

風力発電



新旧の風車

風力発電の位置づけ

再生可能エネルギー：太陽光、**風力**、地熱等自然の力を使ったエネルギー。技術的には確立しているが、コストが高く普及のための支援が必要 ③

風力発電： 風の力で風車→発電機を回し電気エネルギーを発生する

- 1.再生可能エネルギーの中で比較的発電コストが抑えられる
- 2.高効率sw電気エネルギーに変換可能
- 3.大きな風車は地域のシンボル
- 4.夜間も風が吹けば発電可能、

日本の風力発電設備容量は218万kw/1680基 (2010年初めー 日本機械学会誌 2011.4)



図52-2 ウィンドパークの例(竜飛)

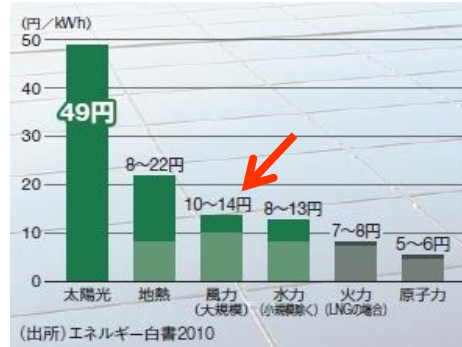


図52-1 発電コストの比較

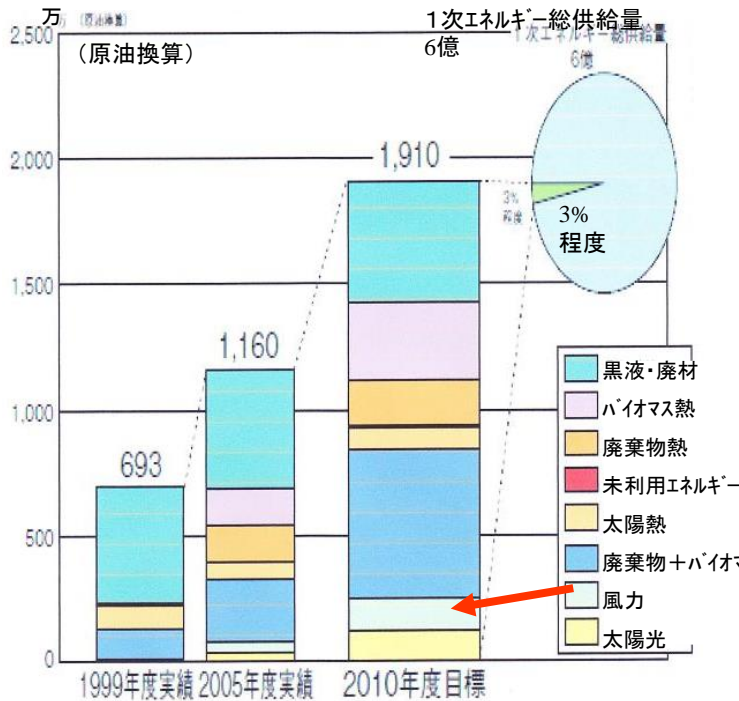
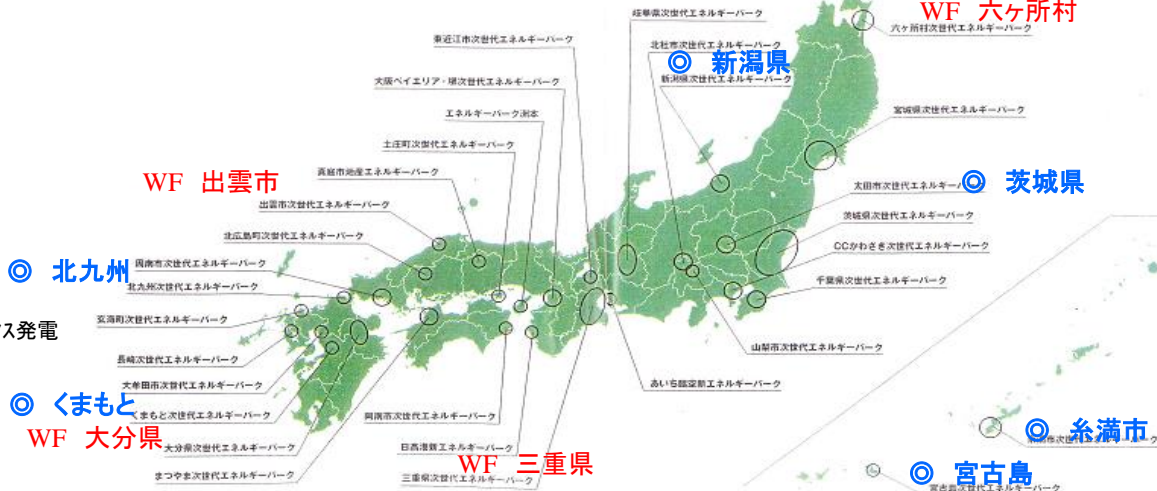


図52-3 再生可能エネルギーのシェア (資源エネルギー庁)

次世代エネルギーパーク：小学生から高齢者まで国民各層が、新エネルギーを中心に日本のエネルギー問題への理解の増進を深めることを通じて、エネルギー政策の促進に寄与することを期待するもの。複数の新エネルギー設備が含まれる。全国で41件認定(2012年3月現在) ③



注) ◎: 1800kw以上
WF: ウィンドファーム

図52-4 次世代エネルギーパークMAP ③

※新マップは巻末

種類

実用化されている風車には**水平軸式**と**垂直軸式**とがある。発電用としてネットワークに接続される大型プラントは3枚羽根のプロペラ式水平軸風車が主流

表52-1 水平/垂直軸風車特性比較 ①

| | プロペラ風車/水平軸 | ダリウス風車/垂直軸 |
|-------|-------------------------|-------------------------|
| 空力効率 | 高出力係数、変動風速対応 | 出力係数にやや劣る |
| 起動特性 | 低風速でピッチ制御起動可 | 自己起動力に劣る |
| 回転制御 | ピッチ制御で対応 | ピッチ制御不可 |
| 風向制御 | 制御機構が必要 | 制御機構不要 |
| 支持構造 | 重量物をタワー上に設置 | 発電機等地上に設置可 |
| 強風対応 | フェザリングで回避 | 回避不可能 |
| 振動・騒音 | 回転時翼とタワーの干渉、ウィンドシアの影響あり | タワーとの干渉なし、ウィンドシアの影響は少ない |
| 保守点検 | おもにタワー上で高所作業 | おもに地上作業 |
| 普及度 | ほぼ100%シェア | 実績は少ない |

