

## 風力発電システムに関するリスク

風力発電システムの概要と構成、その潜在するリスクについて

宗像 明彦 Akihiko Munakata

リスクエンジニアリング事業本部 リスクエンジニアリング部  
主任コンサルタント

村田 俊次 Shunji Murata

リスクエンジニアリング事業本部 リスクエンジニアリング部  
シニアコンサルタント

### はじめに

東日本大震災後の原発事故をきっかけに、国民の関心を集めることとなった再生可能エネルギーであるが、2012年(平成24年)7月1日から「再生可能エネルギー特別措置法による再生可能エネルギーの固定価格買取制度」が導入されたことにより、エネルギー事業に携わる企業はもとより、多くの他業種企業、自治体、NPO法人などで事業参加が加速している。

現在のところ、導入の容易性と高い買取価格を背景に太陽光発電が先行している<sup>1</sup>状況にある。また、再生可能エネルギー事業では唯一、個人での参加がしやすいことも普及に拍車をかけていると推察される。ただし、太陽光発電の固定価格買取制度での買取価格が他の再生可能エネルギーよりも高い点や、太陽光発電では多くの発電量を得ようとする場合にメガソーラー(大規模太陽光発電所)の設置に一定規模の遊休地を必要とすることから、他の再生可能エネルギーもバランスよく増加させていく必要があると思われる。とくに、再生可能エネルギー導入の先進となる国々<sup>2</sup>で比率が高い風力発電は、今後日本においても拡大が望まれるシステムといえる。

もともと太陽光発電よりも設備利用率<sup>3</sup>が高く比較的発電コストが低いとされる風力発電システムは、安定した風力(平均風速 6m/秒以上)を得ることができる、北海道・青森・秋田などの海岸部や沖縄の島々を中心に設置され、1,887基 431発電所、累積導入実績 261.4万kWに達している(2012年12月末、一般社団法人日本風力発電協会調べ)が、その導入ポテンシャル<sup>4</sup>からすれば、約2~11%(陸上のみ)にすぎない。

内閣官房国家戦略室の『革新的エネルギー・環境戦略』における2030年の日本の再生可能エネルギーの導入目標は、2010年の1,100億kWから3,000億kWへと約3倍の発電電力量となっている。大規模な風力発電所が開発することができれば、その設置コストは火力や原子力並みにまで下がり得ることから、送電網の整備や開発・建設に関する規制緩和などの課題はあるものの、風力発電の拡大には大きな期待が寄せられている。その実現には、日本でようやく事業化の緒についたばかりである洋上風力発電の普及も必須であろう。

<sup>1</sup> 2012年4月から11月末までに運転を開始した再生可能エネルギー発電設備の全容量(144.3万kW)のうち、太陽光発電は139.8万kWと97%を占める。また同時期に認定された設備全容量(364.8万kW)でも、そのうち太陽光発電が326.2万kWとなっている。(資源エネルギー庁発表資料より)

<sup>2</sup> 再生可能エネルギー比率が高い国(ドイツ、スペイン、デンマークなど)と比べ、日本の風力発電の比率は半分程度と低い。

<sup>3</sup> 陸上風力発電の設備利用率は20%と太陽光の12%より高いとされる。(再生可能エネルギーコスト検証委員会報告より)

<sup>4</sup> 再生可能エネルギー比率が高い国(ドイツ、スペイン、デンマークなど)と比べ、日本の風力発電の比率は半分程度と低い。

<sup>5</sup> エネルギーの採取・利用に関する種々の制約要因による設置の可否を考慮したエネルギー資源量のこと。陸上風力発電の事業性を考慮した導入ポテンシャルは推計2,400~14,000万kW(環境省:平成22年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書)

しかし、風力発電システムは風車の高さがあり稼働部も多いことから、落雷による事故や機械的事故が多い。事故形態によっては、冬季の天候不良時などに取り替えが必要な部品材の搬入や設置作業に支障をきたし、復旧までに期間を要することで発電が長期間停止するという問題も発生している。風力発電事業の拡大と同時に発電の安定を図るためには、事業者が風力発電システムの事故リスクを把握し、対策を実施することが重要であると考えられる。

本稿では、風力発電システムの基本的な構成や種類、普及状況を整理し、想定されるリスクについて報告する。

## 1. 風力発電システムとは

風力発電システムとは、風の運動エネルギーを利用して風車（風力タービン）のブレード（回転羽根）およびロータ軸（ブレードの回転軸）を回転させ、その回転を直接、または増速機を経た後に発電機に伝達することで、電気エネルギーに変換して発電するシステムである。以下に、風力発電システムの中核となる風車の種類や構成について説明する。

### 1.1. 風車の種類

風力発電で使用される風車は、定格容量（出力）の大きさ、回転軸の方向・作動原理の種類などによって分類される。

#### 1.1.1. 定格容量（出力）による分類

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の『風力発電導入ガイドブック』では、風車はその定格容量で表1のように分類されている。これらは電気事業法の制約条件を前提として便宜的に区分<sup>5</sup>しているものであり、今後、大型風車の開発に伴い定格容量による分類基準も変化していくものと考えられている。

表1 定格容量からみた風車の分類基準<sup>6</sup>

分類	マイクロ風車	小型風車	中型風車		大型風車
			50～500 未満	500～1,000 未満	
出力(kW)	1 未満	1～50 未満	50～500 未満	500～1,000 未満	1,000 以上

#### 1.1.2. 回転軸の方向・作動原理の種類による分類

風車は、回転軸の方向によって「水平軸」と「垂直軸」に大別され<sup>7</sup>、さらに作動原理によって「揚力形」と「抗力形」に分類<sup>8</sup>されている（図1）。

<sup>5</sup> 【電気事業法】主任技術者・保安規程：1,000kW 以上は選任届出、1,000kW 未満は不選任承認届出

工事計画・使用前検査：500kW 以上は届出実施、500kW 未満は不要（低圧系、独立系の20kW 未満の法的手続きは不要）

【JIS/IEC】小型風力発電機はIEC 61400-2 第2版(2006)において「ロータ受風面積が200㎡未満、交流1,000V 未満または直流1,500V 未満」（水平軸風車ではロータ直径が16m[約50kW 相当]未満）と定義され、また2㎡未満（約1kW 未満）の風車はマイクロ風車と定義されている。

<sup>6</sup> 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構。「風力発電導入ガイドブック（2008年2月改訂第9版）」、p55.

