

## 太陽光電發展現況與台灣大規模應用推動策略建議

蘇美惠 博士

東華大學能源科技中心研究員、台灣能資源永續與低碳經濟學會秘書長

2015 年全球再生能源發電設施(含水力發電)新增裝置容量達 1,849GW，與前一年相較之增量達 147GW 為歷年最高，且再生能源電力(包含水力發電)占全球發電量比例已達 23.7% (REN21, 2016)。既使在近幾年，全球景氣低迷，油價於低檔徘徊，但根據彭博新能源金融(Bloomberg New Energy Finance, BNEF) 2016 年統計，全球對於潔淨能源的新增投資額逐年增加，至 2015 年更創歷史新高達到 3,290 億美元，較 2014 年增加 4%；相較於跟著油價一起受到衝擊的傳統能源產業，再生能源的投資額在 2015 年反而逆勢成長。在各項再生能源(不含水力發電)中，以風力發電和太陽光電的裝置量佔總體再生能源裝置量最高；若從新增投資額來看(表 1)，2015 年以太陽光電新增投資達 1,610 億美元居冠，年成長率達 12% (BNEF, 2016)。

表 1、2015 年全球再生能源新增投資額概況

再生能源	投資額(億美元)	年成長率
太陽光電	1,610	12%
風電	1,100	4%
生質能與廢棄物發電	60	-29%
小水力	40	-42%
生質燃料	30	-35%
地熱	20	-23%
海洋能	2	-42%

資料來源：BNEF(2016), Global trends in renewable energy investment 2016.

為落實達成減碳目標，邁向低碳社會，我國政府也將綠能科技產業列為五大創新產業做為主要推動政策計畫之一，全力發展低碳綠能的再生能源，規劃於 2025 年再生能源發電占比要達 20%；除了水力發電外，我國亦以太陽光電和風力發電應用扮演最重要角色。行政院並於 2016 年 6 月成立「能源及減碳辦公室」，協助經濟部完成「太陽光電二年推動計畫」，以加速我國太陽光電發電量，至 2018 年 6 月二年內達到 1.52GW 新增設置量為短程目標，為 2025 年達成太陽光電累計裝置量達 20GW 設置目標鋪路。

然而，至 2016 年 10 月底我國太陽光電裝置量僅 1,016.3MW，如何在短期或中期達成大量的裝置應用，在實務面仍有許多瓶頸待突破。因此，本文將從全球太陽光電發展應用現況介紹，再說明目前我國對於太陽光電政策推動方向，最後針對我國太陽光電中期發展目標可能出現的推動瓶頸，及可行因應策略提出建議方向。

## 一、全球太陽光電發展應用現況

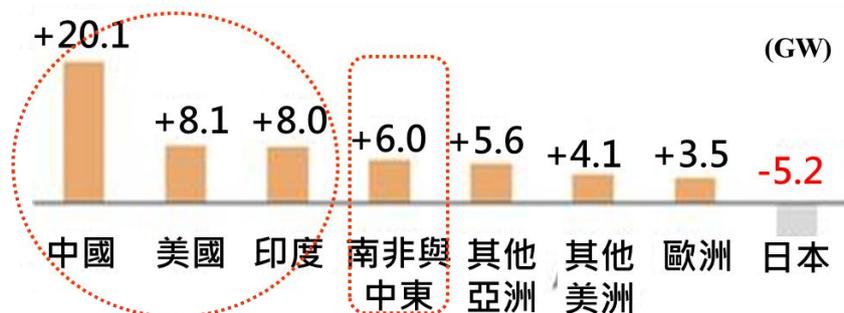
太陽光電的應用，在近年來發展快速，2000 年~2015 年全球太陽光電裝置量的年平均成長率高達 41%，至 2015 年底全球累計裝置量已經到達約 242GW (Fraunhofer ISE, 2016)。在 2015 年全球太陽光電市場有幾個亮點，首先中國大陸仍維持全球最大的市場，其次全球已經有 23 個國家累計裝置量達 1GW 以上，在新增裝置量部分全球至少也已經有 7 個國家達 1GW 以上。

在這樣的發展態勢下，全球目前約有 1.3% 電力是由太陽光電所供應；其中義大利太陽光電電力的占比更高達 8.0%，而希臘與德國也分別高達 7% 以上。亞洲則以日本發展最為快速，太陽光電電力的占比達 3.9%；中國大陸、韓國與印度則未超過 1%。若從人均裝置量來看，在德國平均每個人就裝置了 491W 太陽光電系統，居全球之冠(Fraunhofer ISE, 2016)。