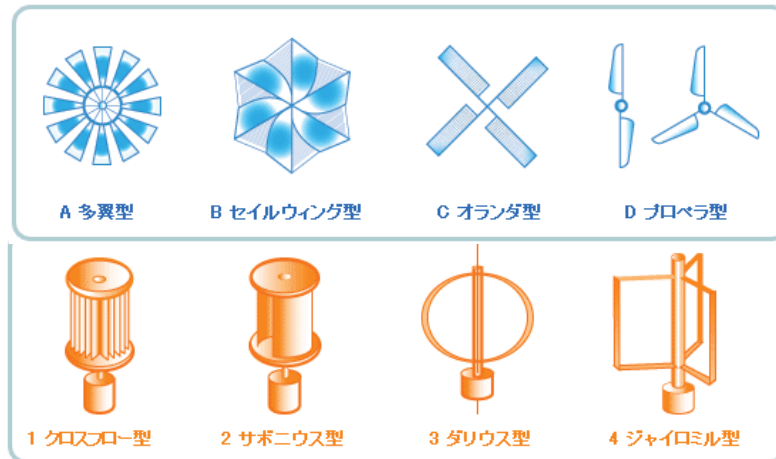


図52-5 水平軸風車(上)と垂直軸風車(下) (新エネルギー財団)

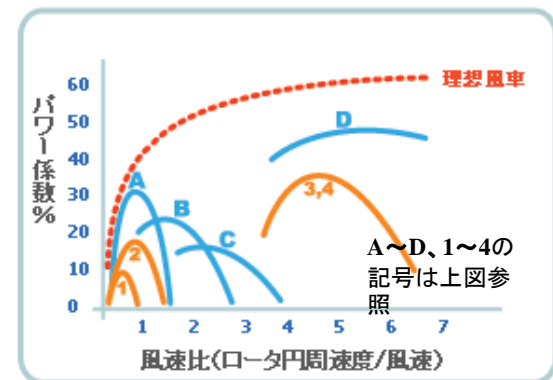


図52-6 各種風車のパワー係数 (新エネルギー財団)

アップウインド型と**ダウンウインド型**: 水平プロペラ式でポールの風上側(アップウインド)と風下側(ダウンウインド)に羽根を配置する2つの方式で、大半はアップウインド型。ダウンウインド型はヨー制御が容易で、風向変化に素早く対応できる。ただし、上流側にあるポールの干渉を受ける

表52-2 定格出力による風車の便宜的分類 (NEDO)

| 分類 | 定格出力 |
|--------|-----------------------|
| マイクロ風車 | 1kW 未満 |
| 小型風車 | 1kW ~ 50kW 未満 |
| 中型風車 | I 50kW ~ 500kW 未満 |
| | II 500kW ~ 1,000kW 未満 |
| 大型風車 | 1,000kW 以上 |



図52-7 垂直軸型風車 (MHI、Wikipedia)

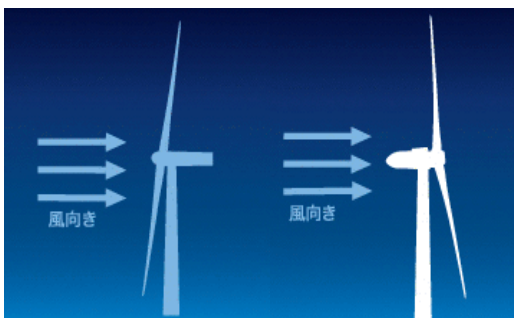


図52-8 アップウインド型(左)とダウンウインド型

特徴

風力発電施設を設置するには実態に即した「風況調査」「環境影響評価」が欠かせない。これには建設工事中、及び稼働開始後の地域住民、鳥類、家畜、植生等への被害の可能性を十分に検討しなければならない

風況調査: 風車設置予定地点において風向、風速の出現率等を実測することにより年間の発電量を予測。1年以上調査して年間平均風速6m/s以上が採算の目安 ⑦

落雷対策: 大型風車の導入には落雷対策が不可欠。羽根、CPUなどの被害が多い

台風対策: 異常な強風では羽根、タワーなどに折損事故が生じる。大型の風車では70m/sのガストに耐えられる設計となっている。フェザリング中の風車は正面からの強風は受け流せるので丈夫であるが、横風に弱い。風向風速計の耐風速の余裕、停電時のヨー制御の維持等の対策が必要 (電気評論 2008.9)

羽根枚数: 2枚羽根では3枚羽根に比べて回転が速くなり、羽根の遠心力が高くなる

風力発電設置計画に当たっての注意事項: ⑦

1. **発電量の実態** - 公称出力は最大出力を示し、年間平均出力は風の変動が大きいので一般にはその20~30%となる
2. **CO2削減効果** - 出力変動が激しいので、電力会社は火力発電出力を追従させず、CO2削減効果は期待できない
3. **稼働率** - 羽根の折損事故その他の機械的故障で稼働率が上がらない、発電量が計画値に達せず訴訟となるケースがある
4. **低周波騒音** - 地域住民に不眠、頭痛、吐き気、耳鳴り、船酔い症状等を訴えるケースも多い。2~3km離れた住宅でも障害が発生するケースがあり、家畜、野生動物にも変化が見られる。騒音源は羽根の風切り音、ナセル内の機械音が主因
5. **ストロボ効果** - 回転する羽根の影が周期的に横切ること、低周波騒音に似た傷害が生じることもある
6. **バードストライク** - 近くに営巣する猛禽類、渡り鳥など多様で、通年の変化を見て対策を講じることが大切
7. **発電事業者** - 補助金依存事業が多く、不十分な風況、地元反対を無視して無理に建設することがある (2010.9.13 朝日新聞)
8. **風車間隔** - 風車は後方乱流を派生させる。左右はロータ直径の3倍以上、風下は7~10倍以上離して設置する

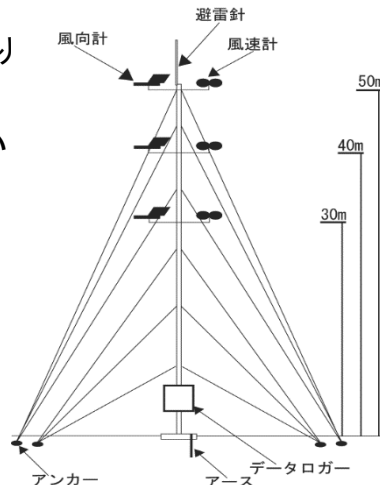


図52-9 風況計測装置 ((株)エコシステム)



図52-10 強風による折損事故 (狩俣風力-沖縄電力/2003年9月台風16号)



図52-12 1,2,3-枚羽根のプロペラ風車 (MHI)

