

# 太陽光電系統的創新整合應用概述

林曉琪<sup>1</sup>、韓佳佑<sup>2</sup>、洪瑋嶸<sup>2</sup>、黃郁青<sup>2</sup>、郭春河<sup>2</sup>、陳俊亦<sup>3</sup>、施圳豪<sup>3</sup>、馬維揚<sup>4</sup>

2019 年 6 月

## 壹、前言

太陽光電產業在 2018 年歷經美國 201、301 條款，中國 531 新政，印度防衛性關稅，歐盟 MIP 結束等變動，自上游供應鏈至下游系統端均呈現波動狀態，我國為加速太陽光電的應用以及普及化，大力推行相關政策，以行政院為首，於 105 年 10 月核定的「太陽光電兩年推動計畫」，藉由「綠能屋頂全民參與」、「產業園區擴大設置太陽光電」及「營造發展太陽光電環境」等策略，鼓勵公務機關、國營事業、工廠及一般民眾設置太陽光電系統；雖然於 2000 至 2008 年間全台總裝置容量僅 1MW，但自 2009 年後，藉由再生能源發展條例與實施躉購電價(Feed-In Tariff, FIT)，全台總裝置容量大幅躍進，截至 2019 年 4 月，總裝置容量已達 3GW<sup>5</sup>，期望透過太陽能電廠 20 年穩定優惠收購費率，以及各級縣市陽光社區補助的帶動下，於 2025 年達成 20GW 的目標。

太陽光電因技術成熟，產業已呈現系統整合模式，由傳統製造業走向開發、建廠、運籌及管理的一站式服務，進一步而言，伴隨新興科技的崛起，例如大數據(Big Data)或物聯網(Internet of Things, IoT)，亦為太陽光電的系統整合開闢新的道路，在評估系統裝置的可行性階段，透過物聯網蒐集不同區域的天候資訊、太陽電廠設備、實際發電量及周圍可能對太陽電廠影響的環境因素，再利用大數據分析太陽光電系統的最佳發電模型，以確保裝置太陽光電模組的場域取得最有效的發光效率，結合大數據或物聯網的太陽光電技術，著實提供國內半導體人才另一個展現研發實力的舞台。

然而，亦正是因為太陽光電技術成熟，產業獲利逐漸以原料端與系統端為主，市場上開始出現新材料的應用，如有機體系(Organic Photovoltaics)的染料敏化太陽能電池(Dye Sensitized Solar Cell, DSSC)，除了同樣可做為建材以外，由於屬於低溫、簡單的製程，且具備可撓性、多彩性與可透光性等特性，使其可用於穿戴裝置，儘管國內尚處於實驗室研發階段，然一般室內光線即可充電，亦為此技術開啟許多商機，本文將就前述所提之創新整合應用及國內發展太陽光電創新整合之機會作一概述。

---

<sup>1</sup> 綠能科技產業推動中心技術發展組

<sup>2</sup> 核能研究所能源經濟及策略研究中心

<sup>3</sup> 核能研究所物理組

<sup>4</sup> 核能研究所燃材組

<sup>5</sup> 依經濟部能源局統計至 2019 年 4 月資料，全台太陽光電裝置容量為 3,115MW。

## 貳、建築整合太陽光電

太陽光電的型態除了屋頂型(Rooftop Photovoltaic)與地面型(Ground Photovoltaic)太陽光電系統以外，整合建築的太陽光電系統(Building Integrated Photovoltaic, BIPV)，亦為近年常見的型態之一；BIPV 是使用太陽光電模組取代傳統建材，以建築設計的方法，將太陽光電系統導入建築物外殼構造，使建築本身成為能量來源，於大樓帷幕牆、屋頂、採光罩、遮陽棚、遮陽板、雨遮等場域安裝太陽光電系統。

國內已有部分示範案例，如台北市松山行政中心南向外牆(如圖 1)及台南縣政府大樓裝置 12kWp 遮陽板，兼顧遮陽、通風及造型，自建築結構而言，天窗與外牆通常屬最大的接光面，在建築結構設計階段，將太陽光電系統納入考量，可達最佳發電率，再者，光電建築需要同時滿足發電與建築安全的性能要求，不同環境氣候、不同樓層高度，必須採用不同的耐候性材料、不同的結構設計。



資料來源：黃怡領、李景亮(2017)

