



日本太陽能發電系統火災案例評析

林育如/ 工研院 綠能所 太陽光電技術組, 副工程師

太陽光電直流安全是未來國內外持續關注的議題，本文透過討論幾項日本的太陽光發電系統火災事故發生經過、原因分析，以及解決對策，希望可以提供國內太陽光電相關專業人士參考，了解太陽光發電系統的潛在風險與因應的對策，促進相關法規制定，共同維護台灣再生能源的永續發展。

一、前言

日本在2011年發生了東日本大地震福島核災事故，災後日本為了填補核電的缺口進行能源轉型，導入「再生能源固定價格收購制度」(Feed-in Trade, FIT)作為推動再生能源的重要工具，有效地促進太陽光發電系統快速普及，截至2019年末已達將近54GW 的導入實績[1]。

然而近年來全世界的太陽光電系統火災事件層出不窮，日本消費者廳在2019年1月基於消費者安全法，公布了住宅用太陽光發電系統火災事故原因調查報告書[2]，總結2008年3月至2016年8月為止的72件火災事例、原因與處理對策。此外，於2019年9月千葉縣的水上型太陽光電系統受颱風影響不幸釀成火災，於2020年提出的檢討報告不只讓各界意識到結構安全的問題，更喚醒對直流電氣安全、消防安全的重視。本文討論幾項日本的太陽光發電系統火災事故發生經過、原因分析，以及解決對策。透過本文希望可以提供國內太陽光電相關專業人士參考，了解太陽光發電系統的潛在風險與因應的對策。

二、日本住宅屋頂型太陽光發電系統火災案例

太陽光發電系統的建置種類不同，其中的火災風險則有些不同。日本有幾項報告統整太陽光發電系統的火災事故，其中在2019年消費者廳的報告中，消費者安全調查委員會針對在2008年3月2016年8月為止，包含火災、起火、發熱、冒煙等72起住宅型(10kW 以下)太陽光電系統火災事故作調查，其中由太陽電池模組或線路釀成火災的案件共13件，變流器或接線箱引起火災的案件共59件。

有別於台灣住家大多為平屋頂，採用的是屋頂棚架型太陽光電系統，日本的平房以斜屋頂居多，因此住宅型的太陽光電系統多為屋頂平貼型(圖1)。雖然太陽電池模

組或線路引發的火災事故件數不多，但由於太陽模組貼近屋頂，若不幸造成火災將可能危及生命安全，因此模組與線路造成的火災(13件)為消費者安全調查委員會的主要調查對象。

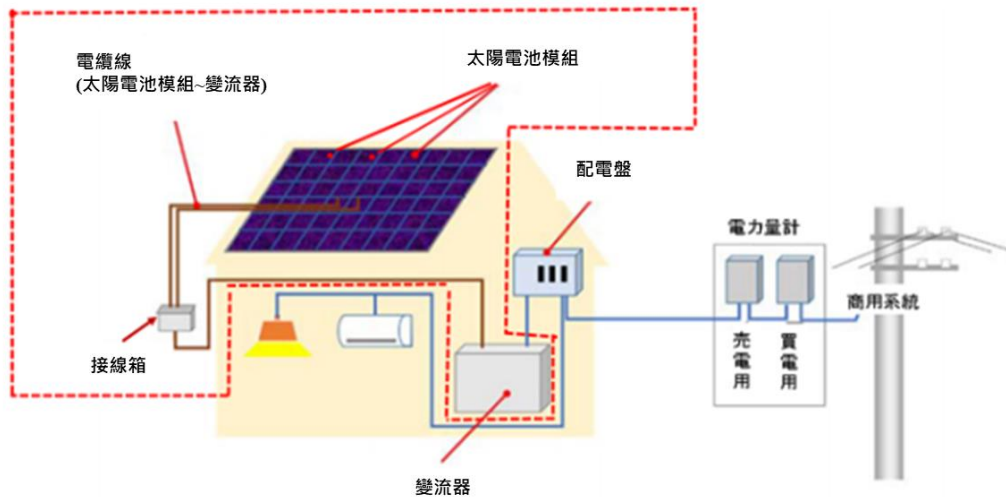


圖1、住宅用太陽光發電系統概觀(紅色虛線部分)