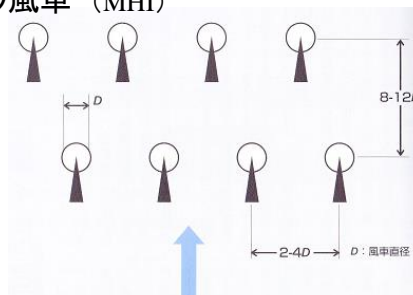


図52-13 ウィンドファームの風車間隔 ④

- **日本の雷と雷被害実態の調査**
雷の特徴と、近年頻発している風力発電設備の雷被害の実態についての調査の実施
- **落雷マップの作成**
風力発電の設置場所における落雷の頻度や、ブレード、本体の被害状況の事前把握
- **雷保護対策**
風車本体の雷保護対策、また、独立避雷鉄塔の設置などによる雷保護対策
- **雷被害リスク及びリスク低減対策**
雷リスクの定義、各リスクの評価、それに向けた効果的な対策の検討

図52-11 落雷対策の取組 (NEDO)

発電の仕組み

風車の羽根が風の力を受けてトルク(回転力)を発生する手段として、揚力タイプ(翼型断面)と抗力タイプ(風力計など風の力に押されて動く)がある

制御:

①

- (1) **ピッチ制御**—羽根の回転速度と風速に対応した羽根取り付け角度を最適値に変えてトルク、パワー、スラストを制御する。飛行機のプロペラ、ヘリコプターのロータにも採用されている技術
- (2) **ストール制御**—ピッチ制御により羽根にかかる揚力が最大になるようピッチ角を制御するが、ピッチ角が過大になると羽根の背面に沿って空気の流れが剥離してトルクが急激に低下する
- (3) **ヨー制御**—水平軸風車での方位制御。尾翼を設けて風向を検出して、羽根ロータを風上に向けて出力を最大にするダウンウィンド式では自動的に方位安定性が得られる

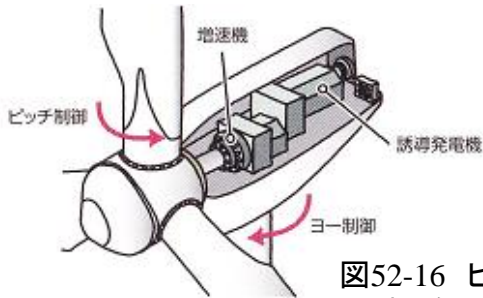


図52-16 ピッチ制御、ヨー制御 (再生可能エネルギーのキホン)

風のエネルギー ⇒ 回転エネルギー ⇒ 電気エネルギーのエネルギー変換で発電

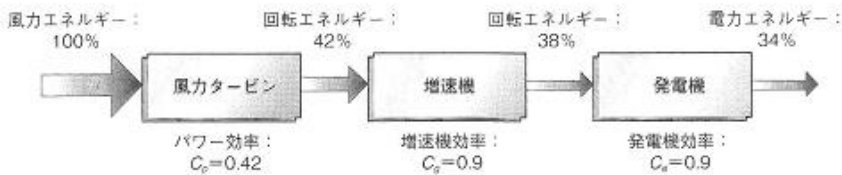


図52-17 風による電力の発生 (新エネルギー財団)

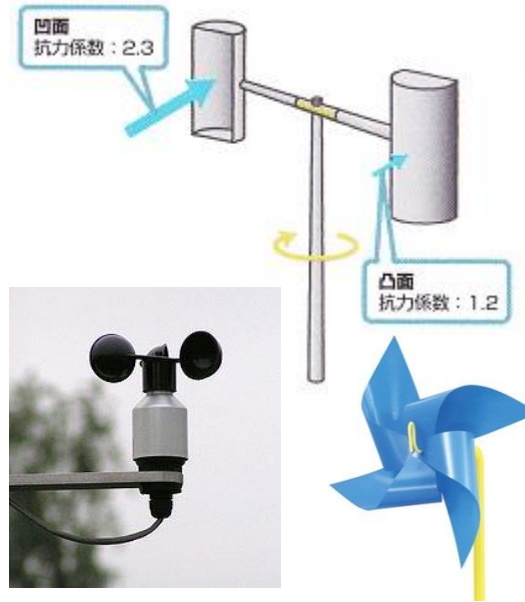
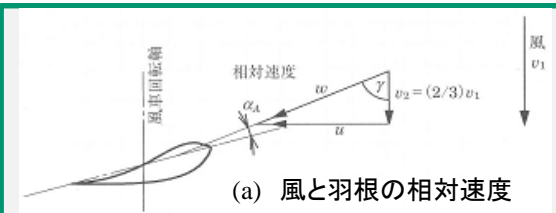
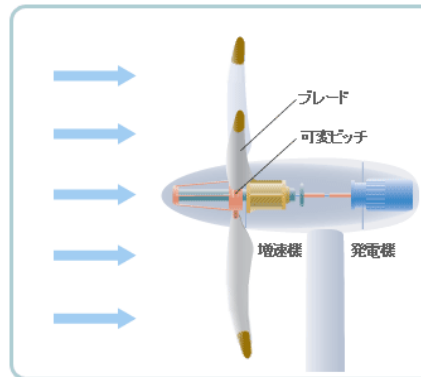
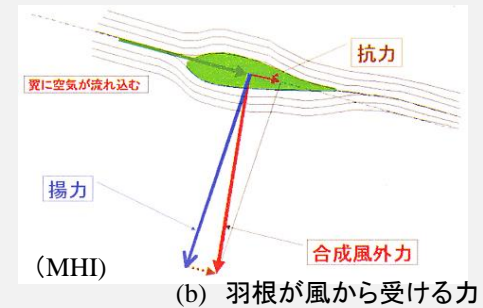


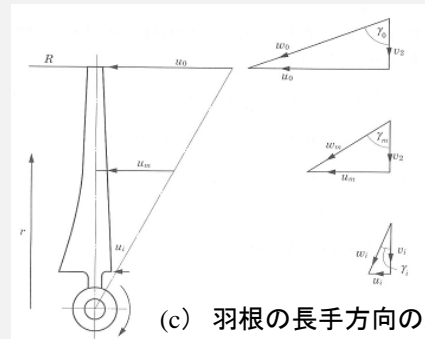
図52-15 抗力型(風速計とかざぐるま) (新エネルギー財団)



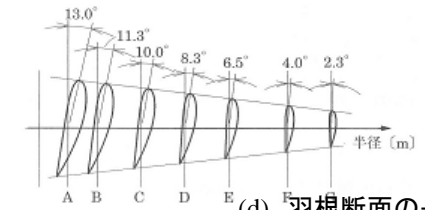
(a) 風と羽根の相対速度



(b) 羽根が風から受ける力



(c) 羽根の長さ方向の風速



(d) 羽根断面の長さ方向の捻り

図52-14 風による揚力と回転力 (風力エネルギーの基礎)