若從累計至 2015 年的裝置量來分析，全球太陽光電的裝置區域別仍以歐洲為主；但若從國家別來看，主要的裝置以中國大陸、德國、日本、北美、義大利為主。在新增裝置量部分，2015 年全球太陽光電裝置量約 57GW，年成長率 28%；預估 2016 年還會再成長達 64.7GW，但受政府政策支持縮減影響年成長率將衰退至只有 13%，中、美、印市場將維持高速成長，日本和歐洲則保持穩定發展，新興市場(如非洲)呈現逐步成長態勢。

全球太陽光電的發展，在 2014 年以前以歐洲市場需求為主，但 2014 年後則以亞太地區為重點，中國與日本市場為主力，印度、澳洲等為輔，整體亞太地區需求就占全球五成以上。根據德國研究機構 Apricum(2015)分析 2015 年全球太陽光電新增裝置量約 54GW，預測 2020 年全球年新增裝置量可達約 92GW，與 2014 年相較將有 38GW 增長空間，其中中、美、印市場在這期間之增幅合計將增加 36GW，將近佔全球增幅 50%。至 2020 年預估將以中東與非洲市場增長速度最高，歐美地區發展則與景氣復甦密切相關；日本則因近年來大量佈建地面型電廠，使得電網系統因大量不穩定再生能源併網而受到衝擊，2014 年出現電力公司暫停接受 10kW 以上的太陽光電設備併入其電網(REN21, 2015)，而增加日本市場中期發展的不確定性。中東與非洲市場驅動力，主要是來自中東國家對能源

多元化發展，以促進產業轉型與降低石油風險，以及歐洲模組系統業者可以地鄰之便，快速在此地區發展，再加上 2015 年聯合國氣候變化綱要公約 COP21 對於落後國家減碳技術運用的扶持，都將使中東及非洲市場在中期快速成長。



資料來源：Apricum(2015)；本研究整理。

圖 1、2020 年全球太陽光電新增裝置量市場預測

根據歐洲太陽光電協會(2015)分析，2014 年全球太陽光電市場滲透率約僅 1%，然而推估至 2019 年全球累計裝置量可達 540GW。雖然至 2014 年以歐洲地區的累計裝置量較高達 89GW，市場滲透率約 3.5%，預計至 2019 年歐洲地區累計裝置量約 158GW，市場成長率約 43.7%。但在印度與南非市場，2014 年的累計裝置量僅 3GW 與 0.9GW，市場滲透率小於 1%，但預計至 2019 年累計裝置量可分別擴大至 54GW 與 4GW，市場成長率分別約 18 倍與 4.9 倍，為極具吸引力的市場。

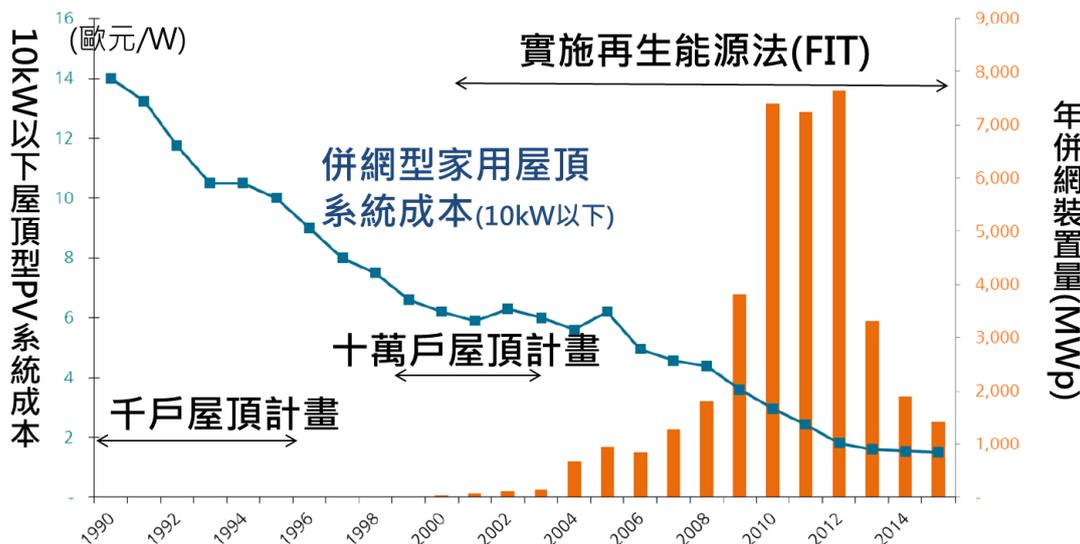
在應用的技術部分，2015 年全球太陽光電模組產量約 57GWp，其中矽晶技術占全球太陽光電模組產量 93%，薄膜太陽光電僅占 7%。隨著太陽光電技術與成本下降進步，在矽晶太陽光電逐漸以多晶矽技術為主流，2015 年多晶矽太陽光電模組產量達 43.9GW，其市場佔有率已達全球產量 69% (Fraunhofer ISE, 2016)。在薄膜太陽光電技術的發展部分，又以 Cd-Te(碲化鎘)技術為近年薄膜太陽光電主流。

