

## 第9章 風力発電システム概論

### 1. 風力発電のメカニズム

風の力で風車を回し、その回転運動を発電機に伝えて電気を起こす。風力エネルギーは風を受ける面積と空気の密度と風速の3乗に比例する。風を受ける面積や空気の密度を一定にすると、風速が2倍になると風力エネルギーは8倍になる。風車は風の吹いてくる方向に向きを変え、常に風の力を最大限に受け取れる仕組みになっている。台風などで風が強すぎるときは、風車が壊れないように可変ピッチが働き、風を受けても風車が回らないようにするのである。このように風力発電は、風の運動エネルギーの約40%を電気エネルギーに変換できるため効率性にも優れている。

水平軸型風車（プロペラ型）と垂直軸風車の例を下図に示す。両風車タイプとも風力のうち、揚力を利用するタイプと抗力を利用するタイプがある。揚力型では図表2-3に示すように、合成速度による揚力を利用して風車主軸周りのトルクを発生させている。

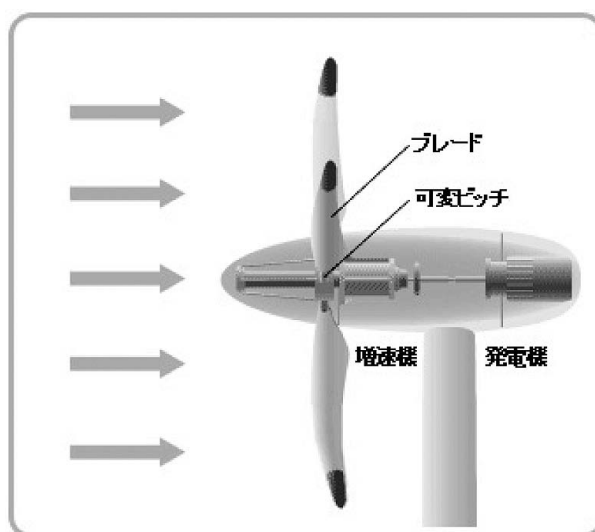


図1 水平軸型風車（揚力型）

出典：一般財団法人 新エネルギー財団 <http://www.nef.or.jp/index.html>

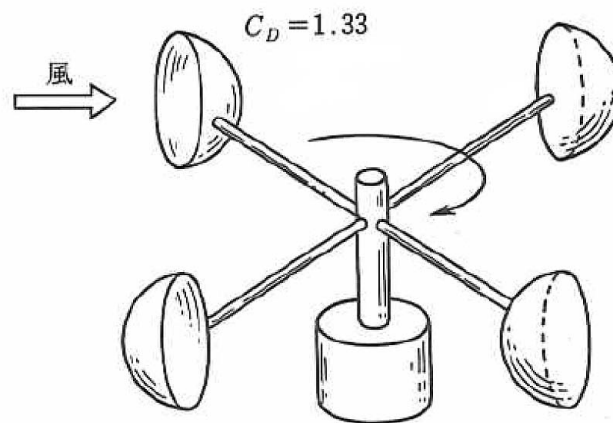


図2 垂直軸型風車の例（抗力型）  
出典：『風車工学入門—基礎理論から風力発電技術まで—』

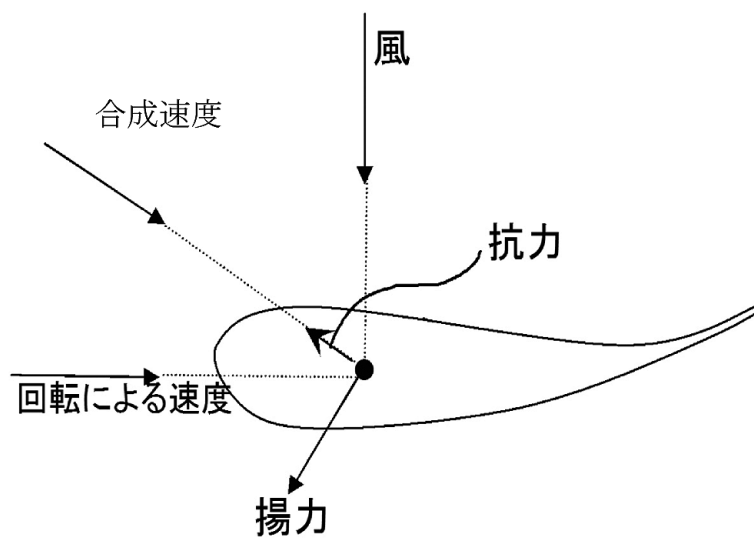


図3 揚力型風車の揚力の方向

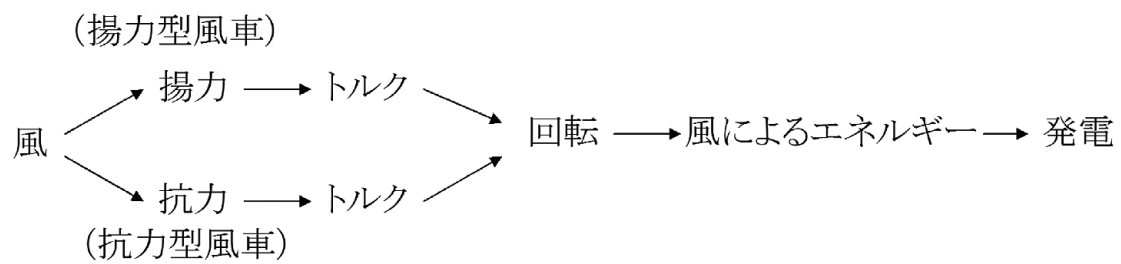


図4 発電の流れ

| 風によるエネルギーと発電によるエネルギーの関係 | 風車の状態 |
|-------------------------|-------|
| 風のエネルギー＞発電による消費エネルギー    | →加速   |
| 風のエネルギー＝発電による消費エネルギー    | →安定回転 |
| 風のエネルギー＜発電による消費エネルギー    | →減速   |

図5 エネルギーの釣り合いと回転数の関係

$$P=T \cdot n$$

P:単位時間当たりの仕事 (N・m/sec, J/sec=w)

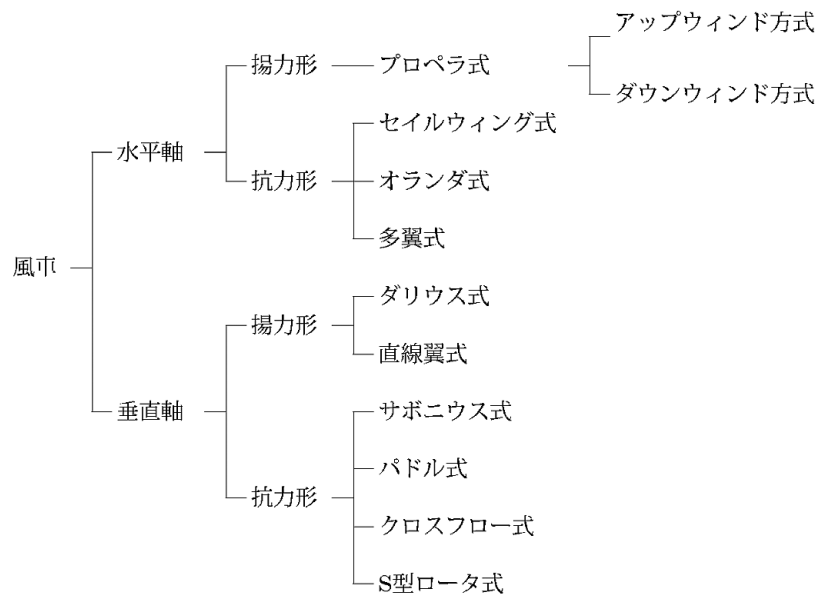
T:トルク (N・m)

n:回転数 (rad/sec)

図6 トルクと仕事の関係

## 2. 風力発電システムの種類と分類

風力発電の種類には、水平軸型以外にもいろいろな形式の風車がある。大きく分けると、回転軸の方向で水平軸風車と垂直軸風車に分けられる。サボニウス型、ダリウス型は、回転軸が縦についており風向きを選ばずに発電でき、デザインの趣向を凝らしたものも存在する。



注) 水平軸風車は全て揚力形に分類されることもある。

図7 風車の種類

出典: 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 エネルギー  
対策推進部 『風力発電導入ガイドブック』

### 2.1 水平軸風車の特徴

水平軸型風車には、ロータの回転面がタワーの風上側に位置するアップウィンド方式と風下側に位置するダウンウィンド方式がある。アップウィンド方式は、ロータがタワーの風上側にあるのでタワーによる風の乱れの影響を受けないという特徴を持ち、現在の風車ではアップウィンド方式が主流となっている。一方、ダウンウィンド方式は、プロペラ方向を自動的に風向に合わせるためのヨー駆動装置が不要であるという特徴を持ち、アメリカにおける風車開発段階ではダウンウィンド方式の風車も導入され、小型風車への適用例は少なくないが、大型機でのダウンウィンド方式の風車も近年になって開発されている。

水平軸風車の特徴として、5つ挙げられる。

- ・ 構造が比較的簡単である。

- ・効率が高く、大型化が容易である。
- ・水平軸型風車は発電用に適している。
- ・アップウィンド方式の場合は風車の回転面を風に向ける必要がある（ヨー制御）。
- ・重量物（発電機、伝達機構、制御機構等）はナセル内に設置する必要がある。

