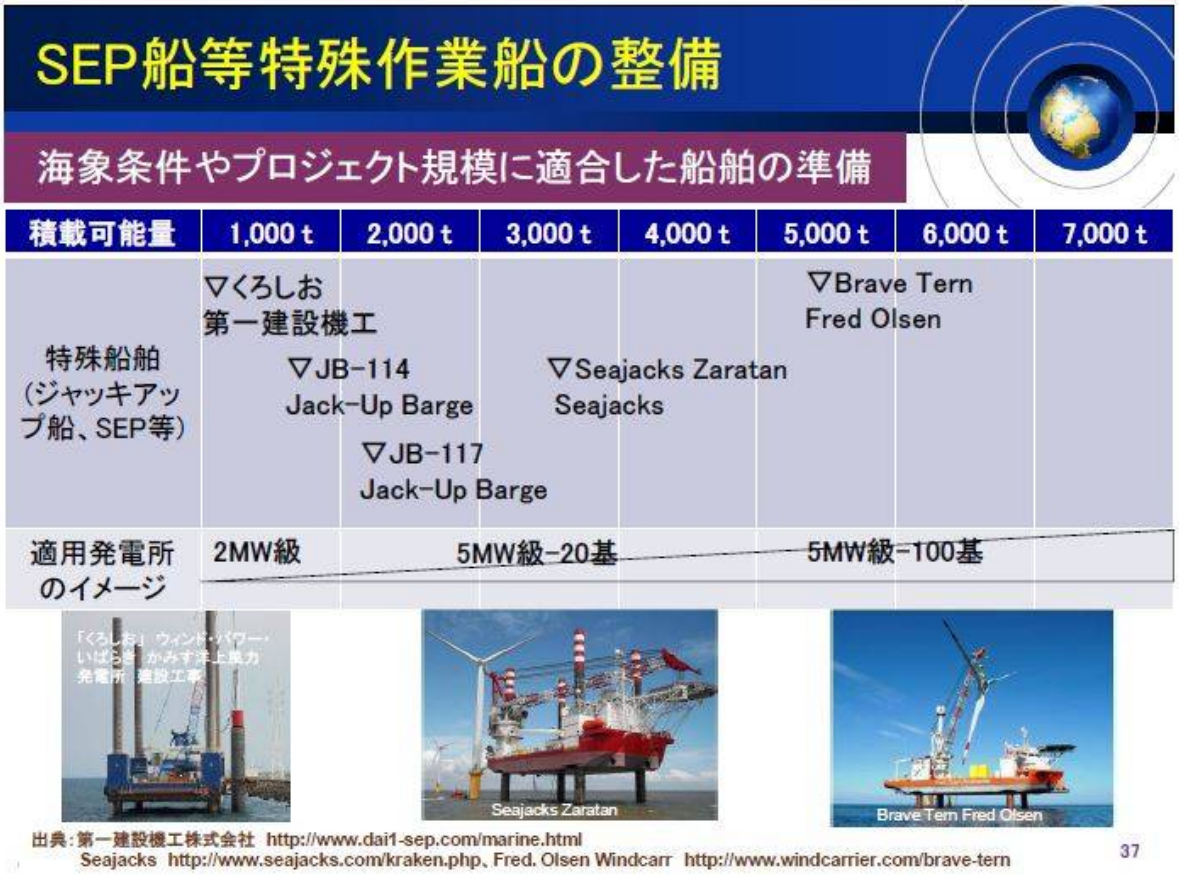
（出典：Seajacks Zaratan の HP などより）

	くろしお	JB-114	JB-117	Seajacks Zaratan	Brave Tern
所有者	第一建設機工株式会社	Jack-Up Barge	Jack-Up Barge	Seajacks	Fred Olsen Windcarrier
進水年(年)	2011	2009	2011	2012	2012
サイズ(m)	48.0L-25.0W-4.2D	55.5L-32.2W-5D	76L-46W-6D	81L-41W-7D	132L-39W-9D
積載可能量(t)	1,050	1,750	2,250	3,607	5,300
クレーン能力	(別途搭載可)	300t@16m	1,000t@22m	800t@24m	800t@24m
居住区容量(人)	-	64	68	90	80

Seajacks Zaratan: http://www.seajacks.com/seajacks_in_the_news/2012/05/seajacks-zaratan-successfully-undertakes-work-for-dong-energy/

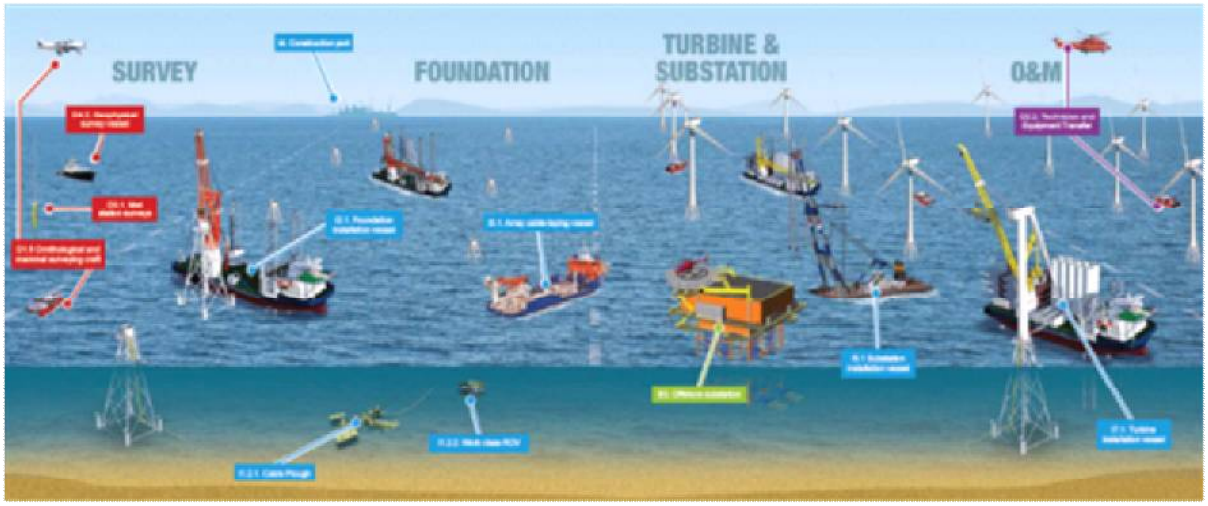
43

参考資料２．５　風車据付用特殊船舶と適用発電所規模　（出典：再生可能エネルギー世界展示会, 2015. 7. 31）



参考資料２．６　洋上風車の各事業段階における各種船舶　（出典：「我が国における洋上風車設置船・作業船の在り方について　基礎検討調査報告書）日本船舶技術研究会）

●洋上風力発電の事業には、事前調査、基礎工事、風車・変電所の設置、運転およびメンテナンスの各段階があり、それぞれの段階で数多くの種類の作業船が必要となる。これらは、各事業段階において、適宜、活用できるように作業船群（フリート）として整備しておくべきものである。



SURVEY 事前調査	FOUNDATION 基礎工事	TURBINE & SUBSTATION 風車＆変電所設置	O & M 運転＆メンテナンス
・地質調査船 ・気象・海洋観測船	・はしけ ・重量物運搬船 ・クレーン船 ・タグボート ・アクセス船 ・風車据付船	・ROV搭載船 ・潜水作業支援船 ・監視・警戒船 ・アンカーハンドリング船 ・ケーブル敷設船	・アクセス船 ・保守管理作業船 ・非常救出捜索・母船

出典：「A Guide to an Offshore Wind Farm」（英国 The Crown Estate）
「我が国における洋上風車設置船・作業船の在り方について　基礎検討調査報告書」（一般財団法人 日本船舶技術研究協会）

参考資料２．７　港湾インフラ整備の条件　（出典：港湾における再生可能エネルギーの導入円滑化及び利活用方策に関する検討会資料、国土交通省港湾局、2014 年 3 月 12 日などより NEF にて集計）

区分	項目	条件	備考
仮設ヤード	面積	150～200×300～550m	5～7MW 10～20 基
岸壁(バース)	長さ	300～550m	
	水深	10～13m	
大荷重対応岸壁	長さ	150～300m	
	幅	35m	
	地耐力	30～60t/㎡	

参考資料２．８　欧州における洋上風力の取組　（出展：洋上風力の調達価格に係る研究会報告書 H26.1.7 参考資料より抜粋

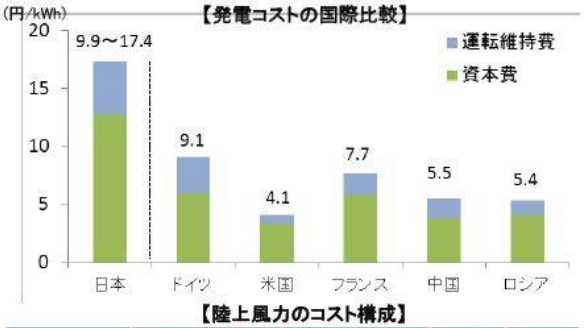
国名	洋上開発海域の選定など	制度	洋上風力導入目標
ドイツ	ドイツ政府が１２海里以上の排他的経済水域における優先的開発地域を決定。	ＦＩＴ	10GW (2020 年)
英国	英国の土地と海域を管理する政府機関（Crown Estate）が洋上風力発電事業者向けに入札を行い、事業者と用地のリース契約を締結している。	割当義務	25GW (2020 年)
デンマーク	デンマーク政府が洋上風力発電の優先的開発地を決定。 開発事業者を入札で決定し、買取価格も優先的開発に応じて決定。	入札制度	4.6GW (2025 年)