圖 1、臺北市松山區行政中心彩色遮陽板 PV 系統(左)及 PV 遮陽板近照(右)

為符合多樣化的建築風格，太陽光電模組除了傳統的藍色，更有國內業者利用玻璃與透明背板的材料結合，發展出紅棕色、灰色、綠色與黑色模組，對於光線是否穿透、以及穿透多少光線至建築物內，可選擇透光或不透光的模組，例如對於有曲面幅度的建築物可選擇具透光效果的薄膜可撓式模組或矽晶模組，如圖 2 所示。



資料來源：Onyx Solar 官方網站

圖 2、以有曲面幅度的 BIPV 作為建築物主體

目前 BIPV 主要仍以傳統玻璃矽晶太陽電池模組為主，其平均反射率約為 9%，故其安裝時須考量，可能對周遭環境與生態的影響，如眩光可能影響飛禽或飛安等疑慮，國內已有業者透過技術提升來減緩前述問題，如台灣綠能科技公司推出以波導材料取代玻璃面板(如圖 3)，除了具備輕量化優勢，波導材料本身反射率僅為 0.7%至 0.8%，可減低大樓反光的問題。另外，波導材料之表面高摩擦係數 1.9(美國 ASTM1679 地坪摩擦係數標準中，只要摩擦係數大於 0.5 以上，就是公定的安全行走標準)與降噪特性，亦可應用於太陽能步道與隔音牆。



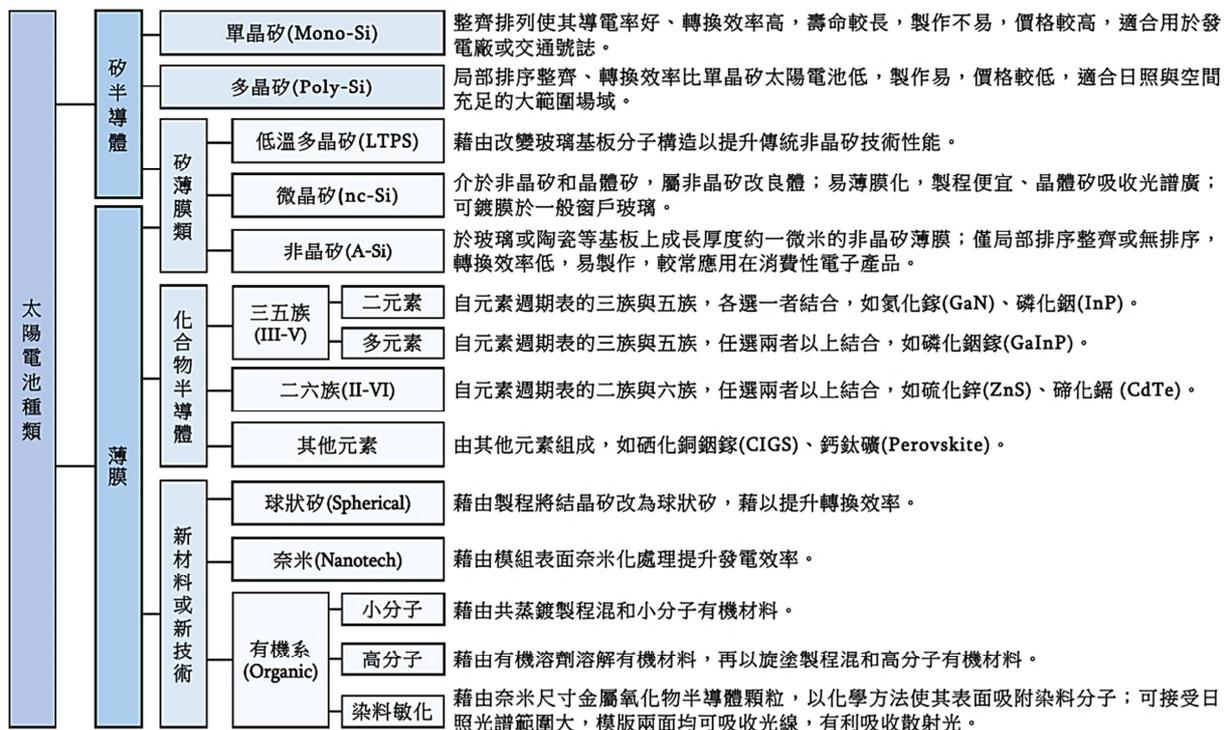
資料來源：能源報導(2017)

