

再生可能エネルギー発電システムに関するリスク

大規模太陽光発電システム（メガソーラー）

土師 賢之 Takayuki Haji

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

安藤 悟空 Goku Ando

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

はじめに

東日本大震災以降、日本国内では「電力供給不足問題」が大きな話題となっており、電力使用量が多い夏および冬に、政府は各企業に節電を呼びかけた。こうした背景を受けて、再生可能エネルギーの普及・拡大を目的とした「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、2012年（平成24年）7月1日から始まった。

再生可能エネルギーには「エネルギー源として持続的に利用することができる」と認められるもの」である太陽光、風力、水力、地熱、太陽熱、大気中の熱その他の自然界に存する熱、バイオマスが規定されている。資源が枯渇せず繰り返し使え、発電時や熱利用時に地球温暖化の原因となる二酸化炭素をほとんど排出しないことが特徴である。

再生可能エネルギーを利用した太陽光発電事業は、発電した電力の買取価格が高く事業性が見込めることや、CSR（企業の社会的責任）の観点などから多数の企業が参入を表明している。特に多数の1MW（メガワット）以上の発電能力を有する大規模太陽光発電システム（以後、「メガソーラー」と表記する）への投資計画も含まれている。

太陽光発電システムは稼働部がないことや、これまで住宅用に設置されていた実績などから設置後のメンテナンスが容易で、事故が少ないという印象を受けやすい。今まで、事故報告例は少ないが、メガソーラーより普及が進んでいる住宅用の太陽光発電システムでは、不具合の報告が確認され始めている。そのため、企業が太陽光発電事業に参入するにあたり、メガソーラーなどの太陽光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と考えられる。

本稿では、太陽光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. 太陽光発電システムの構成

太陽光発電システムは、太陽電池やパワーコンディショナーなど、数多くの電気機器・設備で構成されている。本章では各電気機器・設備について説明する。

1.1. 太陽電池

太陽電池とは、光エネルギーを直接電力に変換する機器である。ひとつの太陽電池を「セル」と呼び、これを複数枚直並列接続させ、必要な電力と電流を得られるようパッケージされたものを「太陽電池モジュール」と呼ぶ（以後、太陽電池モジュールを「太陽光パネル」と表記する）。さらに、この太陽光パネルを複数枚直並列接続させたものを「太陽電池アレイ」と呼ぶ。

現在さまざまな種類の太陽電池が開発されており、各種太陽光パネルについての特徴を表1にまとめる。

表1 主な太陽電池の種類¹

種類		特徴	変換効率	省資源化	柔軟性	価格低下余地
シリコン系	単結晶シリコン	・最も古くからある太陽電池 ・高価だが、高性能で変換効率が良い			×	
	多結晶シリコン	・現在最も使用されている太陽電池 ・省エネルギーで製造できる			×	
	薄膜シリコン	・薄膜でフレキシブルな太陽電池 ・軽量で省資源な生産が可能				
化合物系	CIGS	・銅(C)、インジウム(I)、ガリウム(G)、セレン(S)を原料とした太陽電池 ・多結晶シリコンに近い性能が出せる太陽電池 ・省資源で量産性が高く、デザイン性が良い				
有機物系	色素増感	・製造が容易で、カラフルな太陽電池 ・量産時の価格、寿命、変換効率が課題				
	有機半導体	・常温塗布により製造可能で、カラフルで軽量 ・寿命と変換効率が課題				

：高い ：やや高い ：やや低い ×：低い

<補足> 変換効率 : 太陽光エネルギーを電気エネルギーに変換したときの変換割合
 省資源化 : 使用材料や製造時のエネルギーなどの資源効率
 柔軟性 : 太陽電池自体の柔軟性
 価格低下余地 : 製造方法や材料などの研究・開発による今後の価格低下の余地

太陽電池の原理

太陽電池は、動きやすい電子（伝導電子）が多く、電子が逃げやすい性質を持つ『n型半導体』と、伝導電子が少なく、電子不足の場所（正孔）を持つ『p型半導体』が、積み重なった構造をしている。電子は光に敏感なため、太陽光パネルに光が当たると、以下のような事象が起こり、発電される。