参考資料３．１　発電コストの国際比較

（出典：調達価格算定委員会）

課題5. 低コスト化に向けた取組（コストの現状）

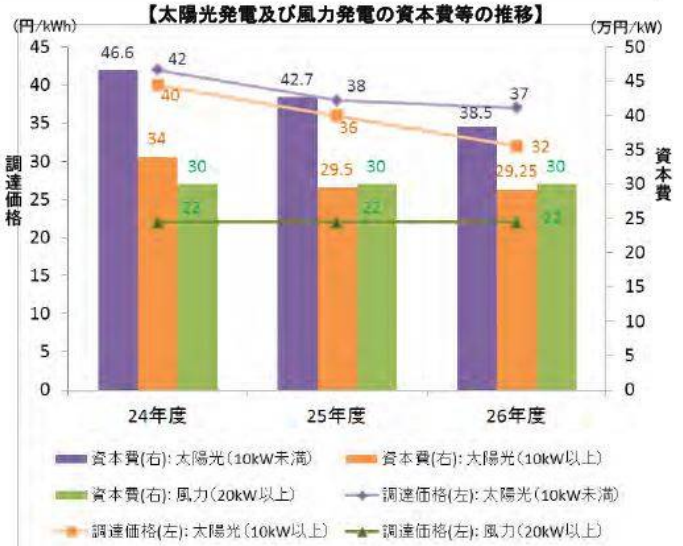
- 大規模開発すれば火力並の10円/kWhと、相対的にコスト合理的な風力は、今後の再生可能エネルギー普及の重要な役割を担う。
- 日本の風力発電のコストは現状において、諸外国と比較すると高いが、資本費の高さ（規模）や設備利用率の低さ（風況）を考慮する必要がある。
- 太陽光発電は資本費が下がっているが、風力発電は、開発に長期間を要すること、乱流・台風・落雷等の対策費用がかさむことや固定価格買取制度導入後に運転開始した案件が少ないこと等の理由もあり、資本費の低下には至っていない。



【陸上風力のコスト構成】

	日本	ドイツ	米国	フランス	中国	ロシア
想定規模 (MW)	20	3	150	45	50	100
資本費 (万円/kW)	20～35	16.6	16.9	16.4	13.2	16.3
運転維持費 (円/kWh)	2.6～4.6	3.1	0.7	1.8	1.7	1.3
設備利用率	20%	23%	41%	27%	27%	32%

日本は、23年度コスト等検証委員会報告書の2010年のモデルプラントより。他国は、OECD: "Projected Costs of Generating Electricity 2010 Edition"の割引率5%より。モデルプラントの諸元に合わせ1ドル=85.74(2010年平均)で換算

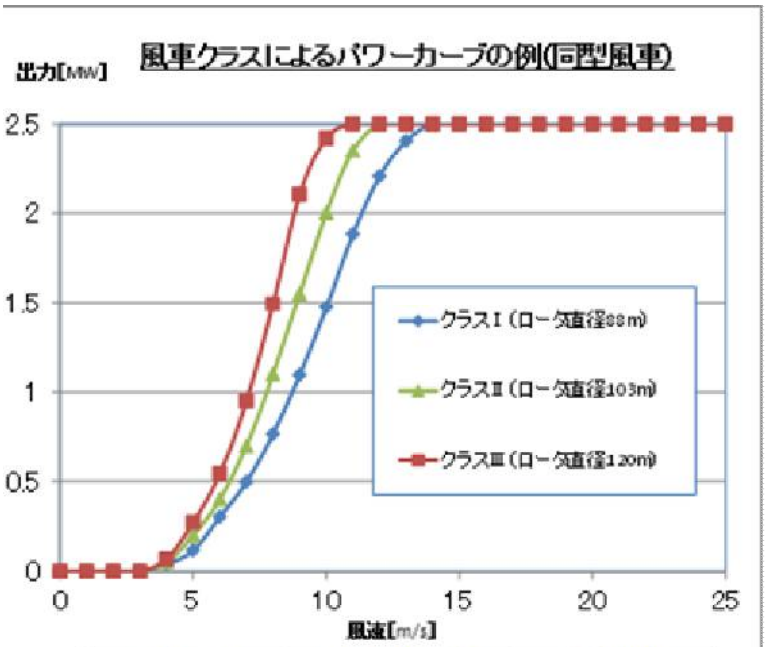


(注1)調達価格の算定にあたっては、資本費に加え、設備利用率や運転維持費等についても加味される。
(注2)平成26年度の10kW未満の太陽光発電設備の調達価格については、補助金の廃止を調達価格にて加味し算定しているため、費用の低下に比べて調達価格は低下していない。
(出典)調達価格等算定委員会

31

参考資料３．２　風車クラスによるパワーカーブの例（同型風車）

（出典：GE 社 2.5MW 風車カタログを基に算出）



風車クラス	発電量(MWh/年)	設備利用率
クラスⅠ（ロータ直径88m）	4,507	21%
クラスⅡ（ロータ直径103m）	5,860	27%
クラスⅢ（ロータ直径120m）	7,187	33%

参考資料３．３　NEDO 風力発電高度実用化研究開発の概要　（出典：第 16 回風力エネルギー利用総合セミナー）

スマートメンテナンス技術研究開発

風力発電O&M=　定期メンテ　＋　トラブル時メンテ

□定期メンテナンス(Scheduled Maintenance)：日々，月，半年，年単位
- ➢チェック項目に沿った健康状態の確認と維持（チェック項目が膨大）

⇒膨大なチェック項目の効率化が必要

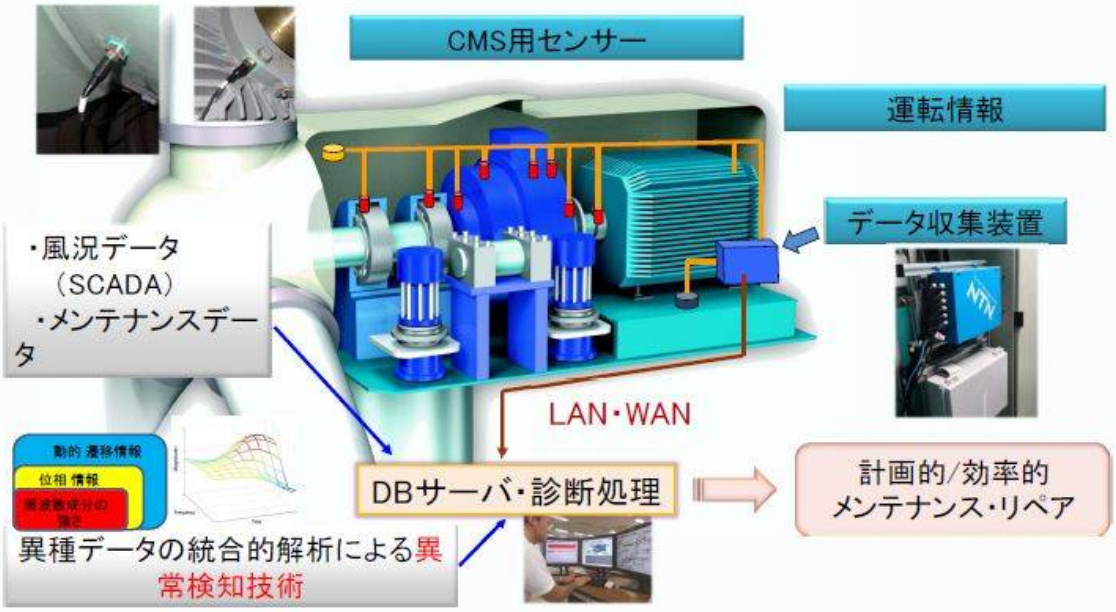
□トラブル時メンテ
- ➢トラブルシューティングの実施
  - ➢問題箇所の特定と確認（特定に時間がかかる＆熟達度によって大きく差がある）
  - ➢応急処置（致命的な場合には修繕・交換）の実施
    （作業には機材、用具、要員の準備に時間を要することが多い。）

