



國際農業綠能發展

財團法人台灣水資源與農業研究院

游慧娟 博士

大綱

- ◆ 全球再生能源發展趨勢
- ◆ 國際太陽光電發展趨勢
- ◆ 國際農業結合太陽光電的實驗與實例應用



全球再生能源發展趨勢

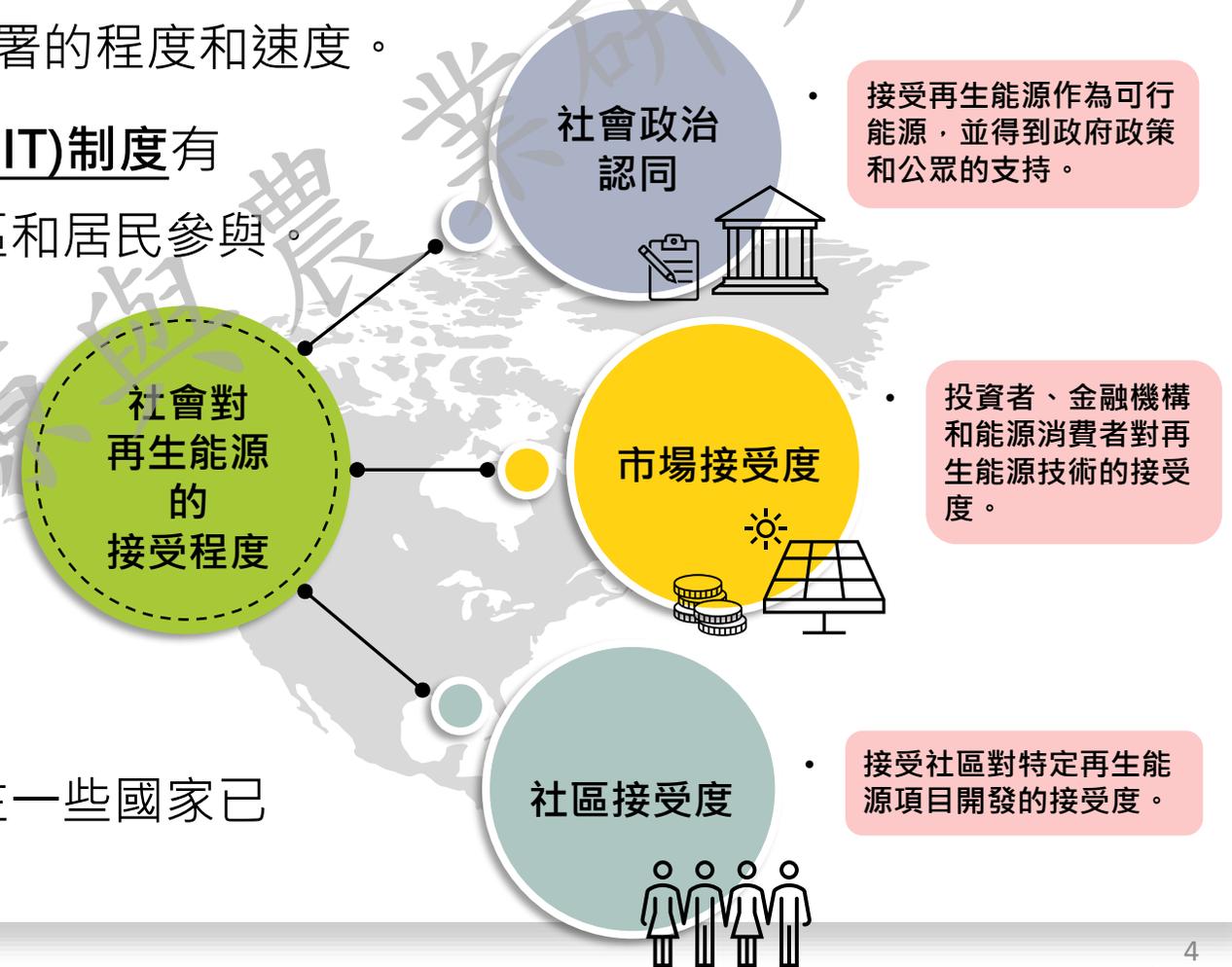
- 再生能源現在已成為電力行業的主流。
- 2019年全球有32個國家擁有至少10GW的再生能源發電能力。
- 在大多數國家，與新的燃煤發電廠發電相比，由風能和太陽能發電更具成本效益。
- 2018年底，全球至少100個城市的再生能源用電量達到或超過70%。
- 再生能源的投資可能受到緊迫的健康危機(COVID-19)與經濟衰退的影響。
- 疾病的快速傳播使2020年第一季度，全球電力需求下降了2.5%，然而由於較低的運營成本和對電網的併聯優惠使再生能源為此期間需求增長最快的電力來源。
- 政府部門的支持政策是促進再生能源發展的重要關鍵之一。



