

知識物件上傳表

計畫名稱：太陽光電環境建構及產業高值化推動(1/3)

上傳主題：水面型太陽光電發電系統發展與應用

提報機構：經濟部能源局

提報時間：106 年 06 月 09 日

| | |
|--------|---|
| 與計畫相關 | <input checked="" type="checkbox"/> 1.是 <input type="checkbox"/> 2.否 |
| 國別 | <input checked="" type="checkbox"/> 1.國內 <input type="checkbox"/> 2.國外：(註明國家名稱) |
| 能源業務 | <input type="checkbox"/> 1.能源政策(包含政策工具及碳交易、碳稅等) <input type="checkbox"/> 2.石油及瓦斯 <input type="checkbox"/> 3.電力及煤碳(包含電力供應、輸配、煤炭、核能等) <input checked="" type="checkbox"/> 4.新及再生能源 <input type="checkbox"/> 5.節約能源(包含工業、住商、運輸等部門) <input type="checkbox"/> 6.其他 |
| 能源領域 | <input type="checkbox"/> 1.能源總體政策與法規 <input type="checkbox"/> 2.能源安全 <input type="checkbox"/> 3.能源供需 <input type="checkbox"/> 4.能源環境 <input type="checkbox"/> 5.能源價格 <input type="checkbox"/> 6.能源經濟 <input checked="" type="checkbox"/> 7.能源科技 <input checked="" type="checkbox"/> 8.能源產業 <input type="checkbox"/> 9.能源措施 <input type="checkbox"/> 10.能源推廣 <input type="checkbox"/> 11.能源統計 <input type="checkbox"/> 12.國際合作 |
| 決策知識類別 | <input type="checkbox"/> 1.建言 (策略、政策、措施、法規) <input checked="" type="checkbox"/> 2.評析(先進技術或方法、策略、政策、措施、法規) <input type="checkbox"/> 3.標竿及統計數據：技術或方法、產業、市場等趨勢分析 <input type="checkbox"/> 4.其他： |
| 重點摘述 | <p>水面型太陽光電發電系統為一種新的設置技術，此系統設置除了需考量外在環境複雜的變因外，其建置工法更是需多方研究設計。而太陽光電發電設施設置於水面上，相較於屋頂型或地面型有較良好的冷卻效果，根據 2014 年 Solar Energy 文獻提及韓國 K-Water 設置之 100 kWp 水面型太陽光電系統，由其 2012 年 1 月到 12 月之發電量與陸地型太陽光電發電系統相較結果，證實水面型系統發電量較陸地型太陽光電發電系統有高出約(18~19) %的發電量。此外此系統附蓋在水面上，故可以減少水分蒸發、減緩藻類的生長與無開挖導致環境生態破壞等優點。</p> |

一、前言

隨著全球氣候變遷與節能減碳的議題逐漸受到國際重視，再生能源已成為全球科技發展的焦點。然而能源是推動國家發展的原動力，近年能源危機及二氧化碳溫室效應，世界各國莫不致力尋求潔淨之替代能源，在全球高度重視氣候變遷與節能減碳的趨勢中，綠色再生能源儼然成為全球科技發展新潮流。過去以歐洲推展再生能源最不遺餘力，但經過福島核災事變後，各國政府更關注再生能源發展並積極推動，尤其在太陽光電市場更是被關注。而近年來太陽光電系統市場能夠迅速拓展，主要為推出固定費率躉售(Feed-in Tariff, FIT)制度，因而成功地擴大太陽光電系統之接受度。由過去到 2012 太陽光電發電系統全球累計裝置容量剛突破 100 GWp，而到 2015 年卻突破到 229 GWp，由圖 1 即可明顯發現未來全球太陽光電發電系統市場安裝量將是穩健成長，故各國政府為因應此一綠能潮流，均開始投入特殊設置太陽光電系統地點評估與研究。