⇒トラブルシューティングの効率化、事前準備の効率化が必要

※これまでは、起こってから対応する「事後対応」
⇒「予防対策」と「予測対応（事前対応）」ができるようになれば、
Ｏ＆Ｍの高効率化を図ることができる

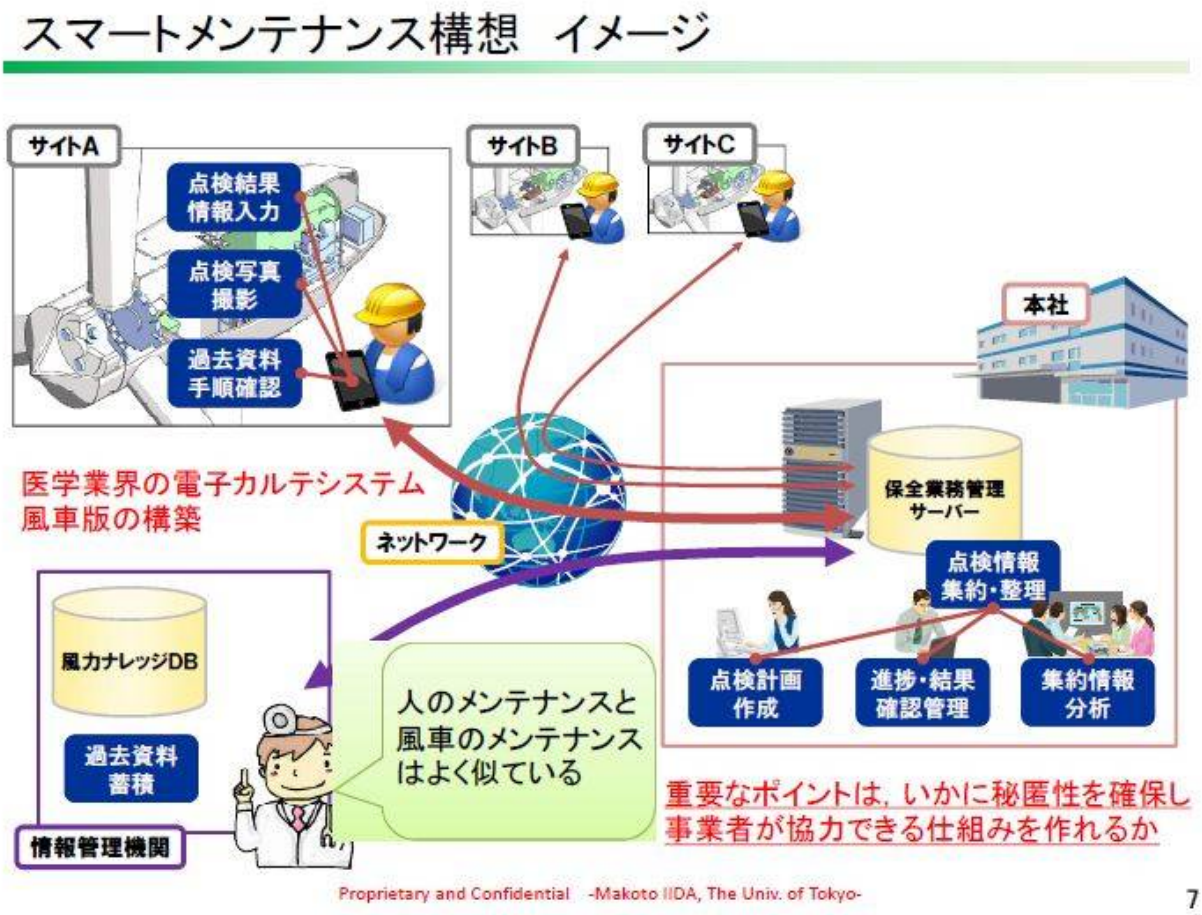
スマートメンテナンス／モニタリングシステムの概要

CMS高度化　⇒　伝達系機械要素の異常発見の早期化・高信頼化
SMS化　⇒　計画的/効率的なメンテナンス・リペアの実現　⇒　稼働率向上

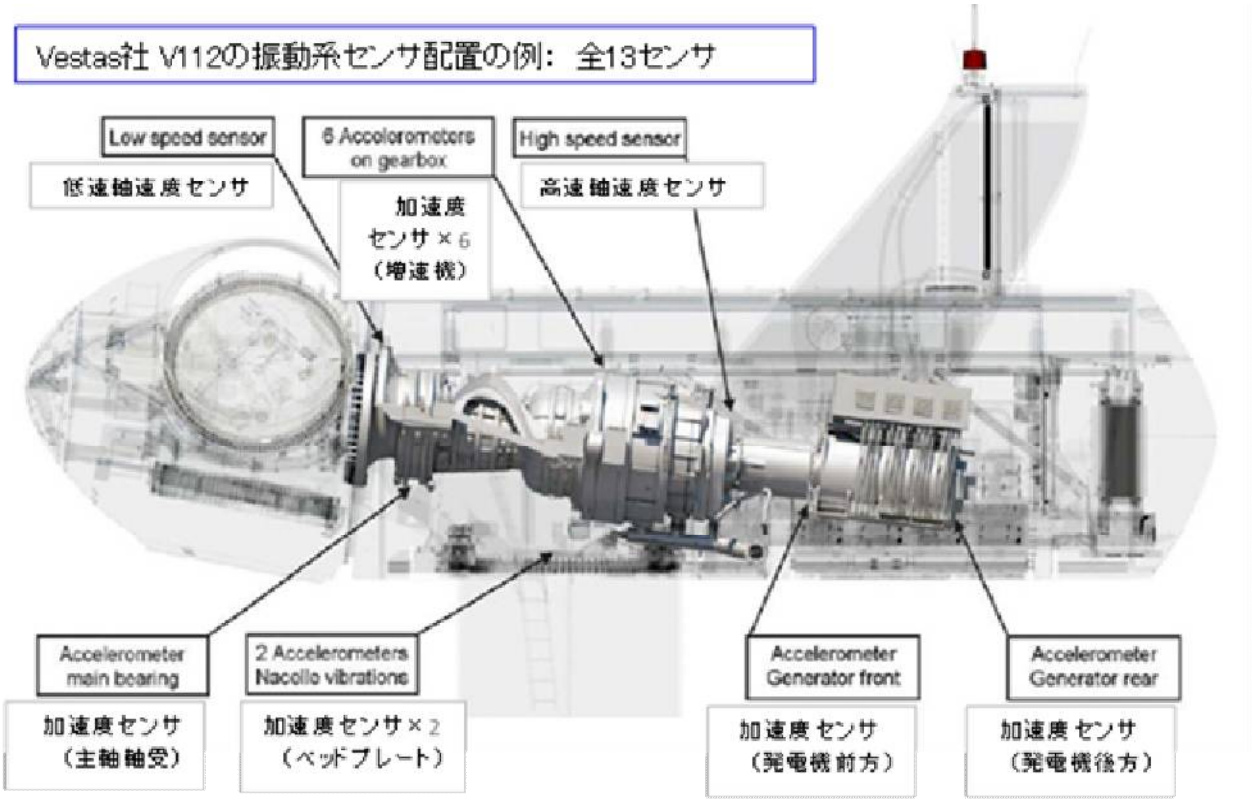


Proprietary and Confidential　-Makoto IIDA, The Univ. of Tokyo-　30

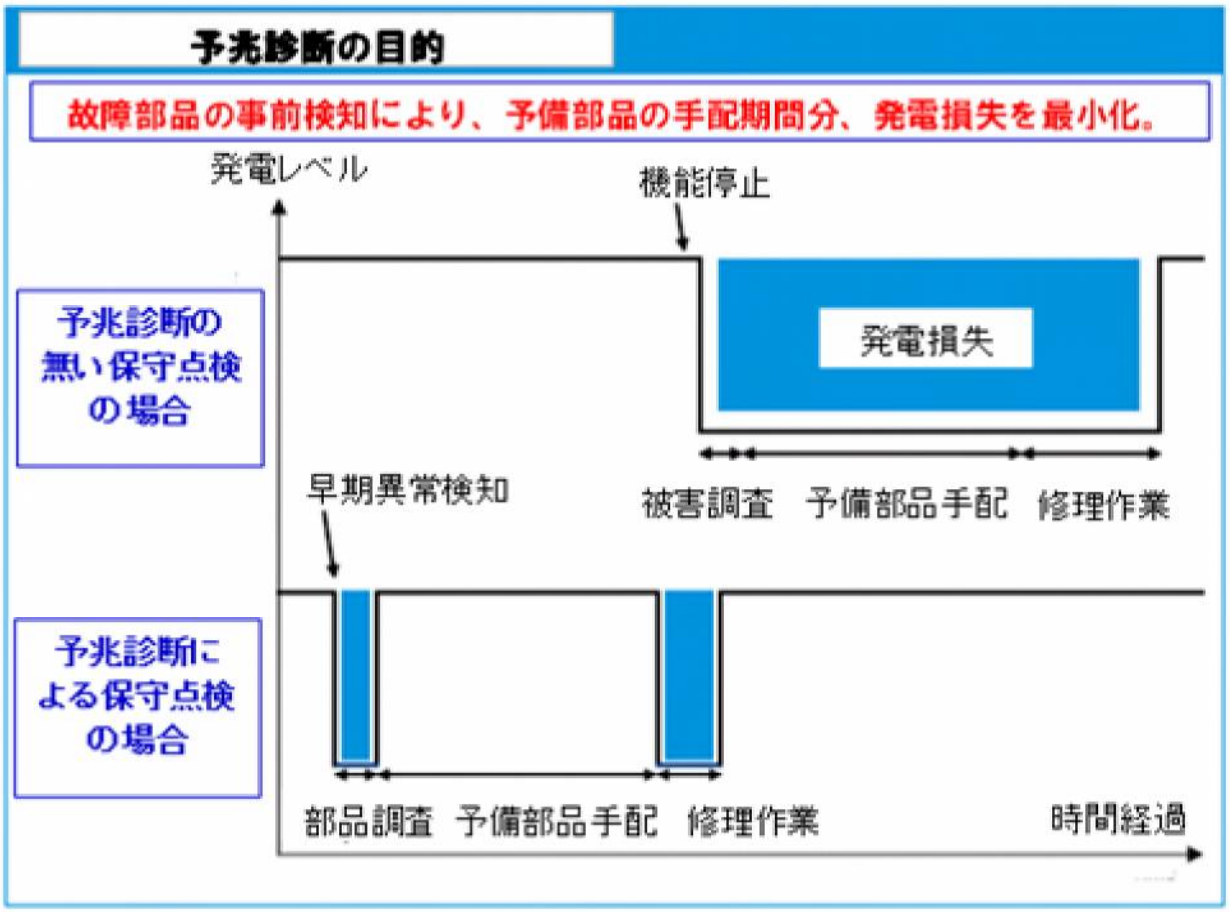
参考資料３．４　スマートメンテナンス将来構想　イメージ　（出典：第 16 回風力エネルギー利用総合セミナー）