至於聚光型太陽光電部分，隨著大電廠發展趨勢，市場在各區域開始興起；2006 年全球第一座超過 1 MW 的聚光型太陽光電電廠專案出現在西班牙後，聚光型太陽光電產業快速成長，2010 年開始建置的專案規模幾乎都以 MW 等級為主，在生產規模擴大，促進系統成本較初期降低下，包含中國、美國、西班牙、葡萄牙、希臘以及澳大利亞，都有聚光型太陽光電示範項目建置。2012 年聚光型太陽光電新增裝置量達近年最高，超過 125MW；然而，在聚光型太陽光電在成本仍然偏高、重量和厚度仍需進一步下降下，市場規模相對仍然較小，現階段目

前僅應用在人造衛星，或建置示範型專案；至 2014 年市場規模約 70 MW，2015 年裝置量大幅縮減，新增裝置量預估約 17MW (Fraunhofer ISE, 2016)。

從成本角度來看，Fraunhofer ISE(2016)報告指出，依據過去 34 年太陽光電發展經驗，當太陽光電模組累計生產量倍增時，模組價格將可下降 20%。以 2015 年來看，全球太陽光電模組累計生產量已達約 242GW，模組價格下降至每瓦約 0.7 歐元。

以全球太陽光電應用最為成熟的德國為例，德國對於太陽光電推動策略，是從屋頂型開始推動，1990 年開始推動千戶屋頂計畫，1999 年開始進入十萬屋頂計畫，2000 年實施收購電價政策。從圖 2 可以發現，整體裝置量在實施收購電價政策後，快速增加。隨著政策對於屋頂家用型太陽光電補貼政策，併網型家用屋頂系統設置成本快速下降。