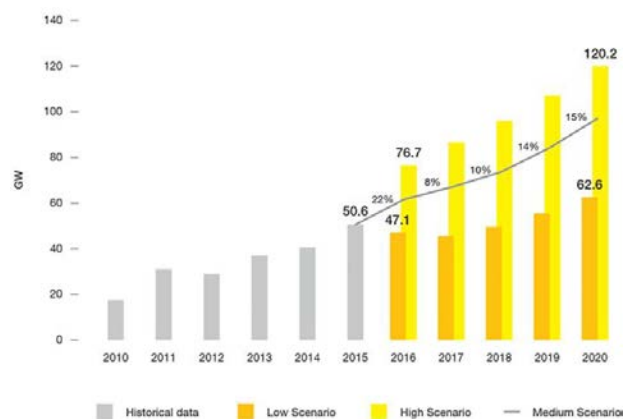


圖 1 未來全球太陽光電發電系統市場安裝量預估

二、臺灣水面型太陽光電發電系統可行性

臺灣地區自產能源匱乏，能源供給高度依賴進口，能源供應之安全與穩定至為重要，而近年來因應全球暖化氣候異常現象，國際間對溫室氣體排放開始嚴加管制，影響國內產業競爭力及增加減碳壓力。因此，如何發展兼顧碳排放與環境保護，發展穩定供應之潔淨能源，在供給面與需求面打造綠能低碳環境，遂成為永續能源政策發展主軸方向之一。然而，臺灣地區因地狹人稠，能源供應吃緊，國內適宜再生能源發展之土地有限，而太陽光普遍存在於我們的日常生活中，是人類到目前為止最可以廣泛利用、容易取得，且不會污染環境的大自然能量。惟發展太陽能光電，除了需陽光充足外，更需大量面積，臺灣湖庫等水資源設施，具有占地範圍廣闊特性，應有發展太陽能光電潛能，且此技術國外已有多起成功案例，裝置容量從數百 kW 至數 MW 不等。

2.1 政策與法規

2016 年臺灣政府推動非核家園，規劃 2025 年太陽光電設置目標量達 20

GWp，而行政院為達成所設定目標，成立「能源及減碳辦公室」，並擬定「太陽光電 2 年推動計畫」，於民國 105 年 9 月 1 日推動實施，預定在二年內達成 1,520 MWp 之首波設置目標量。而根據經濟部能源局再生能源裝(設)置容量統計，自民國 89 年至 106 年 3 月止，太陽光電系統總裝(設)置已達 1,246 千瓩，故考量未來太陽光電發電系統裝設量將更大幅成長，故急需投入特殊地面型或水面型太陽光電系統設置研究與評估。

為此經濟部能源局自民國 105 年起特別研擬相關推動策略，並於民國 106 年開始，設制太陽光電發電系統於水面上其躉售電價如表 1 所示，即 1 kWp 以上之水面型太陽光電發電系統，其躉售費率為 4.9403，若已 500 kWp 之系統其費率最高，約比屋頂型費率高出 10.74 %，也比地面型費率高 7.97 %。

表 1 106 年度太陽光電發電設備電能躉購費率預告

| 106年度太陽光電發電設備電能躉購費率 | | | |
|---------------------|---------------|------------------|------------------|
| 分類 | 裝置容量 級距(瓩) | 第一期 上限費率(元/度) | 第二期 上限費率(元/度) |
| 屋頂型 | ≥1~<20 | 6.1033 | 6.1033 |
| | ≥20~<100 | 4.9772 | 4.9772 |
| | ≥100~<500 | 4.5388 | 4.5388 |
| | ≥500以上 | 4.4098 | 4.4098 |
| 地面型 | ≥1以上 | 4.5467 | 4.5467 |
| 水面型 (浮力式) | ≥1以上 | 4.9403 | 4.9403 |

2.2 臺灣湖庫調研

根據經濟部水利署 102 年水庫或壩堰營運概況統計資料，臺灣地區營運中之公告水庫共 102 座，其中北區合計 17 座、中區合計 21 座、南區合計 27 座、東區合計 8 座、離島地區合計 29 座。另根據 99 年經濟部水利署蓄水設施營運統計，主要水庫計有 40 座，重要水庫為 17 座。在設置太陽光電發電系統於水庫上，除了需考量日照條件外，也需針對其地理環境、營運概況、水質、水位變化與可設置面積進行檢討，已下將針對此些條件進行分析。

