

再生可能エネルギー利用の発電設備

－損害保険におけるリスク－

主席研究員 船木 明彦

目 次

1. はじめに
2. 再生可能エネルギー
 - (1) 再生可能エネルギーとは
 - (2) 再生可能エネルギーによる発電の概要
3. 発電設備
 - (1) 太陽光発電
 - (2) 風力発電
 - (3) その他の発電方式
4. リスク比較
5. おわりに

1. はじめに

最近、温室効果ガスによる温暖化、原子力発電所の事故による原子力発電の安全性、原油価格の高騰による石油関連製品の価格上昇が大きくとりあげられ、太陽光、風力など自然エネルギーによる発電が注目を集めている。世界各国でも地球温暖化防止、環境保全のため、自然エネルギーによる発電が推し進められている。

わが国は地球温暖化防止、環境保全ということのほか、天然資源に乏しいという状況にあり、1973年の中東戦争による第1次オイルショック、1979年の第2次オイルショックを契機に、石油の代替エネルギーの開発に取り組み、太陽光発電、風力発電をはじめ自然エネルギーの利用、開発が行われてきた。その後、石油、天然ガスなど化石燃料が輸入により安定的に供給されるようになり自然エネルギーの利用について話題になることは少なくなっていた。

しかし、温室効果ガスの排出を先進国全体で2012年には1990年よりも少なくとも5%（各国ごとの目標は、日本△6%、アメリカ△7%、EU△8%など）削減する目標を掲げた京都議定書の採択により、世界的に再生可能エネルギーを利用した発電が見直され、多くの先進国では再生可能エネルギーによる発電を促進し、そのための法律策定を行うなどの国も出てきている。

今後、ますます再生可能エネルギーの利用が活発となり、その中でも発電での利用が大きな割合を占めてくるものと思われる。既存の火力発電設備などと比較すると、再生可能エネルギーを利用した発電の歴史は浅く、まだ開発途上といえ、新技術の開発、導入が次々に行われており、これに伴い、損害保険のニーズも高まり、予想外の事故も発生するものと思われる。

再生可能エネルギーを利用した発電は、太陽光、風力、水力、地熱をはじめさまざまなものがあるが、その中で、まだ発電コストが既存の発電設備より高価であるという経済的な制約があるにもかかわらず、世界的に導入量が大きく増加している太陽光発電と風力発電を中心に、保険の引受、損害調査の際に参考となるよう、本稿で発電の仕組み、リスクなどを述べていくこととしたい。

2. 再生可能エネルギー

(1) 再生可能エネルギーとは

一般に、再生可能エネルギーとは、自然環境の中で繰り返し起こる現象から得られるエネルギーのことで、枯渇することのないエネルギーをいう。これに対し、石油や石炭などの化石エネルギーは有限でいずれは枯渇するエネルギーである。また、バイオマスは植物の成長の範囲内で利用すれば、枯渇することはなく再生可能エネルギーである。再生可能エネルギーは、具体的には、太陽光、風力、水力、バイオマス、地熱、海洋などの自然エネルギーと廃棄物などのリサイクルエネルギーを指している。

わが国では、法律上「再生可能エネルギー」の定義はなく、エネルギーの安定的か

つ適切な供給の確保を目的として、1997年4月に制定された「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」いわゆる「新エネルギー法」により「新エネルギー」が定義されている¹。

再生可能エネルギーには新エネルギーの多くが含まれるが、すでにわが国では広く普及している水力、地熱、まだ研究開発段階にある波力や海洋温度差は自然エネルギーであり再生可能エネルギーではあるが、新エネルギーには含まれていない。

これらをまとめると、図表1のようになる。

図表 1 再生可能エネルギーの範囲

	エネルギー	実用化	経済性	普及レベル
再生可能エネルギー	・水力 ・地熱	実用化段階	あり	普及
	新エネルギー ・太陽光 ・風力 ・太陽熱 ・温度差 ・バイオマス ・廃棄物	実用化段階 (開発途上)	制約あり	普及不十分
	・波力 ・潮力 ・海洋温度差	実用化されていない	—	—

(出典：資源エネルギー庁ウェブサイトより作成)

なお、新エネルギーにはコ・ジェネレーション²、燃料電池³なども含まれている。これらは、エネルギーの新しい利用形態であり、再生可能エネルギーには含まれない。

(2) 再生可能エネルギーによる発電の概要

世界およびわが国でのエネルギー別の発電割合は図表2のとおりで、世界での水力発電割合は15.9%、その他のエネルギー（ほとんどが再生可能エネルギーによるものと推定される。）による発電割合は2.0%であり、わが国ではそれぞれ9.1%、2.1%となっている。

国別に見ると、自国での全発電量の水力による発電割合は、ブラジル84%、カナダ57.5%、ロシア17%となっており、水力を除くその他のエネルギー利用による発電割合は、ドイツ、イタリア、ブラジルがそれぞれ5.5%、4.3%、4.0%と他の国と比べ大

¹ 新エネルギー法では、新エネルギーを「技術的に実用化段階にあるが、経済性の面での制約から普及が十分でないもので、石油代替エネルギーの導入を図るために必要なもの」と定義している。

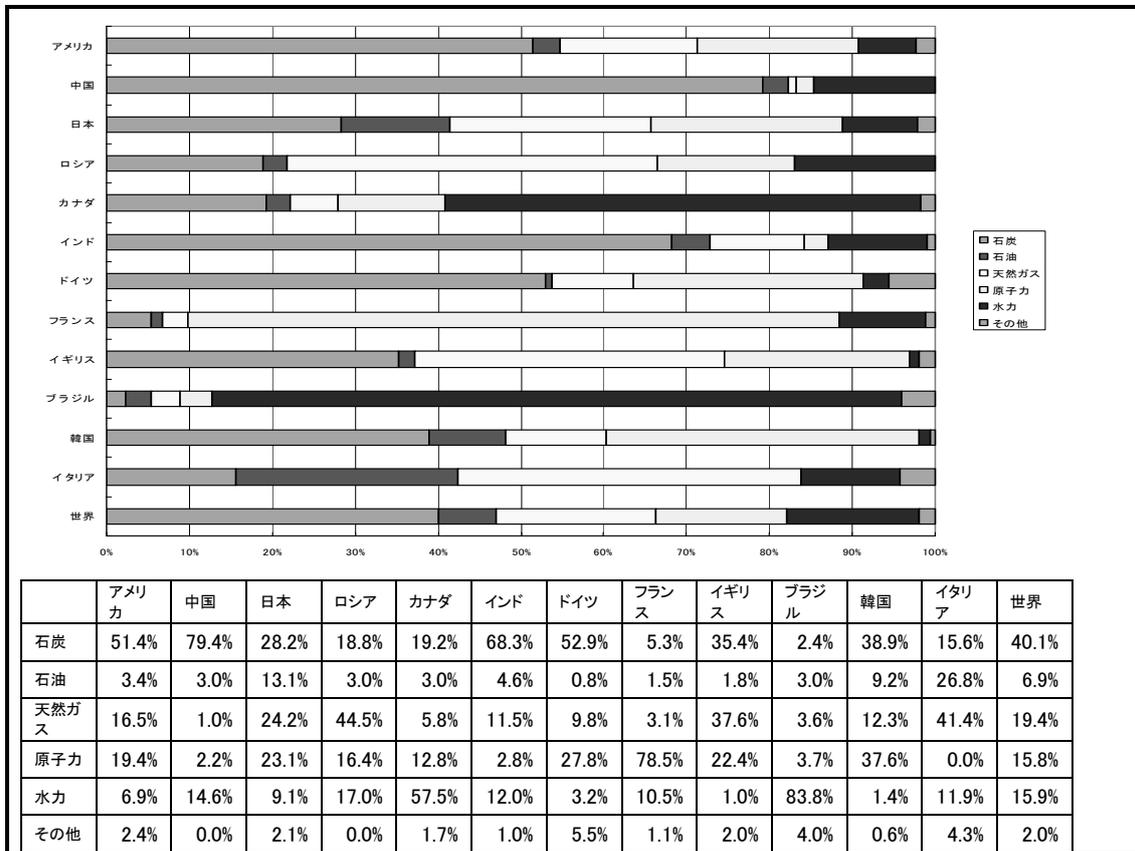
² 1つの1次エネルギーから複数の2次エネルギーを発生させるもの。たとえば、石油ガスからガスタービン発電機で電気を発電し、その廃熱を暖房に使用するなど。

³ 水に電気を流すことにより水素と酸素に電気分解する反応の逆の反応を利用し、水素と酸素を反応させることにより、電気と水が生成する発電形態。

きな割合を占めている。

図表2 主要国のエネルギー別発電量割合

(2003年)