- (1) 太陽光がパネル表面に当たる
- (2) n型半導体の電子が光のエネルギーを吸収する。
- (3) エネルギーを吸収した電子が、外部の電気回路へ押し出される。
- (4) 電気回路を通じて、p型半導体へ電子が戻り、正孔と結合する。

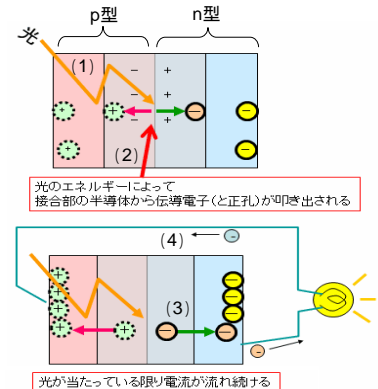


図1 発電の原理²

¹独立行政法人産業技術総合研究所「太陽電池の分類」http://unit.aist.go.jp/rcpvt/ci/about_pv/types/groups.html を元に当社で作成（アクセス日：2012-10-18）

²独立行政法人産業技術総合研究所「太陽電池の原理」http://unit.aist.go.jp/rcpvt/ci/about_pv/principle/principle_3.html を参考に当社で作成（アクセス日：2012-10-18）

1.2. パワーコンディショナー（PCS）

太陽電池で発電された直流電力を交流電力に交換し、商用電力系統に連系する装置である（図2）。電力系統と整合の取れた電力にするため、周波数、電圧、電流、位相等を制御している。また、日照状況に合わせて、自動で運転の開始・停止を行う機能や、異常検出時、PCSを停止させ、系統側の安全を確保する機能も備えている。



図2 PCS 外観（左：コンテナ 右：本体）³

1.3. その他の電気機器・設備

メガソーラーに設置されている太陽電池、パワーコンディショナー以外の主な電気機器について、以下に示す（表2）。

表2 電気機器・設備名と用途⁴

設備名	用途
接続箱	太陽光パネルで発電した電力を収集する装置
電力量計	発電量を計測する装置
集電箱	接続箱でとりまとめた電力を集電し、PCSへ配送する装置
変圧器	電圧を変換する装置
コンテナボックス	PCSを集積している小建屋

2. メガソーラーとは

2.1. メガソーラーの規模

メガソーラーの「メガ」とは発電量の単位を示し、1MW（メガワット）以上の発電能力を持つ大規模な太陽光発電システムを「メガソーラー」と呼んでいる。住宅用の太陽光発電システムでは発電量は3～5kW程度であることから、メガソーラーは極めて大きな発電量を有するシステムであると言える。また、メガソーラーで使用される太陽光パネルの設置枚数は少なくとも数千枚以上あり発電量が数十MWとなるような



写真 稚内メガソーラー発電所（約5MW）⁵

発電所では、数万枚単位で設置されることもある。このため、メガソーラー発電所には、非常に広大な土地が必要とされている。

³独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「大規模太陽光発電システム導入手引書」<http://www.nedo.go.jp/content/100162609.pdf>から抜粋

⁴ 当社作成

⁵独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「大規模太陽光発電システム導入手引書」<http://www.nedo.go.jp/content/100162609.pdf>から抜粋

2.2. 電気系統系

図3にメガソーラーと住宅用の電気系統系について示す。住宅用では太陽光パネルで発電した電力を接続箱へ送電し、そのままPCSへ接続し、家庭内および売電で消費される。一方、メガソーラーでは太陽光パネルの枚数が膨大となるため、ひとつの接続箱では対応できないことが多く、接続箱が複数に分けられている。この場合、集電箱という機器で一度電力を集約してから、PCSへ送電する。PCSも複数台数設置されていることが多く、コンテナボックスと呼ばれる建屋に格納されている。その後、変圧器で電圧を変えて、商用電力系統に連携する仕組みとなっている。