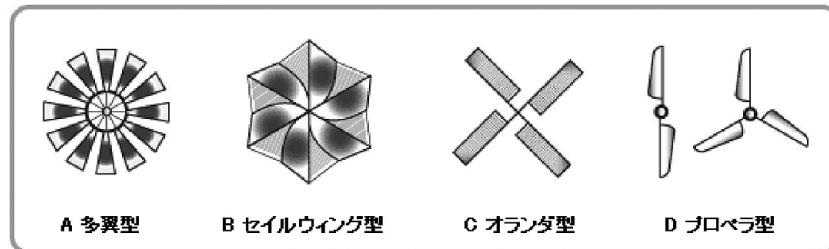


図8 水平軸風車  
出典：図1）同資料

## 2.2 垂直軸風車

次に垂直軸風車の特徴として、5つ挙げられる。

- ・どの方向の風も利用可能で風向の依存性がない。
- ・重量物は地上に設置できる。
- ・羽根（ブレード）の製造がプロペラ式に比べて容易である。
- ・自己起動時に大きなトルクが必要で回転数制御が難しい。
- ・水平軸風車と比較して効率が劣り、設置面積も大きい。

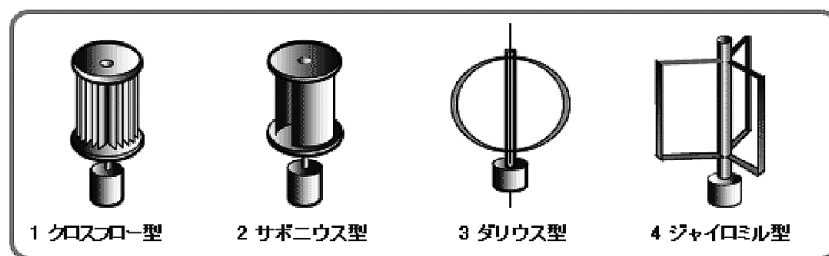


図9 垂直軸風車  
出典：図1）同資料

以下のグラフは、風速比とパワー関数の関係を示したグラフである。パワー係数とは、それぞれの風車が風の中からどれだけパワーを取り出せるかという目安である。設置場所の風流の用途に合わせて選定することになる。

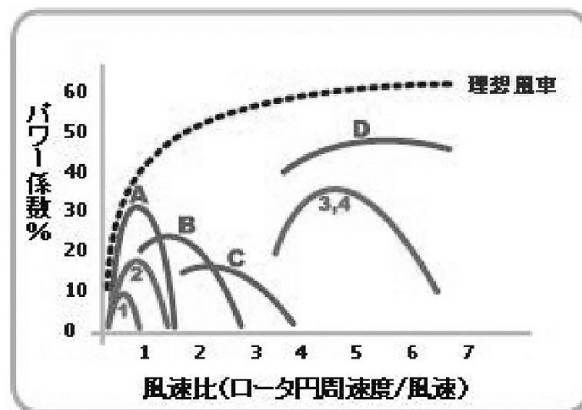


図 10 各風車の特徴（記号は図 8、図 9 参照）  
出典：図 1）同資料

このグラフにあるように、垂直軸型風車といわれるクロスフロー型、サボニウス型の風車は、パワーが小さいが弱い風でもよく回り、最新型の水平軸型巨大風車は強い風が必要だが、パワーが大きいことが分かる。したがって同じ風を受けても風車の性能によって発電できる電気の量が違ってくる。

### 3. 300kW 風力発電システムの概要、特徴、事業性

#### ・水平軸型中型風車（300kW）の紹介

「乱れの強い風況、狭い道路、電力事情を最大限に考慮した日本型仕様」を目標としている。その中でも遠隔地や離島などで制約条件となる、輸送と建設条件、電力系統容量の制約に対応した風力発電機という条件をもとに基本仕様を決定している。また、日本における気象条件である気流の乱れ強さ、台風や雷の条件、さらに日本では特に重要な地震の条件についても配慮した設計を行なっている。またナセル内の駆動機構についても、厳しい気象条件に対して安定度の高い風力発電機になるように、機械振動が少なくなる構造の採用と信頼性の高い誘導発電機などを選定している。

風の条件、耐震設計、落雷対策、輸送条件ドライブトレインの設計、風車音の対策などで、特徴を持たせている。

## KWT300の仕様

|           |   |                 |
|-----------|---|-----------------|
| 定格出力      | : | 300kW           |
| ロータ直径     | : | 33m             |
| 定格風速（設計値） | : | 11.5m/s         |
| 定格回転数     | : | 40.5rpm         |
| 回転数範囲     | : | （可変速）12～47.6rpm |
| カットイン風速   | : | 3.0m/s          |
| カットアウト風速  | : | 25m/s           |
| 耐風速       | : | 70m/s           |

図 11 KWT300 の仕様

| WTGS クラス |           |          | I    | II   | III  | IV   | KWT300: II A+ |
|----------|-----------|----------|------|------|------|------|---------------|
| 基準風速     | $V_{ref}$ | (m/s)    | 50   | 42.5 | 37.5 | 30   | 50            |
| 年平均風速    | $V_{ave}$ | (m/s)    | 10   | 8.5  | 7.5  | 6    | 8.5           |
| 耐風速      | $V_{e50}$ | (m/s)    | 70   | 59.5 | 52.5 | 42   | 70            |
| 乱れ特性     | A         | $I_{15}$ | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.20          |
|          |           | $A$      | 2    | 2    | 2    | 2    | 1.5           |
|          | B         | $I_{15}$ | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 |               |
|          |           | $A$      | 3    | 3    | 3    | 3    |               |

図 12 WTGS クラスの基本パラメーター

## 制御システム、安全設計

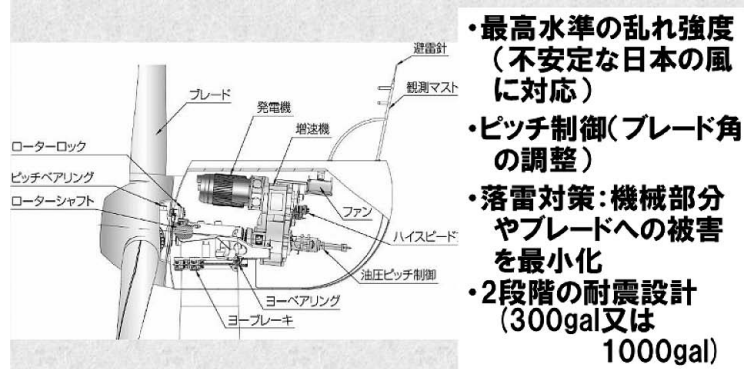


図 13 制御システム・安全設計



図 14 輸送性・施工性

中型風車（300kW）事業形態として3つ挙げられる。

#### ①工場・施設自家消費タイプ

風車を自社施設の構内に連系し、発生電力を主に自家消費し、余剰電力を電力会社に売電するという利用方法である。

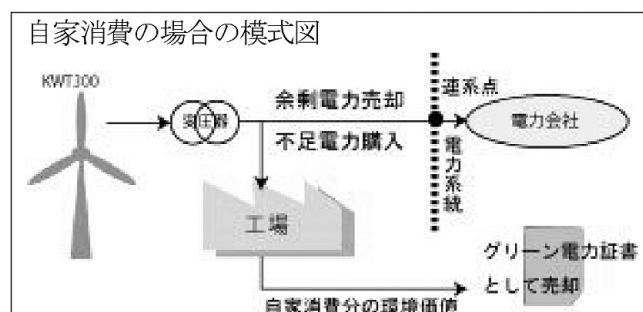


図 15 自家消費の場合の模式図

#### ②遊休地活用売電タイプ

閉鎖した工場や工場の一部や、過去の開発予定地などの所有者が、今では遊休地となっているスペースを活用して売電事業を営もうというケースである。

#### ③地域事業タイプ

自らの地域でエネルギーを作れないかと考える市民も増えており、地域主導の風力発電事業を検討するNPOや地域の中小企業なども出てきている。



## 4. 風力発電システムの設計と施工

### 4.1 風況調査

風況精査とは実際に風況観測を実施し、そのデータの解析・評価を行う風況調査のことで、風力発電システムの設置候補地点と導入規模がある程度決定できたら、その地点の実際の風況観測を実施し、導入の可能性の評価並びに最適な設置地点の選定を行う。

風況の正確な把握には、可能な限り長期間の調査を行うのが望ましい。1年間の風況精査を実施している例が多い。

#### (1) 観測項目

観測項目は、以下の4つが一般的である。

・平均風速    ・平均風向    ・最大瞬間風速    ・風速の標準偏差

観測データのサンプリング周期は1秒とし、平均化時間は原則10分間である。

#### (2) 観測装置

風況センサとして3杯型の風速計と矢羽式の風向計等の観測装置・器具の一覧と据付例の写真を図16, 17にそれぞれ示す。また、観測装置および設置例(30m高さ)を図18に示す。なお、観測装置を据え付けた後、センサおよび記録器の正常作動を確認するため、現地において初期観測データを確認する必要がある。

| 観測装置・器具 |           | 仕 様                                                                      |
|---------|-----------|--------------------------------------------------------------------------|
| センサ     | 風速計       | カップ式(3杯型)<br>観測幅: 1~60 m/s、分解能: 0.5 m/s 以内 (4.5~60 m/s)、精度: $\pm 5\%$ 以内 |
|         | 風向計       | 矢羽式<br>起動風速: 1.5 m/s 以内、分解能: 10 度以内、精度: $\pm 5$ 度以内、順応性: 12 秒以内          |
| 記録器     |           | データロガー                                                                   |
| 観測塔     | タワー       | ポール、パンザマスト、トラスタワーの何れか                                                    |
|         | アンカー      | タワーのタイプおよび据付方法に基づき、強度・建築基準を満足するもの                                        |
|         | 支線        | 同 上                                                                      |
| 電 源     |           | 系統引込線、蓄電池、乾電池、太陽電池(蓄電池又は乾電池と併用)の何れか                                      |
| その他     | 避雷針       | 落雷が頻繁に発生する地域で設置(システムやタワーの接地も行う)                                          |
|         | 保護装置・安全設備 | フェンス、防水、施錠、登攀(とうはん)防止、標識、支線保護カバー                                         |