(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある。

(出典：「原子力・エネルギー図表集」 電気事業連合会)

EU、中でもドイツの再生可能エネルギー発電の割合が高い理由としては次のようなことがあげられる。

EUの再生可能エネルギーの導入目標のうち、電力については2001年の「グリーン電力推進に関する欧州指令」で2010年までに電力供給量の22.1%を再生可能エネルギー電力でまかなうことが設定されており、また、再生可能エネルギー法⁴が2000年4月に制定され、再生可能エネルギーで発電されるあらゆる電気の買取りを電力供給会社に義務付け、それぞれの再生可能エネルギーごとに最低買取り価格が定められている。その最低買取り価格は、再生可能エネルギーによる発電が経済的に成り立つように定められており、発電を行う者が発電により不利益や損失を被らないようになっている。それに加えて、この価格は20年間固定され、投資リスク回避ができるシステムとしていることが挙げられる。買取り価格例として、太陽光発電による電力の

⁴ 正式名称は、「再生可能エネルギー優先法」(Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien)

買取り価格は、2004年のドイツ再生可能エネルギー法改定時⁵には45.7セント/kWh⁶（約70円）となっている。

わが国では、1997年に制定された新エネルギー法により新エネルギーの利用促進を促し、2002年の電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法（RPS法）によって、電気事業者に対し自ら発電する、他から新エネルギー等による電気を購入するなどにより、一定割合以上の新エネルギーによる電気の利用を義務づけた。これにより、個人での新エネルギー発電の余剰電力も電力会社に販売することができるようになった。ただし、「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」における新エネルギー等発電設備として、経済産業大臣の認定を受ける必要があり、また電力会社の電力買取り価格は、電力会社が販売している電力料金と同単価となっている⁷。

再生可能エネルギーによる発電設備のうち、太陽光発電と風力発電についての初期投資コストである設備設置を含めた発電コストを既存の発電設備である火力発電と比較すると図表3のようになる。これからも分かるとおり、太陽光発電と風力発電の発電コストは、火力発電と比べて現在はまだ高価である。特に太陽光発電に関しては、火力発電の10倍近くの発電コストとなっている。一般家庭で自家用として利用するにしても家庭用電灯単価の約3倍になっている。この経済性の制約もあり、わが国では一般への普及があまり進んでいない。

図表3 発電コスト比較

発電の種類	太陽光		風力		火力
	住宅用	非住宅用	大規模	中小規模	
単価	平均値 66円/kWh	平均値 73円/kWh	10～14円 /kWh	18～24円 /kWh	7.3円/kWh
〈参考〉	家庭用電灯単価	業務用電力単価			
	23.3円/kWh	20.0円/kWh			

（出典：「新エネルギー部会報告書」総合資源エネルギー調査会 新エネルギー部会（2001.6））

⁵ 正式名称は、「電力分野における再生可能エネルギー法を新たに定める法律」（Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich）

⁶ kWhは電力量をあらわす。1kWの電力を1時間発電あるいは使用すると1kWhの電力量となる。1kWh=1,000Wh

⁷ 東京電力の2007年4月1日からの適用単価は太陽光発電と風力発電について、最高29.20円/kWh（一般家庭で時間帯別電灯[夜間10時間型]で契約している3段の場合）となっている。

3. 発電設備

(1) 太陽光発電

a. 概要

太陽光発電の基本構成要素である太陽電池は、1954年アメリカのベル研究所が世界で初めて発明したものである。その後、わが国では1955年試作品が作成され、1958年無線中継所に設置された。1970年代初期まで太陽電池の利用は灯台や僻地の無線中継基地等の特殊用途に限定されていたが、現在は、灯台、灯標（ブイ）、人工衛星をはじめ一般家庭や企業にも設置されるようになってきた。

初期の段階では、材料が単結晶シリコン（Si：珪素）であり原材料が高く、1Wあたり数万円と非常に高価であったが、その後単結晶シリコンよりも品質の劣るシリコンを使用できる多結晶シリコン、結晶シリコンを使用しないアモルファスシリコンの太陽電池が開発された。これらは、単結晶シリコンよりも発電効率は落ちるが、価格を下げることとなり、現在では、変換効率、生産性の面から多結晶シリコン電池の生産量が最も多い。太陽電池については、わが国の技術水準は高く、生産量で世界のトップである。

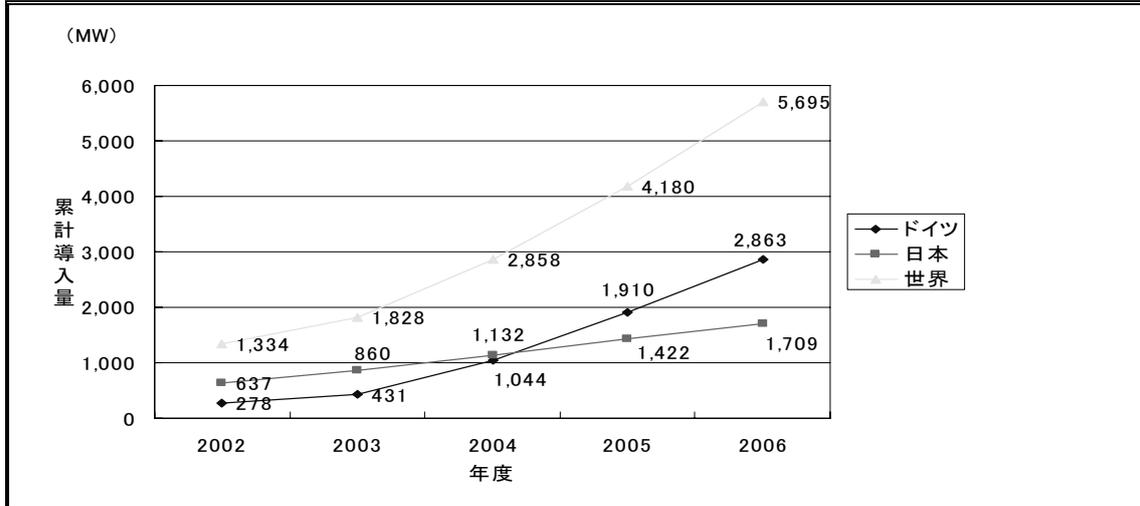
技術革新による価格の低下とともに、1994年から国による個人住宅を対象とした補助金制度が制定され、太陽光発電設備の普及が促進された⁸。このため、わが国の太陽光発電の累積導入量⁹は増加し、1997年から2004年まで世界第1位であった。2005年にはわが国の導入量も順調に伸び1,421MW¹⁰となったが、ドイツの1,429MWに抜かれ世界第2位となった（図表4参照）。

⁸ 国による個人住宅を対象にした補助制度は2005年度で廃止されているが、まだ地方自治体や事業者への補助制度はある。また、現在でも個人住宅を対象とした補助制度を行っている地方自治体もある。

⁹ 累積導入量とは、すでに設置された設備の合計発電容量をいう。

¹⁰ W（ワット）は電気が1秒間にする仕事の大きさを表す。1MW（メガワット）=1,000kW=1,000,000W

図表 4 太陽光発電の累積導入量

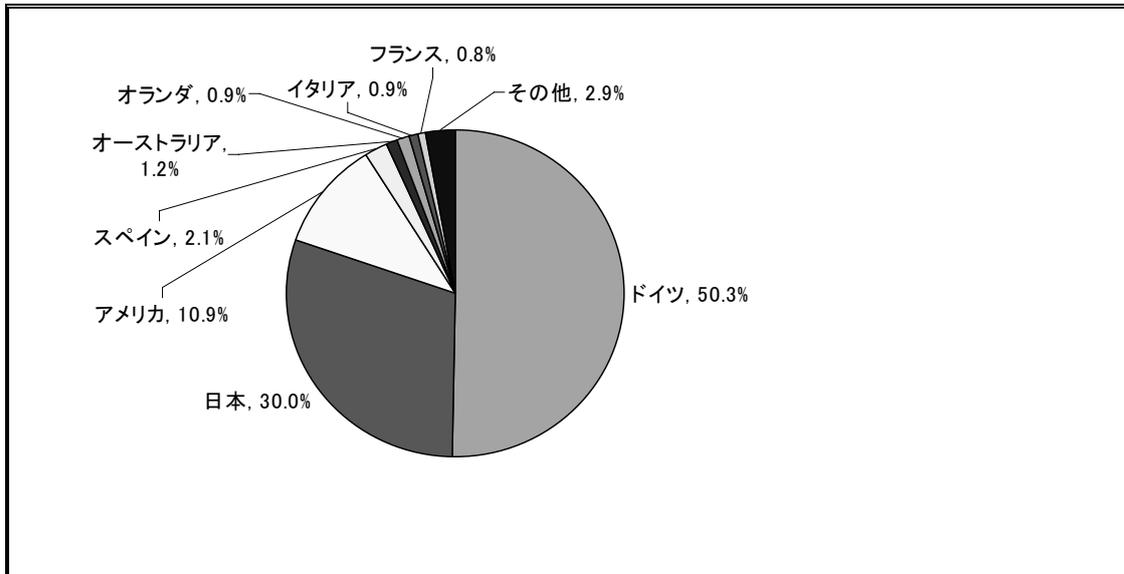


(出典：太陽光発電協会ウェブサイト)