メガソーラーと一般家庭用の構成を比較すると、太陽光パネルで発電した直流電力を集めて、PCSで交流に変換し、商用電力へ送電する流れや、システムを構成する設備の役割はそれほど変わらないが、集電箱、分電盤および変圧器の有無や容量などに違いがある。また、メガソーラーで使用されている太陽光パネルは、住宅用太陽光発電システムと同様のパネルが使用されている。

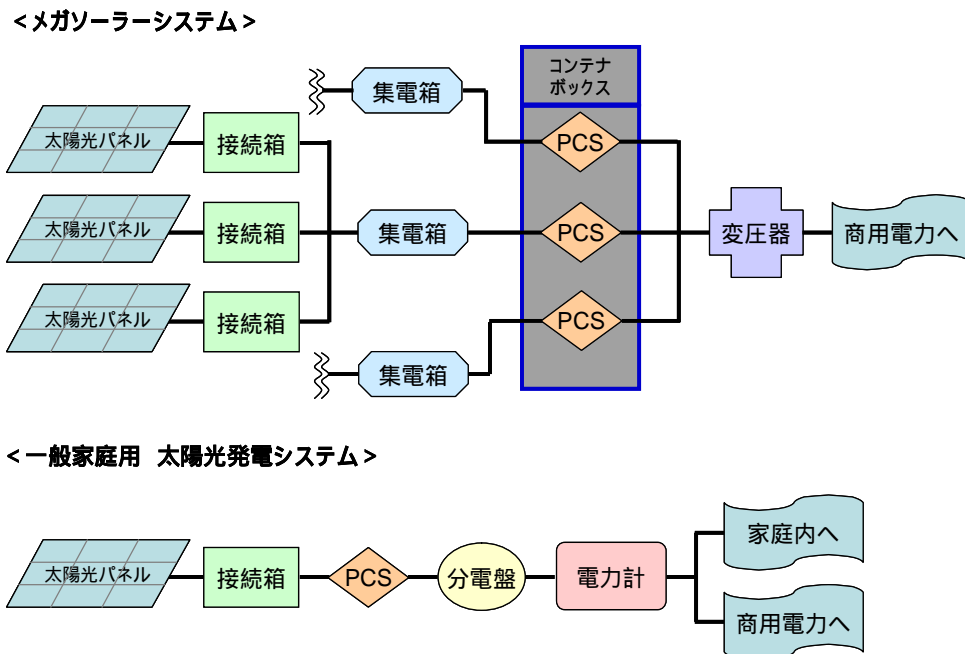


図3 メガソーラーと住宅用の電気系統系

3. メガソーラーの普及状況

本章では、国内、海外におけるメガソーラーの普及状況について示す。

3.1. 国内におけるメガソーラーの普及状況

2011年（平成23年）10月時点で、計画中のものを含め、メガソーラー事業の運営件数は、電力会社が運営しているものが26件、一般企業など電力会社以外では47件、計73件が稼働または計画・建設されている状況である（図4、5）。発電効率は日照量に影響するため、メガソーラー発電所は沿岸部に設置されるケースが多い。また、再生可能エネルギー特別措置法の施行により、今後大幅な増加が見込まれている。現在稼働中のメガソーラー発電所は1MW程度の発電量のものが多いが、今後計画されているメガソーラー発電所の中には10MWを超える高発電量の発電所の建設が多数予定されている。