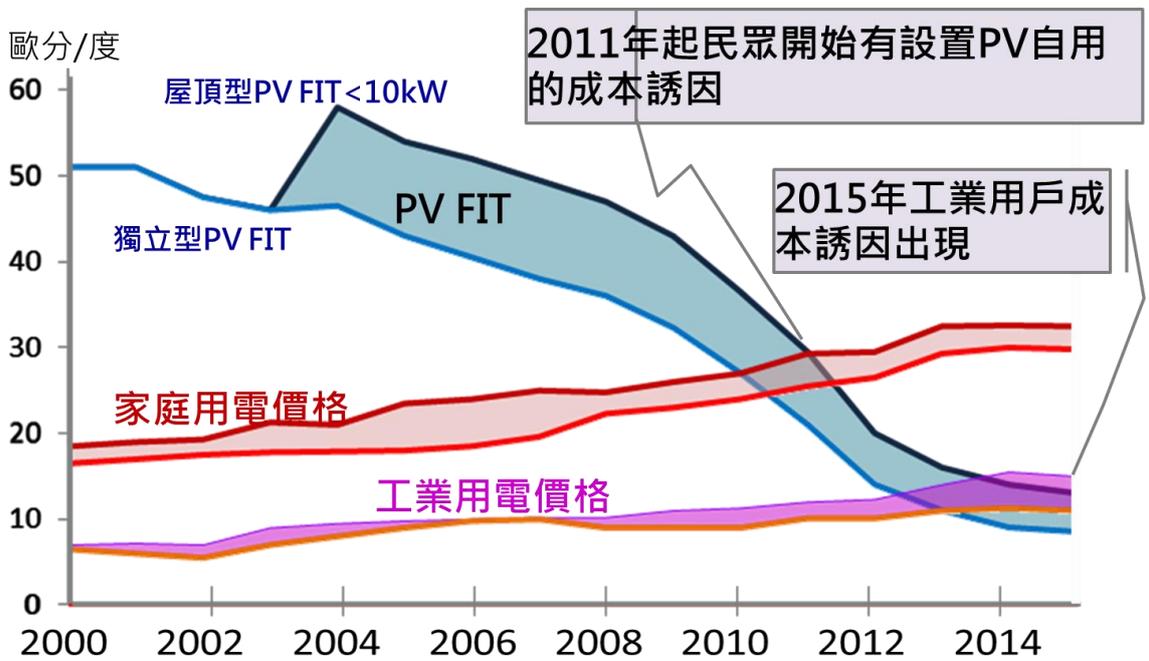
資料來源：Fraunhofer ISE(2016)；本研究整理。

圖 2、德國太陽光電市場滲透策略與系統成本變化

而隨著德國太陽光電市場快速滲透，累計裝置量大幅提升，德國太陽光電系統價格隨之明顯降低。2015 年德國 10kWp~100kWp 屋頂型太陽光電系統價格每 kW 約 1,270 歐元，其中模組佔 48%，周邊系統佔 52%。與 1990 年推動初期相較，系統價格平均每年下降 9%；其中模組成本下降比例最高，從 2006 年佔系統成本 69%下降至 2015 年 48%。

隨著太陽光電累計裝置量快速增加，均化發電成本也隨之大幅下降。而收購電價反映著均化發電成本的變化；德國太陽光電的收購電價(FIT)在 2011 年開始低於家庭用電價格，表示民眾設置太陽光電自用成本已低於向電力公司購電的

成本，家用太陽光電成本已達成本競爭力。到了 2015 年，太陽光電收購電價也已經與工業用電的電價相當，表示工業用戶設置太陽光電自用，亦已具備成本誘因(圖 3)。因此，太陽光電要能在市場大規模應用，透過政策引導在市場推展初期給予經濟性支持，加速大規模設置、降低學習曲線，使得發電成本得以達到市電同價，則政策工具即可逐步退場。