構造・生産

風力発電設備の最重要部品の一つは羽根である。大型化に伴い、羽根は遠心力に耐え、慣性力を下げるため、中空構造としている

表52-3 風力発電システムの部品構成例 ②

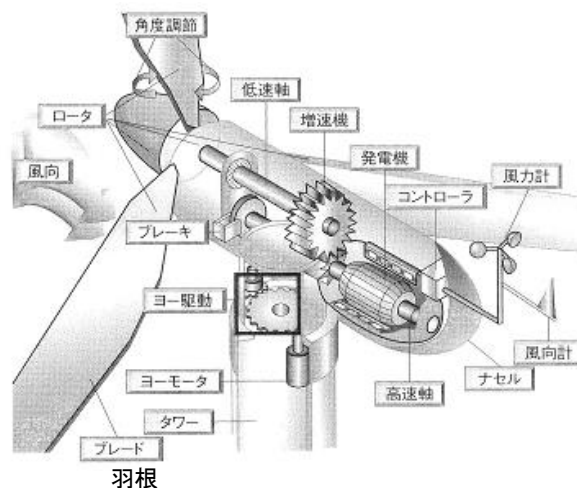


図52-19 水平軸風車の構造 (NEDO)

| 構成要素 | |
|--------|----------|
| ロータ系 | ブレード |
| | ロータ軸 |
| | ハブ |
| 伝達系 | 主軸 |
| | 増速機 |
| 電気系 | 発電機 |
| | 電力変換装置 |
| | 変圧器 |
| | 系統連系保護装置 |
| 運転・制御系 | 出力制御 |
| | ヨー制御 |
| | ブレーキ装置 |
| | 風向・風速計 |
| | 運転監視装置 |
| 支持・構造系 | ナセル |
| | タワー |
| | 基礎 |

羽根構造: 大型風車羽根の材料は現在はFRP複合材が主体であるが、風車の大型化が進むと高剛性、高比強度の炭素繊維の利用が見込まれる。炭素繊維は東レ、東邦テナックス、三菱レイヨンなど日本のメーカーが強い (羽根:翼、ブレードともいう)

軸受: 主軸回転の変速、ヨー(ナセルの回転)、羽根のピッチ制御など1基で約20個の高品質軸受が必要。信頼性のある軸受メーカーは世界5社のうち日本はNSK、NTN、ジェイテクト3社が占める

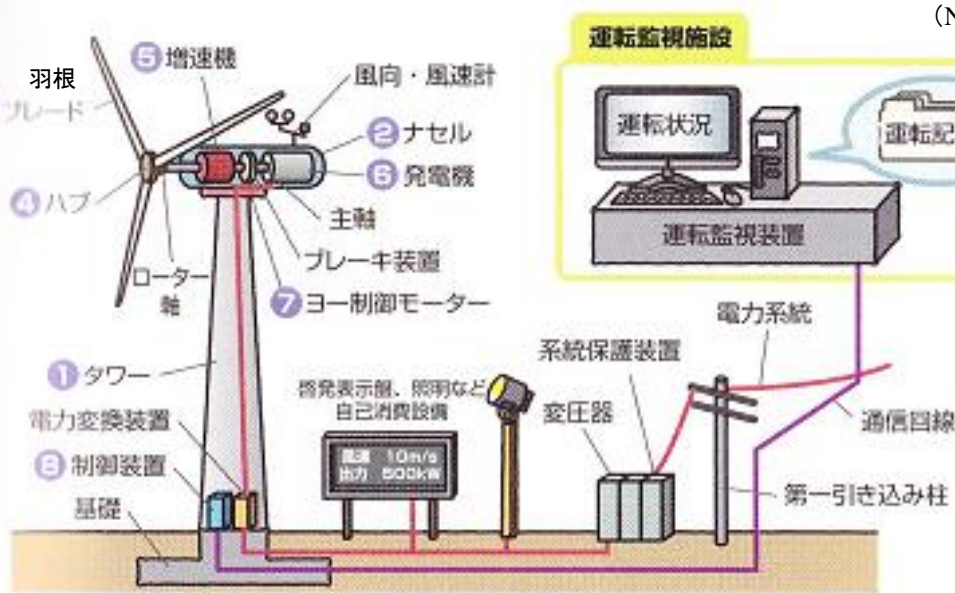


図52-18 プロペラ式風力発電システムの構成例 ②

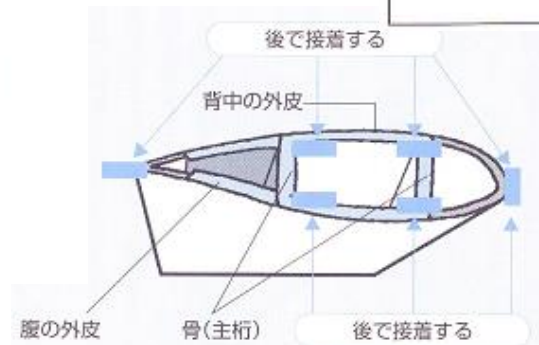


図52-20 大型風車羽根の構造 ④

風力発電の導入

風力発電施設は意外と大きい。現在最大の主力2000kw級でタワー65m、ロータ先端まで地上100mとなる。山中の施設でも景観を変える可能性も大きく、また長大なタワー、羽根を山中まで陸路を搬入するにはアクセス道路の整備も必要となる

定格風速: 設定は製造者に任せられる。高めに設定すれば、平均風速の低い場所では定格出力域での運転頻度が減り、年間発電量が伸びない。逆に風況の良い所に設置するとピッチ制御運転領域が多くなり、採取可能なエネルギーを逃がす形になる

カットイン風速: 発電を継続することが可能な最低風速(一般には4~6m/s)。低い風速(たとえば3m/s)で回転がスタートし、カットイン風速に達するまでに同期運転に必要な回転数を確保する

カットアウト風速: 風速がある強さ(たとえば25m/s)以上になると風車の保護のために出力をカットする。定格風速とカットアウト風速の間はピッチ制御で回転数と出力をあるレベルに抑えて運転する

風車適地条件 (NPO法人「輝く未来の風」)

- * 年平均風速5.5m/s以上
- * 民家・学校・病院・工場等から300m隔離
- * 風車相互の間隔は翼直径の3~4倍以上
- * 十分な送電容量の送電線に接続可能
- * 国立・国定・県立公園、国有林の外
- * 猛禽類の巣、渡り経路から離れる
- * 騒音条例に合致
- * 電波障害がない
- * 地域景観保持