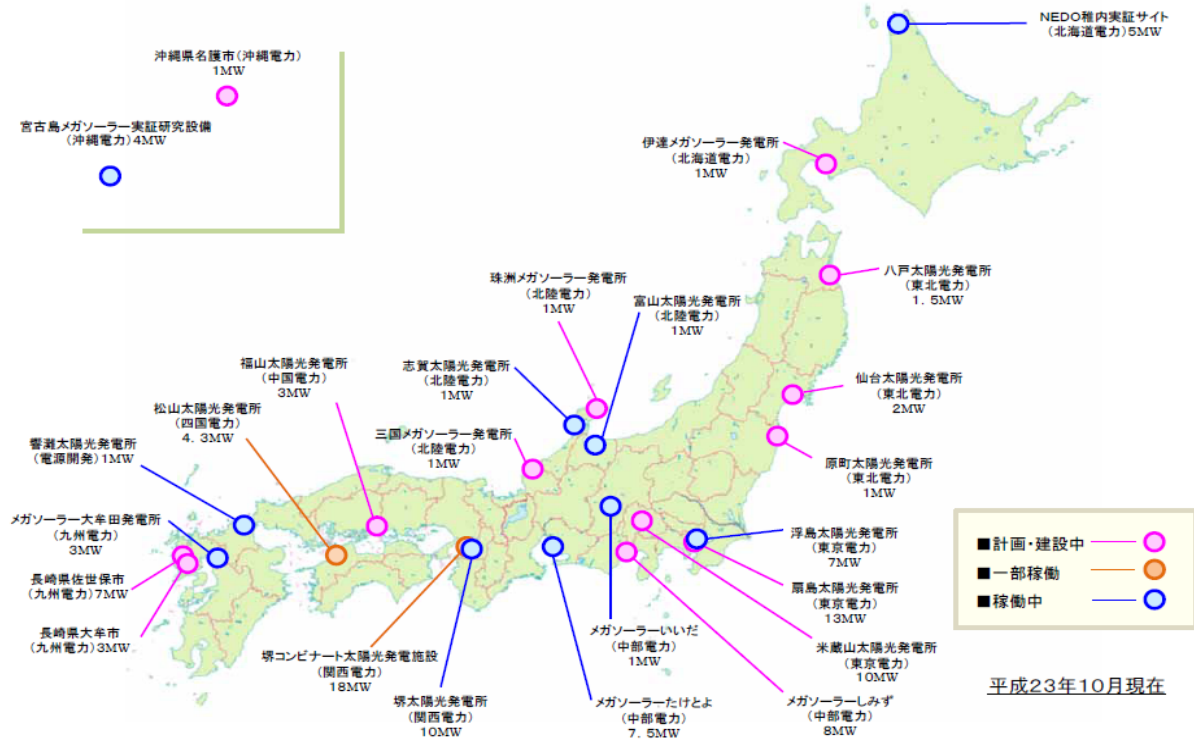


図4 電力会社の運営するメガソーラー発電所 MAP⁶

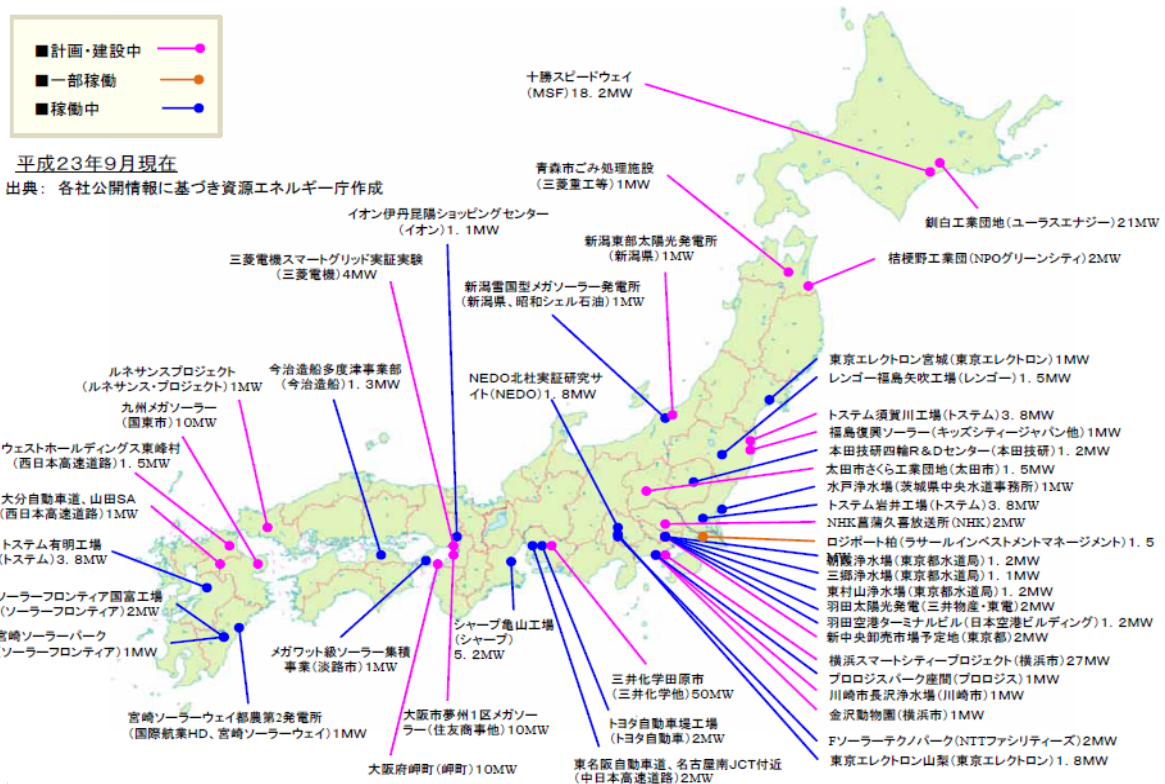


図5 電力会社以外が運営するメガソーラー発電所 MAP⁷

⁶経済産業省資源エネルギー庁「我が国における再生可能エネルギーの現状」より抜粋
http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/001_07_01.pdf

⁷経済産業省資源エネルギー庁「我が国における再生可能エネルギーの現状」より抜粋
http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/001_07_01.pdf

3.2. 海外におけるメガソーラーの普及状況

海外に目を向けると、世界各国でも開発が進んでおり、極めて大きな規模の施設も作られている（表3）。現在稼働中の発電所の中で最大のものはウクライナの Perovo 発電所で、発電量 100MW であるが、今後インドの太陽光発電所で、複数のプロジェクトを 1ヶ所に集約し、総発電量 600MW のメガソーラー発電所の建設が計画されている。

なお、現時点で国内での日本最大のメガソーラー発電所は、出力 13MW の神奈川県川崎市にある扇島発電所であるが、今後出力 70MW のメガソーラー発電所が建設される予定もあり、日本でも大規模な発電所の運営が加速すると予想される。

表3 主な海外のメガソーラー発電所⁸

総出力 (MW)	国名	発電所名
600	インド	Charanka太陽光発電所(計画段階)
550	アメリカ	Topaz太陽光発電所(計画段階)