2003 年まで日本の累積導入量が世界の第 1 位であったのは、技術開発による太陽電池のコスト低減と住宅用太陽電池の設置に対する補助金によるところが大きいといえる。

国別の累積導入量を見ると、ドイツ、日本、アメリカと続き、その 3 カ国で世界の太陽光発電累積導入量の 90%以上を占めている (図表 5 参照)。

図表 5 太陽光発電累計導入量の国別割合 (2006 年度)



(出典：太陽光発電協会ウェブサイトより作成)

b. 発電のしくみ

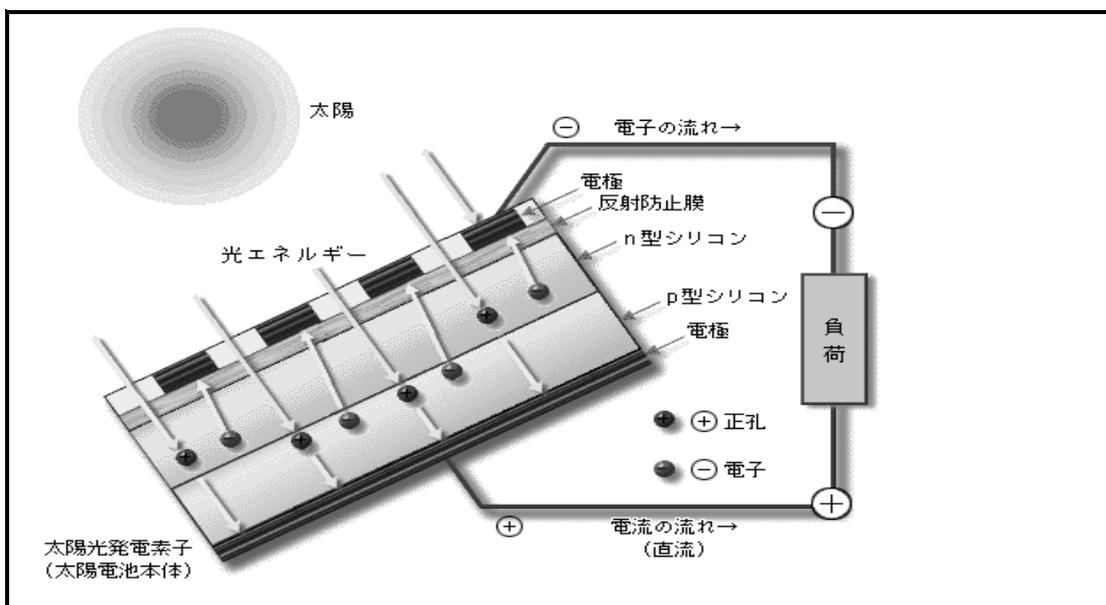
太陽光発電は、シリコン半導体に光が当たると電気が発生する現象を利用し、太陽光エネルギーを太陽電池（半導体素子）により直接電気に変換するものである。

一般的な太陽電池は、シリコンを材料とした p 型と n 型の半導体を接合したものであり、これに太陽光があたることにより、シリコン内の電子が電極に移動し電気が発生する（図表 6 参照）。

太陽電池の半導体素子の材料である単結晶シリコンは、変換効率が高く古くから使用されているが、高純度のシリコンの使用量が多く、生産コストが高い。これに対して単結晶シリコンと比べると変換効率が劣るが、純度の低いシリコンを使用できる多結晶シリコンやシラン（ SiH_4 ）などをグロー放電¹¹により基板上に成長させたアモルファスシリコンなどの利用が進んでいる。

太陽光発電の発電量は、日射量に左右され、緯度や気候によって変わってくる。緯度が高い地域よりも低い地域、雨量の多い地域よりも雨量の少ない地域の方が太陽光発電に適している。したがって、赤道により近い砂漠地帯などは発電に適しているといえる。ただし、発電する場所から送電するコストも考慮する必要がある。

図表 6 太陽光発電のしくみ



(出典：新エネルギー便覧（平成 8 年度版）)

c. メリット

太陽光発電のメリットとしては、以下のことが挙げられる。

¹¹ グロー放電とは、低圧（大気圧の 1/100 程度）にした容器中に 1 対の電極を置き、直流電流を流すことによって発生する放電（電極間に強い光や音が発生する状態）で、このとき容器内のガスが分解反応と基板上への析出を起こす。

- 太陽光は自然エネルギーで無尽蔵である。石油、石炭のような化石エネルギーは有限でありいつかは枯渇するが、太陽エネルギーは枯渇することはない。
- 自国でエネルギーをまかなうことができ、安定的な供給ができる。したがって、政情不安等による輸入困難などの事態になることはない。
- 発電のための燃料費がかからない。光エネルギーは自然界に多量にあり直接利用できるため、燃料の処理コストも必要としない。
- 温室効果ガスである二酸化炭素（CO₂）やメタン（CH₄）などの排出がない。
- 有害物質である硫黄酸化物（SO_x）や窒素酸化物（NO_x）などの排出がない。
- 主要設備に可動部分がないため、保守管理が容易である。したがって、保守管理に要する時間が少なく、稼働率が高くなる。
- 発電容量は太陽電池の数により決定できるため、任意の発電容量の設備を簡単に設定できる。
- 発電設備は太陽電池の集合体であるため、災害時の損害が限定的になることが多い。また、修理・メンテナンスに際しても太陽電池ごとにでき、その部分を除いて発電することが可能である。
- 構造物の上や側面に設置することができるため、設置するための敷地を特別に確保する必要がない。

d. デメリット

太陽光発電のデメリットとしては、以下のことが挙げられる。

- 発電出力が天候に左右される。
雨天、曇天、積雪などの場合、発電出力が低下する、あるいは発電できない。
- 夜間は発電できない。
しかし、電力使用量全体で見れば昼間の方が電力量は多いので、昼間のベースロード¹²用に利用するのであれば大きな問題とはならない。その場合、昼間の天候の方が重要である。家庭用として利用する場合には、昼間バッテリーに電気を貯めておき、夜間それを利用するという方法もあるが、現在は、それほど大きな電力を貯めておける高性能なバッテリーはなく、現実には夜間は買電に頼るしか方法はない。
- 発電コストが高い。
他の既存発電設備と比較すると、発電電力量あたりのコストが高い。太陽電池の材料であるシリコンが高価であること、大規模な発電設備ではないことなどが

¹² 常時、必ず利用される電力量。これに対し、一時的に利用が増加したときの電力量をピークロードという。

原因である。材料については、シリコン膜を薄くする技術が開発されており、この技術の発展、またシリコンを使わない高効率の安価な半導体製造技術の開発などで、コストを下げる事が可能である。

- 既存発電設備と比較すると、同じ発電量に対する設置面積が大きくなる。
100万kW級の原子力発電所1基と同等な発電量を確保するには太陽光発電で約67km²（山手線の内側の面積と同程度）が必要といわれている¹³。変換効率のよい太陽電池の開発により設置面積を小さくすることは可能である。実際には、わが国における太陽光発電は、家庭や工場用を含め一定地域をカバーする分散型として利用することが適切と考えられる。

e. リスク

基本的には、太陽光発電では、可動する部分がないため機器内部の要因で事故が発生する可能性は少なく、外的要因による事故がほとんどを占める。

太陽光発電設備における特に注意すべきリスクは以下のようなものが考えられる。

○ 強風

台風などの強風により太陽電池が飛散するリスクが高い。

太陽電池は平板な形状をしており、強風であおられると太陽電池自体が飛びやすい。通常、同場所に設置してある太陽電池は、同じ設計で、同じ施工方法をとっているため、1つの太陽電池が飛んでしまうということは、隣接して設置してある他の太陽電池も同様に飛散することが多く、大きな損害になりやすい。また、1つの太陽電池が飛散するとその太陽電池に隣接して設置してある太陽電池に衝突し、被害が拡大することも多い。

設計段階では、設置場所での過去の最大風速データを基に安全率を加味し太陽電池の据付強度を設定するが、データを過去何年とるか、設置場所自体での計測がない場合どのようなデータを利用しどのように当該場所への適応をさせるか、安全率をどの程度見込むかなどがポイントとなってくる。