2013年6月新潟縣的一處屋頂發生火災，由鄰近居民發現屋頂冒煙起火並且向居住者聯絡，自行使用水管緩和火勢的同時通報119。此案為線路起火引起的火災，模組與其周邊燒損，串聯模組的電纜線有小動物咬過的痕跡並且造成線路短路，推測為漏電發生的火花使得附近堆積的落葉著火引發的事故。



圖2、屋頂損壞狀(右圖為模組撤除後狀況)



圖3、線路有動物的咬痕

住宅用太陽光電系統需特別注意模組與線路起火後是否會「延燒」，若可以預防延燒則可避免大型火災的發生。住宅用的太陽光發電系統分成以下四類：

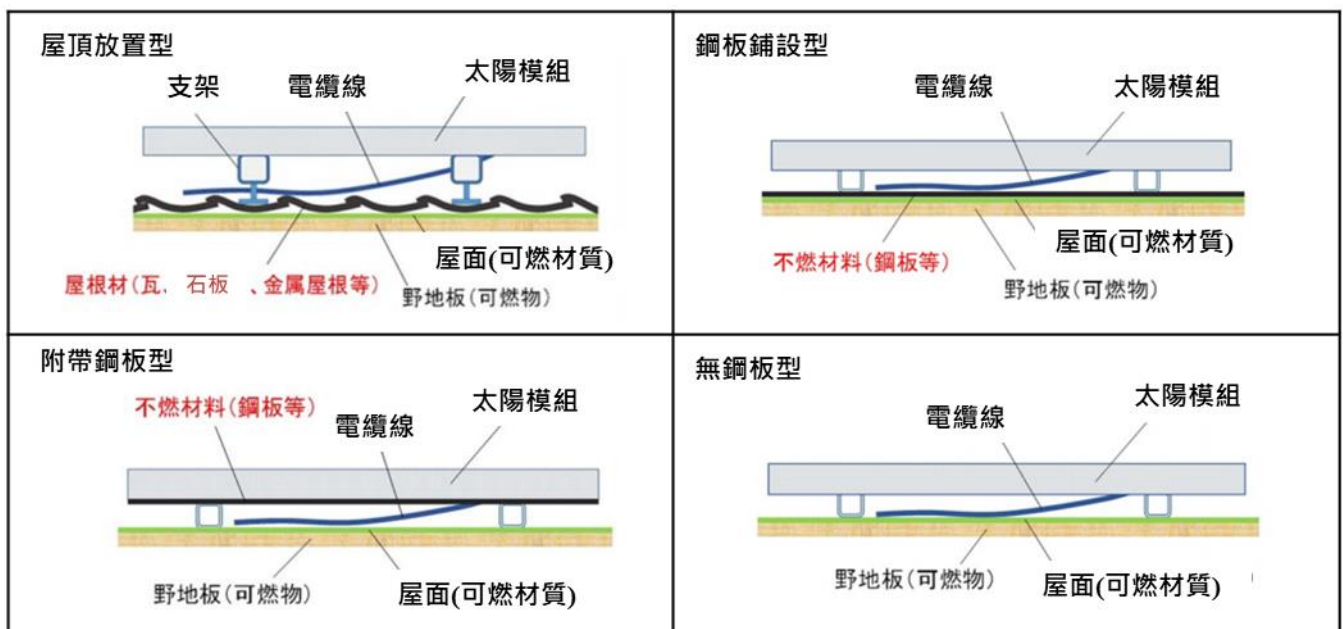


圖4、住宅用的太陽光發電系統分類

其中住宅型的火災大多為無鋼板型的住屋居多。屋頂放置型的住宅使用了瓦片、石板、金屬作為屋頂材料，為不易延燒的材質，鋼板鋪設型的住宅屋頂上鋪設鋼板，也是不易延燒的類型。然而附帶鋼板型與鋼板鋪設型的不同點是模組與可燃材質的屋面夾有電纜線，若電路起火可能有延燒的風險。無論是哪一種類型的屋頂，定期的維運檢驗是非常重要的，若能提前發現電纜線的損壞可以防範火災的發生。