図 16 観測装置・器具  
出典: 図 7) 同資料

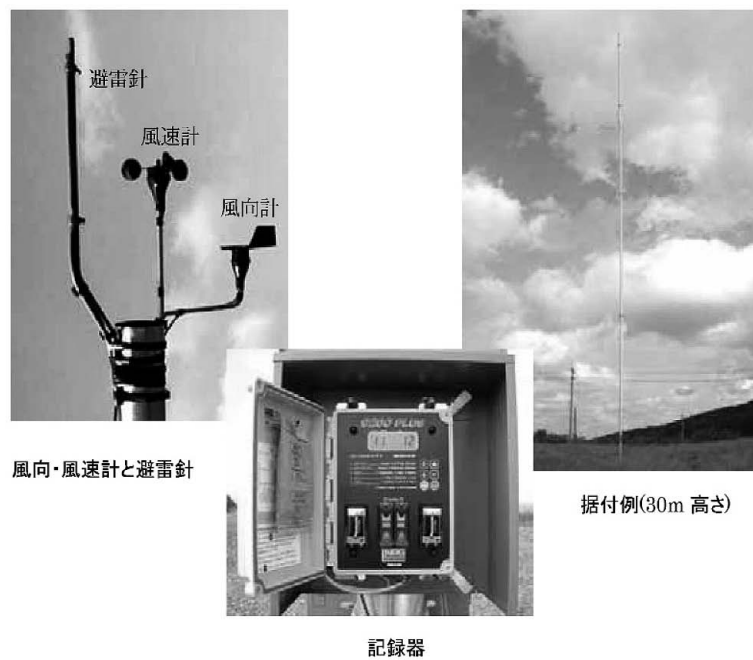


図 17 観測装置と据付例の写真  
出典：図 7) 同資料

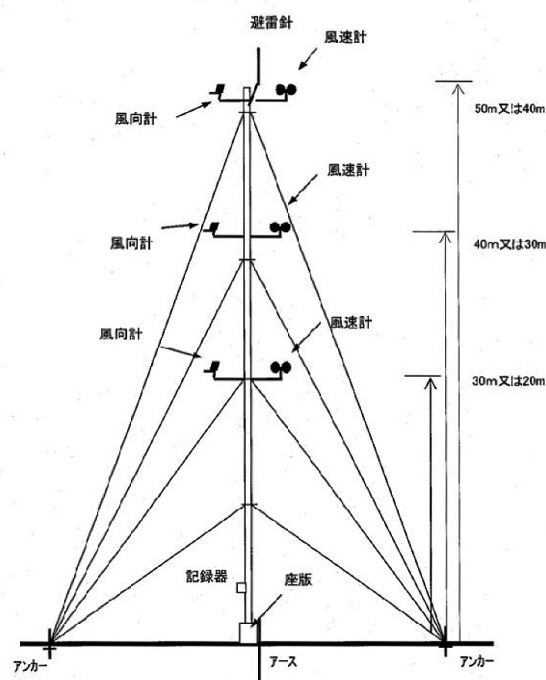


図 18 観測装置  
出典：図 7) 同資料

### (3) 風況に関する評価

風況観測データの解析結果に基づき、候補地点での風力発電導入の可能性の評価を行う。その際の評価の目安として主なものを以下に示す。

風力発電に適した風況は、風車のエネルギー取得量の観点から、平均風速が高く、風向が安定しており、乱れ強度が小さいことである。

#### ①平均風速

事業を検討する目安は、地上高 30m での年平均風速が 6 m/s 以上であることが望ましい。

#### ②風向出現率

風軸上の年間風向出現率が 60%以上であれば、風向は安定していると評価できる。なお、風軸とは 16 方位の風向を対象に、主風向とその隣にある 2 風向およびこれらの風向と対称となる風向の合計 6 方位を呼ぶ。

#### ③乱れ強度

乱れ強度は地形条件の影響を大きく受けることから一概に基準化することは難しい。一般的に地形により概ね 0.1 ～ 0.3 の範囲でバラツキを示すことが多い。乱れ強度が IEC 基準と比較して大きい場合には、設置場所の再検討を行うか、または機種選定に際して風車メーカーに設計条件を確認することが重要である。

### (4) 風況シミュレーション

複数の風力発電機の建設が計画されているウィンドファームの風向・風速の発生頻度や年間風力発電量を予測するために風況シミュレーションを使用する。風況シミュレーションには、風況観測データに基づく方法と気象シミュレーションによる方法がある。

## 4.2 発電量算出の手順

風速の度数分布は、図 19 から分かるように左右非対称で、度数の最大は（弱風側）にかたよっている。その関数系、つまり度数分布を数式で表す研究がこれまで多く行なわれ、ポアソン分布、ピアソンⅢ型分布、ワイブル分布、カイ（レイリー）分布、ヤコブス分布式、オルソンの分布式などが提案されているが、この中で風速の度数分布によく適合し、圧倒的に多く用いられるのがワイブル分布関数である。

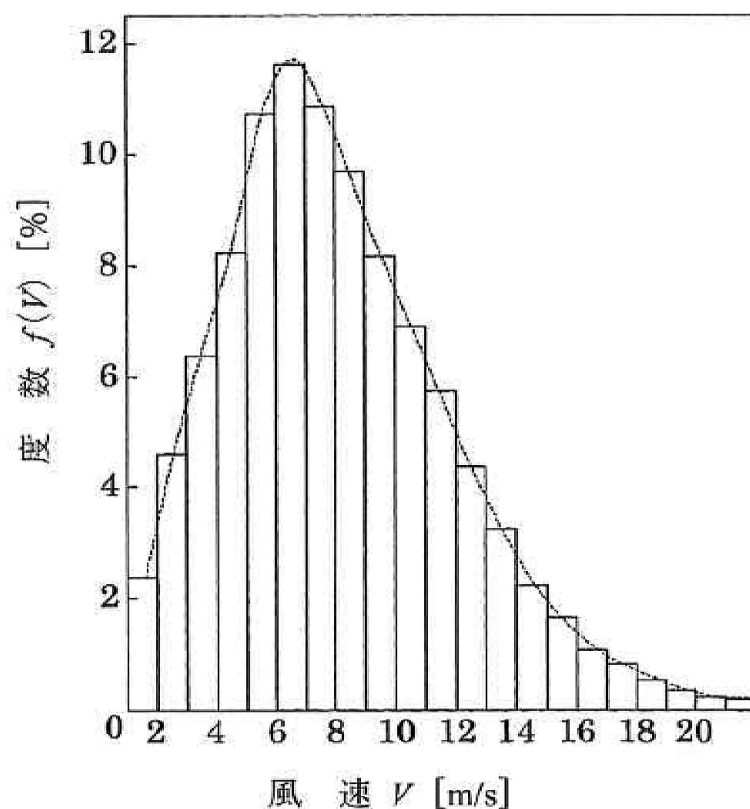


図 19 風速の速度分布の例  
出典：図 2) 同文献

実測データから速度分布が求められると、この風速分布と対象とする風力タービンの出力曲線から年間発電量を精度良く推定することができる。つまりビンの幅 1m/s の風速範囲に対して、各風速の年間出現時間数が得られるので、その速度に対する風力タービンのパワーを掛け合わせて、求められる。

図 20 は、上記の過程を図式表示したものであり、上側の曲線は風速の分布、中央の曲線はパワー曲線、そして下側の曲線が風車により得られるエネルギー量を表している。しかし実際の風力タービンは保守・点検などのために時間稼働率が 0.9 程度となることが多く、このために年間発電量も減少することになる。