全國 102 座水庫（含攔河堰、壩、蓄水塘）營運概況，目前國內各主要水庫中有 34 座管理單位為水利署，主要用途為灌溉、給水、發電及防洪；22 座管理單位為自來水公司，主要用途為公共給水；24 座管理單位為臺灣電力公司，主要用途為水力發電；12 座管理單位為農田水利會，主要用途為農業灌溉；另有 9 座管理單位則為地方政府或臺糖，主要用途為公共給水或工業用水(如圖 2 所示)。

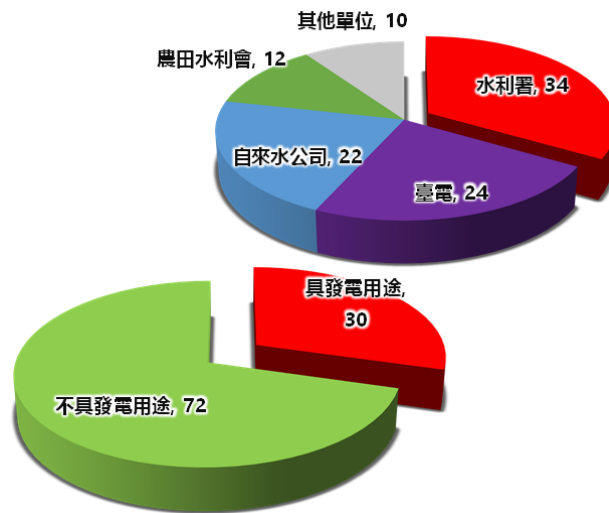


圖 2 全國水庫管理單位分佈

水質部分牽涉到對系統長期可靠度影響或設置系統對生態之影響，故目前國內判斷水庫水質優養化程度，係透過檢驗水體透明度、葉綠素 a 與總磷，三項，換算各項卡爾森指數（Carlson trophic state index, CTSI）後判斷水質優養化程度。指數不足 40 為貧養；指數小於等於 40 大於等於 50 為普養；指數超過 50 者為優養。參考行政院環境保護署「102 年河川水庫底泥污染傳輸模式應用及研析計畫」內容，彙整環保署針對 25 座主要水庫民國 92 年至 103 年間定期檢測水質資料。28 座主要水庫中，水質屬優養程度者分別為石門、大埔、寶山、寶山第二、明德、白河、鏡面、阿公店、鳳山及澄清湖水庫，總計 10 座；屬貧養程度者為日月潭水庫乙座；其餘 14 座水庫皆為普養程度。其中鳳山水庫為優養化最嚴重水庫，卡爾森指數值為 73.8；其次依序為大埔水庫，卡爾森指數為 58.3；阿公店水庫，卡爾森指數為 58.2。

而另一個水面型評估重點，即在水、波、流等三項係數計算，但在臺灣主要需考量是在水位的變化，主要是防範枯水期後是否會導致設置系統陷於泥沼而無法浮起，故針對水利署防災資訊，統計 105 年 16 座水庫水位歷線中，水位變化差異最小為阿公店水庫，高低差約 6 m；水位變化差異最大為曾文水庫，高低差約 32.5 m。

三、水面型太陽光電發電系統設置介紹

因地球暖化日亦嚴重導致全球氣溫上升，現許多國家都有面臨缺水乾旱危機，水資源亦列為重要的環保因素之一。在美國加州、日本與澳洲等地的乾旱地區，因天氣酷熱乾燥且與降雨量偏少，造成乾旱缺水，如何增加水源以及減少水源的流失變成重要的議題。如今太陽能面板技術的興起，這些乾旱區域恰巧是日射量充足且氣候乾燥穩定，十分適合成為太陽能發電區。另外，水面型太陽光電發電設施設置於水面，相較於屋頂型或地面型有較良好的冷卻效果，根據 2014 年 Solar Energy 文獻提及韓國 K-Water 設置之 100 kWp 水面型太陽光電發電系統，由其 2012 年 1 月到 12 月之發電量與陸地型太陽光電發電系統相較結果，證實水面型系統發電量較陸地型系統有高出約(18~19)%的發電量，另外還減少 90 % 的水分蒸發，且包含其他效益如太陽能模組