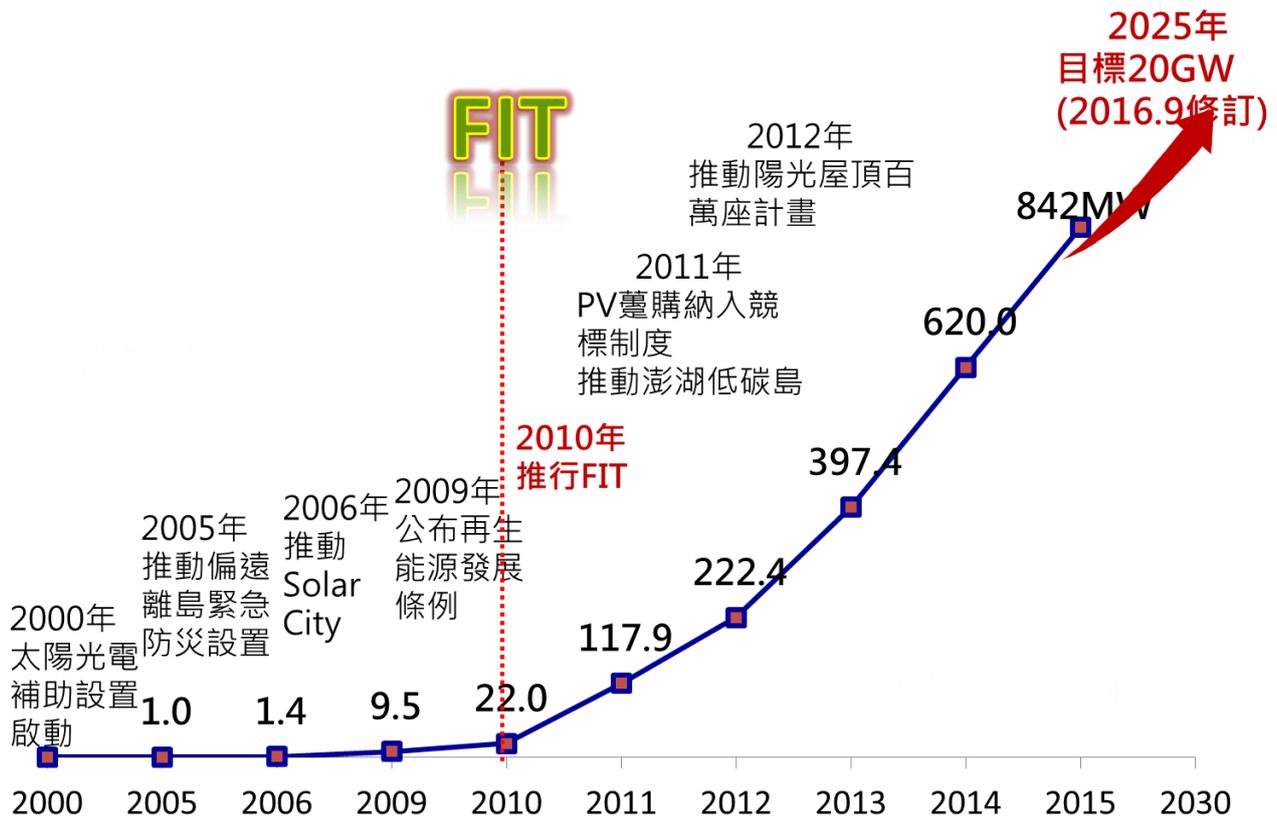


資料來源：Fraunhofer ISE(2016)；本研究整理。

圖 3、德國太陽光電成本與市電成本競爭力比較

## 二、我國太陽光電推動政策規劃

我國太陽光電政策起始於 2000 年推動太陽光電補助設置，對於政府機關設置提供全額補助，一般民眾設置則提供最高 50% 補助；2005 年開始推動偏遠離島緊急防災設置，對於偏遠離島地區設置太陽光電系統給予 35 萬元/kWp 補助、防災用途 40 萬元/kWp 補助；2006 年開始推動 Solar City；但這些推動政策對於太陽光電的裝置量都未能有效提升。直到 2009 年再生能源發展條例公告，2010 年正式推動躉購費率後，裝置量才開始明顯快速上升。2012 年推動陽光屋頂百萬座計畫，作為達成再生能源擴大推廣主要策略，至 2015 年累計裝置量達 842MW(圖 4)。



資料來源：本研究整理。

圖 4、我國太陽光電推動歷程

2015 年 7 月政府核定再生能源發展計畫，擴大再生能源累計裝置量目標，至 2030 年再生能源總裝置量將達 17.25GW，佔我國電力系統 30.7%；將原訂 2030 年完成 6.2GW 太陽光電設置目標提前至 2025 年完成，至 2030 年太陽光電設置累計將達 8.7GW。2016 年新政府上台後，積極推動非核家園、發展替代能源，規劃 2025 年三座核能電廠將如期除役；2016 年 9 月行政院提出「太陽光電二年推動計畫」(表 2)，預計於 2016 年 7 月至 2018 年 6 月間，完成屋頂型太陽光電目標量 910MW、地面型太陽光電 610MW，共計新增裝置量達 1,520MW；並將推動地面型大規模開發，至 2020 年提升至 6.5GW，以達 2025 年太陽光電累計設置量達 20GW 目標，其中屋頂型達 3GW、地面型 17GW。

表 2、我國太陽光電二年推動計畫

類型	項目	2016.07~2017.06 目標量(MW)	2017.07~2018.06 目標量(MW)
屋頂型	中央公有屋頂	30	30
	工廠屋頂	60	100
	農業設施	200	250

類型	項目	2016.07~2017.06 目標量(MW)	2017.07~2018.06 目標量(MW)
	其它屋頂(住家、商用、縣市公有屋頂等)	120	120
	<b>小計</b>	<b>410</b>	<b>500</b>
地面型	鹽業用地	100	130
	嚴重地層下陷區域	80	120
	水庫、滯洪池、埤塘、魚塭	50	100
	掩埋場	10	20
	<b>小計</b>	<b>240</b>	<b>370</b>
<b>合計</b>		<b>650</b>	<b>870</b>

資料來源：經濟部(2016)，太陽光電二年推動計畫，行政院第 3514 次會議，2016.09.08。

台灣在太陽光電推展時程採用「先緩後快、先屋頂後地面」策略，未來隨著成本下降，每年推動容量將遞增，達到家家戶戶普及的目標。因此，推動初期躉購電價採無區域差異單一費率，因此，PV 裝置集中於日照條件較佳的中南部；2016 年起實施地區差別費率，希望擴大設置區域，針對苗栗以北地區及宜蘭縣及花蓮縣收購價將為公告費率再加成 12.5%。