圖 3、輕量型太陽光電模組

有關矽晶技術可撓性的大規模布建有其技術限制，國內目前仍在實驗室階段；在 BIPV 相關法規方面，根據「公共工程或公有建築物設置太陽能發電系統參考資料彙編」敘明，BIPV 的系統設置，仍應符合「再生能源發展條例」及「建築法」等相關法令之規定，惟整體而言，BIPV 係將空間做最大利用，藉以提供建築適當的輔助電力，使建築可自發用電，降低對市電的依賴，達到建築節能的效益，並兼具美化外觀的功能。

### 叁、穿戴裝置結合太陽光電

太陽能電池技術日新月異(太陽能電池分類如圖 4)，在全球產能擴充與技術進步的情況下，產業或研究機構始研發新技術，嘗試為趨近飽和的太陽光電市場尋求商機，而成本低且製造相對容易的技術即成為關注項目，有別於常見需要大規模量產以降低製造成本的矽晶電池，有機太陽能電池具備原料成本低、不受溫度影響的特性，透過使用導電體(Conductive Polymer)即可以吸收光與轉移電荷；以染料敏化太陽能電池為例，使用有機材料做為染料，並將其塗佈於導電體，始其導電體吸收光而產生電子，包含玻璃、塑膠及各類建材均可做為塗佈基板，且亦可吸收一般的室內光線，換言之，製作太陽能電池，不再需要昂貴的半導體設備或廠房。

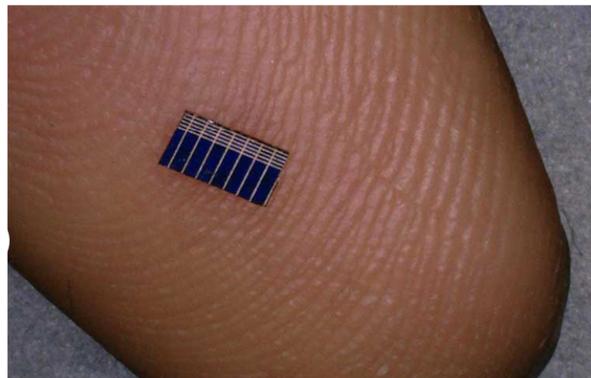


資料來源：本研究製圖(2019)

圖 4、太陽電池種類

傳統蓄電池因佔用較多空間及續航力較低，影響消費者使用穿戴式裝置的意願。現今穿戴式裝置朝向薄型化發展，具可撓性之有機太陽能電池洽符合此發展趨勢，同時，有機太陽能電池在低光量下仍有高轉換效率，現已有相當數量之研發單位進行此類電池與穿戴式裝置或紡織品結合之應用開發。

「隨身發電」在國外已有成功示範案例，如日本已研發出超薄可印在衣服的可有機太陽能電池，轉換效率達 10%，總厚度僅 3 微米( $\mu\text{m}$ )，若完全覆蓋一件衣服，其產生的電力可做為行動裝置的電力來源；同樣可縫在衣服的可有機太陽能電池，英國研發出單片大小為 3 公釐(mm)乘上 1.5 公釐(mm)的尺寸，每個可產生 80 毫瓦(milliwatts)的功率，若縫上 200 片可作為簡單穿戴裝置的電力，2,000 片則近乎可提供手機充電(如圖 5)。



資料來源：Power Technology(2019)

圖 5、諾丁漢特倫特大學(Nottingham Trent University)研發出可縫於衣服的可有機太陽能電池

縱使有機太陽能電池渴望為可攜式電子產品的電力供給帶來契機，除了可採用真空蒸鍍或塗敷法製備成膜以外，亦可使用噴墨印刷嵌入染料與電解質成分，有望藉由捲軸式製程使其生產達到商業化，且生產的能耗低，生產過程對環境較無污染，但目前有機材料光電性質較差，國內尚處於實驗室研發階段，如何解決壽命與光電轉換效率低的問題，時為國內外學術單位近期研究的重點。

## 肆、太陽光電於農漁業的拓展

太陽光電尋求發展機會亦產生在農漁業的應用，農委會於 2017 年 6 月已明訂規範，太陽光電業者要在農地設置光電設施，必須先有農業經營的事實，營農型光電設施太陽光電模組的遮蔽率，最多僅能達 40%，除了遮蔽率以外，業者亦需提出農業經營計畫書，地方政府再針對生產狀況定期查核。今年農委會再次修訂《申請農業用地作農業設施容許使用審查辦法》，積極推動綠能與農漁業結合，期藉此增進養殖漁民躉電收益。