○ 落雷

太陽電池自体への直接の落雷により太陽電池が破損、焦損する可能性がある。この場合、損害範囲は強風による損害よりも限定的なものとなる。ただし、外部の電気系統への落雷によりサージ電流¹⁴が太陽電池に入った場合などは、多くの太陽電池に損害が発生する可能性がある。その場合には、送電、変圧にかかわる他の電気設備も損害を受ける可能性がある。

○ 降雪

¹³ 「核燃料サイクルのエネルギー政策上の必要性」資源エネルギー庁 P.3

¹⁴ 瞬間的に電流や電圧が異常に上昇する状態

大雪により太陽電池上に過大な雪が積もった場合、その雪の重みで太陽電池が破損や変形することもある。常に大雪が降る地域は、日射時間も少なく、太陽光電池の設置には適していないともいえる。

○ 物体の飛来

太陽光発電設備の設置している場所の周辺状況によるが、風などにより周辺から物が飛んできて太陽電池に衝突することにより、太陽電池が破損する可能性がある。周囲に構造物を含めほとんど何もない場所であれば、可能性は少ないが、住宅用などで周囲に建物や看板など構造物が多い場所はそれだけリスクも高くなる。

○ 環境

太陽光発電設備は、屋外にあるため環境による影響を受けやすい。季節や昼夜の温度差、湿気などにより太陽電池自体、固定フレーム、その他の設備の劣化やさび、腐食などが発生する可能性がある。また、海岸の近くであれば、海水に含まれる塩分によるさび、腐食は発生しやすくなる。

f. 事故事例

太陽光発電ではなく太陽熱発電の事故であるが、電池と同様な平板に近い太陽熱を集める集熱鏡が台風による強風のため大量に飛散し、飛散していない集熱鏡にも衝突し、非常に大きな損害となった。

g. 保険の引受にあたって

保険の引受にあたっては、リスクを適切に評価する必要があるが、上記(1) e.のリスクのほか、過去の事故内容とその対策も合わせて評価する必要がある。

太陽電池は、通常、同一の設計、同一の製造工程で製作されるため、もし設計上あるいは製作上の欠陥があった場合、連続して事故が発生することになり大きな損害となる可能性がある。このため、このようなシリーズ損害（同一の原因で同一の物件に連続して損害が発生すること）に対して、シリーズ損害を免責とするあるいは限度をつけるということも考慮する必要がある。

太陽光発電での特徴的なリスクは据付後の物的リスクであるが、他にも工場製作中、工場から据付現場までの運搬中のリスク、人身、物的なリスク、賠償リスクなど多種のリスクがある。これらは、太陽光発電設備に関して特に他の据付設備と異なっているものはないといえる。

(2) 風力発電

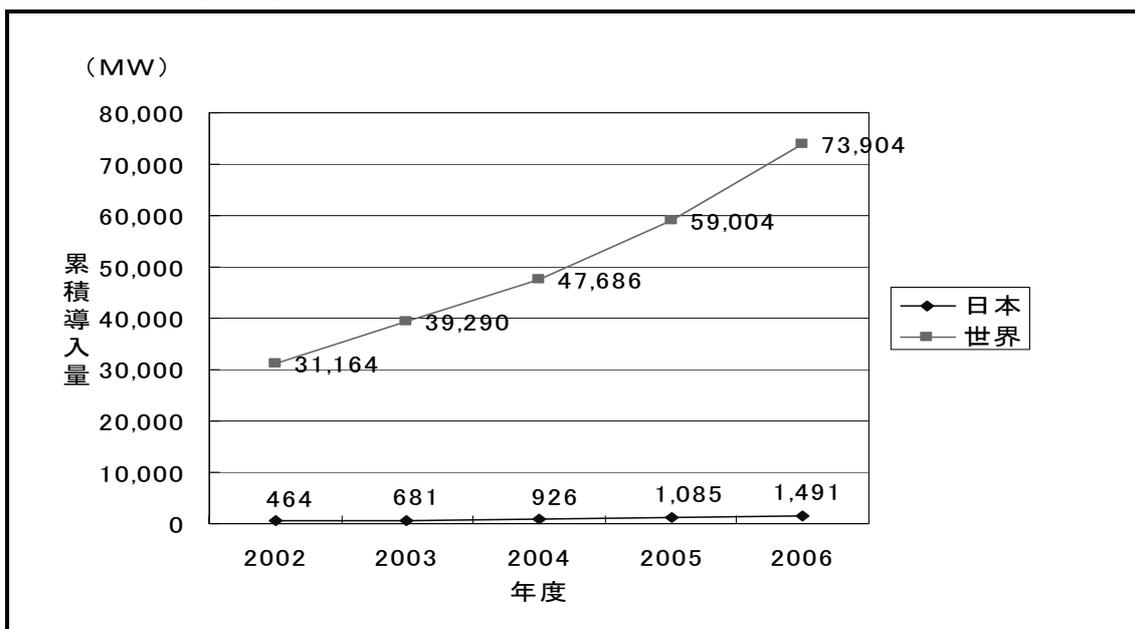
a. 概要

わが国の風力発電設備の累計導入量は、年々増加してきているものの、2006年で

1,491MWであり世界の導入量の2.0%を占めているにすぎない。世界第1位はドイツで20,622MW、第2位はスペインで11,615MW、第3位はアメリカの11,603MW、世界全体で73,904MWとなっている（図表7、8参照）。

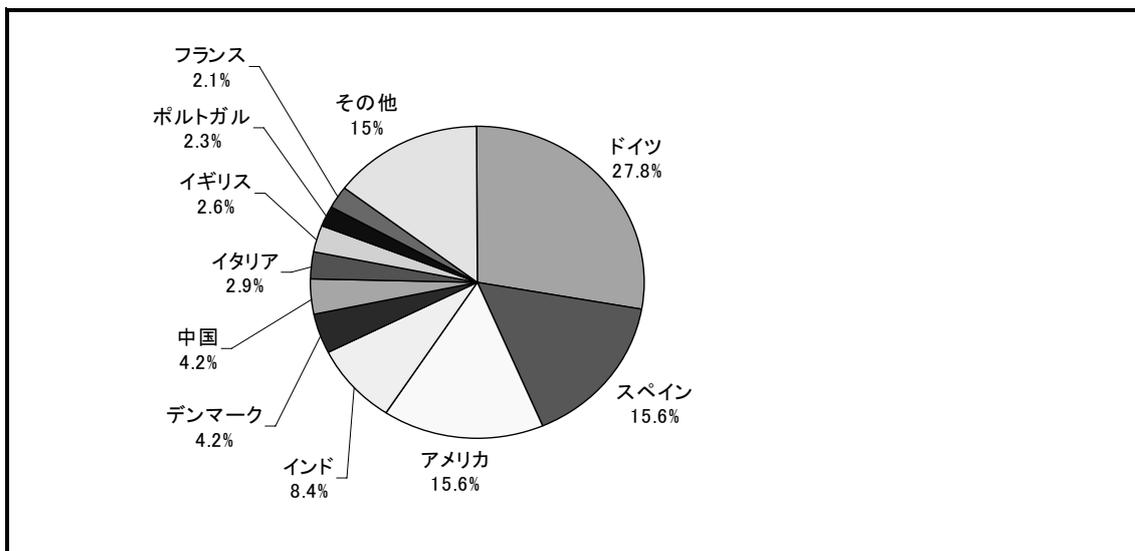
わが国の導入量は世界の中で10位にも入っておらず、他の国と比較すると普及が遅れている状況である。この理由は、わが国では一定の安定した風力のある広い土地が少ないことが大きいと考えられる。風力発電設備の設置は、山上や海岸線のように一定量の強い風が吹く場所が適当ではあるが、そのようなところで広い場所が確保しにくいということである。地形による風の乱れが少なく、広い設置場所が確保できる洋上は風力発電には適当であるが、わが国ではまだ浅瀬に7基設置しているだけで、港湾外に設置しているものはなく、2009年度に経済産業省と民間企業と共同で実証試験を開始する予定という段階である。海外では、洋上風力発電設備はデンマーク、ドイツなどで多数設置されている。

図表7 風力発電の累積導入量〈2007年3月末〉



(出典：NEDO 技術開発機構ウェブサイト、World Wind Energy Association ウェブサイトより作成)