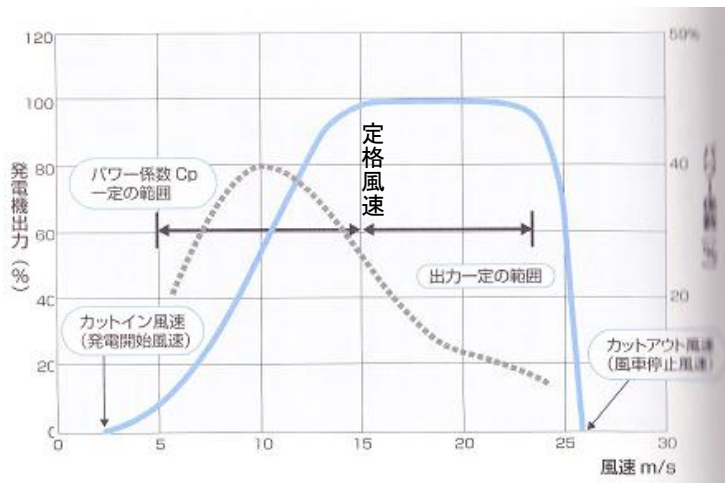


図52-22 風車の運用風速の範囲 ④

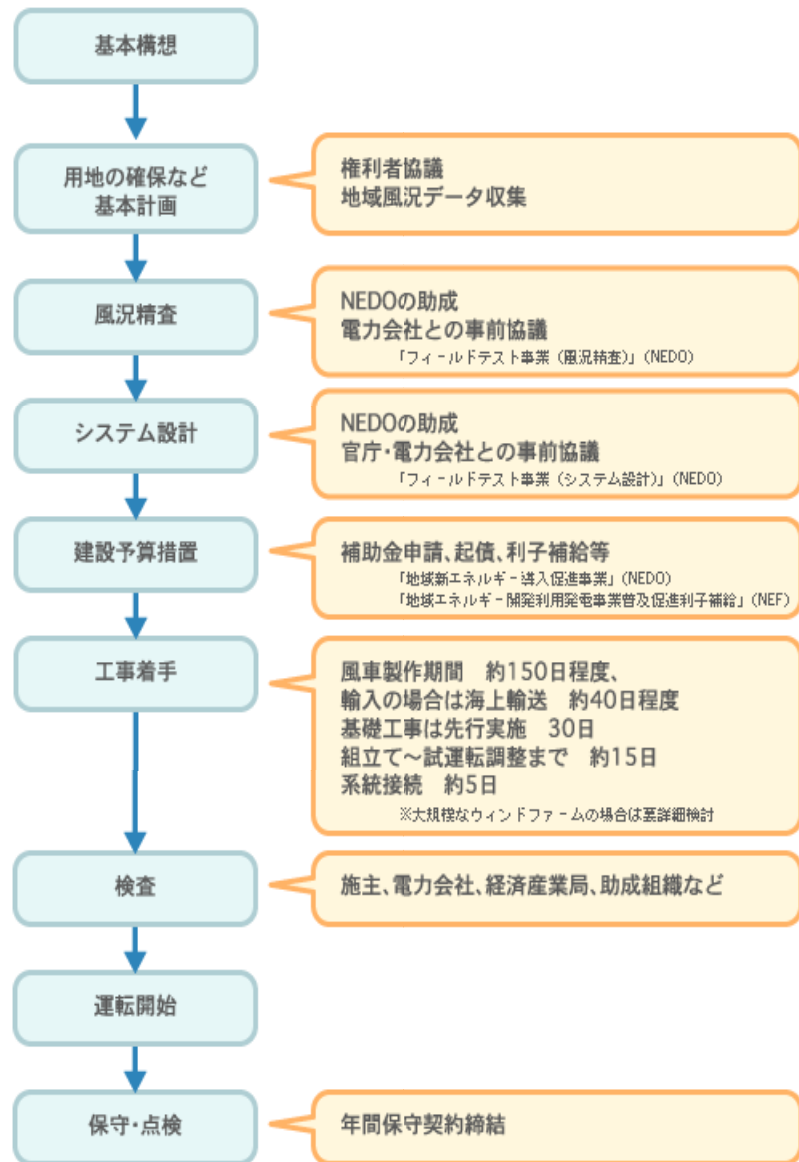
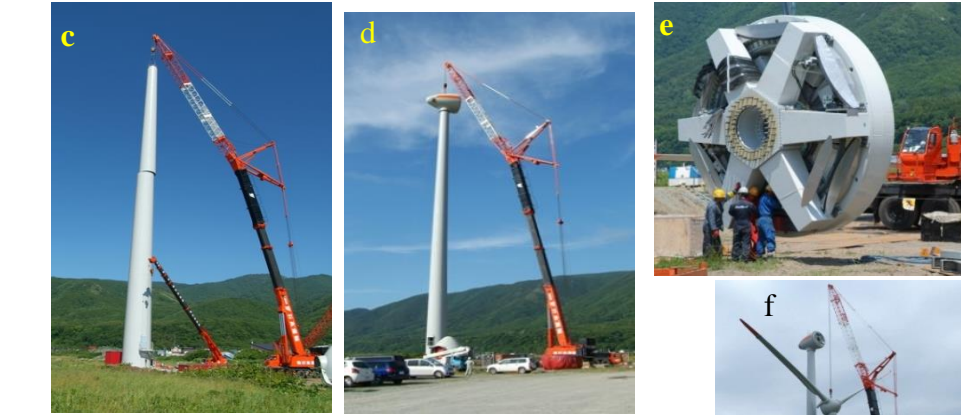


図52-21 風力発電導入の流れ (新エネルギー財団)

風力発電の大型化

世界各国が政府支援で風力発電の導入が進められている中で、大きな潮流として「**単機出力の大型化**」と「**洋上での風力発電**」が注目。風車の出力は風速の3乗、羽根が回転して描く円面積に比例

風力発電装置は年々大型化が進んでいる。現在主力の最大のものは2000kw級。ただし、陸上ではナセル、羽根、タワー等の構成部品が出力とともに大きくなり、建設先までの輸送上の制約があって、3000kw程度が限度



- a: コンクリート基礎打設
- b: 羽根の陸送(イギリスの例)
- c: タワー3段目の設置
- d: ナセルの設置
- e: 発電機のつり上げ
- f: 羽根の据え付け
- g: 完成

図52-25 大型風車の建設工事
—北海道風太風力発電所
1990kw/5基+2300kw/2基、
タワー高さ64m (寿都町役場)