在「農電共生」的營運模場，為落實營農為主，種電為輔，太陽光電業者於農業經營計畫書中的農業生產產量標準，須達農業統計年報最近 3 年平均產量的 7 成，若未符合規定，農業主管機關得依法廢止農業設施之容許使用，並通知能源主管機關處理已核發之再生能源同意備案及設備登記，進而停止躉購電價補貼；此點與鄰國的日本經驗不謀而合，獲得日本農林水產省的利用許可中首要條件即是「持續經營農業」，作物收成量不得少於該地區同作物平均收成量的 8 成，且太陽光電業者每年得定期向農業委員會報告，利用許可期限為 3 年，到期再視農業經營狀況決定是否更新。

農電共生的核心理念是將自發電力供給農作物(如圖 6)，而不同農作物具備不同的光飽和點<sup>6</sup>，接收超過光飽和點對農作物行光合作用並無助益。在常見的農作物中，水稻、番茄、紅蘿蔔及芋頭等農作物的光飽和點均有所差異，而甘蔗或玉米則不具光飽和點，日照越多越好。

以日本千葉縣為例，在太陽光電系統下栽培玉米、紅蘿蔔、芋頭、明日葉等十幾種作物，適當的日照與露水使明日葉的總收成量比露天栽培多 16%，再以雲林土庫地區為例，試種魚腥草、仙草、蘭花、觀葉植物金花石蒜等 18 種作物，在光電模組遮蔽率 40%的狀況下，仙草產量比桃園地區高。以台灣屏東為例，在「追日型太陽能板」系統下栽種青花菜，可因應其不耐熱的缺點，使其於炎熱夏季穩定結球生長，紓解夏季栽種瓶頸。

---

<sup>6</sup> 光飽和點即植物可吸收的最大光照強度。



資料來源：向陽優能電力股份有限公司(2019)

圖 6、屏南一期專案，追日鋼構溫室屋頂附屬綠能設施

在「漁電共生」的養殖模場，則是利用太陽光電設施結合養殖場(如圖 7)，農委會業已選定虱目魚、文蛤、吳郭魚、鱸魚做為試驗項目，模擬在遮蔽率 40%的狀況下，對水產成長可能形成的影響；夏季屬高水溫期，以文蛤而言，因遮蔽部分直射陽光降低水溫及池底土溫，使於光電模組底下的文蛤成長量較優。由於此養殖模式尚屬測試階段，待累積成效後，農委會將再輔導相關業者進行，以促進養殖漁業的升級轉型。