遮擋減緩藻類的生長、無開挖導致環境生態破壞等優點。儘管太陽能發電占全球發電比例不到 1%，Infratech 預期在全球氣溫上升之際，此水面型太陽光電發電系統新工法將越來越盛行。

3.1 設置條件評估

水面型太陽光電發電系統因不同的水面類型有不同的特性及特別需考量的因素，如水位(深度)變化、漂流木、淤積、沉泥、水生動植物、波浪與波動、洪水氾濫、枯水現象、漲退潮、行船、養殖、腐蝕性、溼氣、維護性等都是需考量的因素，雖不是每一種水面類型都有這些問題，但或多或少都有幾項可能會碰到的問題，因此在水面上設置太陽光電發電系統必須針對所設置的水面類型與場域，進行該水域的資訊蒐集與問題分析，並作適當的設置方法評估與設計。

故在選擇設置場址時，即需考慮外部及內部方面，外部指的是設置水庫或湖泊是否有漂流木、亦或是水位長期落差很大、或是有泥沙淤積、或是水波動造成系統碰撞等問題。內部指的是設施本身需要考量的因子，例如水面蒸發的濕氣易滲入模組造成腐蝕、短路、脫膠的問題或金屬支撐架腐蝕、線路或元件接點腐蝕問題等。下圖 3 為選擇設置於湖庫之太陽光電發電系統，其前期場址評估之作業流程，其中主要包含場址之發電效益評估與水域自然環境現況調查及人文活動衝突研議等。

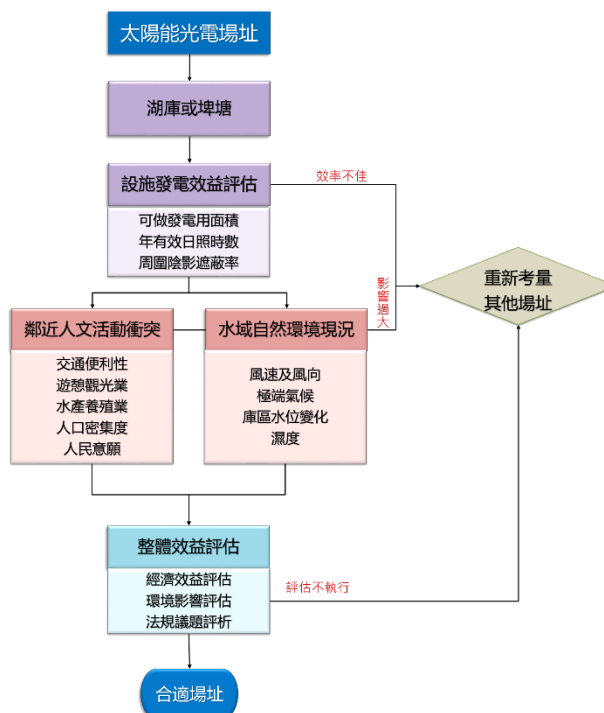


圖 3 系統建置前期場址評估之作業流程

3.2 設置工法介紹

在水面上設置太陽光電設施，支撐構架台可採用固定式與浮動式二種方式，若水面的類型屬於深度淺，且水位落差變化大，有時水位驟升，但有時甚至

可能乾枯並有泥沙淤積者，則可考慮採用打預鑄混凝土基樁的固定式方式，將基樁打入水面下的堅實地層；反之若水很深(例如水庫、湖泊等)，就不適合採用固定式基樁，而較適合以浮動型方式設置。另外要考慮的是在湖庫的二側大都是斜面式邊坡，若水位落差變化大，當水位降低時，浮動式平台若太靠近二側邊坡，有可能造成整體架台傾斜，而產生扭曲變形；或是湖庫底部充滿厚厚淤泥的情況，浮動式平台若隨水位降低而逐漸下沉，若陷入淤泥內就很難可以再隨水位上升而浮起，整個系統就會被水淹沒覆蓋造成損壞，這是浮動式系統設置時須考慮的最糟糕(Worst case)情況。