從13件的案件中可發現起火點大致分成模組與電纜線兩種，其中模組起火的原因並非施工不良而是模組故障，大多為使用了7年以上的產品。而電纜線起火的案例推

測施工不良為主因，而燒穿屋頂的案例全為無鋼板型屋頂的住宅。

模組故障導致起火災有5件，依據模組製造商者的報告書可知模組的起火過程可分成四個階段：配線連接部分的高阻抗化、旁路迴路時常通電、旁路迴路的斷線、配線連接部分的斷線或異常發熱(圖5)。

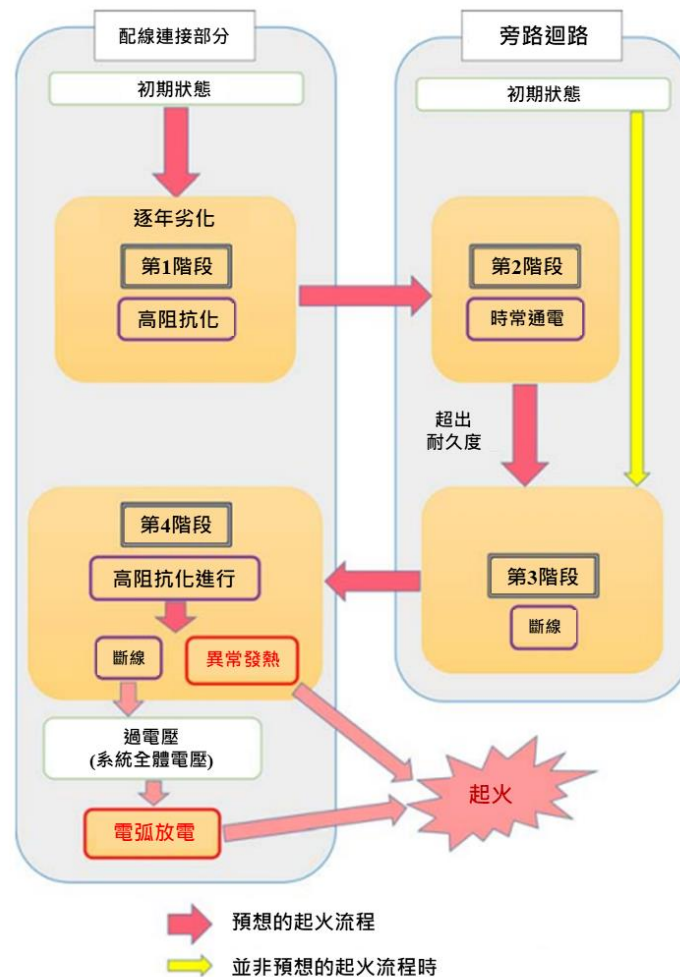


圖5、預想的起火過程

在旁路迴路斷線的狀態下，若配線連接處斷線，則會施加系統全體的電壓在斷線處導致電壓過高、電弧放電的可能性，異常發熱或電弧放電也會導致包覆配線的材料起火，因此定期執行維運檢查不僅達到維持發電效率的目的，更可防範火災。

線路造成的火災有6件維施工不良所致，有不符合電氣設備技術標準的線路在其中，因此造成異常發熱、電弧的狀況發生。此外還有接頭鬆脫導致發熱、動物咬破線皮以致短路等案例，以及所幸在火災發生前發現漏電則先關斷該串列電路的案例。

為避免火災事件的發生，消費者安全調查委員會向消費者廳長建議，需告知太陽

光發電系統擁有者住宅火災的危險性，並且執行相對應的對策與措施，並且需進行「太陽光發電系統的製造業者須執行維運檢查」等相關法則的整備。

三、 日本產業型太陽光發電系統火災案例

日本相較於台灣的風災較少、四季分明，裝設在戶外的與產業用的太陽光發電系統，所幸火災案例不多，變流器裝設在戶外相較住宅用的裝設在家中的通風更良好，天氣亦可調節機器溫度，促進發電效率提升。2018年與2019年，直撲日本的颱風比以往多，傳出 Mega Solar 發電廠起火的案例，影響電力公司供電導致停電的狀況發生。