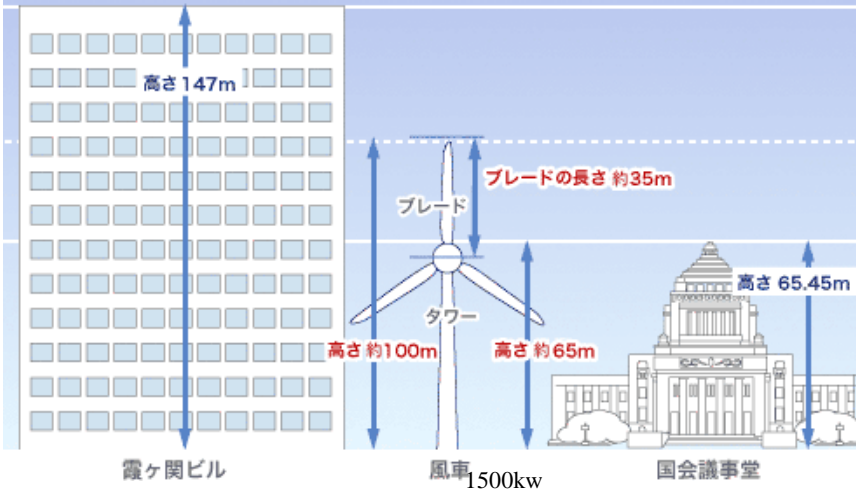


図52-23 建造物高さの比較 (日本風力開発株式会社)

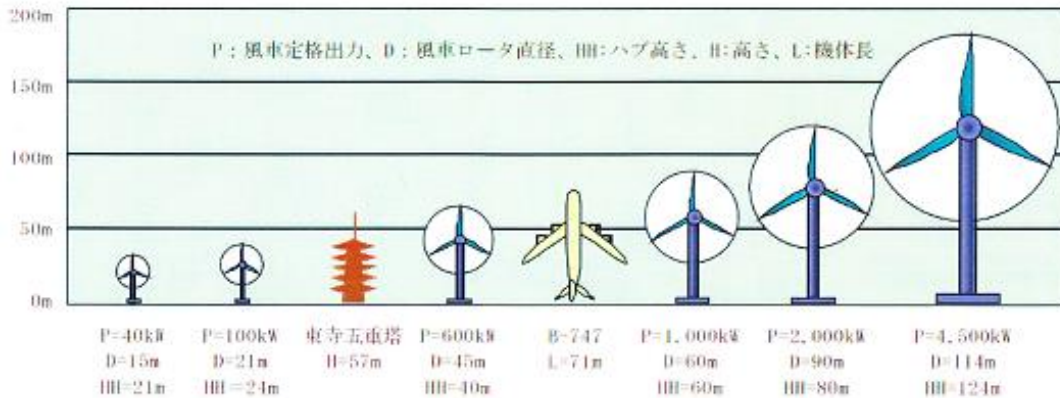


図52-24 風車の出力向上と大型化 (新エネルギー財団)

洋上風力発電

日本は国土が狭く陸上風力発電の設置適地は限られているが、領海、排他的経済水域は世界第6位。日本の洋上風力発電の賦存量の種々の推計値最少のものでもNEDOの風況マップに基づく陸上の賦存量の3.9倍以上であり、洋上風力が大きなポテンシャルを持っている

1991年デンマークの沖合いに450kw x 11基が洋上ウインドファームの始まり。日本では2004年山形県酒田(2000kw x 5基)と北海道瀬棚(せたな)発電所600kw x 2基が始まり

設置方式: 着床式(浅瀬地域)と浮体式(深海地域)の2種類①

海洋生物に与える影響は未知の部分が多い

政府は2011年予算で福島県沖に浮体式大規模洋上風力発電所を計画。2013年度に着工。2000kw~5000kw/基 x 6基で総出力最大3万kw。事業参画はMHI、IHI、富士重工、三井造船、清水建設、東京大学など

経済産業省は7000kw級洋上設置のプラントの早期実用化を目指し、その部品、要素技術の開発支援、国内実証のため2012年度予算に52億円を盛り込んだ。現在、MHI、ヴェスタ/デンマーク、エネルコン/独などが7000KW以上の大型機の開発を進めている

(日刊工業新聞 2012.1.26)

表52-4 洋上風車の利点 ⑤

| | 陸上の問題点 | 洋上の利点 |
|---------|------------------------------------|-----------------------------|
| 平均風速 | 低い →設備利用率 20% | 高い →設備利用率 30~40% |
| 風速変動・乱れ | 大きい (複雑地形の影響) →効率低下 →部材疲労 | 小さい →効率向上 →部材疲労 低減 |
| 大型風車の輸送 | 適地への輸送路確保 →道路建設 →森林伐採 | 専用船、曳航による 輸送が可能 |
| 電力系統連携 | 風況適地と受容能力 とのギャップ | 大消費地近くへ 設置可能 |
| 大規模化 | 設置面積の制約 | 設置面積の制約小 |
| 景観・騒音 | 影響大 | 影響小 |

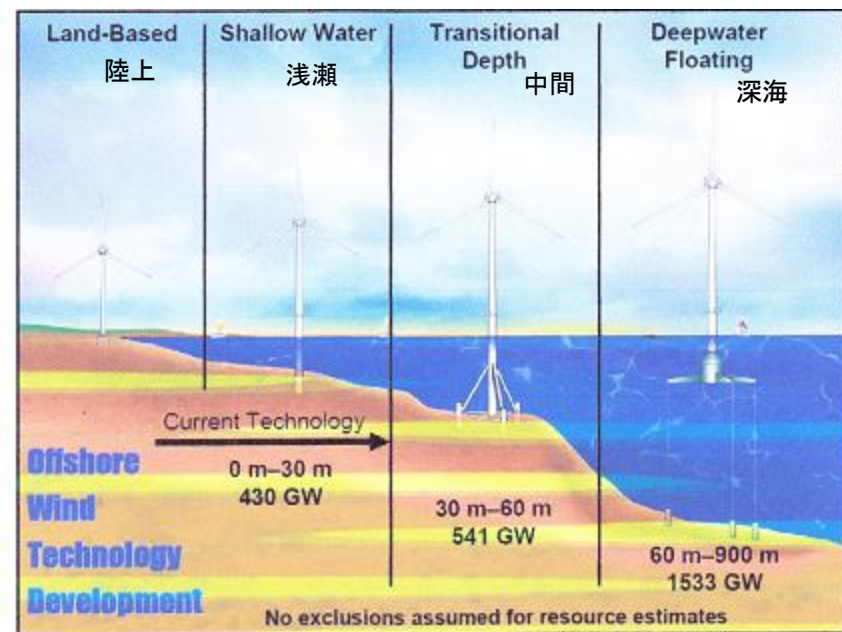


図52-26 水深による洋上風力発電の形態 (NREL/アメリカ)