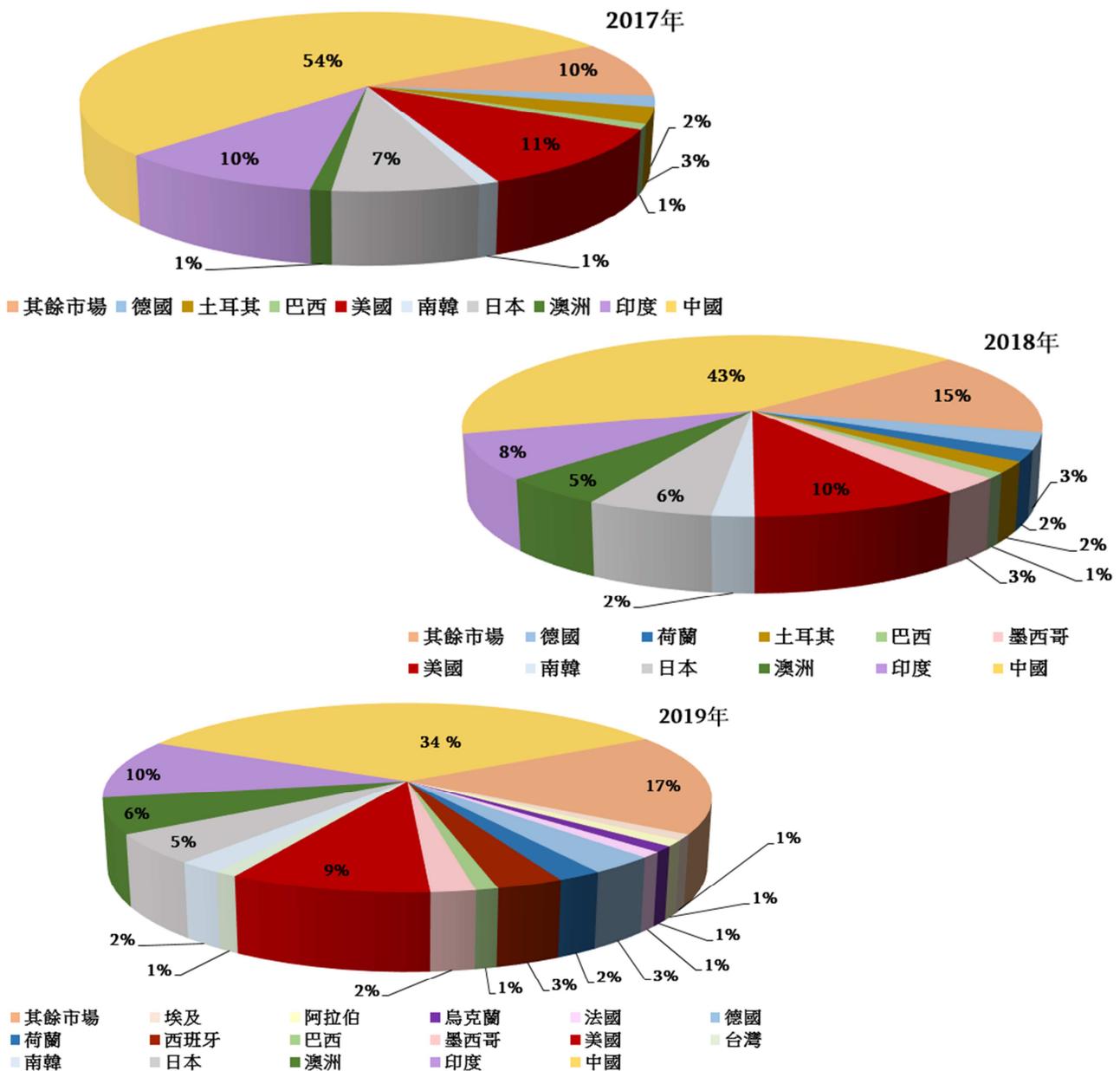


資料來源：向陽優能電力股份有限公司(2019)

圖 7、結合立柱式太陽光電系統的台西文蛤試驗池

## 伍、國際太陽光電創新整合的市場現況

依據歐洲太陽光電協會(SolarPower Europe)的統計，於 2018 年，已共 11 個國家安裝超過 1GW 的太陽光電系統，相較於 2017 年 9GW 的太陽光電市場，複合年均增長率(Compound annual growth rate, CAGR)為 22%(如圖 8)，歐洲太陽光電協會亦特別說明，預計至 2019 年年底，因政策主導而大力推行太陽光電的國家加入，全球太陽光電裝置容量將持續增長。

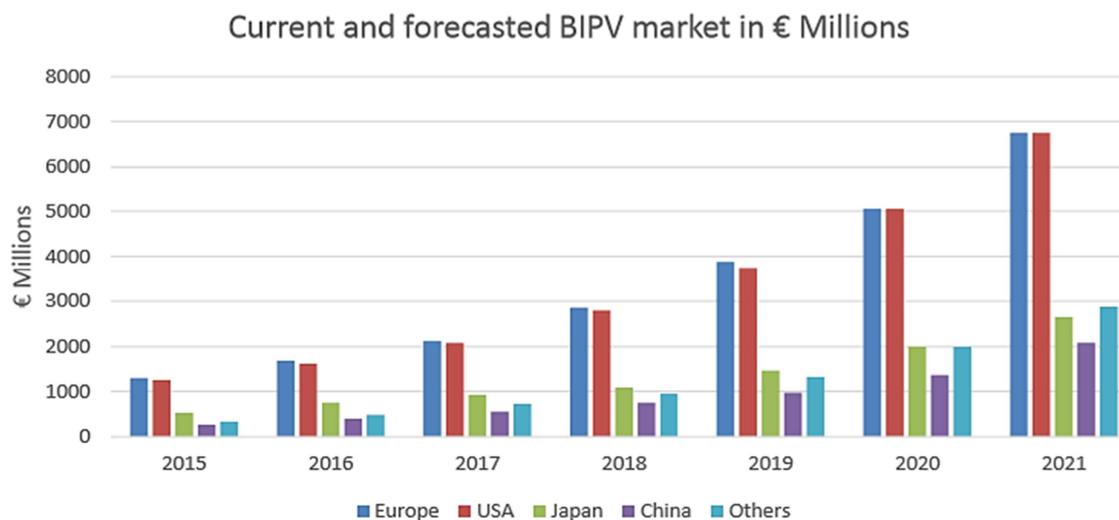


資料來源：SolarPower Europe Global Market Outlook 2019-2023(2019)