2018年9月，受到第21號颱風的影響，大阪市住之江區的一處物流廠房屋頂 6.5MW 太陽光發電系統損壞，28,160片模組之中約一半的模組遭吹飛、毀損，模組玻璃表面破損後，內部的封裝材料因不明原因起火，所幸以滅火器撲滅並無釀成大火。



圖6、屋頂型 Mega Solar 損壞狀況[3]

2019年9月9日第15號颱風來襲，位於日本千葉山倉大壩、全日本最大的水上型太陽光電發電廠發生了火災事故，因為強風造成錨碇脫離、浮台捲起，整體一裂為三。數個地方起火並冒出濃煙，約有數十枚太陽能板燃燒，所幸沒有造成人員傷亡。



圖7、全日本最大的水上型太陽光電發電廠發生了火災事故

山倉大壩的表面積約60公頃，其中30%用於浮台式太陽能發電，設置容量為13.7MW，可以供應4,970戶年家庭用電，年發電量為1,617萬度，每年約可減低8,170噸二氧化碳。

根據調查報告所記錄的事發過程，9月9日早上約六點半左右，從位於佐倉市的監控中心與專任電氣技術人員的監控平台發現直流漏電，當時故障點還未知，約七點半左右專任電氣技術人員趕至現場確認太陽電池設備的損壞狀況，隨後停止所有變流器的運作。但在下午一點左右發現太陽模組設備起火，立即通報縣消防指揮中心，約下午兩點開始進行消防滅火作業，下午五點二十分才將火勢撲滅。雖然這個事件沒有造成人員傷害，但山倉大壩水面上的50,904片太陽電池之中，約有77%因風勢被破壞，一部份起火、燒損，損失慘重。

業主京瓷 TCL Solar 合同會社調查整個事故發生原因，提出了失效原因調查報告，敘述事發過程、概觀現場損壞狀況、災後的現場安全措施、損壞要因分析、推測浮台損壞原因，並且針對火災的調查分成起火地點、火災原因、接線箱、滅火方法四個面向，以及結構檢討事項之調查結果報告與事故原因歸納，並且提出避免事故再度發生的防範對策。

調查結果雖然沒有確認到颱風當天的風速，但在設計風速下模擬搖動造成的應力分布、荷重傳遞模擬後發現浮台的內角轉角處的負荷超出基準值，導致轉角處的錨碇脫落，結構接連被破壞，DC 主幹線 PN 間短路釀成火災。

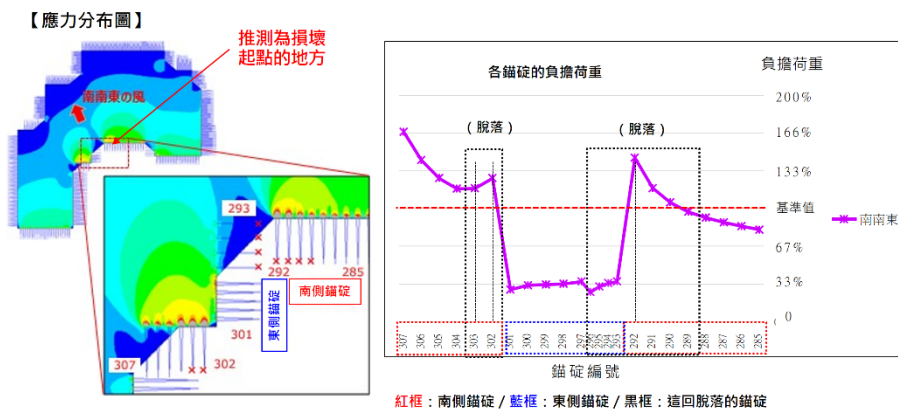


圖8、浮台受到應力集中的模擬分析結果

從浮台受到集中應力產生破壞，發現強風造成搖動讓浮台的南側偏西側內角處產生應力集中的狀況，已超出錨碇的基準負荷值，導致錨碇脫落。調查報告最後也提出防範對策，建議浮台的形狀設計應改成矩形，以避免應力集中。若非得採用複合形狀，也需實施模擬以確保結構可以應付應力集中的狀況。此外，浮台設計需要避免採用大型尺寸，也需要確保錨碇的拉拔強度。