另外當颱風或強烈陣風襲擊時，固定式系統要考量的是整體結構(含基樁、支撐構架及太陽能模組之連結固定)的穩固性，這與在地面上設置 PV 系統並沒有太大差異，但另需要考慮強風造成的水浪、水花、波動、高速水流、漂流物等所產生的外力與撞擊力，將比地面型系統更嚴峻許多，故設計上要將上述之因素納入安全設計考量。

若是採用浮動式系統，在設計上的考量就更多了，必須考量當颱風或強烈陣風襲擊時，二岸固定的纜索或錨碇纜索所承受的風、水、波、流之反覆外力負載，浮台構造亦同樣會受到這些強大的外力襲擊。在錨碇結構(Mooring system)是浮動式系統常見的工法，其係將某結構物固定或限制其活動於允許安全範圍內之結構，水上的錨碇結構比起陸地上之錨碇結構來得複雜，需要考慮耐風影響、水深限制、微生物附著及腐蝕問題等。常見的錨碇方式是以纜繩方式拉住固定物通常分為緊拉式或懸垂式兩種方式如圖 4 所示。

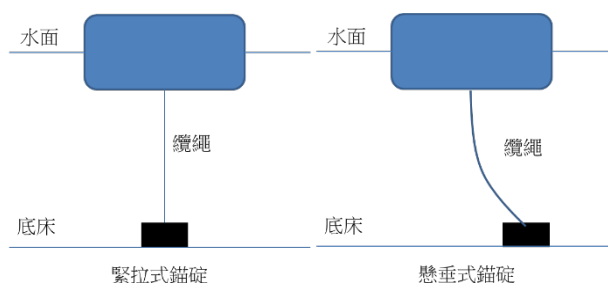


圖 4 浮動式系統錨碇方式示意圖

另外，水面型太陽光電發電系統主要結構(如圖 5 所示)，分別有浮台(floating platform)、支撐架結構(Supporting structure)、錨固系統(mooring system)、水底電纜(underwater cable)與太陽電系統(PV system)等五大類。各主要關鍵結構分別說明如下：

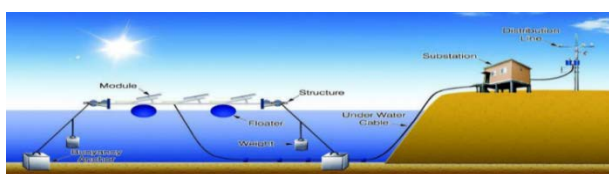


圖 5 水面型太陽光電發電系統示意圖[7]

3.2.1 浮台

浮台主要為提供系統穩定浮力為主要功能，市面上目前採用的浮台材質有 Medium Density Polyethylene(MPDE：中密度聚乙烯)或 High Density Polyethylene(HDPE：高密度聚乙烯)，依據不同施工與安裝方式設計，每座浮台可乘載 (1~10) 片，支撐架與太陽能模組結合部分，一般採用扣件(如圖 6 所示)方式來進行組裝，每座浮台於安裝後還可進行串接，可形成一座巨大的水面陣列。

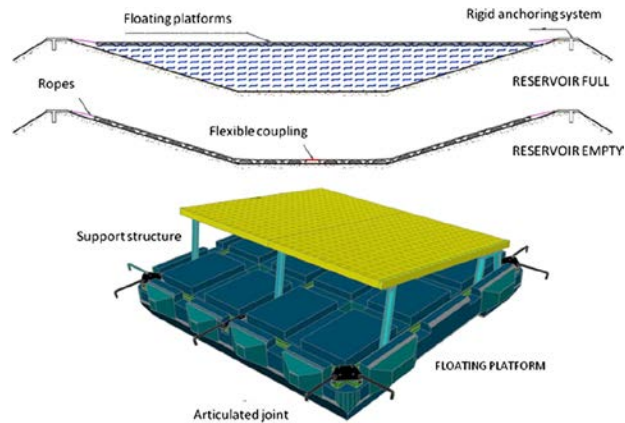


圖 6 水面型太陽光電發電系統結構示意圖[6]