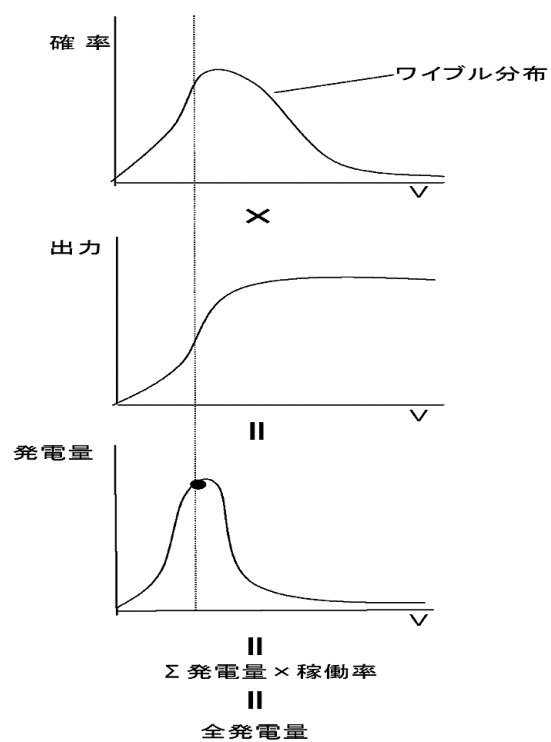


図 20 確率・出力・発電量

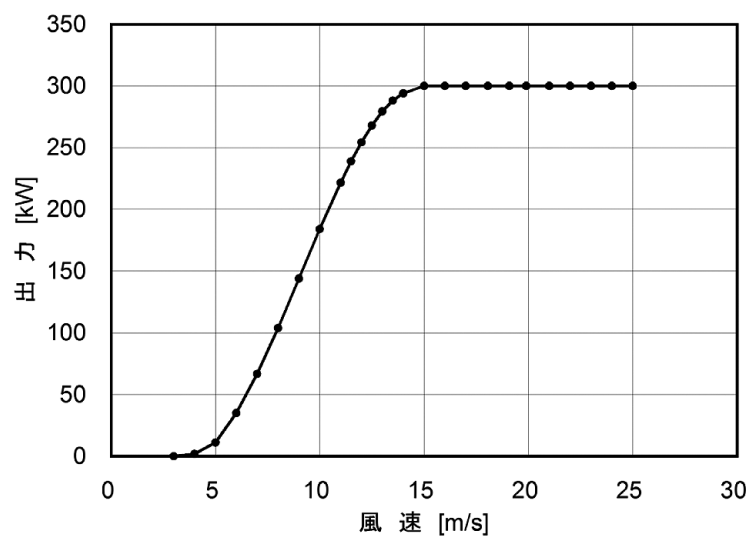


図 21 パワーカーブ

#### 4.3 システム設計から施工までの流れ（系統連系諸手続きを含む）

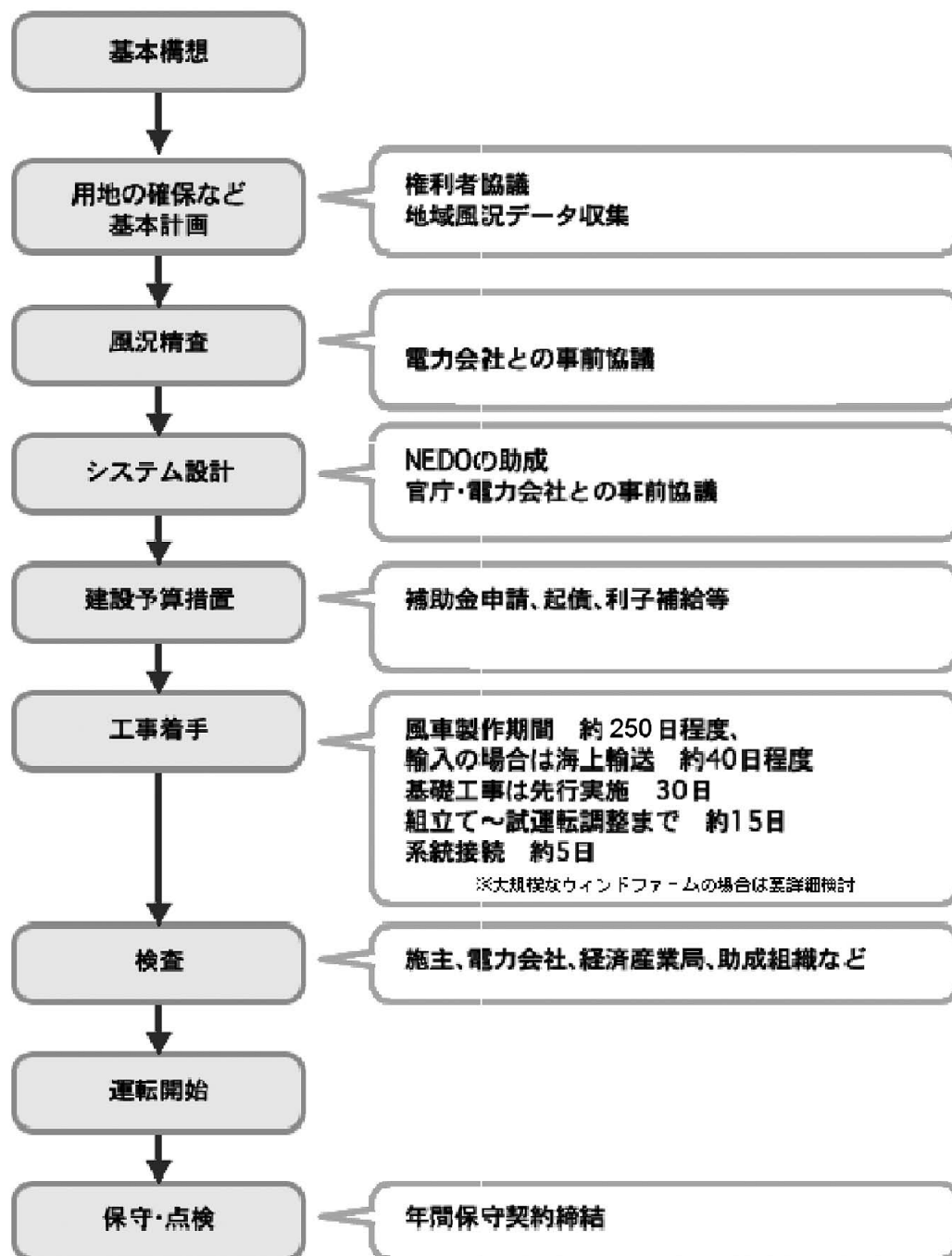


図 22 導入の流れ  
出典：図 1）同資料を編集

## ・建設工事

### (1) 土木工事

風車建設工事は、土木工事，風車設置工事，電気工事に大きく分類できる。

土木工事では、建設資材運搬用の道路工事，風車建設地点と組立用の敷地を確保するための組立用敷地造成工事，風車基礎工事（図 23）、また必要に応じて風車建設地点と周辺とを区別するフェンス設置や風車周りの雨水処理の側溝工事などの発電所構内整備工事を行う。

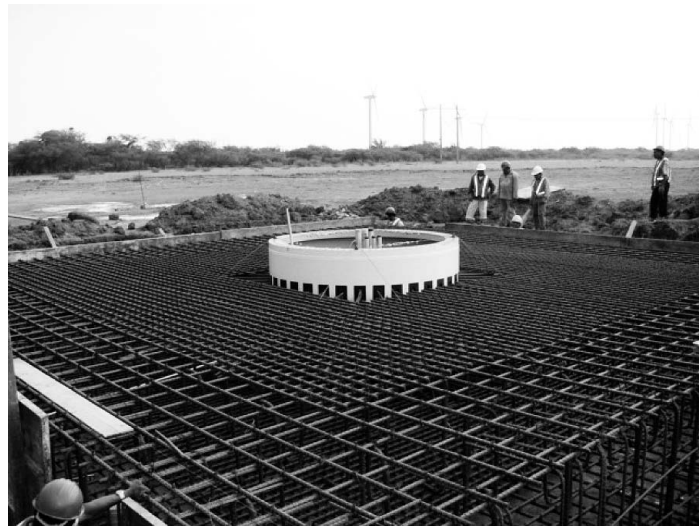


図 23 基礎工事（配筋状況）

### (2) 風車設置工事

風車設置工事では、タワー基部ブロックをクレーンで吊り上げて基礎に取り付け，順次タワーブロックを上架してタワーを組み立てる。タワーブロックを吊り上げる際には，ブロックを建て起こすためにクレーンの相吊りが必要となる（図 24, 25）。タワーを組み立てた後、ナセルを上架し（図 26）、ロータをナセルに組付ける。建設ヤードに余裕があれば，ロータを地組みした後で上架しナセルに組付ける（図 27, 28, 29）が、ヤードが確保できない場合は、上空でブレードを 1 枚ずつ組付けてロータを完成させる方法もある。



図 24 タワーブロックの建て起こし



図 25 タワーブロックの上架



図 26 ナセルの上架



図 27 ロータの地組み



図 28 ロータの建て起こし



図 29 ロータの上架



## 5. 風力発電システム導入をめぐる環境問題

風力発電は化石燃料に頼らないクリーンなエネルギーであり、地球温暖化対策としても有効なエネルギーである。しかし周辺の居住者の生活環境に対して、何らかの影響を及ぼさないか、事前に検討した上で事業を計画する必要がある。

以下の図 30 にある順序に基づいて環境影響評価調査を進めることが効果的である。また必要に応じて上記の②・③を繰り返し、④に近づけることが運転開始後のトラブルを回避する。今日、ほとんどの事業者は、環境影響評価を自主的に実施しており、事業の規模に応じた対応が必要となっている。

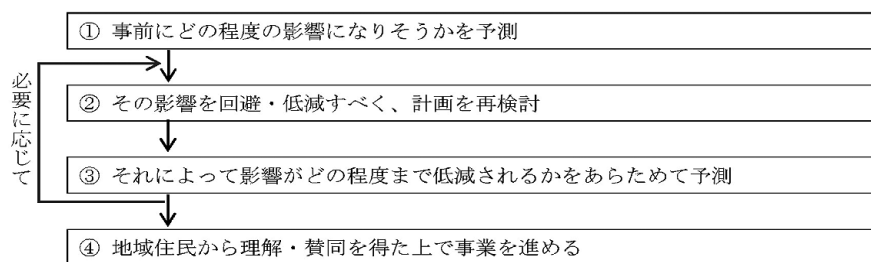


図 30 環境影響評価調査の進め方

出典：一般財団法人 日本風力発電協会 『風力発電環境影響評価規程』

風力発電システム導入をめぐる環境問題として、騒音問題・電波障害・景観・動物・シャドーフリッカーの5項目について概説する。

### ①風力発電から発生する騒音

主にギアボックス内や冷却ファンから発生する機械音、ブレードの回転に伴う風きり音に分けられる。このうち前者の機械音については近年の風力発電の大型化による回転速度の減少、タワーの高層化、あるいは機種によってはギアレス化などにより、地表面付近に伝搬する騒音レベルは小さくなってはきている。しかしタワー内部に機械音が反響し、遠方まで伝搬している事例も見受けられる。実際に機械音によって発生した睡眠障害を改善するため、ナセル内部の防音処理を実施した事例もある。