図52-27 ウィンド・パワー・かみす洋上風力発電所(茨城県2000KW x 7基) ②



図52-28 スウェーデンの大規模洋上風力発電の例 (Wikipedia)

関連企業

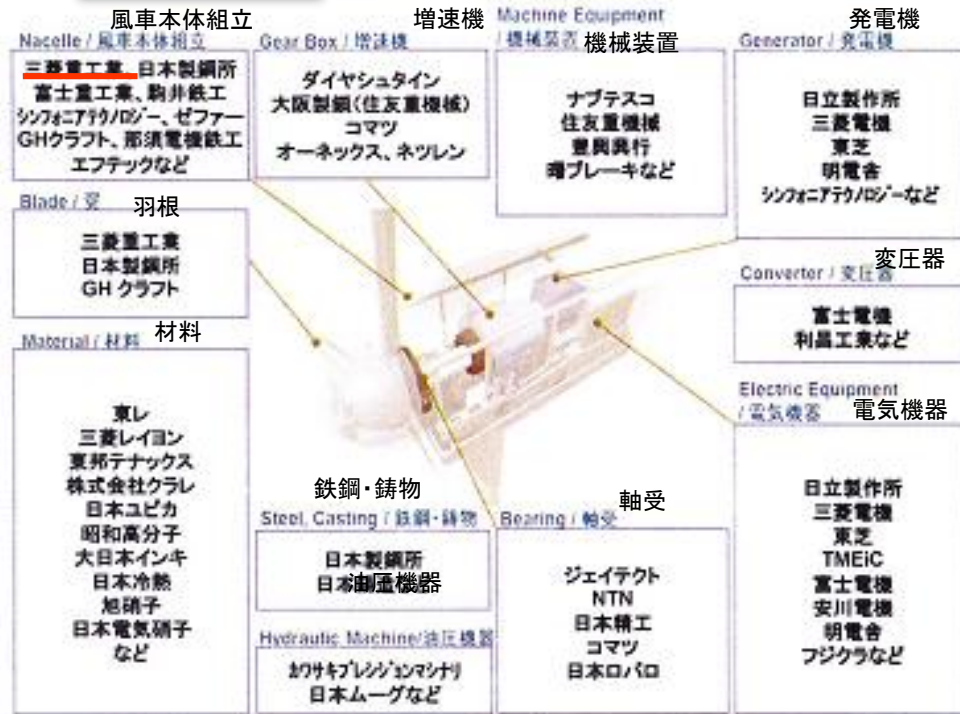


図52-29 風力発電構成機器・部材の国内主要企業 ②
 ※富士重工業は風車事業を日立に売却(2012年3月)

| | 関連企業 (図52-29の企業を除く) K:株式会社 |
|------------------|---|
| A.風力発電事業者 | 安藤建設K、エコパワーK、日本風力開発K(E、H)、K青山高原ウインドファーム、Kウインド・パワー・いばらき、東京ガスK、Kヨーテック(ウインドパーク美里など)、新日鉄エンジニアリングK、電源開発K(Jパワー) |
| B.風車メーカー | IHIプラント建設K(H)、アルストムK、<小型>ニッコー、THK、ゼファー、ウインドレンズ、那須電気鉄工、因幡電機、日本飛行機、MECARO |
| C.土木・建築 | 安藤建設K、鹿島建設K、四電エンジニアリングK、第一建設機工K、前田建設工業K |
| D.電気工事 | 白川電気土木K(A、G)(落居ウインドファーム)、K日立エンジニアリング・アンド・サービス(A、H)、東光電気工事K、北海道パワーエンジニアリングK、K-JPハイテック |
| E.輸送・建設 | K-IHIマリニューナイツ、青木あすなろ建設K、コベルコレーンK、四電エンジニアリングK(H、D)、三井造船 |
| F.電気設備・機器 | 新神戸電機K、日本ウッドワートガバナK、 |
| G.機械系機器 | Kハイダック、K宇佐美鋳油、ナプテスコK、日本ムーグK(制御機器)、K山口製作所、K石橋製作所、K三井三池製作所(増速機)、帝人(ブレード) |
| H.メンテナンス | JFEエンジニアリングK、北拓、旭硝子K、K玄海電設、北海道パワーエンジニアリングK、Kパワー(專業子会社) |
| I.コンサルタント | 伊藤忠テクノソリューションズK、イー・アンド・イー・ソリューションズK、(財)日本気象協会、K風力エネルギー研究所、(有)ネクストエナジー、インター・ドメインK(風況調査) |
| K.その他 | Kハイダック、信越化学工業K |

日本風力発電協会HPより

日本風力発電協会 (JWPA) - 日本を代表する風力発電業界団体で、国内外の風力発電拡大と関連産業の健全な発展を図る。情報収集・発信、業界課題の検討、国内外関連団体との交流など、業界の質的向上等を推進。2050年までに2008年度国内需要電力量の10%以上を風力発電から供給することを目標とする

日本小型風力発電協会 (JSWTA) - 2004年6月該当の事業者が結集して健全な業界の発展を目指して発足。2012年小型風車認証制度の設立を目指す

市場: 国内風力発電導入量は約250万kw(全電力供給量の1%)。2030年には1000万kwと見込む。潜在的な開発適地は1億5000万kwと見られる (2012.2.1 朝日新聞)。風力発電装置本体市場規模は23兆円、部品は4.2兆円(2020年)。大型風車は約2万点の部品で構成されていて裾野が広い産業(日刊工業新聞2011.11.28)

導入助成

2011年3月の東日本大震災による原発事故で、風力発電等自然エネルギー利用の注目が高まる。現在発電コスト、安定性に課題はあるが、政府の各種施策もあり、今後導入は加速されるとみられる

RPS法(電気事業者の新エネルギー等の利用に関する特別措置法／2003年施行／日本の現行制度):電力会社に一定比率での導入を義務付ける方式。この方式は導入初期には一定の効果を示すが、発電事業者側のリスクが高く、実質的な発電コストの削減効果も低いなど様々な欠点が指摘されている

再生可能エネルギー買い取り法(FIT/Feed-in Tariff):自然エネルギーの利用を促進させる法律で、2011年8月に国会で成立。再生可能エネルギーによる電気を、電力会社に一定期間「固定価格での買い取り」を義務付ける。電力の買取対象は新設設備に限定。既存事業者はRPS法の対象とし、両者のバランスを図るが、既存事業者には不満 (日経産業新聞 2012.2.23)