<sup>7</sup> 「水平軸」は、風車の回転軸が風向きに対して平行（一般的には、回転軸が地面に対して水平）となるタイプ

「垂直軸」は、風車の回転軸が風向きに対して垂直（一般的には、回転軸が地面に対して垂直）となるタイプ

<sup>8</sup> 「揚力形」は、翼の揚力を利用して高速回転を得る方式 / 「抗力形」は、風が押す力で低速回転する方式

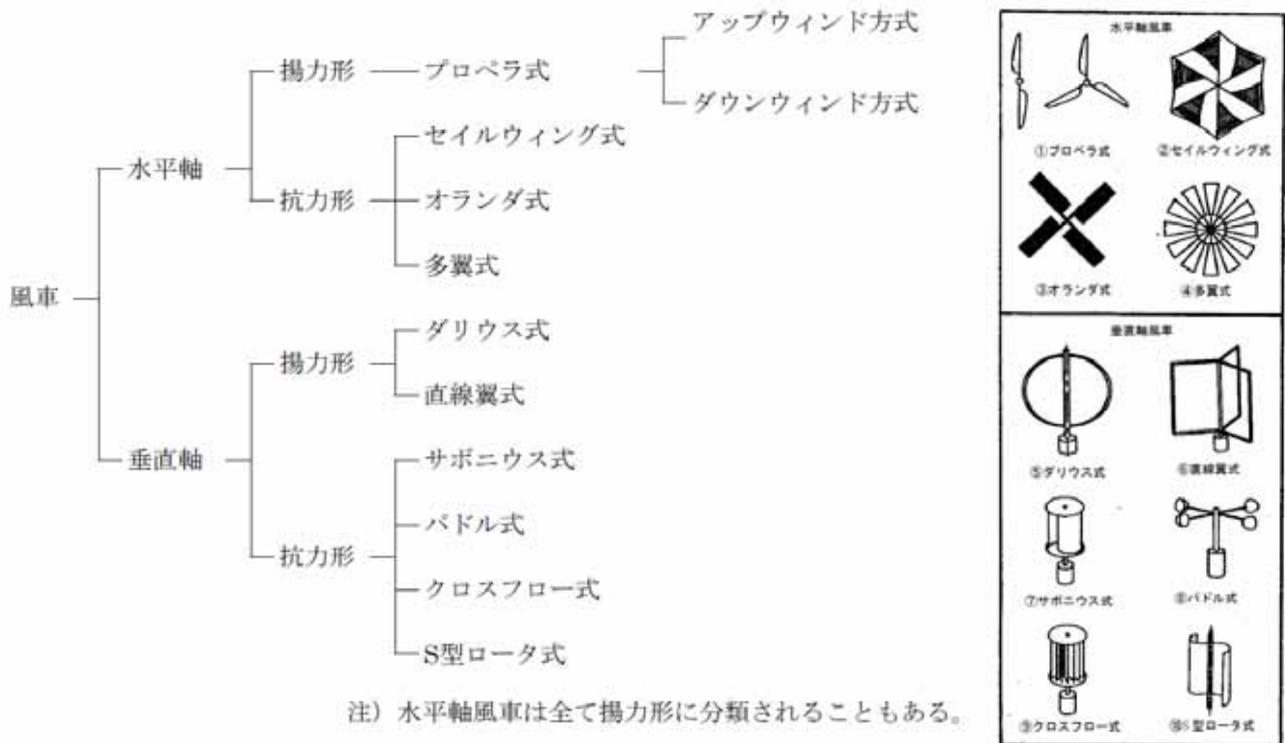


図1 風車の種類<sup>9</sup>

「水平軸風車」の特徴として、構造が比較的簡単で効率が良いため大型化も容易であるが、風車の回転面を風向に合わせる必要がある。またプロペラ式は、発電システムに適しているという点が挙げられる。これに対し、「垂直軸風車」は、風向に影響されないことやブレードの製造がプロペラ式に比べ容易である反面、効率面で劣るという特徴がある。

一方、「揚力型」は大きい周速度を得られることから発電用に適しており、「抗力型」は小型風車が多く、トルクが大きいため揚水や粉引きなどの作業に適しているという違いがある。

売電事業を目的とした中型・大型風車の主流は、振動が起きにくく安定性が良いという理由から水平軸の3枚翼プロペラ式である。

プロペラ式には、図1に示すように「アップウィンド方式」と「ダウンウィンド方式」がある。現在の大型風車ではアップウィンド方式が主流となっている。

### 1.2. 風車の出力と大きさ

一般的に、風車は高く設置したほうが大きい風速を得ることができ、長いブレードは受風面積が大きくなるため取得エネルギーも大きくなる<sup>10</sup>。定格出力が2,000kWの場合、タワー高さは90m、直径は80mが一般的な大きさである。

<sup>9</sup> 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構. “風力発電導入ガイドブック(2008年2月改訂第9版).”, p56.

<sup>10</sup> 風力エネルギーは、ロータ直径の2乗に比例し、風速の3乗に比例する

### 1.3. 風車の構成

中型・大型風車で一般的なプロペラ式風力発電システムは、図2および表2に示すような風力エネルギーを機械的動力に変換する「ロータ系」、ロータから発電機へ動力を伝える「伝達系」、発電機などの「電気系」、システムの運転・制御を司る「運転・制御系」、および「支持・構造系」から構成される。