一方定格出力時で翼端速度が 200km/h を越えることから。後者の風きり音の問題は依然として残っており、風力発電機の回転に合わせた周期的な音が、風に乗って遠方まで伝搬するケースも少なくない。

風力発電機が稼動するのは強風時が多く、このようなときには周辺の木々、電線、建造物等からも風きり音が発生する。海岸部においては波も高くなり、これが砕ける周波数の低い音も非常に大きくなる。したがって、これらの自然に存在する音が、風力発電機から発生する騒音をかき消す現象（マスキング）により、影響が現れにくいという特徴がある。参考として KWT300 の風力発電装置の騒音特性についての例を示す。

## KWT300 風力発電装置の騒音特性

風力発電 KWT300 の騒音特性について紹介します。風車の等価騒音レベルは、富津工場における測定結果から、ローター中心における見かけの音響パワーレベルとして推定しています。騒音特性評価には、JISC1400-1:2001 (IEC61400-11:1998) の騒音測定法を参考にしています。

### 1. KWT300 の見かけの音響パワーレベル (A 特性騒音レベル)

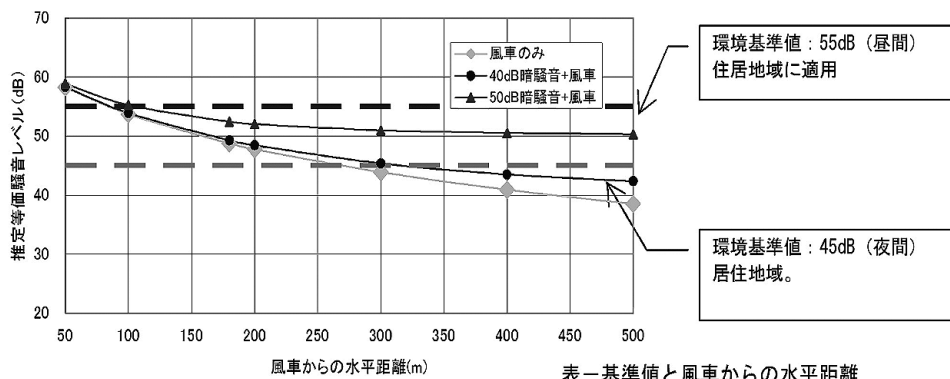
KWT300 の見かけの音響パワーレベルは、JIS および IEC の要求から、地上高さ 10m に換算した風速 8m/s で評価している。風車風下で計測した結果から、暗騒音 (対象とする騒音源以外の周辺の騒音、生活騒音等) を補正し、ローター中心における見かけの音響パワーレベルとして推定している。表には、参考として NEDO の値を示す。

|       | KWT300                  | NEDO 参考値       |
|-------|-------------------------|----------------|
| 風車種別  | 300kW 風力発電              | 大型風力発電         |
| 風速    | 8.0m/s (地上 10m)         |                |
| 騒音レベル | 103dB (地上 43.5m ローター中心) | 110dB (ローター中心) |

### 2. 環境基準に基づく騒音レベルのチェック

上述のローター中心における見かけの音響パワーレベルから、周辺地域における等価騒音レベルを推定する。騒音の距離減衰は、“NEDO の風力発電導入ガイドブック 2005 年”を参考にして推定する。

表は、暗騒音を 40dB または 50dB と仮定した場合の、等価騒音レベルの距離減衰について示している。環境基準値のうち、“居住地域”における昼間と夜間の値 (55dB と 45dB) を表中に合わせて示している。通常、環境基準値は、都道府県知事によって指定された特定地域のみに適応される。



表一 基準値と風車からの水平距離

| 音源            | 基準値 | 55dB になる位置 | 45dB になる位置 |
|---------------|-----|------------|------------|
| 風車騒音のみ        |     | 90 m       | 280 m      |
| 40dB 暗騒音+風車騒音 |     | 92 m       | 330 m      |
| 50dB 暗騒音+風車騒音 |     | 112 m      | —          |

### 3. まとめ

KWT300 の騒音レベルは、ローター中心で 103dB であり、大型風車と比較すると低いレベルである。また、風車を現地に設置する場合は、上記の環境基準を配慮した上で、設置位置を選定することが望ましい。

## ②電波障害

影響を生じる範囲を推測し、その範囲が居住地域と重ならないことが原則である。(財)NHK エンジニアリングサービス等による影響予測が行なわれ、予測精度も高まっている。環境影響評価調査では、風力発電機の運転前の受信状況を調査によって把握した上で、何らかの障害が発生した場合に然るべき処置を行なうことで対応が図られている。

運転後の調査によって明らかに風力発電機による影響が現れた場合、事業者が共同アンテナの設置や、アンテナの改造処置等、必要な対応を行なったという事例もある。

## ③景観

周囲の景観と調和が図られるように配置・デザイン・色彩等について配慮することが望まれる。地域によっては景観に関する条例を定めている場合もあり、留意が必要である。また航空法により、地上 60 m 以上の風力発電施設には原則として航空障害標識が必要となるが、この標識は当該地方の航空局との調整により決定され、その指示内容により決定され、その指示内容には様々は様々である。北海道苫前町では、風力発電内に 2 本の航空障害塔の建設を行なったうえで、3 基の風力発電機に、3 本のブレードの半面に赤色を塗装した例もある。このように、地域の景観に与える影響評価は、建設に与える影響評価は、建設に付随した関係機関との調整による塗装の結果等も含めて検討すべきである。

## ④動物

風力発電機の動物への影響のうち、鳥類（及びコウモリ）の風力発電機への衝突が特徴的な問題である。風車の羽根に鳥類が衝突するバードストライクの問題が生じている。たとえば、オジロワシについて、風力発電設備へのバードストライクが 3 番目に多い傷病要因という報告もされている。風力発電機への鳥類の衝突の問題は、風力発電を先進的に取り入れてきた欧米諸国において、これまで長く議論されてきたにも関わらず、明確な評価基準が得られていない。日本では、発電所建設後の影響調査の実例は少なく、現在も調査が継続して行われている。またバードストライクは風力発電だけの問題ではなく、走行する自動車や、ガラス張りの建物、送電用や通信用の鉄塔などにも相当数の鳥類が衝突し、死亡している。風力発電は図 31 に示すように「可動部分を持つ長大な構造物」として特徴付けられる。このような構造物はこれまで国内では建設されていなかったことが、バードストライクが懸念され一因になっているものと考えられる。

| 事例         | 高低 | 動静 |
|------------|----|----|
| 自動車(ロードキル) | 低  | 動  |
| 航空機        | 高  | 動  |
| 鉄道         | 低  | 動  |
| 高層建物・ガラス   | 高  | 静  |
| 送電線鉄塔      | 高  | 静  |
| 通信鉄塔       | 高  | 静  |
| 風力発電機      | 高  | 動  |

(備考)「高低」は構造物としての高さ、「動静」は移動や回転が伴うものであるかどうかを示す。

図 31 バードストライクの懸念  
出典：図 27) 同資料

#### ⑤シャドーフリッカー

巨大な風車の羽根が回転することで影による明暗が作られるシャドーフリッカーが発生する。風力発電設備の近隣において、近隣住民がシャドーフリッカーの苦情を訴える問題が生じている。

現在のところドイツのみ詳細なガイドラインがある。このガイドラインではシャドーフリッカーと見なす条件として2つある。

①太陽の仰角が水平線から3度以上、

②風車のブレードが太陽の視直角の少なくとも20%を隠す

とされている。また最大のシャドーフリッカーの周辺地域への影響については、

- ・年間で最大30時間出現

- ・シャドーフリッカーが最大となる日において最大30分出現

となっている。

スウェーデンやデンマークでは公的なガイドラインは存在しないが、実用上、天候に考慮した条件でデンマークでは10時間、スウェーデンでは8時間がその限界とされている。1日の中でどの時間が最も影響が大きいのか、あるいは対象となる対象物の定義については厳密な定義はなく、個別に評価されている。

## 6. 関連法令と諸手続き、規制緩和問題

風力発電を行なう際には、その設置場所によって以下に述べるような関連の法律がある。

### (1) 立地調査に関する関係法

自然公園法，森林法，自然環境保全，砂防法，地滑り等防止法，文化財保護法  
農地法，農業振興地域の整備に関する法律，国土利用法，都市計画法

### (2) 建設工事に関する関係法

設置関係法，道路法，道路交通法，電波法，航空法，消防法，騒音規制法，振動規制法

また立地規制の緩和問題として、風力発電の適地（風が強く、民家から離れている場所）の多くは、さまざまな立地規制の対象となっているため、風力発電の導入が進んでいないところも多い。例えば国土の狭い日本では、農林地の利用は不可欠であり、地域の理解を得ながら、立地規制の緩和が求められる。そして農林漁業等との共生に向けた、農林漁業者・行政等との計画的取り組みも今後益々重要となる。