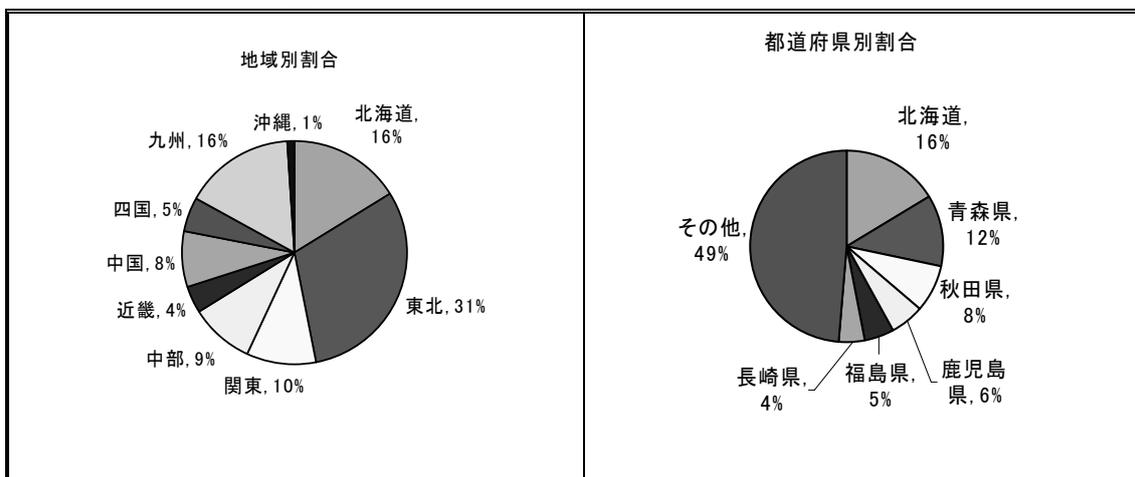
図表 8 風力発電累計導入量の国別割合（2006 年度）



(出典：”GLOBAL WIND 2006 REPORT” GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL より作成)

また、わが国における地域別導入量は図表 9 のように東北、北海道、九州が多くなっており、都道府県別にみると北海道、青森県、秋田県、鹿児島県の順になっている。これは、導入量の多い地域では強い風が年間を通して吹き、そこでの設備設置場所も確保しやすいことが要因である。

図表 9 日本の風力発電導入量の地域別割合（2007 年 3 月末）



(出典：新エネルギー・産業技術開発機構ウェブサイトより作成)

b. 発電設備の概要

風力発電は、風のエネルギーを電気エネルギーに変換するものである。

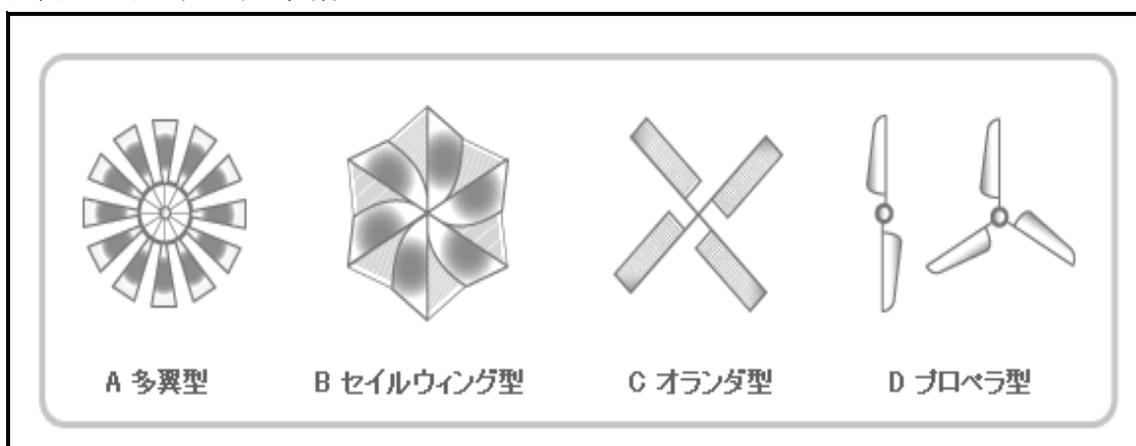
風を風力発電設備のブレード（翼）で受け、風のエネルギーを回転エネルギーに変換した後、ブレードの回転を増速し発電機を回転、発電を行うものである。

風力発電設備の風車の種類として、大きく分けて水平軸式と垂直軸式があり、水平軸式には多翼型、セイルウイング型、オランダ型、プロペラ型があり、垂直軸式にはクロスフロー型、サボニウス型、ダリウス型、ジャイロミル型がある（図表 10、11 参照）。

水平軸式は風の向きが変わればその方向に風車が向くが、垂直軸式では 360 度どの方向からの風もそのままの状態を受けることができる。

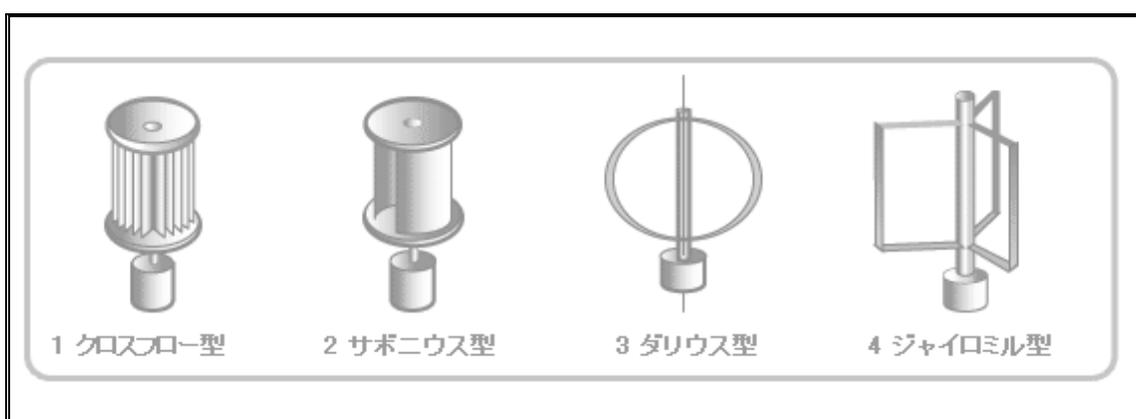
クロスフロー型やサボニウス型は、発電能力は小さいが弱い風でもよく回り、プロペラ型では強い風が必要であるが、発電能力は大きく効率が高い。そのため、風力発電ではプロペラ型が広く用いられている。

図表 10 水平軸風車の種類



(出典：新エネルギー財団ウェブサイト)

図表 11 垂直軸風車の種類



(出典：新エネルギー財団ウェブサイト)

一般的なプロペラ型の風力発電設備の主要構造部は、図表 12 のようにプロペラ状のブレード、増速機と発電機およびこれらを取り付けるタワー（支柱）からなる。ブ

レードには、軽量で強度が高く、また耐久性も高い FRP（繊維強化プラスチック）が用いられ、大きいものでは、長さが 50m を超えるものがある。

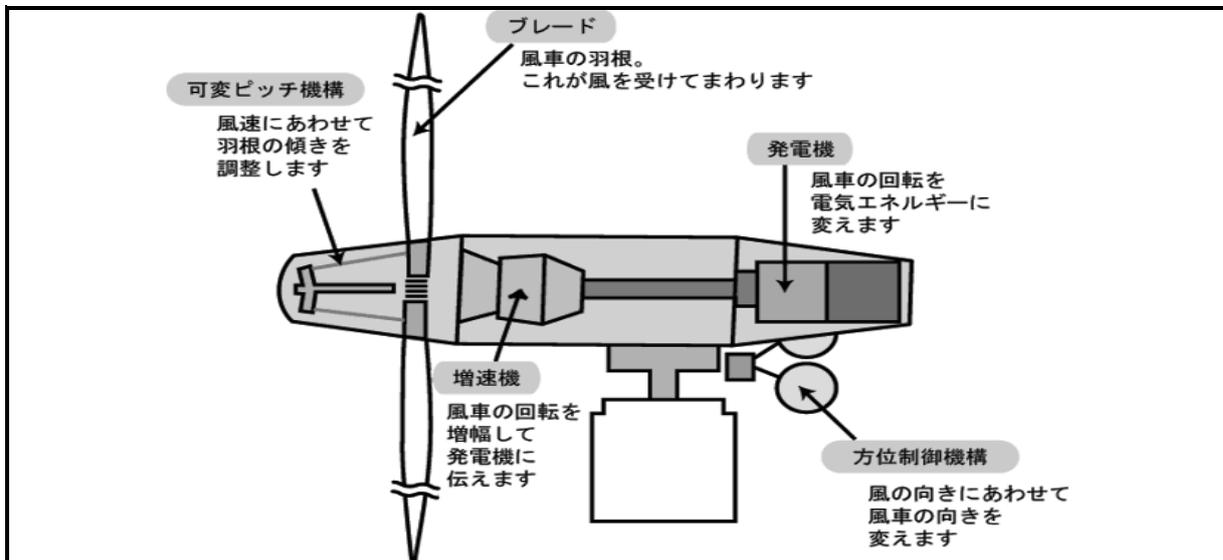
ブレード枚数は 3 枚タイプが多い。枚数が多くなると風の力を多く受け回転数が高くなり騒音が大きく、少ないと回転数が低いためブレードの長さを長くし、ブレードで受ける風の力を多くする必要がある。3 枚ブレードは振動が少なく安定している。