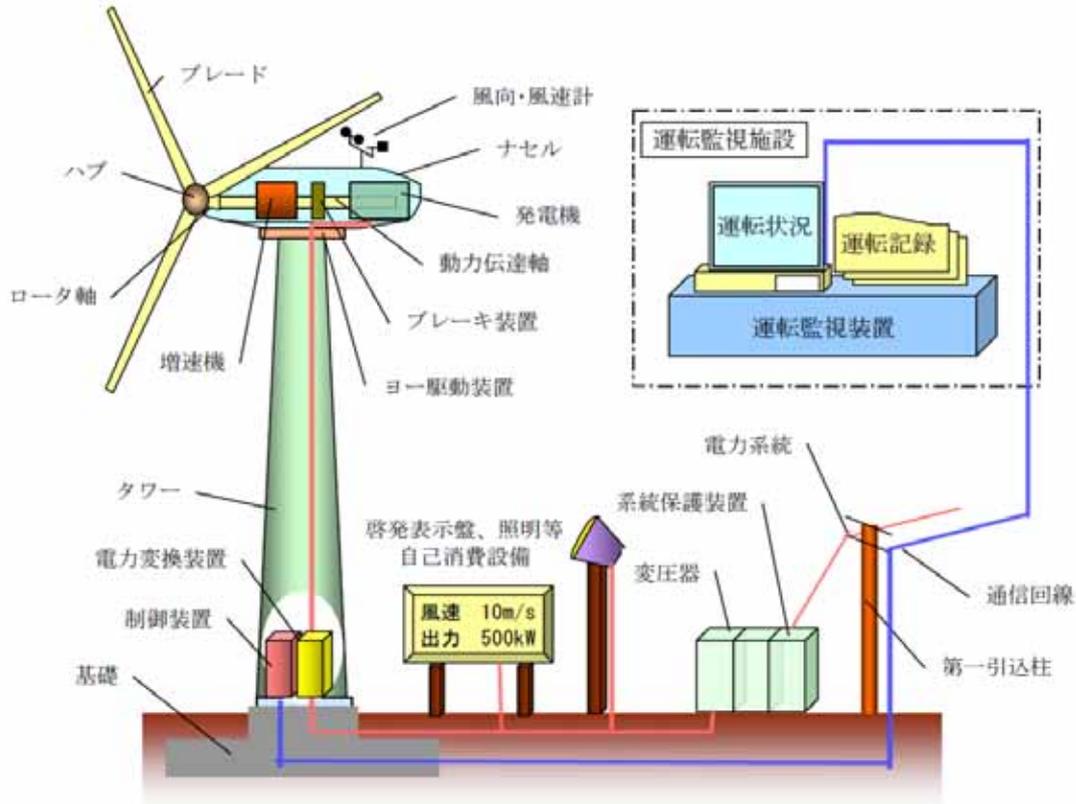


図2 プロペラ式風力発電システムの機器構成例<sup>11</sup>

表2 プロペラ式風力発電システムの構成<sup>12</sup>

構成要素		概要
ロータ系	ブレード	回転羽根、翼
	ロータ軸	ブレードの回転軸
	ハブ	ブレードの付け根をロータ軸に連結する部分
伝達系	主軸	ロータの回転を発電機に伝達する
	増速機	ロータの回転数を発電機に必要な回転数に増速する歯車（ギア）装置（増速機のない直結ドライブもある）
電気系	発電機	回転エネルギーを電気エネルギーに変換する
	電力変換装置	直流、交流を変換する装置（インバータ、コンバータ）
	変圧器	系統からの電気、系統への電気の電圧を変換する装置
	系統連携保護装置	風力発電システムの異常、系統事故時などに設備を系統から切り離し、系統側の損傷を防ぐ保護装置

<sup>11</sup> 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構. “風力発電導入ガイドブック（2008年2月改訂第9版）.”, p60.

<sup>12</sup> 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構. “風力発電導入ガイドブック（2008年2月改訂第9版）.”, p60.

運転・制御系	出力制御	風車出力を制御するピッチ制御あるいはストール制御
	ヨー制御	ロータの向きを風向に追従させる
	ブレーキ装置	台風時、点検時などにロータを停止させる
	風向・風速計	出力制御、ヨー制御に使用されナセル上に設置される
	運転監視装置	風車の運転/停止・監視・記録を行う
支持・構造系	ナセル	伝達軸、増速機、発電機などを収納する部分
	タワー	ロータ、ナセルを支える部分
	基礎	タワーを支える基礎部分

#### 1.4. 風況と出力の関係

風力発電効率は風況と密接な関係があり、風況と出力の関係について理解することで発電システムの運転特性を把握することができる。風況の中でも運転特性に関係する3種類の風速について説明する。

ロータを回転させ一定風速以上になると発電機は発電を開始するが、発電を開始する風速を「カットイン風速」といい、一般的に、風速は3~4m/秒である。風力発電システムの発電機が最も効率良く回転している時の出力を「定格出力」といい、この時の風速を「定格風速」という。風速は、通常、12~16m/秒であるが、発電機の設計上の定格出力に依存している。風速が定格値以上となる場合は発電機を過負荷にさせないように、ブレードの取付け角（ピッチ角）を風速に合わせて変化させるピッチ制御、あるいはブレード形状の空気力学特性によって失速現象が起こり、出力が低下することを利用したストール制御により出力制御を行う。風速が大きくなり強風となった場合（大型台風など）は、ロータの回転を止め発電システムを停止する。この時点の風速を「カットアウト風速」といい、一般的には、風速は24~25m/秒である。

風速に対する出力特性は、性能曲線あるいは「出力曲線（パワーカーブ）」と呼ばれ、風力発電の運転特性を示す重要な図となる。図3は風速に対する出力特性と、ピッチ制御あるいはストール制御の関係を示した出力曲線（パワーカーブ）である。

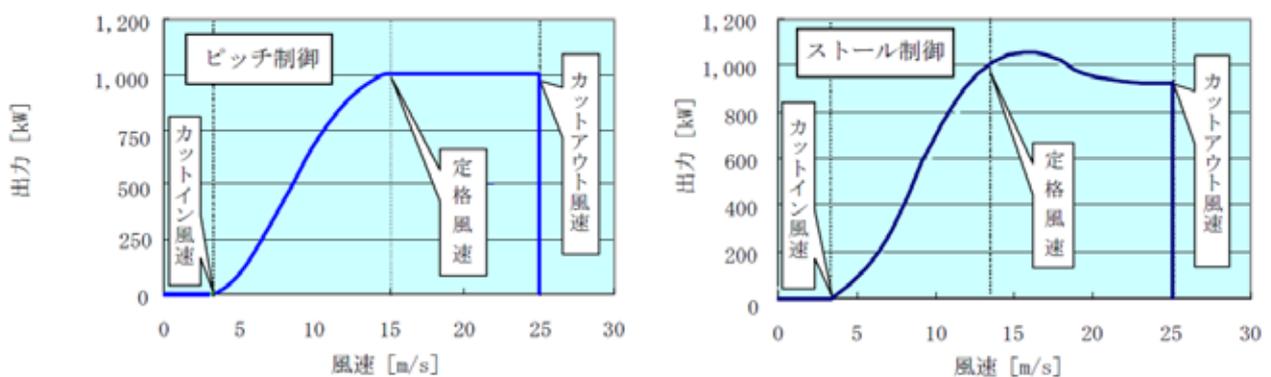


図3 風力発電システムの運転特性（定格出力1,000kW機の例）<sup>13</sup>

<sup>13</sup> 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構. “風力発電導入ガイドブック（2008年2月改訂第9版）”, p65.