参考資料３．５　コンディションモニタリング（CMS）の例　（出典：VESTAS 社 V112 カタログ）



参考資料３．６　予兆診断の適用における運用停止期間の短縮　（出典：VESTAS 社カタログ）



参考資料３．７　予兆診断における警報分類の例　（出典：Vestas 社）

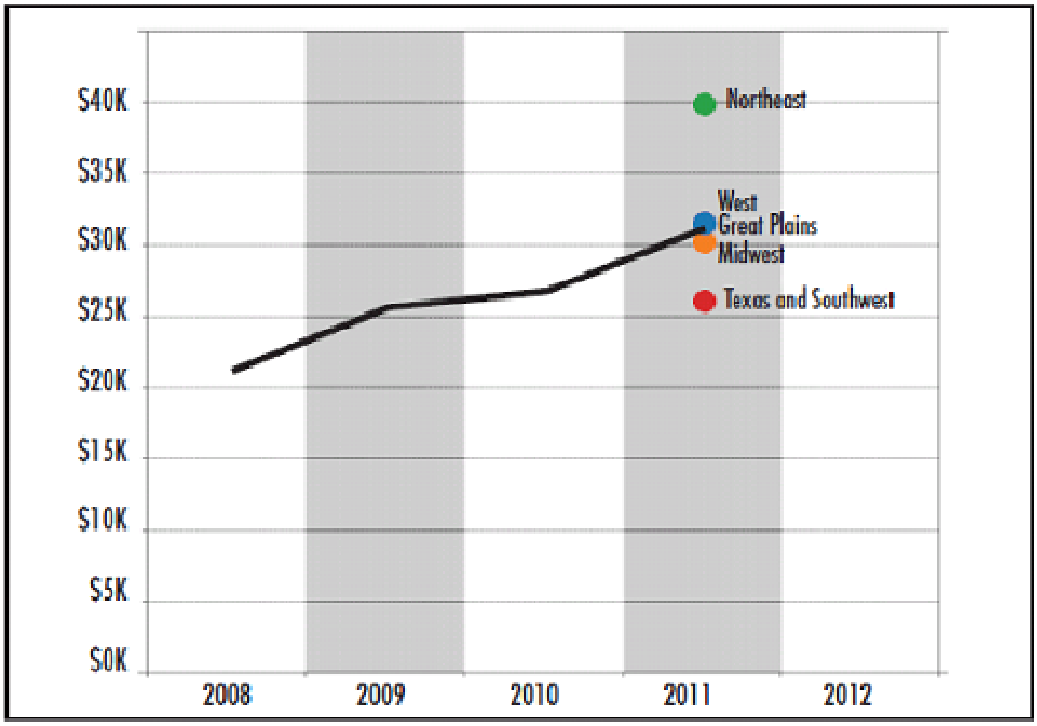
クラス	タイプ	内容	提案する行動
1	Danger	深刻な進行性の警報	速やかに対応すべき。風車運転を継続すると深刻な機能喪失や重大な損傷のリスク有り。24時間以内の対応を提案する。
2	Alert	憂慮すべき進行性の警報	できるだけ速やかに対応すべき。2週間以内の対応を提案する。
3	Alert	進行性の警報	適当な時期に対応すべき。2ヶ月以内の対応を提案する。
4	Alert	小さな或いは進行しない警報	次の定期整備時に対応すべき。
5	Good	異常無し	対応の必要なし。
6	System	ハードウェアの問題	できるだけ速やかに修理すべき。2週間以内の対応を提案する。

参考資料３．８　運転保守費用について

年	O＆M費用		年間メンテ費用 試算［万円/基］ 1000kW風車	備考
	$/kW/yr	万円/kW/yr		
2008年	21	（0.252）	300	GL／GH社調査より
2012年	31	（0.372）	400	（為替：120¥/$と想定）
―	―	―	―	―
2014年	―	0.803	800	NEDO調査より（*1） うち、60%が故障・事故対応

*1出典：平成27年度成果報告会（NEDO）「スマートメンテナンス技術研究開発（疲労予測等）」

（出典：GL Garrad Hassan / WINDPOWER March, 2013）



参考資料３．９　新しい風車クラスの分類（IEC61400－1、Edition4 の予定）

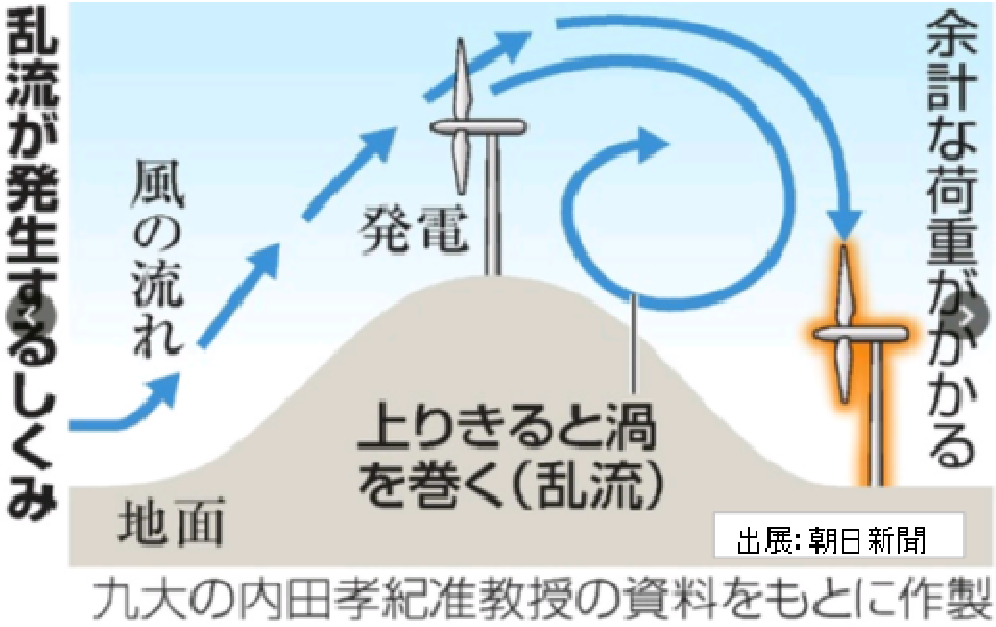
（出典：IEC 61400-1 Ed.4 CD（Committee Draft））

新しい風車クラスの分類（クラスⅠ、Ⅱ、ⅢとクラスT）

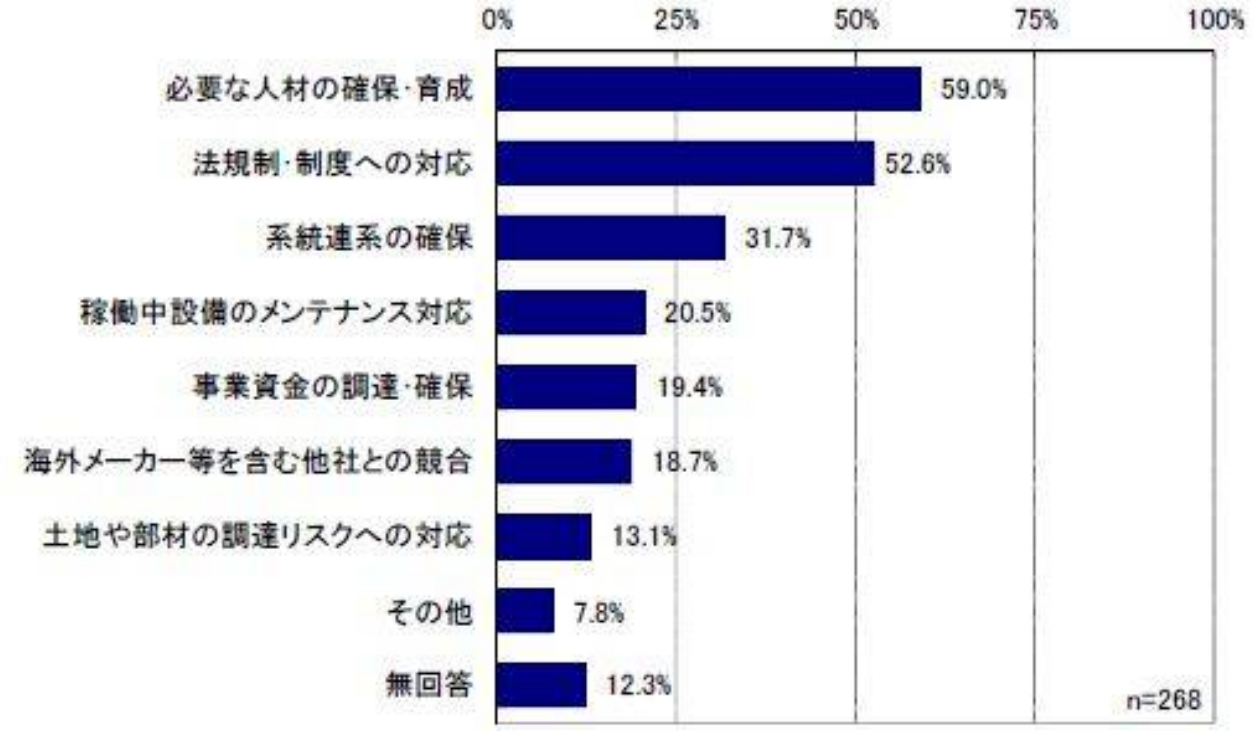
風車クラス			Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
基準風速		[m/s]	50	42.5	37.5
年平均風速		[m/s]	10	8.5	7.5
基準風速（T）		[m/s]	57		
乱流カテゴリ	A+	I ref [-]	0.18		
	A	I ref [-]	0.16		
	B	I ref [-]	0.14		
	C	I ref [-]	0.12		