290	アメリカ	Agua Caliente太陽光発電所(計画段階)
100	ウクライナ	Perovo , , , 太陽光発電所
97	カナダ	Sarnia太陽光発電所
84.7	ドイツ	Finow太陽光発電所
84.2	イタリア	Montalto di Castro太陽光発電所
82	ドイツ	Senftenberg , , 太陽光発電所
80.2	ドイツ	Finsterwalde , , 太陽光発電所
80	ウクライナ	Ohotnikovo太陽光発電所
73	タイ	ロップリー太陽光発電所
71	ドイツ	Lieberose太陽光発電所
70.6	イタリア	San Bellino太陽光発電所
70	ドイツ	Alt Daber太陽光発電所
...		
70	日本	七ツ島太陽光発電所(計画段階)
13	日本	扇島太陽光発電所

⁸経済産業省資源エネルギー庁「我が国における再生可能エネルギーの現状」を参考に作成
http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/001_07_01.pdf

4. メガソーラーのリスク

本章では、はじめに太陽光発電システムの機器構成と設置環境から想定される主なリスクを紹介する。また、類似したシステム構成である住宅用の太陽光発電システムの事故例も紹介する。

4.1. メガソーラーにおいて想定されるリスク

太陽光発電システムの各構成要素の特性と設置環境から、想定される主なリスクを表4に示す。太陽光パネルなどの発電設備は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、稼働部が少ないため機械的リスクは小さいと考えられる。なお、本稿では主に自然災害リスクを記載し、性能リスクや天候リスクについては記載していない。