ブレードの回転数は毎分数十回転程度で、増速機により毎分 1,500～1,800 回転に増速し、発電機に伝達する。

ブレードの向きを風上に向けるアップウィンド方式と風下に向けるダウンウィンド方式があり、アップウィンド方式は、ブレードの向きを常に風上に向けるように制御するヨーコントロール駆動装置（方位制御機構）が必要であるが、タワーによる風の乱れは影響しない。ダウンウィンド方式は、風に対して自然にブレードが風下を向くためヨーコントロール駆動装置は不要であるが、ブレードがタワーの風下になるため、タワーによる風の乱れが影響する。

風は、地表付近よりも上空の方が強いいため、タワーも高い方が風エネルギーを多く受けるが、タワーの運搬、設置、適切な風速を考慮しタワーの高さは決定される。海外では、高さ 90m のタワーもある。

図表 12 風力発電設備（プロペラ型）の構造



(出典：電気事業連合会ウェブサイト)

c. メリット

風力発電のメリットとしては、以下のことが挙げられる。

- 風は自然エネルギーで無尽蔵である。石油、石炭のような化石燃料は有限であ

- り、いつかは枯渇するが、風エネルギーは枯渇することはない。
- 自国でエネルギーをまかなうことができ、安定的な供給ができる。したがって、政情不安等により輸入困難などの事態になることはない。
 - 発電のための燃料費がかからない。風エネルギーは自然界に多量にあり直接利用することができる。
 - 温室効果ガスである二酸化炭素（CO₂）やメタン（CH₄）などの排出がない。
 - 有害物質である硫黄酸化物（SO_x）や窒素酸化物（NO_x）などの排出がない。
 - 設備が既存の発電設備と比較して小型であり、燃料供給設備、排出ガス処理装置などの周辺設備がほとんどなく、保守管理が容易である。
 - 保守管理が容易であるため保守管理に要する時間が少なく、稼働率が高い。
ただし、山上や離島、海洋に設置した場合には、設置場所までの移動時間がかかることや重機などの搬送に時間がかかるなどのケースもある。
 - FRP のブレードは、耐久性があるうえ、補修性にも優れており、軽微な損傷であれば部分的な補修も可能である。
 - 24 時間発電ができる。太陽光発電のように夜間は発電できないというようなことはない。したがって、発電電力の安定が確保できればベースロード¹⁵用としての利用ができる。

d. デメリット

風力発電のデメリットとしては、以下のようなことが挙げられる。

- 風の強さにより出力が変動するため、既存送電網に接続することにより、送電網全体の電力に周波数の乱れが生じることがある。
この点については、多数の風力発電設備を有すウィンドファームのようにすれば、全体としての変動は緩和できる。また、コンバータ・インバータなどの電力変換装置を用い、送電網と同じ周波数の交流に変換して送電することで、電圧、周波数の変動をなくすことができる。ただし、装置の設置による設備全体の建設コストは増加することになる。
- 発電コストが高い。規模が大きくなるほど発電コストは下がるが、風力発電に適した広大な場所の確保ができるかである。洋上の風力発電は風力発電に適した広大な場所を確保することは可能であるが、洋上であることによる据付コストの増大、景観、漁業権など別の問題が発生する。また、設置場所が僻地で既存送電網との距離がある場合には、送電網との接続コストが問題となる。
- 騒音が発生する。騒音は、主に増速機およびブレードの回転により発生するものである。増速機については、発電機を多極化しギアレスとする技術も開発され

¹⁵ 脚注 12 参照

ている。

- すでに一般的な発電設備と同等の電力を発電するためには広大な敷地が必要である。新エネルギー庁によると 100 万 kW級の原子力発電所 1 基と同等の発電を行うためには、風力発電で約 246 km²（山手線内側の面積の約 3.5 倍）が必要となる。

e. リスク

風力発電設備における特に注意すべきリスクとしては以下のことが挙げられる。

○ 落雷

風力発電は、落雷による損害を被ることが多い。一般に山上や沿岸地域に設置されることが多く、周囲に風の障害物がないところに、高いタワーを立てその上でブレードが回転しているので、落雷の被害を受けやすい。特に、ヨーロッパなどに比べわが国は落雷の頻度が高く、またブレードに落雷することが多く、大きな損害が発生しやすい。

わが国の場合、新エネルギー・産業技術開発機構（NEDO）のアンケート調査で回答のあった 55 カ所の結果では、落雷による被災率が高く、地域では日本海側で 65%、季節では冬季で 61%となっており、落雷部位は避雷針よりもブレードや風況センサーなどの観測機器の方が多くなっている。実際に冬季の雷は北陸で多く、夏季の落雷よりもエネルギーが 100～数百倍の大きな雷が多い。

避雷針などの落雷対策についても現状あまり効果的とは言えない。現在は、ブレードに導電性の金属を入れることにより、落雷の電流がその導体に流れることで、ブレードへの落雷を防ぐなどの対策も行われている。

また、売電や地域への配電を目的とした送電線が敷設されているため、落雷サージや誘電サージによる発電機や変電設備などへの被災も多くなっている。

○ 強風

台風などの強風によりブレードの破損、タワーの倒壊などが発生する。実際、台風によるブレードの破損、タワーの倒壊事故もわが国では多数発生している。

通常、設計の際には設置地点における過去のデータに基づき設計しているはずであるが、設計時に想定していた風力を超える強風が吹き、ブレードやタワーがその強風に耐えられず破損するものである。中には、設計段階における設計のミスや施工の欠陥による破損、倒壊も含まれていると思われる。

ブレードは、一定の風速以上の強風時にはブレーキにより停止させ、角度も風の方向に平行となるようにして風の圧力がかからないようにする。しかし、急な風向きの変化によりブレードに風圧がかかることがある。

また、強風時にブレードの正面からではなく、強風により別の角度からの力がかかることにより、軸、ギア等に通常とは異なる方向からの力がかかり軸受、ギアの破損・欠損、異常磨耗するなどの損害も多数発生している。

○ 増速機の損害

増速機は潤滑油により磨耗を防ぎ、冷却を行うことが多く、この潤滑油に異物が混入することにより、軸受、ギアの破損、異常磨耗にいたることもある。

そのほか、増速機では過回転による軸受、ギアの破損、異常磨耗もある。通常、風の強さによりブレードの角度を調整することにより回転速度を制御し、台風等の非常に強い風の場合、ブレーキにより回転を止めるが、ブレーキ制御の不具合などがあった場合、ブレードが止まらず過回転してしまうことがある。また、急激な風向きの変化にブレードが追従できずに過大な力がかかることがある。

増速機の損害は、外観上は何の変化もないため周囲からは分かりにくい、実際多くの事故が発生している。

○ 鳥の衝突

風力発電設備は山上や沿岸地域に設置されることが多く、周辺に多数生息する鳥がブレードに巻き込まれ、ブレードが破損、欠損することがある。損害が軽微であれば、FRP の場合部分補修できる可能性もある。

鳥の巻き込みは物損だけでなく、鳥の殺傷という環境保護の点でも注意しなければならないことである。

○ その他の外来物の衝突

一般的に風力発電設備を設置する場所は、風の乱れを少なくするため周囲には風の流れの障害となるようなものは取り除かれる。したがって、飛行機、ヘリコプターなどの飛行物以外には周囲からの外来物によるリスクは少ない。修理等のためヘリコプターを利用する際などは注意を要する。

○ わが国でのリスクの多くは、台風、落雷、山岳風という日本特有の風土に起因している。

○ 洋上風力発電の場合には、高波など海固有のリスクも存在する。

f. 事故事例

○ ブレードに落雷があり、ブレードが破損した。

○ ナセル（発電機と増速機を収納した部分）に落雷があり、ナセルより火災が発

生し、ナセル、ブレード一式が焼損した。

- 強風時に速度制御ができず、ブレードが破損した。
- 強風時に速度制御ができず、増速機のギアが破損した。
- 強風の際、想定外の方向からの力により増速機のギアが破損した。
- 台風の強風に耐えられず、タワーが倒壊した。原因は、タワー組立の欠陥か、設計上の強度不足、あるいは設計を超える強風による場合がある。
- 増速機の潤滑油に金属粉が混入したため、増速機のギアが異常摩耗した。
この原因は、組立時の作業ミスか、異常な力によりギアが欠損し、その金属粉が潤滑油に混入して循環するような場合がある。
- 物的損害ではないが、回転軸の点検作業中作業員が頭を回転軸と軸受の間に挟まれ死亡したという事故もある。

g. 保険の引受にあたって

保険の引受にあたっては、リスクを適切に評価する必要があるが、上記 (2) e. のリスクのほか、過去の事故内容とその対策も合わせて評価する必要がある。

特にウィンドファームのように多数の同一風力発電設備を設置するような場合は、各発電設備は同一の設計、同一の製造工程で製作されるため、もし設計上あるいは製作上の欠陥があった場合、連続して事故が発生することになり大きな損害となる可能性がある。このため、このようなシリーズ損害（同一の原因で同一の物件に連続して損害が発生すること）に対して、シリーズ損害を免責とするあるいは限度をつけるということも考慮する必要がある。