3.2.2 支撐架結構

支撐架結構主要功能為支撐與固定太陽能模組，並且傳導風壓受力於太陽能模組上之力，以及承受浮台至錨固系統之間張力，一般市面常見有採用 UF cold-formed metal frames、FRP、鍍鋅鋼構、鋁鎂鋅鋼構或 CF cold-formed metal frames 等。固定水面系統繩索(Flexible couplings)的材質一般選用合成橡膠(rubber)或 MPDE 帶子(MPED straps)，繩索需能滿足水庫或蓄水池滿水位與最低水位的長度，如此才能讓水面型太陽光電發電系統能在各水位上保持與岸邊的距離。

3.2.3 各原件材料選用

因水面型太陽光電發電系統設置於水面上，在所有元件上材料的設計，都需考慮環境條件上的要求。於太陽能模組材料設計，除符合認證需求外，首要考慮的是太陽能模組於四周的耐候性，選用 EVA 材料應考慮防塵、防水、耐候與抗電致衰減(Potential Induced Degradation 簡稱 PID)等。另外太陽能模組設置於水面上，附近的飽和水蒸氣較高，再加上日射量充足時，易在此環境條件下讓耐候性差、漏電流較大或太陽能電池不抗 PID 的太陽能模組形成 PID(如圖 7 所示)，導致整體發電量下降；接線盒(如圖 8 所示)與背板同屬高分子聚合物，因兩者皆位於太陽能模組的背面，且水面易反射紫外線，導致高分子聚合物易暴露在紫外線中，在材質上需考量不吸收紫外線，以防止因紫外線而加速老化接線盒與背板，在封裝技術與品質至少需達防塵防水 IP65 等級以上，且材質需能耐熱、防濕與抗紫外線；對接地螺絲組(如圖 5 所示)與接地線的要求，盡量選擇電位接近太陽能模組的鋁框電位，如電位差太大且在高濕環境下，異金屬接觸在此環境下容易加速電位腐蝕效應，且接地裝

置安裝完成後，應阻隔金屬端與空氣的接觸，以降低減緩電位腐蝕的效應。

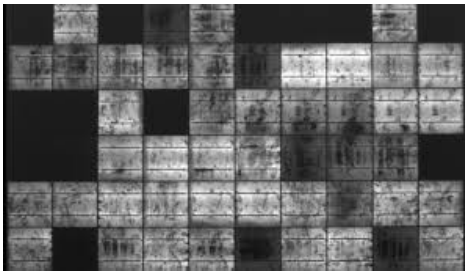


圖 7 太陽能面板形成 PID 現象[9]



圖 8 太陽能接線盒[10]

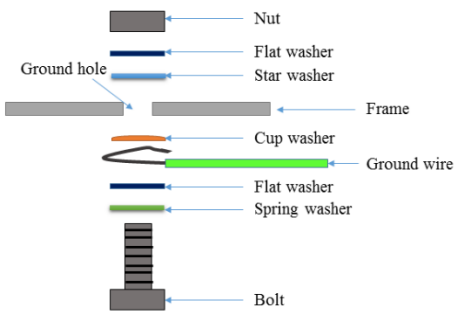


圖 9 接地螺絲組示意圖

由於水面型太陽能光電設施比一般陸地型太陽能光電設施有較嚴苛的環境條件，因此在特殊的耐候性需求上應特別作要求。以下是南韓 LS 公司對於水面型太陽光電發電系統提出的額外要求項目，可作為國內設置時模組的性能要求參考。