## 2. 風力発電の普及状況

本章では、世界と日本国内における風力発電の2011年末時点での普及状況について示す。

### 2.1. 世界における普及状況

世界風力会議（Global Wind Energy Council：GWEC）の『Global Wind 2011 Report』によると、世界の風力発電総設備容量は、2011年に累計で237,669MWとなり、前年より20.6%増加している（図4）。1996年以降、毎年、前年比20～30%超の伸び率を示している。

主要国の導入量推移をみると、近年とくに導入が顕著な中国が2011年末での累計で62,364MWとなり1位に躍り出ている（図5）。以下、アメリカ、ドイツ、スペインの順であり、欧州諸国が上位を占めている。なお、日本は2,501MWで13位であるが、累計導入量は中国の30分の1にすぎない。

今後の世界における風力発電の進展に向かって各国とも意欲的な導入目標を設定しており、欧州を中心とした経済の停滞要因が、風力発電への投資や開発意欲の制動（ブレーキ）とならないように願いたい。

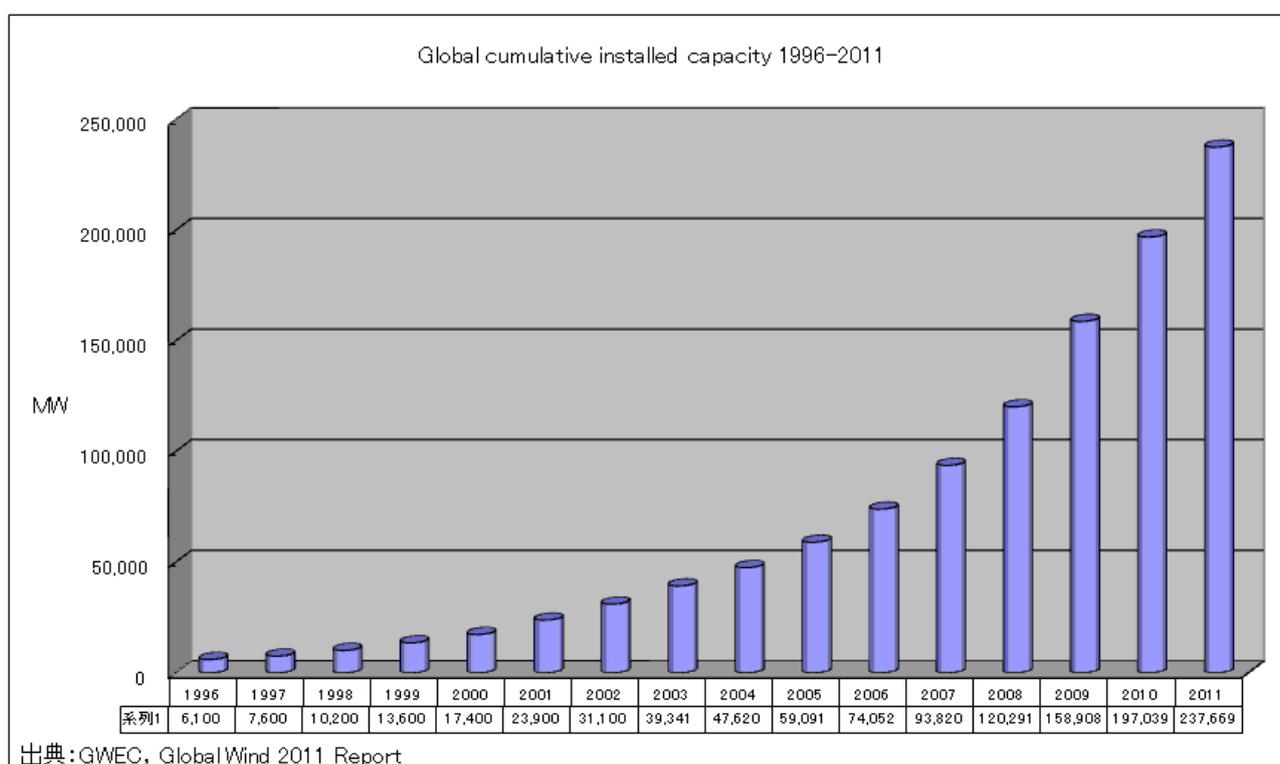
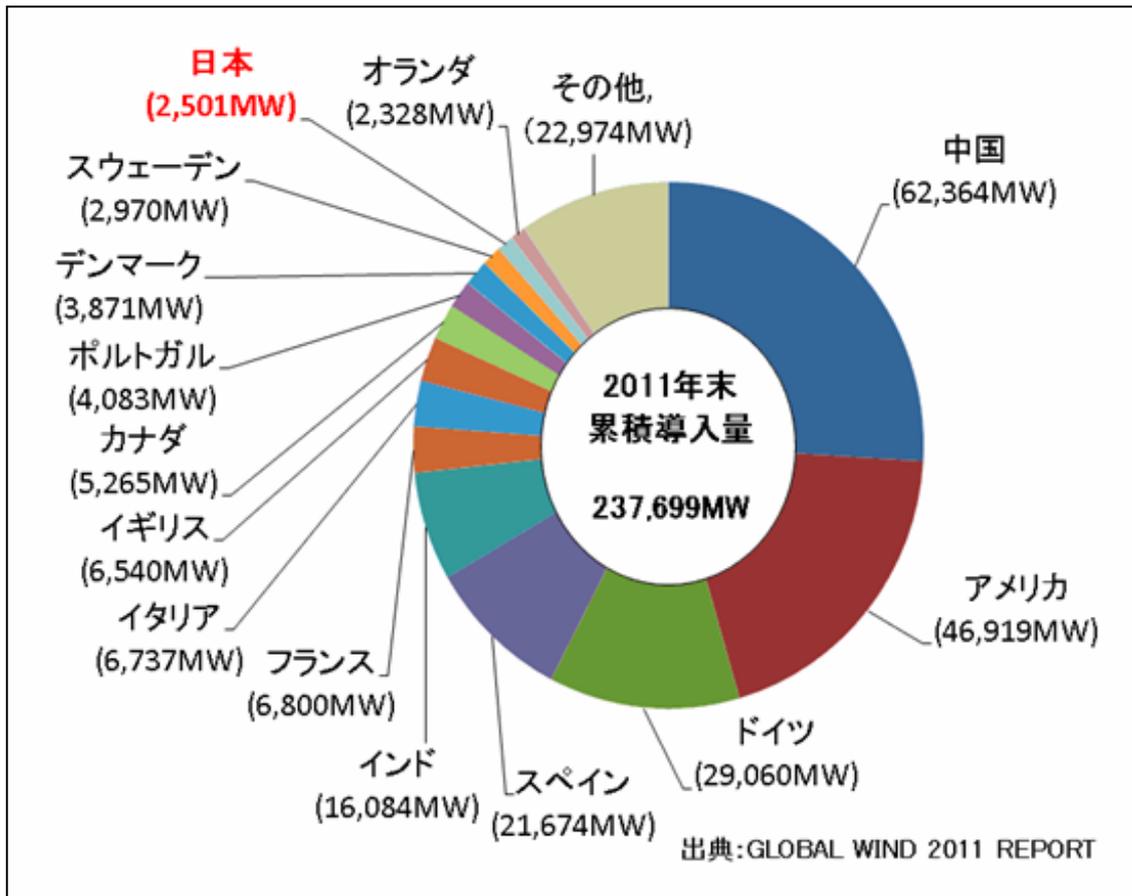


図4 世界全体の風力発電導入量（累計）の推移<sup>14</sup>

<sup>14</sup> 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構. “日本における風力発電設備・導入実績（世界における風力発電の状況）PAGE:1/3.” <http://www.nedo.go.jp/library/fuuryoku/world/1-01.html>,（アクセス日:2013-02-04）.