風力発電での特徴的なリスクは据付後の物的リスクであるが、他にも工場製作中、工場から据付現場までの運搬中のリスク、組立リスク、人身、物的なリスク、賠償リスクなど多種のリスクがある。風力発電設備に関しては、現地での組立リスクでタワー、ナセルなどを吊り上げて据え付けるときの強風のリスクが大きなリスクであるが、それ以外は他の据付設備とあまり異なっていないといえる。

(3) その他の発電方式

再生可能エネルギーによる発電には、太陽光発電、風力発電以外にも図表 1 に示したエネルギーによる発電方式がある。以下、簡単に述べる。

a. 水力発電

すでに一般的である水力発電は、川の水により発電機と接続した水車（タービン）をまわし発電するものである。方式には、ダムに地下に発電設備を設置しダムの水を利用し使用後の水を川へ流すもの、川の水をそのまま利用し直接発電するもの、夜間

の余剰電力を利用し夜間に水を山の上などに作った貯水池にくみ上げ¹⁶、昼間の電力使用ピーク時に発電するものなどがある。

b. 地熱発電

地熱発電も、わが国を始め世界で一般的なものである。わが国では、設置数 18 地点 21 ユニット、54 万 kW の発電出力を持っている¹⁷。

地下から天然の蒸気により発電機に接続したタービンをまわして発電するものである。タービンと発電機は既存の火力発電で使用されているものと構造は同じである。発電に利用された蒸気は冷やし、水に還元した後、地下に戻される。

c. 太陽熱発電

太陽の熱エネルギーで水あるいは空気を加熱し（水の場合は蒸気にして）発電機と接続したタービンを回すことにより発電するものである。タービンと発電機は既存の火力発電に利用されるものと仕組みは同じである。

発電方式として、太陽光を曲面鏡で受けその前面に設置したパイプに熱を集中させパイプ内を流れる水などの液体を加熱し、蒸気を発生させるパラボリックトラフ式、太陽の光をタワーの一点に集めその熱で水蒸気を発生させるタワー式、大きな温室状の構造物で内部の空気を加熱し中心に設置した煙突状のタワーを上昇させ、その流れでタービンをまわすソーラーchimneyなどがある。

太陽光と異なり、太陽熱は昼間に熱を蓄えておくことができるため、夜間の発電も可能であるが、太陽光発電と比較すると発電のためには大型の設備、広大な設置面積が必要となる。

わが国では、過去に四国でタワー式太陽熱発電の実験を行ったが、現在はすでに中止されており、一般的には、太陽熱は温水の製造に利用され、発電にはほとんど利用されていない。しかし、アメリカでは 10MW のタワー式発電設備が稼動し、オーストラリアでは、200MW のソーラーchimneyの建設が行われているなど海外では商業発電が行われている。

d. 温度差熱発電

2 種類の異なった金属や半導体の両端に温度差をつけると電圧が生じることによって電流が流れるというゼーベック効果を利用して発電するものである。可動部がなくメンテナンスが不要であることや有害物質の排出がないことなどメリットもあるが、まだほとんど実用に利用されていない。

¹⁶ 揚水式発電設備といい、水をくみ上げるときは、発電で利用する水車をポンプとして利用する。

¹⁷ エネルギー白書 2007 年版

e. バイオマス発電

植物などの有機物を燃焼した熱で蒸気を発生させ、その蒸気で蒸気タービンを回し発電するものである。

植物は、利用する量に見合うだけのものを植林、栽培することにより資源として枯渇することではなく、再生可能である。また、燃焼により排出される CO₂ は、植物の成長時に光合成により吸収されたものであるため、カーボンニュートラル¹⁸である。

発電設備の構成としては、燃焼する炉（ボイラー）の形式が異なるものであるが、それ以外は基本的には火力発電設備と同様の設置設備である。

f. 廃棄物発電

一般家庭からのごみや産業廃棄物を直接燃焼し、その熱で蒸気を発生、蒸気タービンを回し発電するものである。どちらかといえば、現在は燃焼した熱を直接利用する場合が多い。

g. 潮力（潮汐）発電

海の干満の差を利用して発電するものである。

湾状になった場所に堤防を作り満潮時に海水を湾内に貯める。干潮時に湾内に貯まった水が水車発電機を通して放出されることにより発電するものである。

干満の差が大きい場所でなければ効率が悪い。フランスなどでは商業運転を行っている。

h. 波力発電

波の上下動を利用し空気を圧縮しその空気でタービンを回すことにより発電する方式、振り子のような板に波があたることにより波のエネルギーを機械エネルギーに変換しこのエネルギーにより発電機を回転させる方式などがある。

i. 潮流発電

海中に風車発電機の風車と同様な形状の水車を設置し、潮流で発電機と接続された水車を回すことにより発電を行うものである。

波力は風力に比較すると安定したエネルギー源ではあるが、研究はほとんど進んでいない。

j. 海洋温度差発電

海の表面海水温度と深海海水温度の差を利用して発電を行うものである。深海の低温

¹⁸ 植物は、成長過程で光合成により CO₂ を吸収しているため、燃焼時に CO₂ を発生するがプラス・マイナス・ゼロとなるという考え方。

海水で凝縮された熱媒が、表面の深海よりも暖かい海水により膨張し蒸気化する。そして、その蒸気によりタービンを回転させ発電を行うものである。

深海海水の取り出し、熱媒、発電効率などが課題としてあり、まだ小規模な実験段階である。

4. リスク比較

ミュンヘン再保険会社では、再生可能エネルギーによる発電、エネルギーの新しい利用形態である燃料電池を含め、既存の発電所の稼動にかかわる環境リスクの比較、事故時のリスクの比較を行っている（図表 13、14 参照）。

環境リスクとしては、水力発電では他の発電設備と比べ、ダム建設に関わる大規模な土木工事と大量のコンクリート使用のため、環境へのリスクが高くなっている。大規模な土木工事においては、大量の材料を輸送する輸送機関や大量の機械作業により CO₂ などが排出され、またコンクリートの材料であるセメント製造時にも焼成過程において大量の CO₂ が発生する。

ソーラーチムニーでは、巨大な煙突状のタワー建設のために大量のコンクリートを使用することや温室の屋根に大量のガラスを使用するため、環境へのリスクが高くなっている。ガラスの製造時には、CO₂ のほかカドミウムなどの有害物質が排出される。

石炭火力発電の場合、石炭燃焼時に発生する大量の CO₂ の排出があり、ガス火力発電においても石炭火力発電に比べると少ないが同様に CO₂ の発生がある。また CO₂ は地球温暖化の原因となるものであり、環境へのリスクが高くなっている。

原子力発電所での放射性物質としての使用済核燃料の処理と保管については、大きな環境リスクがある。

図表 13 稼動リスク

発電種類	技術・経済性					環境リスク					
	発電	熱供給	発電コスト	輸入依存度	予測不能の変動	広さ	設置に必要な	建設中の汚染物質	工場製作・現地稼動中の汚染物質	環境への影響範囲	廃棄物の処理と保管
陸上風力発電	可	不可	2	1	3	2	1	1	1	1、L	1
洋上風力発電	可	不可	2	1	3	2	1	1	1	1、L	1
水力発電	可	不可	2	1	1	2	3	1	1	2、L	1
波力発電	可	不可	2	1	1	1	1	1	1	1、L	1
潮力発電	可	不可	2	1	1	1	1	1	1	1、L	1
太陽光発電	可	不可	3	1	2	2	2	1	1	1、L	1
大規模太陽熱発電	可	可	2	1	1	2	2	1	1	1、L	1
ソーラーチムニー発電	可	不可	2	1	1	2	3	1	1	1、L	1