## 7. 公的助成制度

表 1 風力発電導入に利用できる助成制度一覧（H24 年度に実施された事業）

|        | 事業名および事業 URL                                                                                                                                                                    | 補助対象事業                                                        | 実施窓口                        |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 事業検討   | スマートコミュニティ構想普及支援事業<br><a href="http://www.nepc.or.jp/smartcommunity/index.html">http://www.nepc.or.jp/smartcommunity/index.html</a>                                             | スマートコミュニティ構築にかかる計画策定、経済性評価（投資回収効率、費用対効果）のための実現可能性調査。          | (社)新エネルギー導入促進協議会            |
| 設備導入補助 | 再生可能エネルギー発電設備等導入促進支援対策事業（再生可能エネルギー発電設備等導入促進支援復興対策事業費補助金）<br><a href="http://www.nepc.or.jp/renewable_install/index.html">http://www.nepc.or.jp/renewable_install/index.html</a> | 特定被災地域に再生可能エネルギー発電設備及びそれに付帯する蓄電池や送電線を導入する事業。補助率10%。FITとの併用可能。 | (社)新エネルギー導入促進協議会            |
|        | 独立型再生可能エネルギー発電システム等対策費補助金<br><a href="http://www.nepc.or.jp/dokuritsu/index.html">http://www.nepc.or.jp/dokuritsu/index.html</a>                                                | 独立型再生可能エネルギー発電システム等（自家消費設備）導入事業。民間補助率1/3、地方自治体・非営利団体補助率1/2。   | (社)新エネルギー導入促進協議会            |
|        | 地域再生可能エネルギー等を活用した自立分散地域づくりモデル事業<br><a href="http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=">http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=</a>                                      | 先進的・特徴的な取り組みを取り入れた、自立・分散型エネルギーシステム（蓄電池導                       | 環境省総合環境政策局環境計画課<br>低炭素地域づくり |

|       |                                                                                                                                                                                                                        |                                                                   |                           |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------|
|       | <u>15873</u>                                                                                                                                                                                                           | 入を含む) の集中導入を産学官で推進する事業                                            | 事業推進室                     |
|       | 次世代エネルギー・社会システム実証事業<br><a href="http://www.nepc.or.jp/smartcommunity/index.html">http://www.nepc.or.jp/smartcommunity/index.html</a>                                                                                   | エネルギーマネジメントシステムの構築実証事業および研究活動。                                    | (社)新エネルギー導入促進協議会          |
|       | スマートコミュニティ導入促進事業費補助金<br><a href="http://www.nepc.or.jp/smartcommunity/index.html">http://www.nepc.or.jp/smartcommunity/index.html</a>                                                                                  | スマートコミュニティ・マスタープランに基づき、導入されるシステムや機器等。                             | (社)新エネルギー導入促進協議会          |
|       | スマートエネルギー導入促進事業費補助金<br><a href="http://www.nepc.or.jp/smartcommunity/index.html">http://www.nepc.or.jp/smartcommunity/index.html</a>                                                                                   | 被災地向け。非常用も使用できる自立分散型エネルギーシステム構築。                                  | (社)新エネルギー導入促進協議会          |
|       | 地域グリーンニューディール基金<br><a href="http://www.env.go.jp/policy/local-gnd/index.html">http://www.env.go.jp/policy/local-gnd/index.html</a>                                                                                     | 各都道府県・中核市・特例市による設備導入補助。                                           | 各都道府県                     |
|       | 東日本大震災復旧・復興農山漁村6次産業化対策事業に係る農山漁村再生可能エネルギー導入事業<br>農山漁村再生可能エネルギー供給モデル早期確立事業(復旧・復興対策)<br><a href="http://www.maff.go.jp/j/supply/hozyo/shokusan/120726.html">http://www.maff.go.jp/j/supply/hozyo/shokusan/120726.html</a> | 本事業は、被災地域の農山漁村に存在する資源を活用し、再生可能エネルギーの供給を行うモデル的な取り組みに対し、補助金を交付するもの。 | 農林水産省 食料産業局 再生可能エネルギーグループ |
| 優遇リース | 家庭・事業者向けエコリース促進事業補助金制度<br><a href="http://www.jaesco.or.jp/ecolease-promotion/">http://www.jaesco.or.jp/ecolease-promotion/</a>                                                                                        | リース料総額の5%を補助。東北被災3県は10%。FITとの併用可能。                                | (社)ESCO推進協議会              |
| 優遇金利  | 環境分野への取り組み<br><a href="http://www.dbj.jp/pickup/environment.html">http://www.dbj.jp/pickup/environment.html</a>                                                                                                        | 再エネ設備導入には優遇金利適用。                                                  | 日本政策投資銀行                  |
|       | 環境・エネルギー対策貸付<br><a href="http://www.jfc.go.jp/">http://www.jfc.go.jp/</a>                                                                                                                                              | 再エネ設備導入に対して特別利率(3)を適用                                             | 日本政策金融公庫                  |
|       | 大手銀行や地方銀行等で環境関連設備導入向けの優遇金利を適用プログラムなど有。                                                                                                                                                                                 | 各銀行に問い合わせ。                                                        | 各銀行                       |

|      |                                                                                                                                                    |                                                                                                 |          |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 税制優遇 | エネルギー需給構造改革推進投資促進税制                                                                                                                                | 新エネルギー設備を設置した場合の基準取得価額の 7%相当額の税額控除(中小企業のみ)もしくは普通償却に加えて基準所得価額の 30%相当額を限度として償却できる特別償却もしくは即時償却が可能。 | 各税務署     |
|      | 再生可能エネルギー発電設備に係る課税標準の特例措置（固定資産税）                                                                                                                   | FIT 認定再エネ設備について、3 年分の固定資産税を 2/3 に軽減                                                             | 各都道府県市町村 |
| その他  | 補助金情報のポータルサイト<br><a href="http://www.ene-po.com/subsidy/_h24_201251_new_energy.html">http://www.ene-po.com/subsidy/_h24_201251_new_energy.html</a> | 省エネ・新エネに関する補助金情報を集めたインターネットサイト                                                                  | エネポ      |

各種資料より作成

## 8. 固定価格買取制度と事業性

### 8.1 固定価格買取制度

平成 23 年 8 月 26 日に成立した、「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」に基づき、太陽光、風力、水力、地熱、バイオマスの再生可能エネルギー源を用いて発電された電気を、国が定める価格で一定期間電気事業者（電力大手 10 社）が買い取ることを義務付ける制度が、平成 24 年 7 月からスタートした。これまでの、電気事業者が一定の枠内で再生可能エネルギーの買取を行う RPS 法による買取制度に代わり、国がエネルギー別の調達価格を決めている。風力発電の価格は以下の通りである。

表 2 買取価格・期間

出典：経済産業省 資源エネルギー省

<http://www.enecho.meti.go.jp/saiene/kaitori/kakaku.html>

|                                                                                     |      |        |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|--------|--------|
|  | 風力   | 20kW以上 | 20kW未満 |
|                                                                                     | 調達価格 | 23.1円  | 57.75円 |
|                                                                                     | 調達期間 | 20年間   | 20年間   |

### 8.2 導入条件

風力発電は、風況精査により年間平均風速がわかれば、収入となる売上高が明確になり、事業性が評価できる。NEDO の局所風況マップ等を利用し、まずは候補地の風況を検討する。次に、候補サイトの系統連系、地権者の概要等予備調査を行う。中型クラスの風力発電導

入を考える場合、以下のような用途や条件確認を行い、事業実施の検討を行う。

表3 用途と条件の確認

| 風況      | 風速(=40m高) | 7m/s以上                          | 6.5-6.9m/s              | 5.5-6.5m/s    |
|---------|-----------|---------------------------------|-------------------------|---------------|
| 用途      |           | 売電、自家消費、ディーゼル代替                 | 売電、自家消費、ディーゼル代替         | 自家消費、ディーゼル代替  |
| 立地と事業主体 |           | 本土：企業等<br>離島：企業、自治体等            | 本土：工場・遊休地<br>離島：自治体、企業等 | 本土・離島：工場、自治体等 |
| 規模      |           | 1機以上                            | 2機以上(ディーゼル代替は1機以上)      | 1機以上          |
| 地形      | 建設用地      | 10m四方以上の比較的平らな空間                |                         |               |
|         | 地質        | n値=20以上                         |                         |               |
|         | 積雪        | 冬場のメンテナンス可能地                    |                         |               |
|         | 台風・暴風     | 最大瞬間風速70m/s以下                   |                         |               |
| 土地      |           | 農地法的用地以外<br>安価で借用可能             |                         |               |
| 法規制     | 公園        | 国定公園、県立自然公園、風致地区                |                         |               |
|         | 保安林       | 指定なし                            |                         |               |
|         | 航空法       | 高さ45m規制範囲外                      |                         |               |
|         | 電波法       | 規制外                             |                         |               |
|         | 民家、宿泊施設   | 距離300m以上                        |                         |               |
|         | 道路・鉄道     | 上空になし                           |                         |               |
|         | 希少動物      | 希少猛禽類の生息地外                      |                         |               |
| 水切り     | 港         | 不問                              |                         |               |
| 搬入路     |           | 10tトラック通行可能。<br>60tラフタークレーン搬入可能 |                         |               |
| 送電線     | 連係距離      | 6.6kV高压線まで1km程度                 |                         | 自家設備から1km程度   |
|         | 変電所用地     | 連系点付近に5㎡の用地確保可能                 |                         |               |
| 工事ヤード   |           | 30m×30mの工事ヤード確保可能               |                         |               |
| 連絡道路    |           | メンテナンス道路確保可能                    |                         |               |
| 地元      | 自治体・住民    | 協力的                             |                         |               |

### 8.3 事業性評価

風況精査や近隣の観測データ及びシミュレーション等により得られた平均風速を元に、発電量を算出する。併せて風力発電機及びその設置・系統連系工事費等を算定し、その候補サイトでの事業性を検討する。