例えば、年平均風速がクラスⅡ（8.5m/s）、基準風速がクラスT（57m/s）、乱流カテゴリがA+の場合、風車クラスは以下の通り。
「　ⅡA+、T　」

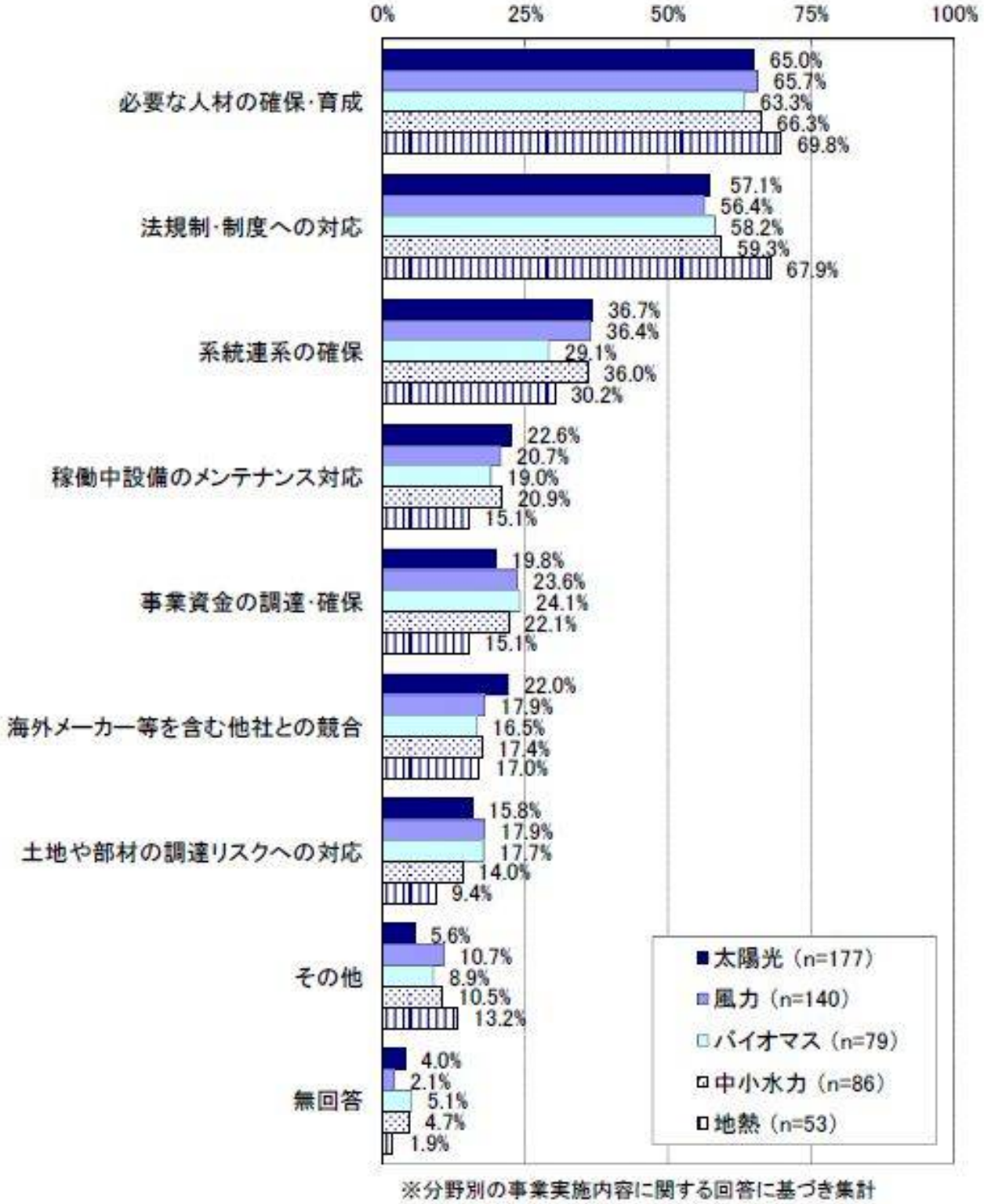
参考資料３．１０　乱流が発生し、余分な荷重が発生するしくみ



参考資料４．１　人材調査アンケート結果　抜粋　（出典：平成２６年度新エネルギー等共通基盤整備促進事業、再生可能エネルギーに関する知識体系及びスキル標準を活用した人材育成基盤整備事業、事業者及び利用者サイドにおける人材育成等の利用促進に係る基盤整備事業 成果報告書⑩）