為擴大太陽光電設置，2015 年 11 月行政院提出打造農業光電專區政策，提出包含嚴重地層下陷農地、黃金廊道嚴重下陷區、公告汙染管制及整治場址、及畜禽農業設施整合利用等利用土地，共計 3800 公頃作為設置太陽光電場域。2016 年 9 月為擴大地面型太陽光電設置，經濟部盤點出可設置太陽光電的潛在土地資源，包含鹽業用地約 803 公頃、嚴重地層下陷區約 2519 公頃、水域空間約 2721 公頃、掩埋場及受汙染土地共約 8,677 公頃，可設置潛能達 5,783MW。

表 3、國內可設置太陽光電的潛在土地資源

土地資源	面積(公頃)	潛能(MW)	說明
鹽業用地	803.0	535	國有財產署管理之國有鹽業用地，排除濕地
嚴重地層下陷區	2,519.0	1,679	<ul style="list-style-type: none"> <li>農委會開放嚴重地層下陷不利耕作 18 區(1,253 公頃)，潛能 835MW。</li> <li>高鐵沿線雲彰地區嚴重地層下陷不利耕作區(1,266 公頃)，潛能 844MW。</li> </ul>
水域空間	2,721.0	1,814	包含水庫(8%)、滯洪池(40%)、埤塘(40%)等

土地資源	面積(公頃)	潛能(MW)	說明
掩埋場及受污染土地	2,633.8	1,755	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 國內垃圾掩埋場處為停用、封閉或復育狀態，面積達 933.8 公頃，潛能 622MW。</li> <li>• 已受污染程度較高的農地及工業用地，總計 1,700 公頃，潛能 1,133MW。</li> </ul>
<b>合計</b>	<b>8,676.8</b>	<b>5,783</b>	

資料來源：經濟部(2016)，太陽光電二年推動計畫，行政院第 3514 次會議，2016.09.08。

目前我國對於太陽光電獎勵措施，僅以躉購電價為主。除了經濟性誘因外，政府透過建立單一窗口，加速行政流程、協助解決申設問題，並由行政院能源及減碳辦公室協助跨部會整合及管考工作。同時，擬定再生能源輸配電建設計畫，以解決饋線不足問題；透過法規制度修訂，鬆綁電業籌設之限制，將太陽光電設置級距從 500KW 提升至 2MW 不受《電業法》限制，以及對於設置太陽光電土地容許使用適度鬆綁；並因應綠色金融，規劃「獎勵本國銀行辦理新創重點產業放款方案」，協助綠能產業取得融資。

### 三、我國大規模應用太陽光電之推動策略建議

雖然政府提出相當積極性的太陽光電推動目標，但迄今我國太陽光電設置量僅達 1GW，要能在兩年內擴增一倍裝置量、十年內達成 20 倍裝置量，在推動上有極大的挑戰。經濟部所規劃的地面型太陽光電設置，將鹽業用地開發納入，而且在初期的太陽光電二年推動計畫中，鹽灘地開發甚至在地面型太陽光電設置扮演極重要角色；雖然政府在盤查國有鹽業用地時已將濕地排除，然而這些閒置的鹽灘地，過去不但身兼滯洪池，也因周邊魚塢提供鳥類覓食來源，成為鳥類重要棲息地；因此，鹽灘地種電的綠能政策，也已經引起環保團體非議，呼籲政府對於鹽灘地的開發，應兼顧環境衝擊與遵循環評的程序正義。

除了環境衝擊面的影響，本文將從認證制度與 FIT 結合設計、提供不同場域設置之經濟性誘因、盡速完成釋出土地資源盤查、建立順暢籌資與融資體系、及可耕農地回歸農用等面向，對於我國大規模設置太陽光電提出推動建議。

#### 1. 鼓勵優質產品建置

台灣受天候因素影響，太陽光電系統建置後，受颱風、潮濕、鹽害腐蝕等影響產品效能及使用壽命，進而影響供電品質。因此，不論是模組系統、支架強

度、耐久性等，除了應透過嚴謹認證規範確保品質外，建議可以透過差異化收購電價，鼓勵優質產品建置。例如：依據模組效能與結構強度訂定不同等級認證規範，取得越高品質認證產品，為反映其設置成本，應享有較高收購費率。