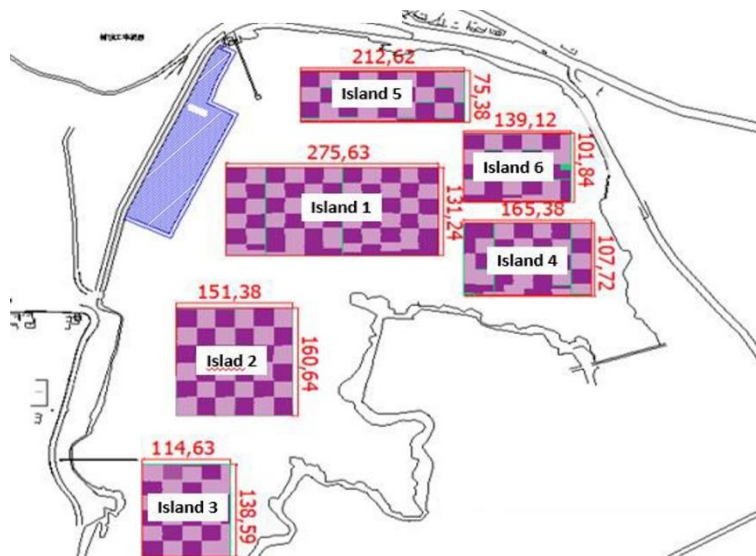


圖9、專家建議浮台的形狀設計改成矩形可以避免應力集中。

此案當時並非出動一般消防車，由於一般消防車的放水距離為20~30m，對此次火災來說不夠遠，因此消防隊出動7台特別款的大型水砲消防車(DHCU)，放水距離可達70~100m，從距離岸邊最近的北側起火處噴射水柱。對起火的太陽能板噴水時，一般因為是棒狀水柱，消防員有感電風險。由於這次放水距離較遠，水柱抵達起火處已成霧狀，降低了感電風險，所幸整個過程沒有人員因此遭到電擊。



圖10、從距離岸邊最近的北側起火處噴射水柱，使用的是大型水砲消防車(DHCU)。

為防備自然災害造成太陽光電案場失效，進而引發停電等狀況，系統建置前需對於太陽光電系統設置場所作災害的安全性風險評估調查。雖然無法完全防範自然災害，但為了降低災害，使用安全性高的設備是非常重要的。此外還需要定期作維運檢查，監控運行中的系統亦是不可忽略的事情。

四、 結論

雖然台灣與日本的氣候與建築文化不同，但仍有許多可參考的地方，例如屋頂平鋪式廠房、農畜舍等，亦需注意線路與模組的問題，日本千葉 Mega Solar 水上型系統失效的案例也可供台灣建立水上型案場時結構安全設計與風險參考。台灣位處亞熱帶，戶外氣溫長年高溫，定期維運檢查以及善用監控系統尤其重要。太陽光電直流安全議題未來將會持續受到關注，希望提供太陽光電相關專業人士作參考，促進相關法規制定，共同維護台灣再生能源的永續發展。

五、参考文献

[1] <https://www.isep.or.jp/archives/library/12541>

[2] 消費者庁 消費者安全調査委員会, “消費者安全法第23条第1項の規定に基づく事故等原因調査報告書-住宅用太陽光発電システムから発生した火災事故等—”, (2019).

https://www.caa.go.jp/policies/council/csic/report/report_012/pdf/report_012_190128_0001.pdf

[3] <https://xtech.nikkei.com/dm/atcl/feature/15/302961/011600103/>

[4] 経済産業省新エネルギー発電設備事故対応・構造強度ワーキンググループ (第19回 、 第20回 、 第21回)

https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohi/denryoku_anzen/newenergy_hat_suden_wg/