図5 国別風力発電導入割合<sup>15</sup>

## 2.2. 日本国内における普及状況

国内における風力発電設備の導入量は、2011年度末に総設備容量250万kW、総設置基数1,870基となっている(図6)。国の導入目標であった2010年度300万kWは達成できていないが、毎年着実に増加している。

都道府県別の風力発電導入実績は1位が青森県(30.7万kW(202基))、2位が北海道(28.8万kW(280基))となっている(図7)。以下、鹿児島県、福島県、静岡県、秋田県の順に続いている。

これらの地域は、安定した風力(平均風速6m/秒以上)の得ることができる地域であり、大きなポテンシャルを有している。風力発電設備の1基あたりの平均設備容量も1,000kWを超え、風車の大型化が進んでいると推測される。

今後の風力発電の導入拡大には、現行の系統設備・運用のみでは不十分であり、大需要地までの送電線として、既存の電力会社間の連系線の活用および地域内基幹送電線を新たに増設したり、大型蓄電池を基幹送電網に設置・活用したりして、送電網全体を見渡した蓄電池の最適な制御方法、管理手法の技術を開発・確立することなどが必須となる。また、土地利用規制緩和や環境アセスの迅速化・短縮化が課題とされている。

<sup>15</sup> 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構。“日本における風力発電設備・導入実績 (世界における風力発電の状況) PAGE:3/3.” <http://www.nedo.go.jp/library/fuuryoku/world/1-03.html>, (アクセス日:2013-02-04)。