表 2 南韓 LS 公司對於水面型系統額外要求項目

| 項目 | 水面型太陽能光電設施 | 陸地型太陽能光電設施 |
|--------|---------------------------|------------------------------------|
| 濕度 | 高 | 正常 |
| 絕緣強度 | >50MΩ | >40MΩ |
| 滲漏電 | >50MΩ | >40MΩ |
| 模組防水等級 | IP66 | IP64 |
| 模組防水 | 2.8% power losses(92% RH) | 5.0% power losses(85% RH IEC61215) |

四、水面型太陽光電發電系統案例介紹

英國早在 2011 年，英國設計師 Phil Pauley 就建置水面式太陽能電池(如圖 10 所示)，不同於現在的水面型太陽光電發電系統，它是一種水面在海面上的網狀太陽能電池陣列，藉由串併聯將電池連接在一起，型成一個龐大的網絡狀結構，利用浮力船在水面上水面，同時還可蒐集海波資訊。

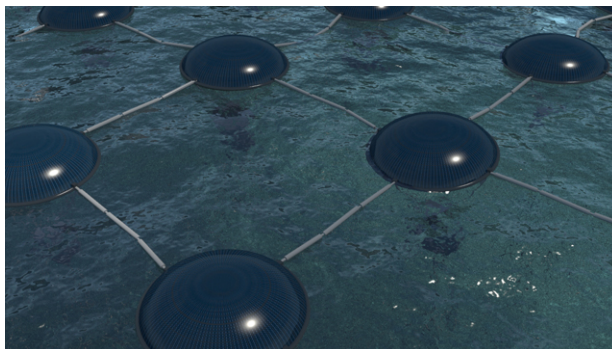


圖 10 英國水面式太陽能電池系統[8]

2014 年英國第一座水面型太陽光電發電系統(如圖 11 所示)在 Berkshire 的 Sheeplands Farms 內，總裝置容量為 200 kWp，由 800 片太陽能模組(模組規格為 1.6 m x 1 m)組成，總共花費 25 萬英鎊(約台幣 1,000 萬)建置費用，Sheeplands Farmsy 在未來 20 年中，每年不但可獲得政府 20500 英鎊的補貼，而且還發電自用省下 2.4 萬英鎊的電費。



圖 11 Sheeplands Farms 建置的水面型太陽光電發電系統[12]

美國 SPG solar 在 2007 年於 California 的 Far Niente Winery 葡萄園酒廠之灌溉用池塘建置了 400 kWp 水面型太陽光電發電系統(如圖 12 所示)，採用 Floatovoltaic™專利技術將系統佈建在內陸的湖泊上，用以挽救在陸地上設置太陽光電系統被犧牲掉的葡萄園土地；四年後該公司又於 Sonoma 的一座灌溉池塘上，建置規模 12.5 MWp 的水面型太陽光電發電系統(如圖 13 所示)，於 2016 年並網運轉。



圖 12 Far Niente Winery 水面型太陽光電發電系統[14]



圖 13 Sonoma 水面型太陽光電發電系統[13]

澳洲於 2015 年在 Jamestown 的污水處理廠，建置了 4 MWp 規模的水面型太陽光電發電系統(如圖 14 所示)，所產生的電力提供污水廠設備與附近企業使用。



圖 14 Jamestown 水面型太陽光電發電系統[11]

日本過去幾年已經完成了許多 MW 級的水面型太陽光電發電系統，相當多的應用是採用法國 Ciellet Terre International 公司的系統，其中包含位於兵庫縣佳東市的 Nishihira 水庫完成 1.7 MW 系統(如圖 15 所示)。另根據 105 年 1 月 PV magazine 報導，日本已經開始著手在 Yamakura Dam reservoir 建置一座 13.7 MW 超大水面型太陽光電發電系統，預計於 107 年建置完成(如圖 16 所示)。



圖 15 Nishihira 水面型太陽光電發電系統[15]