圖 8、2017 至 2019 年全球太陽光電市場占比(%) (GW)

全球五大市場，中國、美國、印度、日本與土耳其於 2017 至 2018 年止，約佔新增裝置容量 8 成，然部分國家因政策推動，近年亦已加入太陽光電市場，如埃及，因運輸不易與投資的問題獲得紓困，其政府已宣告至 2022 年止，由太陽光電系統所產生的電力將佔其總電力約 20%，至 2035 年須達到 37%，其沿用德國再生能源的補助辦法(Emererbare Energie Gesetz, EEG)，若民眾安裝太陽光電系統，政府則以固定價格購回電力，又如法國，為加速太陽能發展，自 2017 年起，規劃各種太陽光電發電系統的多年度發展計畫，包括地面型、建築型、自家消費型及創新型，因計畫而新增的裝置容量將於今年實現，預計至 2023 年，其累計裝置容量將達 18 至 20GW。

而根據 PVSites 估計，於 2014 至 2018 年間，全球在每 200GW 的太陽光電裝置量中，BIPV 約占 5GW，預估至 2022 年，BIPV 的滲透率可達 13%，於 2013 至 2019 年間，CAGR 將達 18.7%，其中歐美的 BIPV 約占全球市場 70%，仍為 BIPV 主要市場，由於太陽光電技術的改善與各國政府對再生能源的補助政策，使其至 2024 年仍然保持主導地位(如圖 9)；亞洲區域如中國、日本與印度近期 BIPV 成長速度稍微趨緩，但因其市場大，故仍具吸引力，美國能源部近期為促進投資則是批准高達 1.45 億美元的 BIPV 專案。



資料來源：PVSites(2016)

圖 9、2017 至 2019 年全球太陽光電市場占比(%) (GW)

進一步，依 Grand View Research 的預估，全球 BIPV 市場收益於 2017 年為 6.7 億美元，至 2024 年時，將可達到 142 億美元，促使收益躍進的主要原因在於薄膜太陽電池技術的突破、商用設施對於太陽光電系統需求的增加、工業部門為達節電效益持續以安裝太陽能模組取代傳統的建築屋頂。

事實上，各國致力於推展 BIPV 的另一意義在於實現巴黎氣候協議(Paris Agreement)的目標，包含哥本哈根(Copenhagen)、斯德哥爾摩(Stockholm)、約翰尼斯堡(Johannesburg)、茨瓦內(Tshwane)、蒙特婁(Montreal)、多倫多(Toronto)、溫哥華(Vancouver)、洛杉磯(Los Angeles)、波特蘭(Portland)、舊金山(San Francisco)、聖何塞(San Jose)、聖莫尼卡(Santa Monica)、紐約(New York City)、紐伯里波特(Newburyport)、華盛頓特區(Washington, DC)、倫敦(London)、巴黎(Paris)、東京(Tokyo)以及雪梨(Sydney)市長均承諾城市舊建或新建的所有建築，在 2050 年前必須達到淨零碳標準，以紐約為例，其市政府已於 2017 年 6 月藉由通過第 26 號行政命令<sup>7</sup>，強制要求上萬棟

<sup>7</sup> 同年 10 月即以該行政命令為基礎，發布《1.5°C：紐約遵循巴黎協定》(1.5°C: Aligning New York City With the Paris Climate Agreement)施政計畫，成為全世界首座以《巴黎協定》為減碳政策目標的城市。

既有大型建築(2 萬 5,000 平方英尺以上，約合 2,300 平方公尺)得在 2030 年前符合法定節能標準。

根據愛立信移動市場報告，截至 2017 年，全球聯網設備數量已達 175 億個，穿戴裝置包含穿戴式產品、手機及其他物聯網設備，受到廣大的穿戴式產品對續電力需求的驅動，蘋果(Apple)、LG 和三星(Samsung)等具全球代表性的消費電子公司已開始開發薄膜可撓式太陽電池技術，預計未來薄膜可撓式太陽電池在物聯網終端設備市場的應用將愈來愈廣泛。