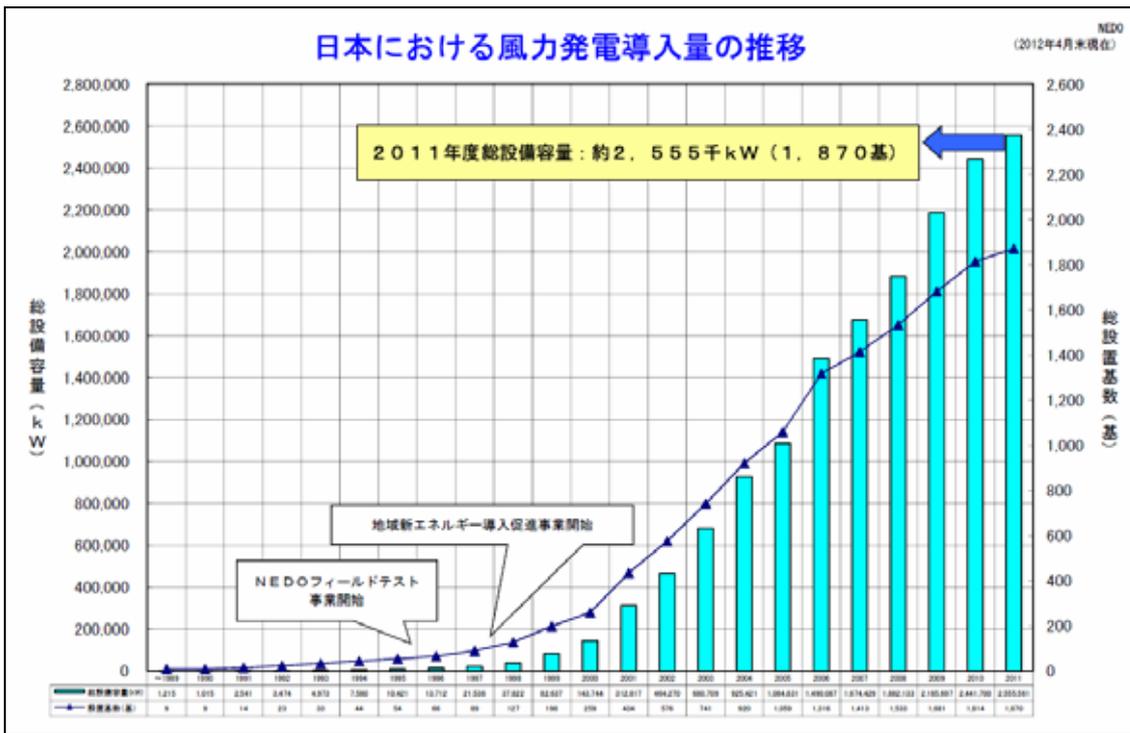


図6 日本における風力発電導入量の推移<sup>16</sup>

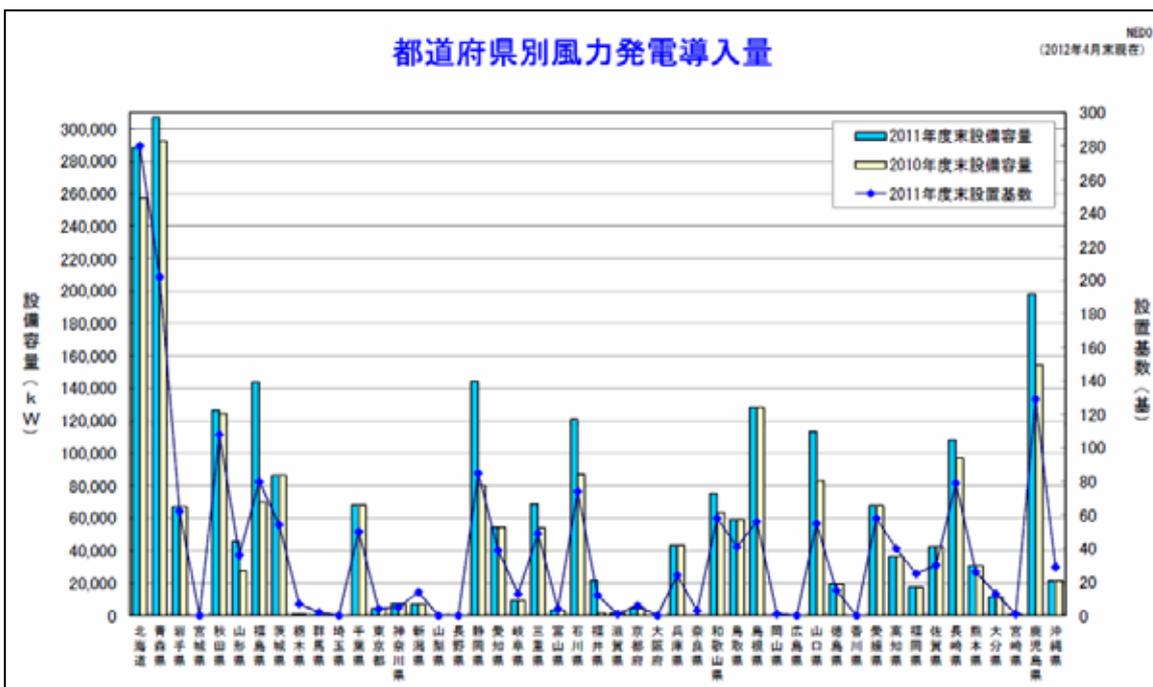


図7 都道府県別風力発電導入量<sup>17</sup>

<sup>16</sup> 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構. “日本における風力発電設備・導入実績（日本における風力発電の状況）PAGE:1/7.” <http://www.nedo.go.jp/library/fuuryoku/state/1-01.html>, (アクセス日:2013-02-04).

<sup>17</sup> 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構. “日本における風力発電設備・導入実績（日本における風力発電の状況）PAGE:7/7.” <http://www.nedo.go.jp/library/fuuryoku/state/1-07.html>, (アクセス日:2013-02-04).

### 3. 風力発電のリスク

本章では、陸上の風力発電システムにおいて想定される主なリスクを紹介する。後段では、実際に起きた事故事例と分析した事故の発生要因、および保守点検の重要性について紹介する。

#### 3.1. 陸上風力発電において想定されるリスク

風力発電システムの各構成要素の特性から想定される主なリスクを表3に示す（本節では自然災害リスクを中心に記載し、性能リスクや天候リスクについては記載していない）。風車そのものが屋外に設置されているため、自然災害による被害を受けやすく、稼働部が多いため機械的リスクも大きいと考えられる。風車本体の損傷が大きくなるリスクとして、自然災害だけではなく火災を潜在リスクとして考えておく必要がある。

表3 陸上風力発電において想定されるリスク<sup>18</sup>

リスク項目		リスクの概要	
本体損傷リスク (および付随リスク)	落雷	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 落雷によるブレードの損傷リスク</li> <li>▶ 落雷による電力機器や制御機器の損傷リスク</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ ブレードに雷が直撃した場合、ブレードの先端破損・剥離・折損などの被害が出るおそれがある。</li> <li>▶ 直撃雷や誘導雷により電力機器や制御機器に被害が出るおそれがある。</li> </ul>
	地震	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 地震による破損・故障・倒壊リスク</li> <li>▶ 風車本体の倒壊や破損物の落下による周辺被害リスク</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 大地震が発生した場合、風力発電設備に大きな被害が出るおそれがある。</li> <li>▶ 風車本体の倒壊や破損物の落下により、周辺施設や人に被害を与えるおそれがある。</li> </ul>
	風災	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 強風（暴風・竜巻）による風車倒壊リスク</li> <li>▶ 風車本体の倒壊や破損物の落下による周辺被害リスク</li> <li>▶ 強風（暴風・竜巻）・乱流によるブレード・ピッチ制御装置、主軸・ベアリング、および風向計などの損傷リスク</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 暴風や竜巻などにより、最悪の場合風車が倒壊するおそれがある。</li> <li>▶ 風車本体の倒壊や破損物の落下により、周辺施設や人に被害を与えるおそれがある。</li> <li>▶ 暴風・竜巻・乱流などにより、ブレード・ピッチ制御装置、主軸・ベアリング、風向計などに被害が出るおそれがある。</li> </ul>
	津波	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 津波による、破損・故障・倒壊リスク</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 津波が到達した場合、物理的な力により大きな被害が出るおそれがある。</li> </ul>
	土砂災害	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 土砂災害による破損・故障リスク</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 土砂災害が発生した場合、大きな被害が出るおそれがある。</li> </ul>
	塩害	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 塩害・湿気などに起因した錆による故障や不具合リスク</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 沿岸部に設置される風力発電設備には、塩害や湿気などに起因した錆による故障や不具合のおそれがある。</li> </ul>
	火災	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ ケーブル火災やトランス火災による破損・故障・倒壊リスク</li> <li>▶ 火災による風車本体の倒壊や破損物の落下による周辺被害リスク</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ ケーブル火災やトランス火災が発生した場合、風力発電設備に大きな被害が出るおそれがある。</li> <li>▶ 風車本体の倒壊や破損物の落下により、周辺施設や人に被害を与えるおそれがある。</li> </ul>
	衝突	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 物体の飛来・衝突による破損・損傷・倒壊リスク</li> <li>▶ 風車本体の倒壊や破損物の落下による周辺被害リスク</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 物体の飛来による衝突が発生した場合、風力発電設備に大きな被害が出るおそれがある。</li> <li>▶ 風車本体の倒壊や破損物の落下により、周辺施設や人に被害を与えるおそれがある。</li> </ul>
故障	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 風車内故障（設計不良、製造不良など）によるブレードの折損リスク</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 設計不良・製造不良・施工不良・部品不良によるブレードの折損などの被害が出るおそれがある。</li> </ul>	

<sup>18</sup> 当社作成

利益 損害 リスク	利益 損害	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 本体損傷時の利益損害リスク</li> <li>▶ 人的要因（メンテナンス不備、オペレーション不備）による増速機の破損時の利益損害リスク</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 本体損傷時（落雷・大地震・強風・土砂災害・津波・塩害・火災・衝突・故障）による被害が出た場合、利益損害が発生するおそれがある。</li> <li>▶ メンテナンス不備やオペレーション不備などにより、潤滑油の性能劣化などにより、増速機の破損などの被害が生じることが予想され、利益損害が発生するおそれがある。</li> </ul>
		その他	環境
労 災		<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 保守点検時の転落などによる負傷リスク</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 保守点検時に点検員の転落などで負傷するおそれがある。</li> </ul>

### 3.2. 事故事例と発生要因

NEDO が進める研究開発の1つである「次世代風力発電技術研究開発」では、風力発電設備の利用率向上を目的とした風力発電設備の故障・事故データを収集分析し、報告書<sup>19</sup>（以下、NEDO 調査報告書）としてまとめている。その一部を以下に紹介する。

NEDO 調査報告書で示される故障・事故の定義は、以下のとおりである。

「何らかのトラブルにより3日（72時間）を超える停止時間となった故障・事故。大規模メンテナンスなどは対象外であるが、風力発電施設外部の系統故障による停止などを含む。」