工事費は、地盤条件により基礎の施工費が机上では判断しにくい場合や、土地の規制により搬入路が計画しにくい等のケースがあり、見積の精度をあげるには現地調査が必要である。また事業形態を、固定価格買取制度を利用した売電事業か、設備の電源として利用



する自家発電にするのか、電力の使用状況等も勘案し決定する。

300kW の風力発電機 2 機を、平均風速 6m/s のサイトに導入したケースの事業性見込みは以下の通りである。

表 4 中型風力発電機による事業性例

|                     |     |                    |           |            |
|---------------------|-----|--------------------|-----------|------------|
| 設備規模                |     |                    | 300kW 2機  |            |
| 導入建設費               |     | 千円                 | 233,880   | 自己資金1000万円 |
| 運転・保守経費             | 年間  | 千円                 | 5,005     | 借地料除く      |
| 固定資産税率              |     | %                  | 1.40%     |            |
| 借入金金利               |     | %                  | 1.75%     | 10年返済      |
| (発電量予測)             |     |                    |           |            |
| 年平均風速               | ハブ高 | m/s                | 6.0       |            |
| 発電量                 | 年間  | kWh                | 1,055,764 | ロス率10%考慮   |
| 設備利用率               |     | %                  | 20.09%    |            |
| 売電単価                |     | 円/kWh              | 23.10     |            |
| 発電売上げ               | 年間  | 千円                 | 24,388    |            |
| CO <sub>2</sub> 削減量 | 年間  | kg-CO <sub>2</sub> | 717,919   |            |
| 年平均税引後利益            |     | 千円                 | 7,988     |            |
| 発電単価                |     | 円/kWh              | 19.37     |            |
| 経常利益率               |     | %                  | 28.7      |            |
| プロジェクトIRR           |     | %                  | 5.0       |            |

## 9. 風力発電システムのリスク管理やトラブル事例とその原因

風力発電施設の故障・事故に関する要因として、自然現象と人的要因を取り上げることとする。

### 9.1 自然現象

#### (1) 落雷

落雷による風力発電施設の故障・事故に至るプロセスを図 32 に示す。風力発電施設の落雷による故障・事故は発生頻度の最も高い要因としてあげられる。特に、日本海側の冬季雷による落雷は高電流で比エネルギー（全雷撃継続時間中の雷電流二乗積分値。雷電流によって単位抵抗体中で放散されるエネルギー）も大きくブレードの損傷など、多くの被害事例が報告されている。

落雷は、直撃雷と誘導雷に区分され、直撃雷はブレード、ナセルなどの破損や電子部品などの焼損を引き起こし、損傷部が飛散して家屋の窓を壊した事例がある。誘導雷は、主としてサージ電流（電気回路などに瞬間的に定常状態を超えて発生する大波電流）による電子部品等の焼損を引き起こすもので、時に火災の原因となる場合がある。

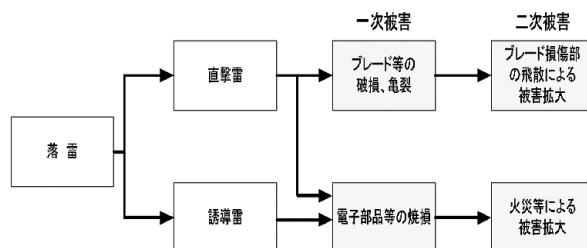


図 32 雷による故障・事故にいたるプロセス

出典：中尾徹 「風力発電施設の故障・事故の現状—主に NEDO 利用率向上調査結果のまとめ—」

## (2) 暴風

暴風による風力発電施設の故障・事故に至るプロセスを図 33 に示す。暴風による風速が風車の耐風速（IEC61400-1 で定められた基準）を上回った場合には、ブレードの破損やタワーの座屈（ここでは、暴風状態の時に、タワーの全体的な変形あるいはタワー基部の一部の変形が急激に進行し、タワーが倒壊する現象）のような非常に大きな事故を引き起こす可能性がある（平成 15 年 9 月、宮古島に來襲した台風 14 号は同島に設置されていた全 7 基の風車に甚大な被害を与えた。その時の風車のハブ高での風速は、最大風速で 60m/s、最大瞬間風速で 90m/s と推定されている（沖縄電力株, 2004)）。このようなケースでは自然現象の暴風による重大事故と言えるのであるが、風速が風車の耐風速より低い場合でも、停電や風向風速計の破損によりヨー制御（風車のロータ面を風の方向に正対させる制御）ができなくなりブレードの損壊を招く場合がある。

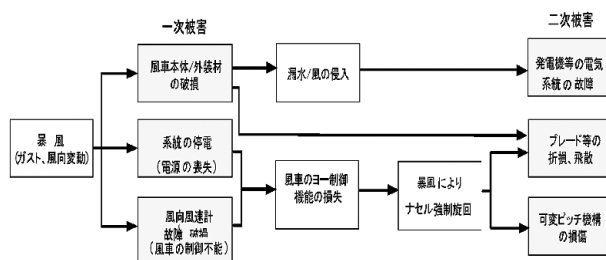


図 33 暴風による故障・事故に至るプロセス

出典：図 32) 同資料

## 9.2 人的要因

人的要因による風力発電施設の故障・事故は、風力発電事業者側の問題と風車メーカー側の問題に区分される。事業者側の操作ミスに起因する故障・事故は、保守・点検時に本来取らなければならなかった手順を踏まなかったために、風車の設計風速を下回っているに

も拘らず過回転を起こして倒壊事故を引き起こした事例、また、台風時の急激な風向変化の状況下にあつて強制的にロータブレーキ（非常時、故障時など、風車の回転を停止させるためのブレーキ。一般的に風車ではディスクブレーキが使われており、カバーが取り付けられているが、場合によっては火花が外部に飛び散る場合がある。）を作動させ、ナセル内の整理・整頓不備が重なって火災が発生した事例がある。一方、風車メーカー側の責任が問われる故障・事故はブレード製造時の異物混入や、ブレード接着部の耐力不足によりブレードの破損、脱落が発生した事例が挙げられる。

故障・事故の発生要因で「原因不明・その他」が35%程度とかなりの割合を示している。故障・事故の原因を明確にして同じ事故を起こさないことが重要である。そして、故障・事故に係る情報（実態と対策）を積極的に開示することによりトラブルを未然に防ぎ、円滑な風力発電事業の遂行が望まれる。

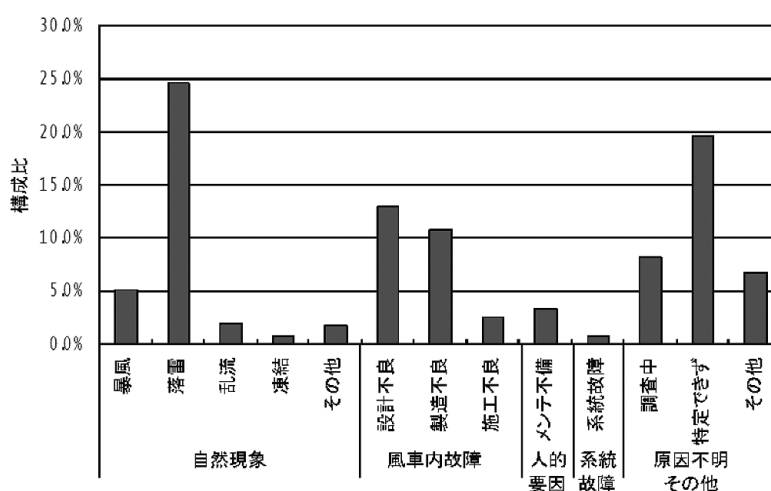


図 34 故障、自己要因別内訳の発生頻度  
出典：図 32) 同資料

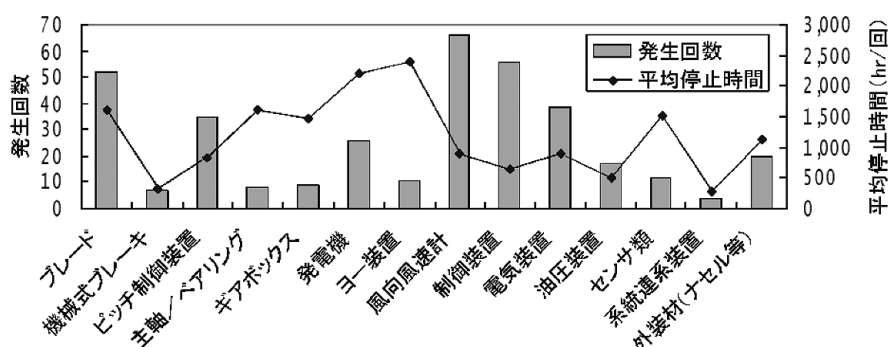


図 35 故障・事故発生部位別発生回数と平均停止時間の関係（NEDO, 2007）  
出典：図 32) 同資料

## 10. 風力発電プロジェクトをめぐる最新事情

### 10.1 世界の風力発電

世界の風力発電の大規模化は、太陽光発電を大きく凌駕する勢いで進んでおり、例えば、現在の世界最大規模の太陽光発電所は、カナダの Sarnia で 92MW である。その一方、現在の世界で最大規模の風力発電所は、アメリカの Roscoe で 781.5MW。8 倍以上の開きがあり、さらに、風力発電所の大規模化は今後も大きく進むと予想され、中国では 5000MW を超える超巨大風力発電所が 2020 年にできることが予想されている。世界の風力発電は、2006 年あたりから、急速に増加している。以上のことを含め、世界風力エネルギー協会 (Global Wind Energy Council: 通称 GWEC) が発表している、世界の風力発電トップ 12 か国を図 36 に示す。