## 2. 依據設置場域設計不同躉購費率

為大幅推展地面型太陽光電，目前政府雖已提出利用地層下陷區作為太陽光電設置專區構想；但由於相關區域之電網大致皆已佈建完成，對於這些新設置的太陽光電電廠，其併網而衍生的饋電線及自設升壓站等附加費用，將影響業者投資意願；尚須由主管機管邀集台電公司、地方政府與業者等，進行協調與評估其分攤成本，並應適時反映於躉購費率的設計。此外，設置於水域之太陽光電，期初設置成本內涵與運維項目與地面型亦有所不同。因此，後續躉購費率的設計除了區分屋頂型與地面型、不同設置級距外，亦應將設置場域差異性，分別訂定不同費率，以增加投資誘因。

## 3. 盡快完成盤點可釋出土地資源

在政府宣示大幅擴大地面型太陽光電設置量後，中南部已出現農地租金炒作亂象。農地租金價格飆漲，將影響太陽光電電廠設置成本，不但可能影響設置意願，也可能導致設置者偷工減料或使用劣質低價模組之亂象。建議政府應盡速完成設置地面型太陽光電系統所需土地之盤點，並加速釋出土地；當每年可釋出的土地供應量，大於當年度規劃裝置目標量所需之土地資源，自然可以避免農地炒作的誘因(廖國榮，2016)。

## 4. 建立綠能產業融資體系

金融業資金的導入對於大規模設置太陽光電電廠將扮演重要角色，建議短期應優先進行保險資金投入限制之鬆綁，中長期更應推動再生能源電廠證券化之融資市場，以促進再生能源市場化。因此，建議應盡速進行保險法修訂，准許保險資金可投入公共建設(含太陽光電廠設置)；同時由於電廠投資金額大，應允許保險公司可指派人員擔任該電廠董監事，以強化投資信心。

此外，目前金融業對於太陽光電所採行的融資，大多須待該專案取得併網許可後，才會以專案融資方式進行放款。然而，對於地面型大規模太陽光電專案建置，在取得併網前已有相當龐大的資金需求，以進行相關設備的購入及進行工

程施工，這種約六至十二個月的過渡性融資（Bridge Loan），在缺乏相關擔保品下，目前國內並無銀行願意承做。因此，仍有賴政府納入未來推動「獎勵本國銀行辦理新創重點產業放款方案」中，研議提供過渡性融資之相關辦法，以確保未來太陽光電、離岸風電或其他大規模再生能源設置案之資金需求。

## 5. 可耕地回歸農地農用

在屋頂型太陽光電推廣部分，農委會於 2013 年 10 月修訂〈申請農業用地作農業設施容許使用審查辦法〉，鼓勵太陽光電設置應用與農業設施結合，上面設置太陽光電板、下面種植作物或養殖漁業，進行多層次運用，使得太陽光電設置可與農業發展共榮。然而，在農民將農地出租設置太陽光電收益明顯高於休耕補助或種植作物下，最常見的形式就是先以溫(網)室與菇類栽培場名義申請建築許可通過，於上方架設太陽光電系統售電。至於溫室內供作物生長光照是否足夠、是否設置菇類生長設備，對種投資種電之業者來說，已不是重點。

形成了將農地種電包裝成「光電農業」大力推廣，農地種電成為豪華農舍、違章工廠之後，在南台灣農業區的「新地貌」。台灣可耕地資源有限，可耕農地應回歸農用為根本，因此，對於太陽光電設置應用與農業設施結合之設置之相關辦法，應再行檢討，避免綠能產業推動再次扼殺了台灣僅有的可耕地資源。

### 參考文獻：

1. Apricum(2015), Forecast: Steady increase to 92 GW annual solar installations by 2020,  
[http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/forecast--steady-increase-to-92-gw-annual-solar-installations-by-2020\\_100020503/#axzz3rY0zd9cw](http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/forecast--steady-increase-to-92-gw-annual-solar-installations-by-2020_100020503/#axzz3rY0zd9cw)。
2. BNEF(2016), Global trends in renewable energy investment 2016.
3. Fraunhofer ISE(2016), Photovoltaics report, 2016.10.20.
4. REN21 (2015), Renewables 2015 global status report.
5. REN21 (2016), Renewables 2016 global status report.
6. SolarPower Europe (European Photovoltaic Industry Association), Global market outlook for solar power 2015-2019, 2015.06.

7. 廖國榮(2016)，太陽光電 2 年推動計畫建議，太陽能與除能科技應用論壇暨期末成果展，2016.12.22。