NEDO 調査報告書に記載された2008年度内の事故事例と故障事例を抜粋し、表4・表5としてまとめる。

表4 風車事故一覧表<sup>20</sup>

No.	事故発生 要因	風車停止 期間	風車規模 (kW)	事故発生 部位	被害状況
1	自然現象 (落雷)	13.0日	301~600	制御装置	落雷により通信線保安器と通信用機器（アレスタ）と転送遮断装置（アレスタ）の破損
2	自然現象 (浸水)	5.3日	301~600	風向・風速 計	風向計に水が浸入することによりヒーター回路が短絡し、電源ブレーカがトリップし、全風車運転不可
3	自然現象 (特異風況)	未定	301~600	ピッチ制御 装置	リンク機構連結レバー用ロングピンの抜けかけ、連結レバー機構部のガタによる異音発生により発電機運転停止（手動停止）

<sup>19</sup> 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構. “次世代風力発電技術研究開発事業(自然環境対応技術等(故障・事故対策調査)) 報告書 (平成21年3月).” <http://www.nedo.go.jp/content/100074927.pdf>, (アクセス日:2013-02-04).

<sup>20</sup> 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構. “次世代風力発電技術研究開発事業(自然環境対応技術等(故障・事故対策調査)) 報告書 (平成21年3月).” p付1-3付1-9.

4	自然現象 (落雷)	27.4日	1000超	ブレード	3枚中1枚のブレードに、先端から5mの範囲で割れが発生
5	自然現象 (鳥の糞害/ 制御バッテリー劣化)	16.0日	601~1000	風向・風速計、制御装置	運転停止

表5 風車故障一覧表<sup>21</sup>

No.	故障発生要因	風車停止期間	風車規模(kW)	故障発生部位	被害状況
1	風車内故障 (設計不良)	7.3日	301~600	系統連系装置	電力安定化装置(フライホイール装置)用冷却水循環ポンプのインペラ破損により電力安定化装置が停止し、全風車運転不可
2	風車内故障 (設計不良)	—	301~600	制御装置	ヨー制御およびピッチ制御の制御指令値と制御結果が異なるため、異常停止
3	風車内故障 (施工不良)	—	301~600	ヨー装置	原因は特定されないが、前年度の定期点検で交換した部品であることから施工不良と推測
4	風車内故障 (製造不良)	4.2日	1000超	その他 (風車内主回路ACB)	ACBが誤動作、トリップし、風車停止を繰り返す
5	原因不明 (特定できず)	14.3日	601~1000	その他 (チップブレーキワイヤー)	チップブレーキワイヤー破断。風車過回転故障が発生していたので、風が乱れていたと推測

また、NEDO 調査報告書に記載されている事故・故障要因を分析した結果を、表6としてまとめる。事故発生要因は約26%の「落雷」が飛びぬけ、故障発生要因は約14%の「設計不良」がトップとなっている。

表6 事故・故障発生要因の内訳<sup>22</sup>

事故故障要因	要因内訳	発生回数	構成率
自然現象	暴風	24	4.6%
	落雷	134	25.8%
	乱流	10	1.9%
	低温・凍結	2	0.4%
	浸水	3	0.6%
	その他	5	1.0%
風車内故障	設計不良	71	13.7%
	製造不良	57	11.0%
	施工不良	14	2.7%
人的要因	メンテ不備	15	2.9%
系統故障	系統故障	4	0.8%
原因不明 その他	調査中	42	8.1%
	特定できず	94	18.1%
	その他	45	8.7%
計		520	100%

表6の構成率からみるとリスクに偏りがあるように見えるが、ここで示される事故発生要因については、風車が停止に至った直前の要因でしかない。実際の事故や故障では複合的な不具合が連鎖し、結果として大

<sup>21</sup> 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構. “次世代風力発電技術研究開発事業(自然環境対応技術等(故障・事故対策調査)) 報告書(平成21年3月).”p付1-3-付1-9.

<sup>22</sup> 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構. “次世代風力発電技術研究開発事業(自然環境対応技術等(故障・事故対策調査)) 報告書(平成21年3月).”p16.

きな事故や運転停止に追い込まれたケースも少なくないと思われる。例えば、風向センサーやヨー駆動装置の不具合によりブレードが暴風で大きな被害を受けるというケース、落雷によるレセプタ溶損後の雷保護レベルが著しく低下しブレードに直撃雷を受けるケース、などが挙げられる。これらは、構成部品が多いという風力発電システムならではの事象であり、想定し得るリスクの頻度や規模をリスク単体ではなく、リスク集積の結果として捉えることを要請している。

風力発電におけるリスク対策については、個々のリスクを顕在化させないためのメーカーによる対策は当然必要であり、今後も技術的な進展が望まれているところであるが、小さいリスクを容認した結果、リスク規模が拡大することも考えられる。安定的な発電を考えた場合、損失の発生を未然に防止するとともに、その規模を拡大させないことがリスク対策の主たる目的であろう。

### 3.3. 保守点検

保守点検には風力発電システムの駆動部品をできるだけ延命させるという目的のほかに、不具合部品を早期に発見するという側面もある。風力発電は回転軸やギアで駆動する機械であるため、磨耗などからも不具合は起こりやすい。一部品の不具合の発生が他の主要部品へ影響し、新たなリスクを顕在化させ、損失規模を増大させないようにしなければならない。そのためには、目視を中心とした日常点検だけでは限界があるといわざるを得ず、保守点検のさらなる普及が望まれる。

保守点検はメーカーによって異なるが、年に4回実施することが望ましく、表7に代表的な保守点検項目と内容例を示す。

表7 保守点検項目と点検内容(例)<sup>23</sup>

点検項目	点検内容
目視点検 (4回/年)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 各部を外観確認(変色・異臭・異常音・変形・亀裂などの有無)</li> <li>✓ 発錆などの点検</li> <li>✓ 雨水浸入の有無</li> <li>✓ 各部照明器具の点検</li> </ul>
給脂点検 (2回/年)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 各ベアリング部のグリース缶交換</li> <li>✓ 各ベアリング部およびナセル旋回部のグリース補給</li> <li>✓ ヨーギアボックスの油量の確認</li> <li>✓ ピッチギアボックス、油圧プレーキユニットの油量の確認</li> </ul>
機械点検 (1回/年)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ タワー基礎ボルトの締付け、タワー基礎部外観の異常の有無</li> <li>✓ ブレードボルトの締付け確認</li> <li>✓ ブレード、タワー基礎以外のボルトの締付け確認</li> <li>✓ ヨーギアボックスのオイル交換(1. 油の廃棄/2. 交換用オイルでフラッシング/3. オイル注入)</li> <li>✓ ピッチギアボックスのオイル交換(同上)</li> <li>✓ 油圧プレーキユニットのオイル交換(同上)</li> </ul>
電気点検 (1回/年)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 風車各部のセンサ・スイッチ類の点検および調整</li> <li>✓ 主回路接続部の弛みの確認</li> <li>✓ 風車各部の設定値(パラメータ)の確認</li> <li>✓ 各部の動作試験</li> <li>✓ 保護装置試験</li> </ul>