風力発電電力送電網の支援(経済産業省):風力発電所の導入促進を支援するために山中に設置される風力発電所から電力会社の既存の基幹送電網までを接続する送電線の設置建設費を補助、税制面での優遇を図る。2012年度補正予算から支援を始める(朝日新聞 2012.2.1)

グリーン電力証書:企業が風力等グリーンエネルギー証書を購入し、その資金がグリーンエネルギー発電事業者に提供されることによりグリーンエネルギー普及拡大を支援するもの。証書購入企業はグリーンエネルギーを使ったとみなされる。証書は第三者機関の「グリーンエネルギー認証センター」が行なう (わかる新エネー資源エネルギー庁)

環境アセスメントの導入:2012年10月より風力発電設備が環境アセスメントの対象になる。これにより建設まで3~4年の空白期間が生ずる恐れがある (日刊工業新聞 2012.3.7)

IPPビジネス(Independent Power Producer):電力会社、送配電会社、消費者に電力を供給する独立発電事業者。現在、風力など再生可能エネルギー分野におけるIPPビジネスが世界各地で増加している。日本ではJ-POWER、ユーラスエナジー、日本風力開発などが実施 ②

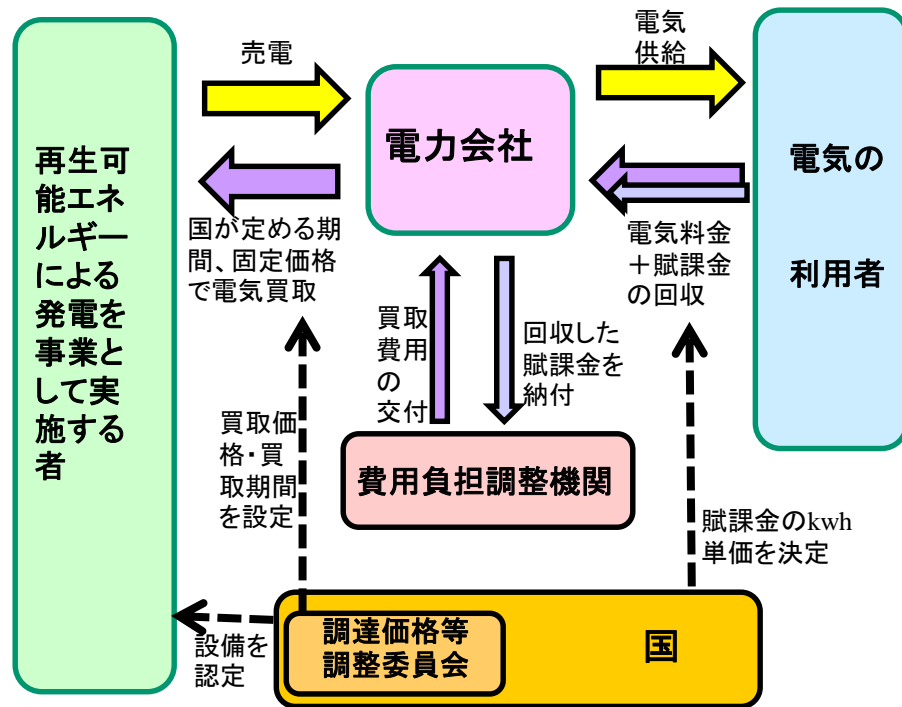


図52-30 再生可能エネルギーの固定価格買取制度のフロー ⑨

表52-5 新設/既設の風力発電の全量買取制度(日経産業新聞 2012.1.23)

| 設備 | 新設 | 既設 |
|-------------|-------------|-----------------|
| 電力会社の買取義務 | 有 | 無 |
| 買取条件 | 第三者機関が一律に決定 | 電力会社と事業者との相対で決定 |
| 買取価格(円/kWh) | 20円を軸に検討 | 平均11円程度 |
| 買取期間 | 15~20年を検討 | 通常17年 |

課題

現在の風力発電に関して出力変動、強風対策などの技術的課題については、性能や安全性の向上を狙った開発競争が焦点となっている

| | |
|----------|---|
| 騒音・低周波等 | 人家に近接して設置された場合に、近隣住民がめまい・動悸・耳鳴りなどの違和感を訴える例が出てきた。ブレードやタービン部が出す風切り音などの騒音や低周波振動が原因だろうと指摘されるようになった。法制度的にも環境アセスメント対象事業への追加が2009年検討された |
| バードストライク | イヌワシ、クマタカ、オオタカなどの希少猛禽類の幼鳥が、風力発電の回転羽根に衝突して死亡するケースがある。衝突死の多くは鳥が風車の回転翼を避けて体切断される。予め設置地域の鳥類の生息状況を調べ、影響の少ない設置場所や形式を選定したり、渡り鳥の接近をレーダーによって探知し、事前に回転翼を止めるなどの措置が必要 |
| 景観 | 風力発電機の設置に当たっては、自然景観への影響が問題になる場合もある。例えば風光明媚な観光地などでは、風力発電機の設置によって景観が変わるために反対される場合もある |
| 出力変動 | 風力発電の出力は昼夜問わず不随意に変動するため、需要への追従は基本的に他の調整力に富んだ火力発電、貯水式水力発電などに頼ることになる。また風力発電所の側でも、ある程度の出力の平滑化や負荷追従を行う場合があるほか、近年は発電量の予測技術も用いられている |
| 強風 | 風力発電機の最大の敵は強すぎる風である。風力発電機には定格風速があり、定格を大幅に超える速度で運転すると原動機の焼損や羽根の破損などを招く場合がある。そのため風速が過大な場合は、保護のために速度を抑制するか、場合によっては一時的に発電を停止する |

キーワード

| | |
|----------|--|
| ナセル | 水平軸風車においてタワーの上部に配置され、動力伝達装置、発電機、制御装置などを格納するもの。また風車の羽根車を支持している。発電した電力はナセル下部からタワー内部を通して外部に送電される |
| フェザリング | カットアウト風速(一般に25m/s)を超える強風で風車の羽根を折損から保護するために羽のピッチ角を調節して風を素通りさせるようにすること。台風対策として重要な処置 |
| 風況マップ | 風力発電に適したおよその地域を地図上に表わしたもの。年間平均風速が6~7m/sを超えることが事業化の目安。NEDOが日本気象協会に委託して作成した日本全国のマップが公表されている(化学工学会) |
| ウインドファーム | 多数の風車を並べて集合設置した一群の風力発電所。1980年代初めにアメリカ・カリフォルニア州で合衆国政府と州政府の支援で商業施設として大規模な風力開発が進んで世界に広まった用語。ウインドパークと呼ばれることもある |