またドイツ、スペインは太陽光発電の分野でも世界をリードしており、再生可能エネルギー全般を政府が全面的に後押ししているが、その両国を超えるスピードで、中国、アメリカ、インドでは、風力発電の建設が進んでいるのが現状である。そして中国は 2010 年ついに累積風力発電量で世界トップとなっている。

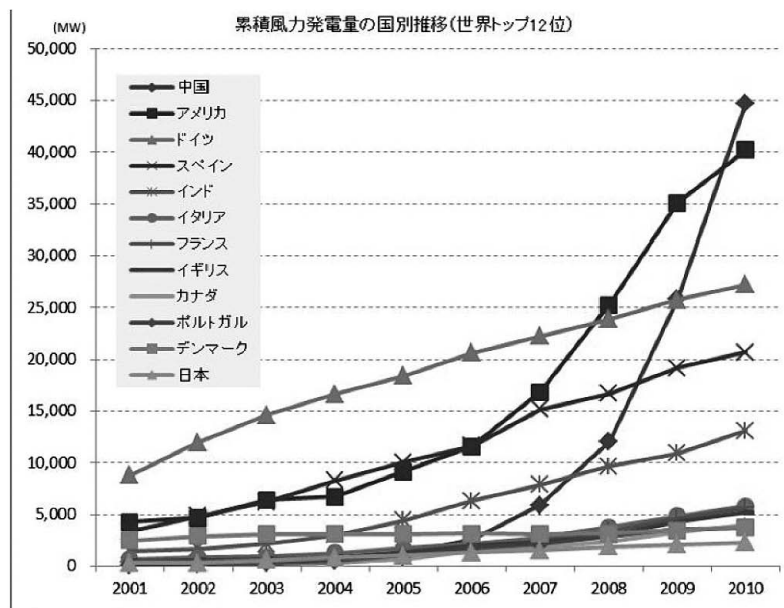


図 36 風力発電量の国別推移

出典：サステナビリティ・CSR マネジメント

<http://world-arrangement-group.com/blog/?p=550>

### 10.2 経済産業省委託、福島沖浮体式洋上ウィンドファーム

①世界最大級の 7000 kW 風車を用いる。

②浮体式洋上風力発電の事業性の検証を可能にすると共に、世界初の浮体式洋上変電設備および 66kV の大容量ライザーケーブルを開発することにより、浮体式洋上ウィンドファーム

ムの建設を可能にする。

③世界初の浮体式洋上観測システムを構築し、浮体の動揺を考慮した気象・海象の観測手法を確立する。

④複数タイプの風車と浮体を用いることにより、各種浮体式洋上風力発電システムの特徴および制御効果を明らかにすると共に、腐食および疲労に強い高性能鋼材の開発も行う。

現在、丸紅、東京大学、三菱商事、三菱重工業、アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド、三井造船、新日本製鐵、日立製作所、古河電気工業、清水建設およびみずほ情報総研の11社からなるコンソーシアムは、経済産業省から委託を受け、福島県ならびに周辺海域の漁業関係者と共に、オールジャパンの体制で実証研究を進めている。

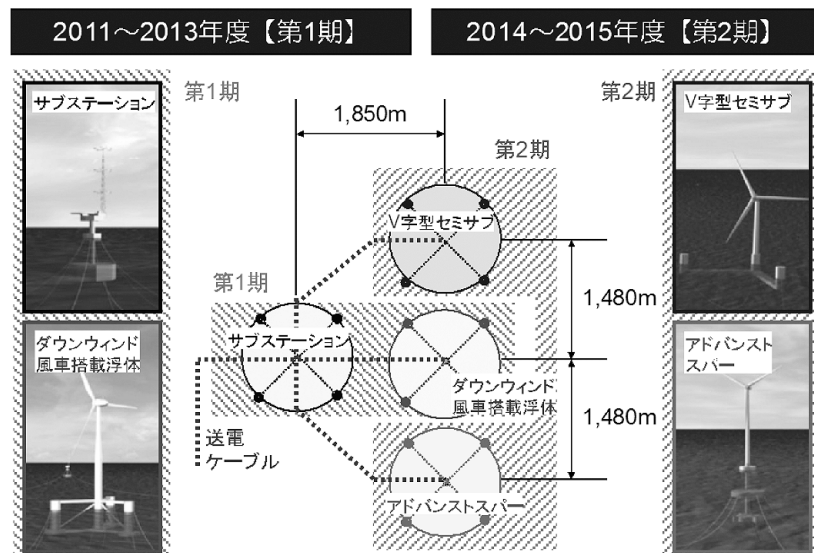


図 37 世界初の浮体式洋上ウィンドファーム実証研究の計画  
出典：石原孟 『福島沖浮体式洋上ウィンドファーム実証研究』



図 38 浮体式洋上ウィンドファーム完成予想図  
出典：図表Ⅳ - 2 - 45) 同資料

### 10.3 環境省 洋上風力発電実証事業

地元との十分な対話を通じて、周辺漁協・住民の賛同・同意を得て、実施候補海域を長崎県五島市杵島沖に選定済み。

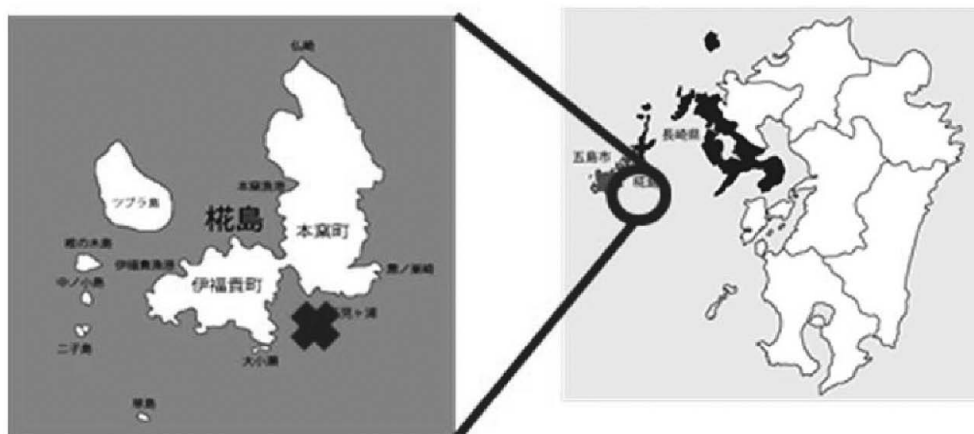


図 39 長崎県五島市杵島沖  
出典：環境省 『洋上風力発電実証事業』

フルスケールの浮体式洋上風力は、ノルウェーでスパー型 1 基が試験運転されているのみ。本事業でも同形式を採用するが、欧州より厳しい環境でも安全性を確保する風車・浮体等を建造する。

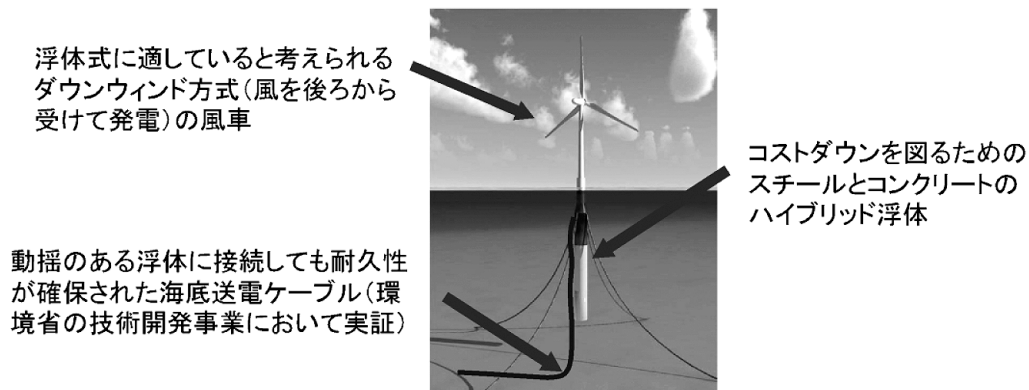


図 40 洋上風車の仕組み  
出典：図 40) 同資料

#### 参考資料

- ・石原孟 (2012) 『福島沖浮体式洋上ウィンドファーム実証研究』
- ・一般財団法人 日本風力発電協会 『風力発電環境影響評価規程』 2011 年 5 月
- ・牛山泉 (2002) 『風車工学入門—基礎理論から風力発電技術まで—』 森北出版株式会社
- ・浅野直人 「風力発電の環境アセスメント」 『JEAS ニュース Summer 第 131 号』 JEAS ニュース編集委員会
- ・株式会社 市民風力発電 『峰浜市民風力発電』 事業 環境影響調査 報告書』 2008 年 5 月
- ・環境省 『洋上風力発電実証事業』 2012 年
- ・独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 エネルギー対策推進部 『風力発電導入ガイドブック』 2008 年 2 月
- ・中尾徹 「風力発電施設の故障・事故の現状—主に NEDO 利用率向上調査結果のまとめ—」 『日本風力発電協会レポート』 2008 年 7 月
- ・三菱重工 『風力講座』 2007 年
- ・一般財団法人 新エネルギー財団 <http://www.nef.or.jp/index.html> (最終閲覧日 2013/02/18)
- ・経済産業省 資源エネルギー省  
<http://www.enecho.meti.go.jp/saiene/kaitori/kakaku.html>
- ・サステナビリティ・CSR マネジメント  
<http://world-arrangement-group.com/blog/?p=550>  
(最終閲覧日 2013/02/18)