表4 想定されるリスクと対策⁹

リスク項目	想定されるリスク	リスクへの対策など	
自然災害リスク	雷	<ul style="list-style-type: none"> ・直撃雷による、発電機器の破損リスク ・設備のある場所とは別の場所に落ちた雷電流（誘導雷）が、機器に流れ込むことによって発生する破損リスク 	回路内に一定性能のサージアブソーバ（避雷素子）や、雷サージ保護デバイス（SPD）を設置して誘導雷被害を抑制する。
	地震	<ul style="list-style-type: none"> ・太陽光パネルが建物の屋上などに設置された場合の、建物倒壊に伴う破損リスクや、地震の揺れに対する破損・落下リスク 	<p>平地置きでは、条件によって建築基準法が適用される（図6）。建築基準法の対象外の場合は、電気事業法に基づき JIS 基準に従った設計がされ、震度5弱相当の耐震性を有すると推察される。</p> <p>建築物の屋上に設置する太陽光発電設備（以下、屋根置きという。）は、メンテナンス時以外、人が架台下に立ち入らないなどの条件をみたせば、建築設備に該当するため、増築には該当しない。法的には建築確認は不要であるが、耐震性能を確認することがのぞましい。</p>
		<ul style="list-style-type: none"> ・埋立地などでの地盤液状化による破損リスク 	
	津波	<ul style="list-style-type: none"> ・津波による、発電機器の破損リスク 	津波が到達した場合には、物理的な力により被害は避けられないと推察される。また、浸水による被害も想定される。沿岸部などに設置される場合は、想定津波高さに対する対策の実施（防波堤・地盤面高さ確保など）が重要である。
	風災	<ul style="list-style-type: none"> ・建築物の屋上など高所に太陽光パネルが設置されている場合の、強風や施工不備による落下・破損リスク 	平地置きで高さ4m以下の場合、電気事業法に基づき JIS 基準に従った設計がされている。JIS 基準では建築基準法の耐風基準相当の強度設計がされており、地域ごとの風の強さなどが考慮されている。
<ul style="list-style-type: none"> ・台風などの強風による飛来物の直撃による破損リスク 			
水災害	<ul style="list-style-type: none"> ・屋根置きの場合、施工の不具合による屋内浸水リスク 	太陽光パネルは降雨に対しては、高い防水性を施しているが、一般的に水没時の耐水性は低い。PCSなどの周辺設備も、水没に対する耐水性は低い。	
	<ul style="list-style-type: none"> ・平地置きの場合、発電所近傍の河川の氾濫に伴う浸水による設備破損リスク 		

⁹ 当社作成

	雪災	<ul style="list-style-type: none"> ・パネルに積雪した雪の重みによる破損リスク 	<p>平地置の場合、電気事業法に基づき JIS 基準に従った積雪過重に対応した設計がされる。また、積雪防止対策として、パネルメーカーごとに積雪量に応じた推奨傾斜角度が提供されている。</p> <p>平地置の場合には、架台を高くすることで、埋雪による発電不能リスクを防止できる。</p>
		<ul style="list-style-type: none"> ・平地置きの場合、埋雪し発電不能となる休業損失リスク 	
	塩害	<ul style="list-style-type: none"> ・沿岸部に設置された場合の塩害による機器腐食損傷リスク 	<p>通常仕様の場合、塩害地域での設置は不可としているが、塩害地域の特別仕様のシステムがある。</p>
	日照	<ul style="list-style-type: none"> ・建物や樹木、雲などの影によって日射量が大きく低下し、発電量が想定を大きく下回る日照リスク 	<p>太陽光パネルの設置方位や設置角度などの設置条件を最適化する。</p> <p>メガソーラーでは、周りに建物や木などがなければ確認し、日照時間の長い場所を選別する必要がある。</p> <p>ホットスポット対策として、電流の迂回路の役割を持つバイパスダイオードが搭載されている。ただし、バイパスダイオードが損傷するおそれがある。</p>
		<ul style="list-style-type: none"> ・太陽光パネルの一部が遮光され、その状態が長期間続くと、遮光され続けたセルが発熱（抵抗となるため）し、発電特性が低下するホットスポット現象による、発電量低下リスク 	
		<ul style="list-style-type: none"> ・ホットスポットによる発熱が常態化した場合のセル損傷リスク 	
人身災害	労災	<ul style="list-style-type: none"> ・太陽光パネルの設置や補修時の転落などによる負傷リスク 	<p>太陽光発電システムの設置に関し、各メーカーはガイドラインを発行している。</p>
	感電	<ul style="list-style-type: none"> ・素手による太陽光パネル表面への接触や、絶縁不良などを原因とした漏電による保守作業時の感電リスク 	<p>2012年（平成24年）度、東京消防庁で、「消防活動時における太陽光発電システムの危険性に関する検証」が行われており、消防活動時の感電リスクなどを検証し、消防活動時の安全管理について検討されている。</p>
		<ul style="list-style-type: none"> ・火災発生時、消火活動に伴う消防士の感電リスク 	
その他	火災	<ul style="list-style-type: none"> ・短絡や漏電に起因する発火リスク 	<p>漏電対策として、太陽光パネルや架台などは接地を取る必要がある。</p> <p>太陽光パネルの構成素材は主に難燃材料であるため、焦損や小火はあるが、全焼リスクは低い。</p> <p>ただし、PCSの絶縁不備・破壊により火災が発生した場合、PCSは高額なため損害が大きくなる。</p>
	盗難	<ul style="list-style-type: none"> ・太陽光パネルの盗難リスク 	<p>盗難防止用アラームや太陽光パネルにGPS機能を搭載させ、登録した設置場所以外に設置した場合、ロック機能を働かせるなどの盗難防止装置がある。</p> <p>欧州では盗難が多発し、大きなリスクとなっている。</p>