另外，由於國際上對於作物及水產養殖與太陽光電系統的適應性尚處於研究階段，且均以植株或養殖為主，盡可能減少太陽光電模組對於植株或養殖的影響，故目前市場規模較難估計，惟水面型太陽光電做為未來發展趨勢之一，全球人造水庫面積約為 400,000 平方公里，若保守估計，開發潛力可超過 400GW，相當於全球至 2017 年太陽光電系統累計裝置容量。

## 陸、國內太陽光電創新整合技術的機會

承如前言所提，伴隨物聯網、大數據等新興科技的崛起，實為國內發展太陽光電開闢新的道路，物聯網係網際網路、傳統電信網等資訊的承載體，於實際物體或設備嵌入式感測器及應用程式介面(Application Programming Interface, API)，形成訊息連結與網絡互換，關鍵的物聯網技術包括大數據與雲端管理等工具。利用物聯網技術整合太陽電廠，即係將天候、太陽電廠設備、太陽光電模組、發電量等資訊集結於同一平台，透過感測器與大數據分析可能產生異常的模組位置、辨識產生的故障原因，以確保太陽能廠的運作，此技術優勢在於可遠端監控，同時降低管理成本(如圖 10)。

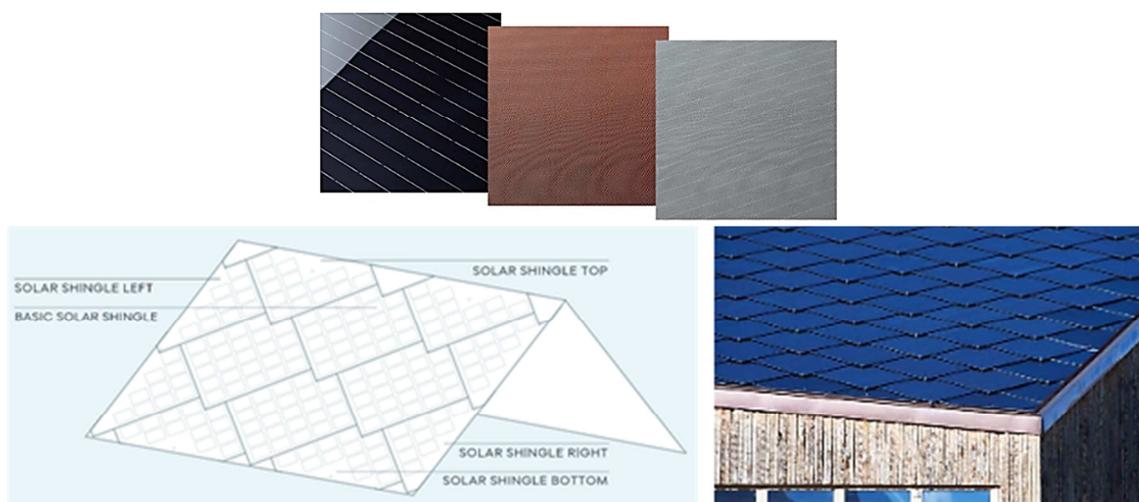


資料來源：iPV Tracker(2016)

圖 10、Big Sun Group 開發的 iPVita 功能示意圖

及時蒐集與分析電廠資料，太陽能電廠的智慧化可讓用電端能更有效率調配發電與用電，同時兼顧檢修人員的安全，優化發電服務；與農漁業結合的智慧太陽光電系統，更能將農電共生或漁電共生推升至另一層次，其一，太陽能電廠的售電收益能回饋予農漁民，用以改善農業或漁塭設施，其二，農棚或漁塭中的溫溼度控制、自動灑水、自動施肥或餵食等等設施的電力來源，亦可由太陽光電系統所發電力直接提供，打造能源自給自足的智慧農場或養殖場。