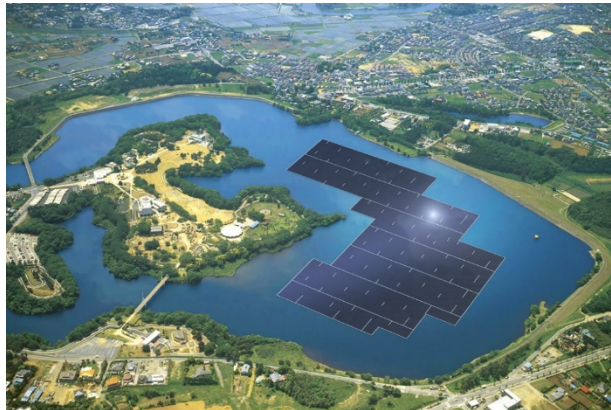


圖 16 Yamakura Dam Reservoir 水面型太陽光電發電系統[16]

五、結論

隨著全球暖化導致全球平均氣溫逐年升高與氣候異常，大自然的保護已列為全世界目前首要的工作項目，如何落實節能減碳以及自然資源的保護，已是刻不容緩的重要議題；同時可滿足節能減碳且保護水資源，非水面型水上系統為優先考量，不僅提供附近使用電力，更達到節能減碳的目的，同時因覆蓋於水資源上，還可以減少水分蒸發與減緩藻類的生長，如今許多國家逐漸重視水資源的保護，採用水面型太陽光電發電系統建置於水庫上，以蔚為潮流。

參考文獻

1. Michael Schmela, Executive Advisor and SolarPower Europe , "Global Market Outlook For Solar Power / 2016-2020", SolarPower Europe, 2016.
2. IEC TS 62804-1 ed.1.0, "Photovoltaic (PV) modules - Test methods for the detection of potential-induced degradation - Part 1: Crystalline silicon", International Electrotechnical Commission (2015)
3. IEC 60529 ed.2.2, "Degrees of protection provided by enclosures (IP Code) CONSOLIDATED EDITION" , International Electrotechnical Commission (2013)
4. P.J.Aylott, "stray current is for life - not just for Christmas", The Institution of Electrical Engineers Rev.4 , London , 1999.04.
5. Floating Photovoltaic Cover System. Patent Publication Number: WO / 2010 / 100291.
6. Miguel Redón Santafé, Pablo S. Ferrer Gisbert, Francisco Javier Sánchez Romero, Juan Bautista Torregrosa Soler, José Javier Ferrán Gozálviz, and Carlos M. Ferrer Gisbert "Implementation of a photovoltaic floating cover for irrigation reservoirs",

| | |
|-----|---|
| | International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 66,pp. 568-570, 2014. |
| 7. | Young-Kwan Choia, Nam-Hyung Leea, An-Kyu Leea, Kern-Joong Kimb” A study on major design elements of tracking-type floating photovoltaic systems” , International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 3,pp. 70-74, 2014. |
| 8. | https://cleantechnica.com/2011/11/01/floating-marine-solar-wave-power-system-generates-electricity-from-the-sun-and-waves/ |
| 9. | https://www.linkedin.com/pulse/pid-lid-devastating-fenemenons-pv-plants-hugo-silva |
| 10. | http://m.scs-college.com/image/3161027561/ |
| 11. | https://cleantechnica.com/2015/12/07/australian-made-floating-solar-technology-headed-to-california/ |
| 12. | http://www.alternative-energies.net/sheeplands-farm-is-the-first-uk-farm-that-uses-a-floating-solar-system/ |
| 13. | http://www.businesswire.com/news/home/20080529005803/en/SPG-Solar-TTI-Join-Niente-Winery-Unveiling |
| 14. | http://www.altenerg.com/back_issues/index.php-content_id=84.htm |
| 15. | http://www.ciel-et-terre.net/kyocera-tcl-completes-work-on-floating-mega-solar-plants/ |
| 16. | http://global.kyocera.com/news/2016/0102_knds.html |

- 註：1.請計畫執行單位上傳提供較具策略性的知識物件，不限計畫執行有關內容。
2.請計畫執行單位每季更新與上傳一次，另有新增政策建議可隨時上傳。
3.文字精要具體，量化數據盡量輔以圖表說明。