<sup>23</sup> 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構. "風力発電導入ガイドブック(2008年2月改訂第9版).", p147. に当社加筆

## 4. 洋上風力発電

近年、大きな注目を集めているのが洋上風力発電である。洋上風力発電は遠浅海域が多い欧州を中心に急成長しているが、やや遅れをとっていた日本でも、陸上に接岸する形で全国3か所に事業化されており、NEDOによる2,400kWの洋上風車実証研究が千葉県銚子沖で2013年1月より開始されている。さらに世界でもまだ1機しかない浮体式の設備も長崎県五島沖と福島県沖に設置する予定であり、今後、洋上風力発電での日本の技術的な役割が大きく期待されていると言える。

### 4.1. 洋上風力発電の種類

洋上風力発電は大きく分類して「着床式（海底に基礎を設置するもので水深50m以浅が一般的）」と「浮体式（浮体施設をチェーンなどで海底に係留するもので、水深50～200mが一般的である）」の2種類がある。

従来はそのほとんどが「着床式」であり、特に欧州では20m以下の浅い大陸棚に多くが展開されている。

「着床式」は支持物の構造形式から、水深30mまでの海域に設置することができる「モノパイル式（海底に1本の杭を打ち込む）」、「重力式（コンクリートケーソンを基礎とする）」、さらに60mまで設置可能な「ジャケット式（格子梁）」、「トライポッド式（三脚式）」などに分類される。

「浮体式」は係留する支持構造により、「円柱浮標型（バラストを使用）」、「張力脚型（タンク浮力によるケーブル張力を利用）」、「はしけ型（はしけをカテナリーケーブルで係留）」に分類されるが、水深60mを超える場合は「着床式」に比べてコスト面で優位になる。

### 4.2. 洋上風力発電の特徴

洋上風力発電は陸上風力発電と比較して風況面で圧倒的に有利であり、またポテンシャルも大きい。一般的に洋上の風のほうが強く、安定している。加えて、陸上風力で大きな障害となる環境面での立地制約もほとんどない。周囲を海に接している日本の場合は、洋上風力は特に最適と言える。さらに、日本では陸上における風況の適地と大電力消費地が離れていることで電力系統が大きな課題となっているが、洋上であれば比較的大都市に近傍であっても設置することができる。洋上風力発電は大型風車も作りやすいため、安定的な発電を可能にする。

反面、洋上風力発電は一般的に建設費や維持管理コストが高いと言われている。

### 4.3. 洋上風力発電のリスク

洋上風力発電システムにおけるリスクは、その普及の実態から、リスクの検証が十分に行われているとは言いがたい。前章で陸上風力発電における想定リスクを洗い出しているが、洋上においては落雷、風災リスクは陸上以上に高くなることは否定できない。また地震や津波についても、構造物への直接的な衝撃や、海底岩盤の変動による係留支持構造などへの影響度合も評価が難しい。さらに洋上ゆえに送電ケーブルの切断リスクや塩害リスクも考慮せざるを得ない。

また、故障時の専用船舶手配による洋上修理、長期間の利益リスク、および海洋生態系や漁業への影響などといった陸上にはない環境面でのリスクも考慮しなければならない。

いずれにしても実証研究段階にあるといえる洋上風力発電のリスク評価は、慎重に行う必要がある。

## 5. まとめ

本稿では、再生可能エネルギーのひとつである風力発電の基本的な構成を紹介し、自然災害リスクを中心に想定されるリスクを整理した。今回取り上げた自然災害リスクの中では、地震や落雷による損害額が大きくなることが予想されるが、火災によるリスクも小さくないことに留意する必要がある。

一方で、風力発電システムの構成上、稼働部が多いことから機械的リスクも大きいと考えられる。加えて風力発電が事故や故障した場合に発電自体が停止してしまうこと、また復旧までに比較的時間を要してしまうことなどから、発電量の安定化、健全化を確保するためには、日常的な保守点検の重要性も忘れてはならない。

とくに日本国内においても風力発電設備メーカーは、圧倒的に海外(特に欧州)のシェアが高いことから、物理的な距離がメンテナンス上の費用や時間増の原因となることも想定される。しかし、今後、部品も含め、国内のメーカーが台頭することは、経済効果とともにリスク対策の面でも望ましいことと考える。

国内外における風力発電の普及状況は、順調な右肩上がりを示していて、今後もその傾向は継続していくと思われる。さらに、国による系統整備事業や大型蓄電池の実証事業の推進が、風力発電の事業拡大を後押しすることにもなるであろう。風力発電事業の拡大にあわせて、参画企業は潜在および顕在化したリスクがあることを認識し、十分な対策を行っていくことが重要であると考えられる。

## 参考文献

- 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構. “風力発電導入ガイドブック(2008年2月改訂第9版)”  
(<http://www.nedo.go.jp/content/100079735.pdf>)”
- 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構. “次世代風力発電技術研究開発事業(自然環境対応技術等(故障・事故対策調査))報告書(平成21年3月)”(<http://www.nedo.go.jp/content/100074927.pdf>)”

### 執筆者紹介

宗像 明彦 Akihiko Munakata

リスクエンジニアリング事業本部 リスクエンジニアリング部  
主任コンサルタント  
専門は建築、火災、防犯

村田 俊次 Shunji Murata

リスクエンジニアリング事業本部 リスクエンジニアリング部  
シニアコンサルタント  
専門は火災

### NKSJ リスクマネジメントについて

NKSJ リスクマネジメント株式会社は、株式会社損害保険ジャパンと日本興亜損害保険株式会社を中核会社とする NKSJ グループのリスクコンサルティング会社です。全社的リスクマネジメント(ERM)、事業継続(BCM・BCP)、火災・爆発事故、自然災害、CSR・環境、セキュリティ、製造物責任(PL)、労働災害、医療・介護安全および自動車事故防止などに関するコンサルティング・サービスを提供しています。詳しくは、NKSJ リスクマネジメントのウェブサイト(<http://www.nksj-rm.co.jp/>)をご覧ください。

本レポートに関するお問い合わせ先

NKSJ リスクマネジメント株式会社  
リスクエンジニアリング事業本部 リスクエンジニアリング部  
〒160-0023 東京都新宿区西新宿 1-24-1 エステック情報ビル  
TEL : 03-3349-4321 (直通)