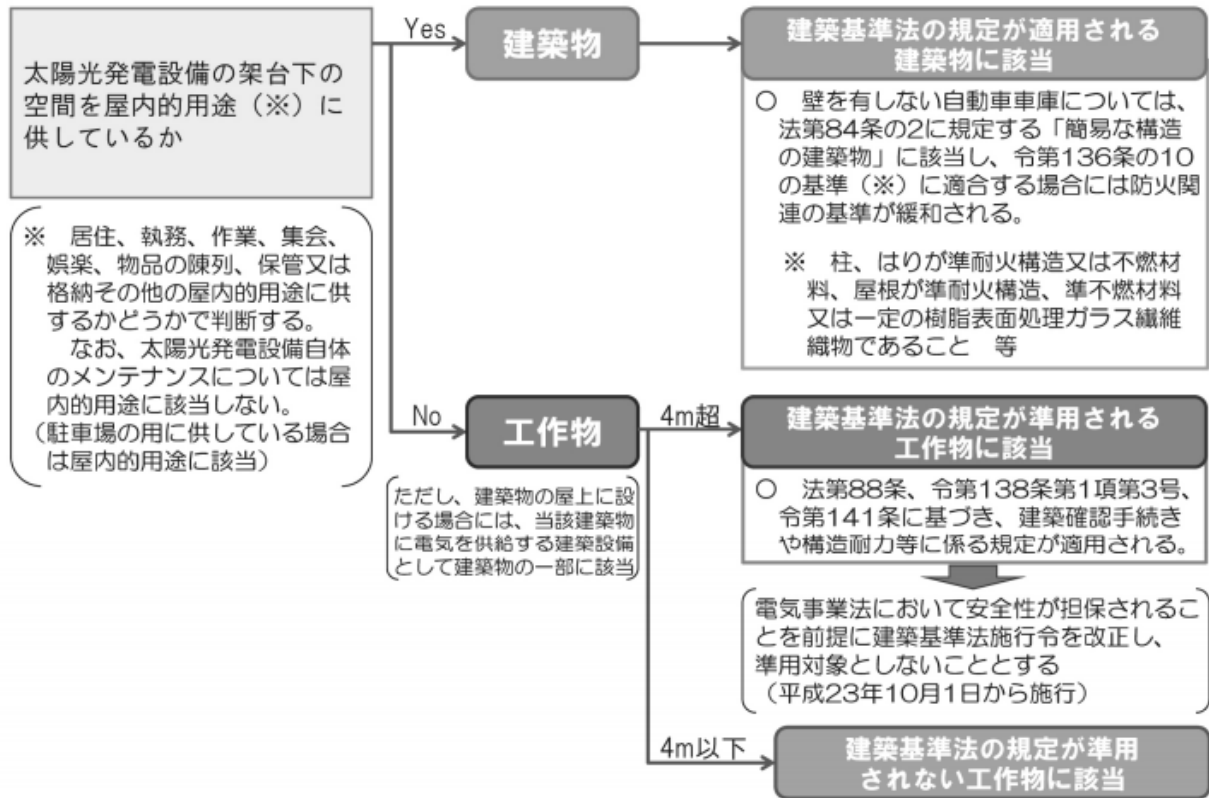


図6 建築基準法の適用に係る取扱について¹⁰

4.2. 住宅用太陽光発電システムの不具合内容との比較

独立行政法人製品評価技術基盤機構の事故情報データベースでは、雪害、地震による津波および塩害による事故が公開されている（表5）。

塩害は施工不良が原因であったが、機種を選定を誤ると塩害被害が発生することや、積雪や津波により実際に被害が発生していることを確認することができた。

表5 製品評価技術基盤機構の事故情報データベース抜粋¹¹

年度番号	事故通知内容	事故原因
2011-0372	津波で浸水した翌日、外壁に設置したパワーコンディショナーから発火した。	直流回路部が焼損していることから、津波による浸水の影響で直流回路が短絡状態にあり、太陽電池モジュールからの発電電力により、回路に短絡電流が流れたため、発熱・スパークが生じて発火したものと推定される。

¹⁰ 国土交通省「建築確認手続き等の運用改善（第二弾）及び規制改革等の要請への対応についての解説」
<http://www.mlit.go.jp/common/000143943.pdf>

¹¹ 独立行政法人 製品評価技術基盤機構「事故情報の検索」より抽出 <http://www.jiko.nite.go.jp/php/jiko/index.html>
 （アクセス日：2012-10-18）

2008-0212	住宅用太陽光発電システムで発電中、パワーコンディショナー（接続箱）内の基板部分が発熱し、基板と冷却ファンが溶融した。	パワーコンディショナーの外観に塩害による錆と上部から雨水等が浸入した痕跡がみられることから、水分や異物等が外部から浸入し、電解コンデンサの端子間でトラッキングが発生したため発熱し、隣接された冷却ファンの樹脂を含め溶解し、発煙に至ったものと推定される。なお、設置工事マニュアルの注意・確認事項に「水滴等が落ちないところに設置する。」「塩害地域には設置しない。」旨の記載をしている。