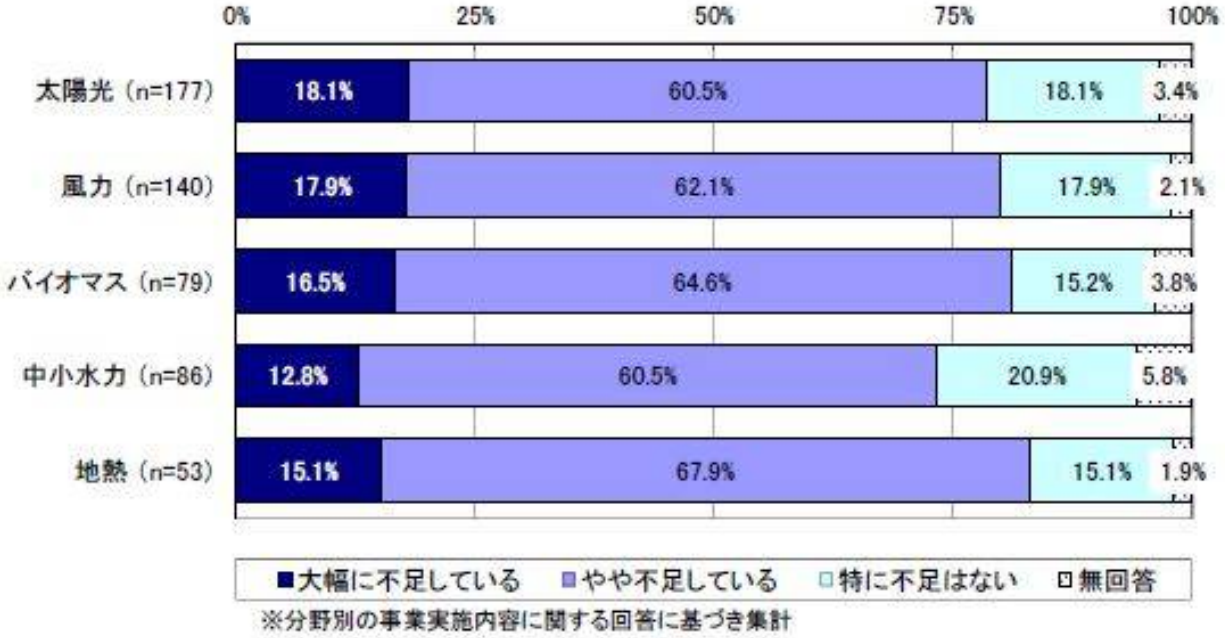


再エネ事業の今後の拡大にあたっての課題

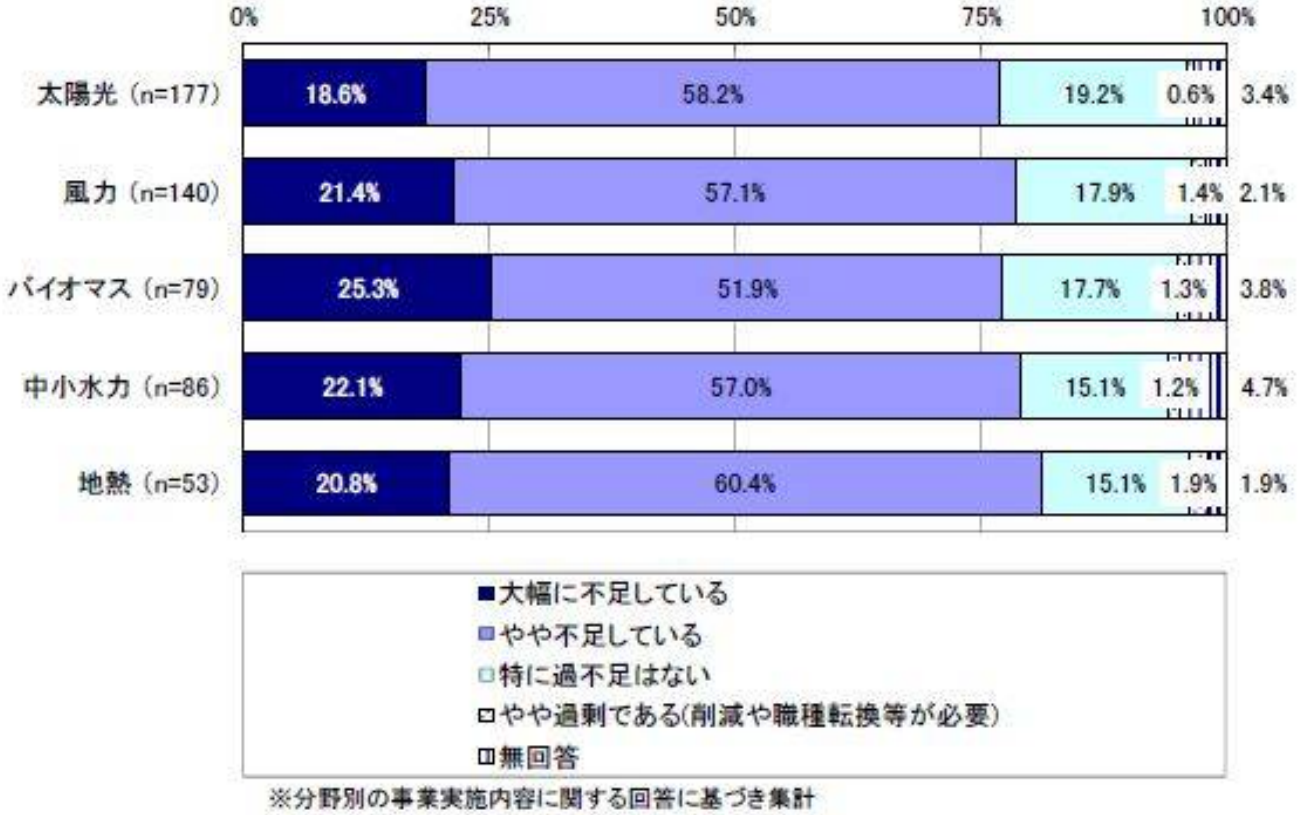


※分野別の事業実施内容に関する回答に基づき集計

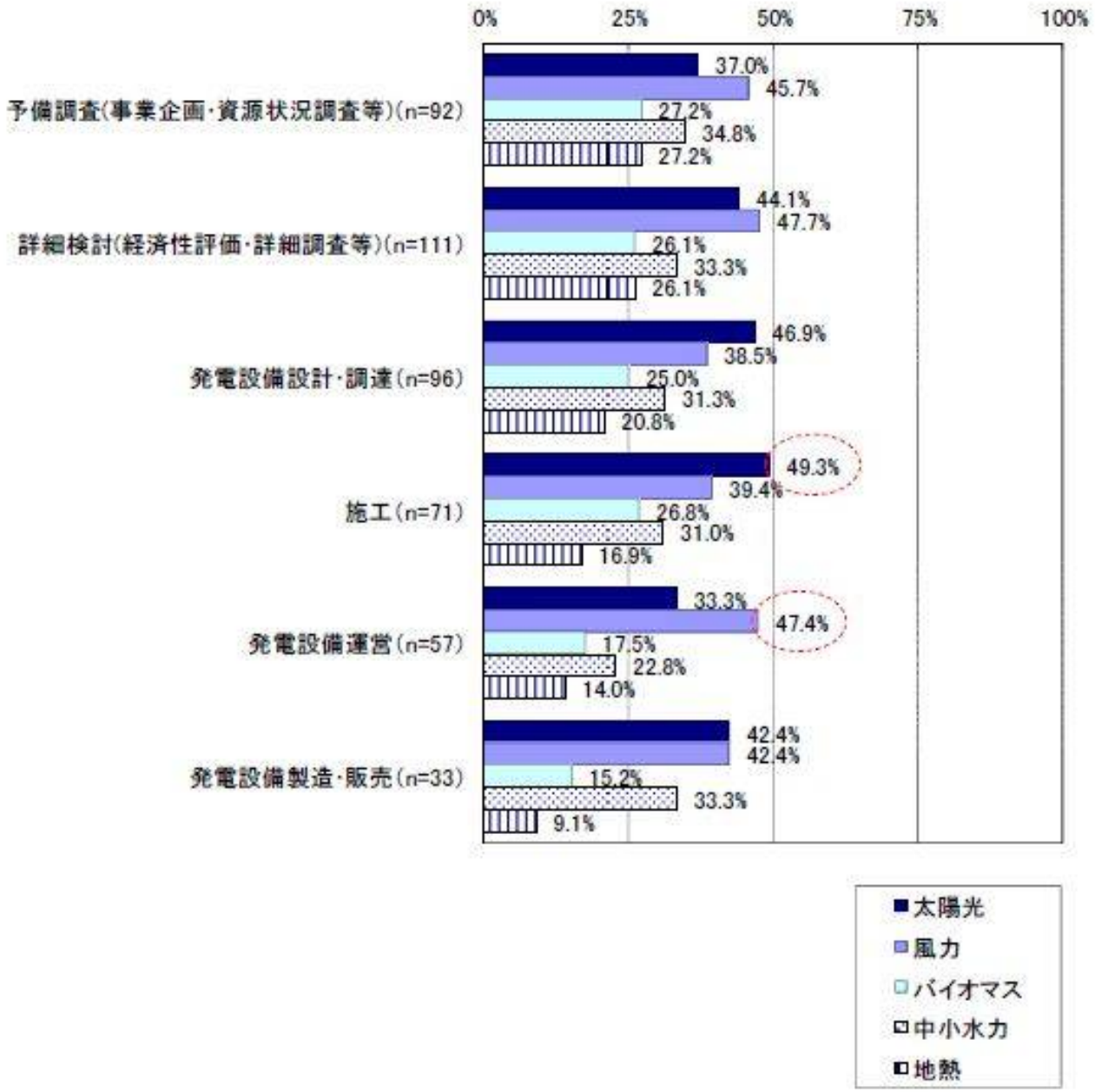
再エネ事業の今後の拡大にあたっての課題
【資源分野別】



今後の事業戦略の実現に向けて必要な人材の「質」の不足感
【資源分野別】



今後の事業戦略の実現に向けて必要な人材の「量」の過不足感
【資源分野別】



現在特に不足している人材

参考資料４．２　Ｅ社の研修概要

（出典：Ｅ社提供）

- ❑ 現場での人材育成については先輩社員からの OJT を基本としている。
- ❑ 社員の階層別（新入社員・若手社員、中堅社員、副所長クラス、事業所長）に研修制度を設けており、「風車の技術」、「現場の基本」、「安全」、「資格取得支援」等が主な内容となっている。
- ❑ 社内で独自に技術的なスキルに関する資格制度がある。２ランクの資格を設定しており、試験合格により資格を取得することができる。なお、この資格は、昇級条件となっている。
- ❑ 公的資格取得も推進しており、推奨資格としては電気主任技術者試験、英検としており、これらについても昇級条件となっている。
- ❑ 2015 年 12 月に研修センター（下の写真）が完成し、座学だけでなく、風車の実機（発電機、増速機等）を用いての研修をカリキュラムに組み込んだ。