発電種類	技術・経済性					環境リスク				
	発電	熱供給	発電コスト	輸入依存度	予測不能の変動	広さ 設置に必要な	建設中の汚染物質 工場製作・現地	稼動中の汚染物質	影響範囲 環境への	廃棄物の 処理と保管
バイオマス発電	可	可	2	1	1	1	1	1	1、L	1
バイオガス発電	可	可	2	1	1	1	1	1	1、L	1
地熱発電	可	可	2	1	1	1	1	1	1、L	1
燃料電池	可	不可	3	2	1	1	1	1	1、L	1
石炭火力発電	可	可	1	2	1	1	2	4	4、G	2
ガス火力発電	可	可	1	2	1	1	1	3	4、G	1
原子力発電	可	不可	1	2	1	1	2	1	1、L	4

凡例 1：リスクが低い、2：リスクが高い、3：リスクが非常に高い、4：リスクが最も高い

L：地域限定的、G：世界的規模

(出典：“Renewable energies Insuring a technology of the future” Munich Reinsurance Company)

事故時のリスクでは、風力発電設備において内部のギアなどに想定外の力がかかり損害を被ることが多く、また特にわが国での落雷により事故の頻度が多い。

1事故あたりの損害額では、原子力発電所での事故が非常に高額となる。これは、特に放射能汚染部分の損害において顕著であり、修理時の放射能漏れや人体への放射能汚染を防ぐための手段を講じる必要があること、機器自体も安全性を重視し高額となることなどが要因である。

事故時の環境へのリスクについても原子力発電が最も高い。管理が徹底されており事故の頻度は少ないが、ひとたび事故が発生すればその影響は非常に大きなものとなる。

また、テロに対する危険でも原子力発電所は社会的影響の大きさからも最も標的にされやすいといえる。

図表 14 事故時のリスク

発電種類	内的・外的要因 による設備の損害		事故時の環境へのリスク			テロ攻撃に 対する脅威	
	頻度	一事故あたりの金額	頻度	影響度	地理的範囲	脅威	環境への影響
陸上風力発電	3	1	1	1	1	1	1
洋上風力発電	3	2	1	1	1	1	1
水力発電	1	2	1	2	1	2	1
波力発電	2	2	1	1	1	1	1

発電種類	内的・外的要因による設備の損害		事故時の環境へのリスク			テロ攻撃に対する脅威	
	頻度	一事故あたりの金額	頻度	影響度	地理的範囲	脅威	環境への影響
潮力発電	2	2	1	1	1	1	1
太陽光発電	1	1	1	1	1	1	1
大規模太陽熱発電	2	2	1	1	1	1	1
ソーラーチムニー発電	1	2	1	1	1	1	1
バイオマス発電	2	1	1	1	1	1	1
バイオガス発電	2	1	1	1	1	1	1
地熱発電	2	1	1	1	1	1	1
燃料電池	2	1	1	1	1	1	1
石炭火力発電	1	2	1	1	1	1	1
ガス火力発電	2	2	1	1	1	1	1
原子力発電	1	4	1	4	4	4	4

凡例 1：リスクが低い、2：リスクが高い、3：リスクが非常に高い、4：リスクが最も高い

(出典：“Renewable energies Insuring a technology of the future” Munich Reinsurance Company)

5. おわりに

今回、新エネルギーによる発電設備の中で世界的にも普及が進んでいる太陽光発電設備と風力発電設備を中心に、発電設備特有のリスクという観点で稼働時の物的損害について説明を行った。

これらの発電設備は今後も普及が進み、それとともに新しい技術も開発されていくものと思われ、また、現在でも特に風力発電設備については、事故が発生する可能性も高いことから保険の必要性は十分にあるものといえる。

太陽光発電設備、風力発電設備の保険の引受、損害調査の際に本稿がお役に立てば幸いである。

<参考資料>

- ・ 飯田哲也 「太陽光発電：ドイツの驚異的な成長と日本の政策課題 ―太陽光発電トップランナー「返り咲き」をめざして」 東京都太陽エネルギー利用拡大会議 第 1 回太陽光発電利用拡大検討会資料 (2007.4)
- ・ 石田博 「風力発電：日本の現状と問題点」 京都大学 原子力安全研究グループ 第 84 回原子力安全問題ゼミ 2001 年 10 月 23 日
- ・ 今泉みね子 「ここが違う、ドイツの環境政策」 白水社 (2003.11)
- ・ 井本康一郎 「拡大する世界の太陽電池市場で日本企業は地盤沈下」 エコノミストリポート エコノミスト 2007.11.20
- ・ 深沢和則 「EUの再生可能エネルギー導入普及に関する最近の動き」 NEDO 海外レポート No.930 (2004.4)
- ・ 渡邊斉志 「ドイツの再生可能エネルギー法」 外国の立法 225 (2005.8)
- ・ 渡邊斉志訳 「電力分野における再生可能エネルギー法を新たに定めるための法律[抄]」 外国の立法 225 (2005.8)
- ・ 「エネルギー白書 2007 年版」 資源エネルギー庁
- ・ 「核燃料サイクルのエネルギー政策上の必要性」 資源エネルギー庁 (2002.3)
- ・ 「原子力・エネルギー図面集」 電気事業連合会
- ・ 「新エネルギーの展望 コージェネレーション技術」 エネルギー総合工学研究所 (2002.3)
- ・ 「新エネルギーの展望 バイオマス発電」 エネルギー総合工学研究所 (2003.3)
- ・ 「太陽光発電・バロメータ 2007 年 (EU)」 NEDO 海外レポート No.1011 (2007.11)
- ・ 「なぜ、日本が太陽光発電で世界一になれたのか」 「NEDOBOOKS」 編集委員会 (2007.3)
- ・ 「発電用風車点検 頭を挟まれ死亡」 北海道新聞 2007 年 9 月 15 日
- ・ 「風力エネルギー・バロメータ 2007 年 (EU)」 NEDO 海外レポート No.1010 (2007.10)
- ・ 「風力発電システムの導入促進に関する提言」 新エネルギー財団 新エネルギー産業会議 (2007.3)
- ・ 「風力発電の技術的課題に対するアクションプランの検討 報告書」 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (2003.3)
- ・ 「洋上風力発電を実験」 日本経済新聞 2007 年 11 月 10 日朝刊
- ・ “GLOBAL WIND 2006 REPORT” Global Wind Energy Council
- ・ ”Renewable energies Insuring a technology of the future” Munich Reinsurance Company (2004)

<参考サイト>

- ・ 青森県東通村 <http://www.e-higashi.net/>
- ・ 石田工業㈱ <http://ishida.to/>
- ・ エネルギー問題に発言する会 <http://www.ency-sqr.com/>
- ・ 沿岸技術研究センター <http://www.cdit.or.jp/>
- ・ 海上保安庁海上保安試験研究センター 「潮流発電装置の実用化に関する調査研究」

- http://www.kaiho.mlit.go.jp/syukai/soshiki/soumu/seika/h14/h14_08.pdf
- ・ 外務省 <http://www.mofa.go.jp/>
 - ・ 環境省 <http://env.go.jp/>
 - ・ (株)ケンコー <http://www.kk-kk.net/>
 - ・ 神戸市 <http://www.city.kobe.jp/>
 - ・ 国際大学グローバルコミュニケーションセンター 広瀬学「電力発電の現状」
<http://www.glocom.ac.jp/eco/esena/resource/hirose/index.htm>
 - ・ 佐賀県 新エネルギーみらいさが <http://www.pref.saga.lg.jp/at-contents/kankyo/energy>
 - ・ 産業技術総合研究所 <http://aist.go.jp/>
 - ・ 資源エネルギー庁 <http://www.enecho.meti.go.jp/>
 - ・ 新エネルギー財団 <http://www.nef.or.jp/>
 - ・ 炭素繊維協会 <http://www.carbonfiber.gr.jp/>
 - ・ 地熱エンジニアリング(株) <http://www.geothermal.co.jp/>
 - ・ 中国電力 <http://www.energia.co.jp/>
 - ・ 電気事業連合会 <http://www.fepc.or.jp/>
 - ・ 東京電力 <http://www.tepco.co.jp/>
 - ・ 東北電力 <http://www.tohoku-epco.co.jp/>
 - ・ 特許庁 <http://www.jpo.go.jp/>
 - ・ フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』 <http://ja.wikipedia.org/wiki/>
 - ・ 北陸電力 <http://www.rikuden.co.jp/>
 - ・ 北陸ガス <http://www.hokurikugas.co.jp/>
 - ・ EIC ネット：環境情報案内・交流サイト <http://www.eic.or.jp/>
 - ・ IT用語辞典 e-Word <http://e-words.jp/>
 - ・ IT用語辞典 バイナリ <http://www.sophia-it.com/>
 - ・ EnviroMission Limited <http://www.enviromission.com.au/>
 - ・ Global Wind Energy Council <http://www.gwec.net/>
 - ・ Munich Reinsurance Company <http://www.munichre.com/en/homepage/default.aspx>