2006-0173	春先に木造平屋住宅から出火し、屋根に設置された太陽光発電器のソーラーパネルの一部を焼いた。	雪解けの時期に、太陽光発電器が雪の重みでずれて動いたため、接続されている配線が損傷し、芯線が短絡・スパークし、出火に至ったものと考えられるが、焼損が著しく原因の特定はできなかった。

5. まとめ

本稿では、再生可能エネルギーのひとつである、メガソーラー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。

次に構成が類似している家庭用太陽光発電システムの事故事例を確認し、メガソーラーで想定される事故が実際に家庭用太陽光発電システムで起こっていることを確認することができた。このことから、今後同様の事故がメガソーラーでも発生することが推察される。また、昨今の普及状況から、海外の太陽光パネルメーカーも多数参入してきているため、将来的に、低コスト化により機能および品質にばらつきがでてくる可能性があり、本稿で紹介した想定リスク以外の事故が発生するおそれもある。

また、今回取り上げた自然災害リスクの中では、地震に伴う津波リスクによる損害額が大きくなることが予想されるため、沿岸部に設置する場合は十分にリスクを留意する必要がある。

今後も、メガソーラー事業は拡大していくと考えられるため、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、十分な対策を行ったうえで参入することが重要であると考えられる。

参考文献

「大規模太陽光発電システム導入の手引書」(<http://www.nedo.go.jp/content/100162609.pdf>)

執筆者紹介

土師 賢之 Takayuki Haji

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
専門はプロパティリスク評価およびリスクコントロール

安藤 悟空 Goku Ando

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
専門は製造物責任(PL)

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)