研修センター（千葉県印西市）

※講義（座学）用の講義棟と実機を用いての研修用の研修棟で構成

※研修センターは、現在は社内限定。

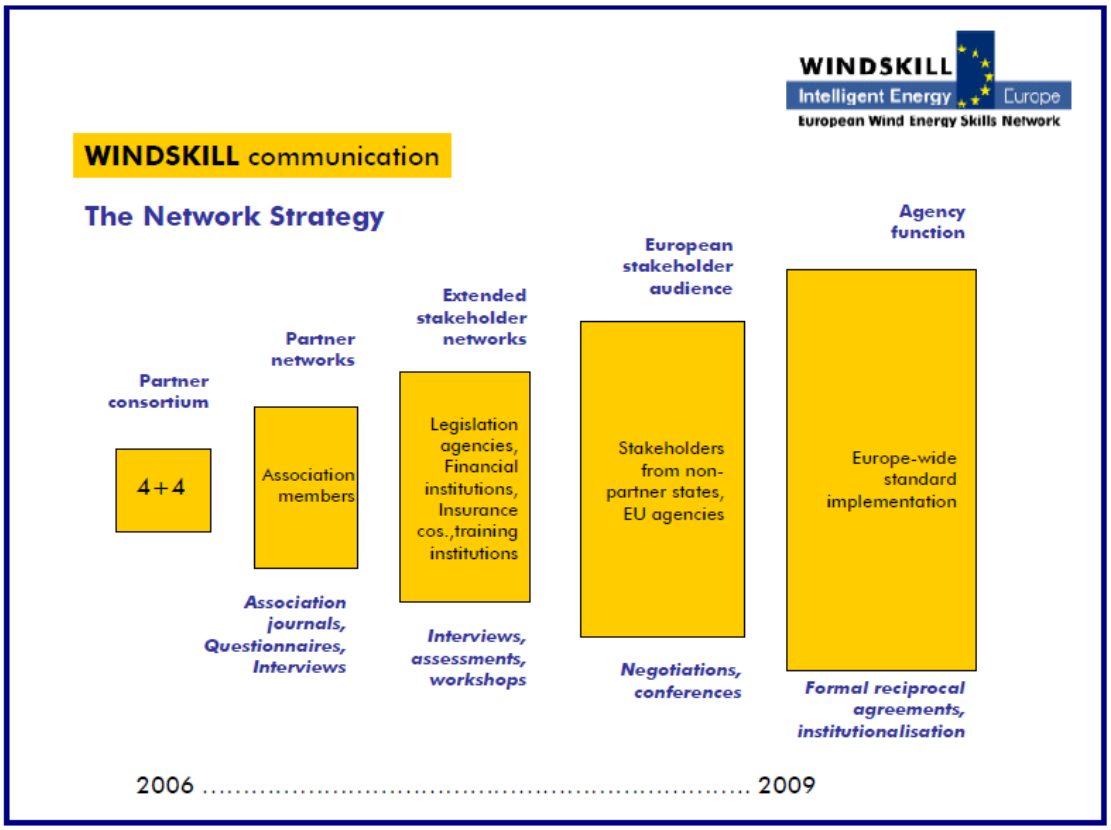
- ・鉄骨造　地上２階
- ・土地面積：3467.5 ㎡
- ・建築面積：719.38 ㎡
- ・延べ面積：1052.78 ㎡

参考資料４．３　Ｈ社の人材育成の体制

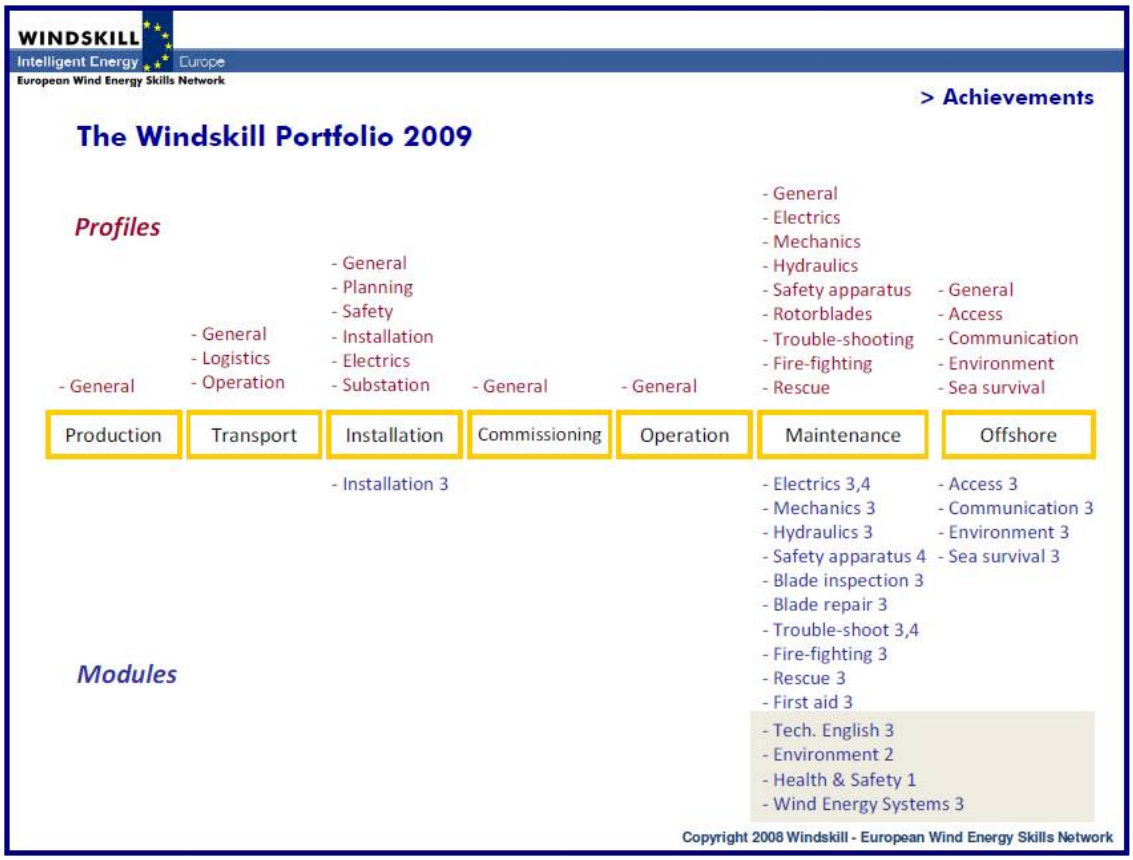
（出典：Ｈ社提供）

- ❑ O&M 技術者に必要な資格は前述の表「保守メンテナンス技術者に必要な資格等の例」のとおり。
- ❑ 北拓ではスキル向上は机上の問題だけでは無く、「如何に多くの風車に触るかが最も重要な条件」であるとの考えから、本社トレーニングセンター（旭川）の他に、以下の風力発電機を社内のトレーニングサイトとして活用している。
  - ・北拓南伊豆風力発電所　（ミーコン 400kW　２基）
  - ・番屋風力発電所　（ヴェスタス V66　1650kW　10 基）
  - ・北九州ひびき風力発電所　（ヴェスタス V80　2000kW 1 基）
- ❑ 本社トレーニングセンターでは、ロープアクセス、ブレード補修、各種機器の操作などのトレーニングの他、実風車トレーニングも実施可能。
- ❑ 本社トレーニングセンター以外に同様の施設を国内で４か所程度で設置予定

参考資料４．４　Windskill の開発計画（２００６～２００９年）（出典：The Windskill Initiative 最終報告書、欧州委員会、2008 年 10 月　https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/windskill ）



参考資料４．５　Windskill のポートフォリオ 2009　（出典：The Windskill Initiative 最終報告書、欧州委員会、2008 年 10 月 https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/windskill ）



参考資料４．６　BZEE の風車ハブの保守作業技能の例　（出典：Shaping a skills standard for the global wind industry、BZEE Academy、2012/4/15 ）

Module	Hub rescue for wind turbines
Code	BZEE-HSE-08
Issue	26.10.2011
Level	3
Standard	BZEE-HSE-08
Description	This safety training enables participants to plan and conduct rescue operations from the hub of a wind turbine with the help of rescue devices. The module highlights the various rescue procedures of different turbine manufacturers. Participants need to have completed the "Working at heights and rescue training" module.
Learning outcomes	
Knowledge	- Outline the key legal provisions and technical rules on PPE - Define rights and obligations of employers and employees in respect of workers' safety - Assess weather and environmental conditions for working at heights - Outline the emergency and reporting chain - Describe accident scenarios for working in the hub - Outline procedures for de-energizing the turbine - Evaluate appropriate rescue operations and select recommended rescue devices - Outline the emergency and reporting chain
Skills	- Take preventative action to avoid accidents in the hub - Assess accident situation - Activate emergency and reporting chain - Determine responsibilities and rescue strategy - Initiate rescue operation - Administer first aid - Rescue casualty from inside the hub
Prerequisites	G41 medical, First aid, comfortable with exposure to heights, physical fitness, Completion of "Working at heights and rescue" module BZEE-HSE-05, Completion of "Working in confined spaces" module BZEE-HSE-07
Duration	12 hours: 40% theory, 60% practical training
No. of participants	max. 9
No. of trainers	2
Assessment method	Successful completion of practical assignments
Validity of certificate	1 year
Trainer requirements	Wind-specific PSE trainer qualification
Equipment requirements	Training hub minimum 1,5 MW, rescue equipment, hoist systems

BZEE-HSE-08　Hub rescue

BZEE Skills Standard　17　BZEE

新エネルギー産業会議 審議委員 名簿

任期　自　平成２６年７月　１日
　　至　平成２８年６月３０日

氏　名	会　社　名　等	役　職
牛　山　　泉	足利工業大学	理事長兼学長
笠　　俊　司	株式会社ＩＨＩ	技術開発本部　管理部 技術企画グループ　担当部長
檜　山　浩　國	株式会社荏原製作所	技術・研究開発統括部長
川　越　祐　司	株式会社ＮＴＴファシリティーズ	取締役　エネルギー事業本部長
中　嶋　規　之	大阪ガス株式会社	顧　問
新　川　隆　夫	鹿島建設株式会社	執行役員環境本部長
三　浦　良　隆	関西電力株式会社	研究開発室長
後　藤　　清	株式会社関電工	取締役副社長
佐々木　有　三	九州電力株式会社	取締役　常務執行役員
櫻　井　繁　樹	京都大学大学院総合生存学館	教　授
石　垣　和　男	株式会社熊谷組	取締役副社長
倉　重　有　幸	公営電気事業経営者会議	専務理事
水　口　　誠	株式会社神戸製鋼所	常務執行役員
佐　野　正　治	国際石油開発帝石株式会社	取締役　専務執行役員　技術本部長
武　内　敏　秀	西部ガス株式会社	常務執行役員
小　島　信　一	佐藤工業株式会社	常務執行役員　土木事業本部長
田　坂　精一郎	四国電力株式会社	常務取締役
細　川　政　弘	清水建設株式会社	執行役員
福　島　隆　史	シャープ株式会社	東京支店次長