在 BIPV 方面，瑞士電子與微技術中心(CSEM)開發可用於外牆的灰白色系模組，且於屋頂縫隙或不足以安裝一整塊太陽光電模組之處，亦可將太陽光電模組裁切成適當大小，使太陽光電模組可與屋頂密合(如圖 11)，荷蘭能源研究中心(ECN)研發出透過印刷生產的大型模組(可用於隔音屏障或簷篷)，而德國太陽能系統研究所(Fraunhofer ISE)亦推出彩色的模組，不僅具有高色彩飽和度，且可保有 93%的模組效率；我國亦不乏太陽光電業者不斷自既有的技術創新以拓展 BIPV 的市場<sup>8</sup>，更積極將太陽光電模組與公共設施結合<sup>9</sup>，鑑於全球對於智慧家居與智慧城市的投資逐漸增加，預計至 2024 年將可實現近 70 億美元的營收，且更高的模組效率、更好的產品性能及更長的保固期，均將使 BIPV 的裝設成為下一代建築的選擇。



資料來源：SUNSTYLE 官方網站(2019)

圖 11、CSEM 與 SUNSTYLE 合作開發不同色調之太陽光電模組，可依據屋頂外緣裁切，使其與屋頂密合

整體而言，受惠於終端設備市場尚深具發展潛力，太陽光電的市場仍處於擴展狀態，預計至 2023 年，全球聯網設備可望超過 314 億個，以國際數據資訊(International

<sup>8</sup> 除了一般常見的單一色系，國內已有業者開發出仿花崗岩紋路、金屬色、薰衣草紫或湖水藍等不同色調的太陽光電模組，且已外銷國際市場。

<sup>9</sup> 除了如圖 1 所提之臺北市松山區行政中心以外，國內採用 BIPV 之公共建築，尚有如台北萬華運動中心、淡水藝術工坊、九份黃金博物館、台南縣政府大樓、南瀛綠都心五號公園、高雄世運主場館等案例。

Data Corporation, IDC)預估至 2022 年全球物聯網支出將達 1.2 兆美元，若聯網裝置中 1%的鈕扣電池以高效率太陽能電池代替，而電池成本以物料清單(Bill of Material, BOM)的 2%估計，其市場規模約為 2.4 億美金，隨著穿戴式裝置技術的發展，有望突破薄膜可撓式太陽電池的技術，若我國持續投入研發資源，提升國內相關技術，即可促使太陽光電產業朝多元化及新穎化發展，且更具競爭優勢。

## 參考文獻

Fredrik Jejdling (2018), 愛立信移動市場報告。

Global Info Research (2019), Global Building Integrated Photovoltaics (BIPV) Market 2019 by Manufacturers, Regions, Type and Application, Forecast to 2024.

IDTechEx Research, Flexible (2014), Printed and Thin Film Batteries 2015-2025, <https://www.controleng.com/articles/flexible-battery-market-set-to-grow-as-wearable-technology-develops/>.

International Energy Agency (2016). Building Energy Manage System, OECD/IEA, Paris, France.

Next Big Future (2018), Wearable solar powered clothing coming in the early 2020s, <https://www.nextbigfuture.com/2018/04/wearable-solar-powered-clothing-coming-in-the-early-2020s.html>

N.M. Kumar, K. Sudhakar and M. Samykan (2019), “Performance comparison of BAPV and BIPV systems with c-Si, CIS and CdTe photovoltaic technologies under tropical weather conditions,” vol. 13.

Power Technology (2019), Functional fashion: mini solar cells could transform wearable energy, <https://www.power-technology.com/features/wearable-energy-mini-solar-cells/>.

Solar Energy Research Institute of Singapore (2018), Where Sun Meets Water: Floating Solar Market Report.

行政院公共工程委員會 (2019), <https://www.pcc.gov.tw/cp.aspx?n=B87ABDBEA90DBADA>。

李宜映、高廷瑄 (2018), 探勘國際農電產業發展趨勢，國際農業科技新知，頁 20-25，第 79 卷，2018 年 7 月。

陳文姿 (2018)，太陽能板遮陽保溫 魚塢「漁電共生」產量仍可維持 7 成，環境資訊中心，<https://e-info.org.tw/node/215380>

林江財 (2012)，太陽光電與建築的結合應用與發展，太陽光電產業協會，2012。

黃怡領、李景亮 (2017)，建築整合太陽能光電 BIPV 設施工程規劃與實施，技師期刊，頁 23-30，第 76 期，2017 年 3 月。

能源局 (2017)，讓德國紅點也喊讚的綠能科技 「輕量化太陽能模組」，能源報導，<https://energymagazine.tier.org.tw/Cont.aspx?CatID=&ContID=33>

能源局 (2019)，能源統計月報，108-6-13 更新。