氏　名	会　社　名　等	役　職
小　倉　　滋	JFE スチール株式会社	専　務
西　島　弘　也	JX エネルギー株式会社	取締役　常務執行役員
牛　根　克　弘	JX 金属探開株式会社	代表取締役社長
橋　口　昌　道	一般財団法人石炭エネルギーセンター	専務理事
福　島　研　也	石油資源開発株式会社	参事　環境・新技術事業本部 新技術開発部部長
杉　本　博　文	全国町村会	経済農林委員長
平　野　敦　彦	ソーラーフロンティア株式会社	代表取締役社長
中　西　　毅	大成建設株式会社	常務執行役員 エンジニアリング本部長
髙　橋　紀　行	株式会社竹中工務店	顧問
中　村　　慎	株式会社竹中工務店	環境エンジニアリング本部 エネルギーソリューショングループ長
茅　　陽　一	公益財団法人地球環境産業技術研究機構	理事長
中　田　晴　弥	地熱技術開発株式会社	代表取締役社長
瀬　古　一　郎	中央開発株式会社	代表取締役社長
平　野　正　樹	中国電力株式会社	常務取締役
島　田　邦　明	帝石削井工業株式会社	代表取締役社長
村　山　　均	電源開発株式会社	代表取締役副社長
高　島　賢　二	一般社団法人電力土木技術協会	専務理事
徳　本　　勉	東京ガス株式会社	ソリューション技術部長
黒　川　浩　助	東京工業大学	特任教授
石　谷　　久	東京大学	名誉教授

氏　名	会　社　名　等	役　職
芋　生　憲　司	東京大学	教　授
山　口　　博	東京電力株式会社	取締役　代表執行役副社長
志　賀　重　範	株式会社東芝	執行役専務
住　吉　幸　博	東芝燃料電池システム株式会社	代表取締役社長
前　原　雅　幸	東電設計株式会社	顧　問
中　村　　修	東邦ガス株式会社	取締役専務執行役員 技術開発本部長
笹　川　稔　郎	東北電力株式会社	取締役副社長
乗　京　正　弘	飛島建設株式会社	取締役専務執行役員　土木事業本部長
樫　根　喜　久	トヨタ自動車株式会社	東京技術部 部長
野　口　義　文	日鉄鉱業株式会社	常務取締役
豊　田　正　和	一般財団法人日本エネルギー経済研究所	理事長
田　中　一　幸	一般財団法人日本環境衛生センター	東日本支局　環境工学部 副参事兼建設技術課長
小　野　信　市	株式会社日本製鋼所	常務執行役員　研究開発本部長
井　島　功　晴	日本電気株式会社	スマートエネルギービジネスユニット 主席主幹
入　澤　　博	株式会社ニュージェック	執行役員
菊　地　保　旨	株式会社安藤・間	取締役常務執行役員 土木事業本部長
野　村　淳　二	パナソニック株式会社	顧　問
高　木　　学	株式会社日立製作所	電力システム社 電機システム事業部長
小　橋　　亙	日立造船株式会社	常務取締役　事業企画本部長
神　本　正　行	弘前大学	学長特別補佐
江　口　直　也	富士電機株式会社	執行役員　技術開発本部長

氏　名	会　社　名　等	役　職
赤　丸　準　一	北陸電力株式会社	取締役副社長　副社長執行役員
酒　井　　修	北海道電力株式会社	取締役副社長
横　田　　浩	前田建設工業株式会社	常務理事
前　田　太佳夫	国立大学法人三重大学	教　授
茂　住　洋　史	三井金属鉱業株式会社	執行役員　資源事業部長
土　井　宣　男	三井造船株式会社	取締役　技術開発本部長
八　島　英　彦	三菱化学株式会社	執行役員　経営戦略部門 RD 戦略室長
児　玉　敏　雄	三菱重工業株式会社	技術統括本部長
山　脇　雅　彦	三菱電機株式会社	電力・産業システム事業本部 副事業本部長
近　藤　比呂志	三菱マテリアル株式会社	常務執行役員
有　木　和　春	三菱マテリアル株式会社	資源リサイクル事業本部 エネルギー事業部　地熱・電力部長
柴　田　芳　彰	三菱マテリアルテクノ株式会社	資源・環境・エネルギー事業部長
森　川　哲　也	株式会社明電舎	常務執行役員
関　　和　市	逢甲大学大学院	客員教授
山　本　俊　一	矢崎エナジーシステム株式会社	環境システム事業部　事業部長
秋　吉　　優	株式会社ユーラスエナジー ホールディングス	執行役員

７６名

平成27年度 風力委員会 委員名簿

	氏　名	会　社　名　等	役　職
委員長	牛山　泉	足利工業大学	理事長兼学長
副委員長	前田　太佳夫	国立大学法人三重大学	大学院　工学研究科　機械工学専攻　教授
委　員	石山　卓弘	(一社)日本電機工業会	新エネルギー部　技術課　課長
委　員	今枝　良隆	イー･アンド･イー ソリューションズ(株)	環境事業部　取締役　環境事業部長
委　員	岩本　吉隆	(株)安藤・間	技術研究所　先端・環境開発部　担当部長
委　員	大久保　隆太	エコ・パワー(株)	事業開発部　調査グループ　グループリーダー
委　員	大関　桂	日本風力開発(株)	社長室　室長代理
委　員	加藤　裕司	(株)日立製作所 日立事業所	風力発電システム部　部長
委　員	小島　武彦	富士電機(株)	発電・社会インフラ事業本部　社会システム事業部 電力流通総合技術部　担当部長
委　員	小柳　智章	中部電力(株)	流通本部　工務部　発変電グループ　スタッフ課長
委　員	柴田　和正	みずほ情報総研(株)	環境エネルギー第２部　エネルギーチーム シニアマネジャー
委　員	小路　剛史	関西電力(株)	研究開発室　研究推進グループ　リーダー
委　員	千葉　宣雄	大成建設(株)	エンジニアリング本部 エネルギー・インフラプロジェクトグループ シニアエンジニア
委　員	土谷　学	鹿島建設(株)	環境本部　新エネルギーグループ　グループ長
委　員	早﨑　宣之	伊藤忠テクノ ソリューションズ(株)	広域エネルギー・プロジェクトチーム　チーム長
委　員	林　　勝	(株)ユーラス エナジー ホールディングス	国内事業企画部　部長

	氏　名	会　社　名　等	役　職
委　員	藤谷　雅義	前田建設工業(株)	事業戦略室　事業企画部　企画グループ グループ長
委　員	本庄　暢之	電源開発(株)	環境エネルギー事業部　風力事業室　室長代理
委　員	舛田　賢治	(株)日本製鋼所	風力室　営業グループ
委　員	松下　崇俊	三菱重工業(株)	エネルギー・環境ドメイン 再生可能エネルギー事業部　洋上風車部 事業化推進グループ　グループ長
委　員	松信　隆	(株)日立製作所 エネルギーソリューション社	新エネルギーソリューション事業部 新エネルギーシステム本部 チーフプロジェクトマネージャー
委　員	三保谷　明	イオスエンジニアリング＆サービス(株)	顧問
委　員	宮崎　安弘	(株)熊谷組	事業創生推進室　新エネルギーグループ　部長
委　員	茂手木　直也	(株)竹中工務店	環境エンジニアリング本部 エネルギーソリューショングループ　課長
ｵﾌﾞｻﾞｰﾊﾞｰ	上田　悦紀	(一社)日本風力発電協会	事務局　部長
ｵﾌﾞｻﾞｰﾊﾞｰ	遠藤　昭	日本風力開発(株)	顧問
ｵﾌﾞｻﾞｰﾊﾞｰ	久保田　百年	電源開発(株)	環境エネルギー事業部　風力事業室　課長
ｵﾌﾞｻﾞｰﾊﾞｰ	西沢　良史	足利工業大学	工学部　創生工学科　自然エネルギー・環境学系 助教
ｵﾌﾞｻﾞｰﾊﾞｰ	東野　政則	(有)ネクストエナジー	代表

29名

風力発電システムの導入促進に関する提言

平成28年3月

この提言書は、新エネルギー産業会議の審議を経て、新エネルギー財団が
まとめたものです。 内容などのご照会につきましては、下記事務局まで
ご連絡願います。

一般財団法人　新エネルギー財団
計画本部
〒170－0013　東京都豊島区東池袋3丁目13番2号
電話　03－6810－0362
FAX　03－3982－5101