全球再生能源發展趨勢分析

再生能源的公共支持

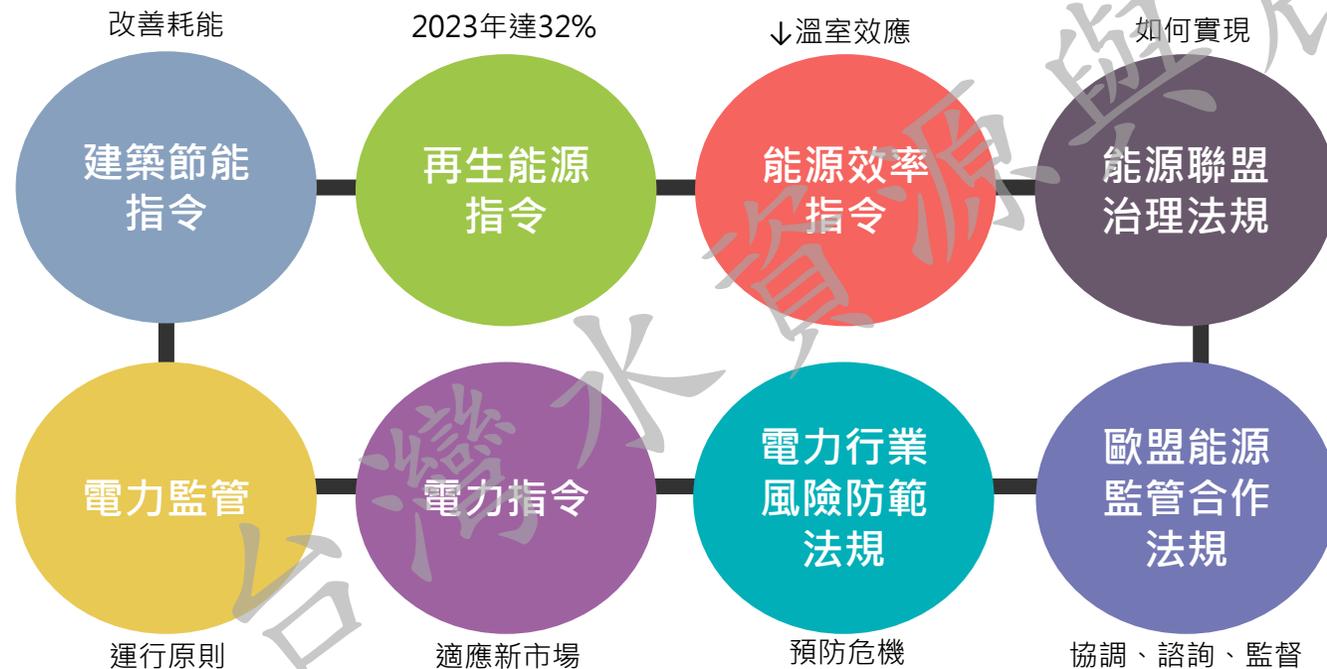
- 一系列複雜的技術(再生能源種類)、經濟(財政與採購)、環境(定居模式或受保護的景觀)和社會因素(公共支持程度)會影響再生能源部署的程度和速度。
- 87國仍存在的躉購電價(Feed-In Tariff, FIT)制度有利於大規模發展再生能源，也有利於社區和居民參與。
- 競標拍賣制度傾向於青睞大型開發商，不利於以公民為主導的小型事業。
- 愛爾蘭和德國採取措施鼓勵社區對再生能源的所有權，維持利益相關者多樣性，擴大公眾參與和公民支持。
- 再生能源項目與社區福利制度結合計畫在一些國家已經實施，例如英國和丹麥。



歐盟的潔淨能源政策框架更新

- 提出『Clean energy for all Europeans package (全歐洲人清潔能源包裹法案)』的新能源法規，促進從化石燃料向清潔能源的過渡。

八項立法舉措



新法規反映：

- 新的能源效率
- 新的再生能源目標
- 要保持經濟增長和競爭力
- 使公民受益

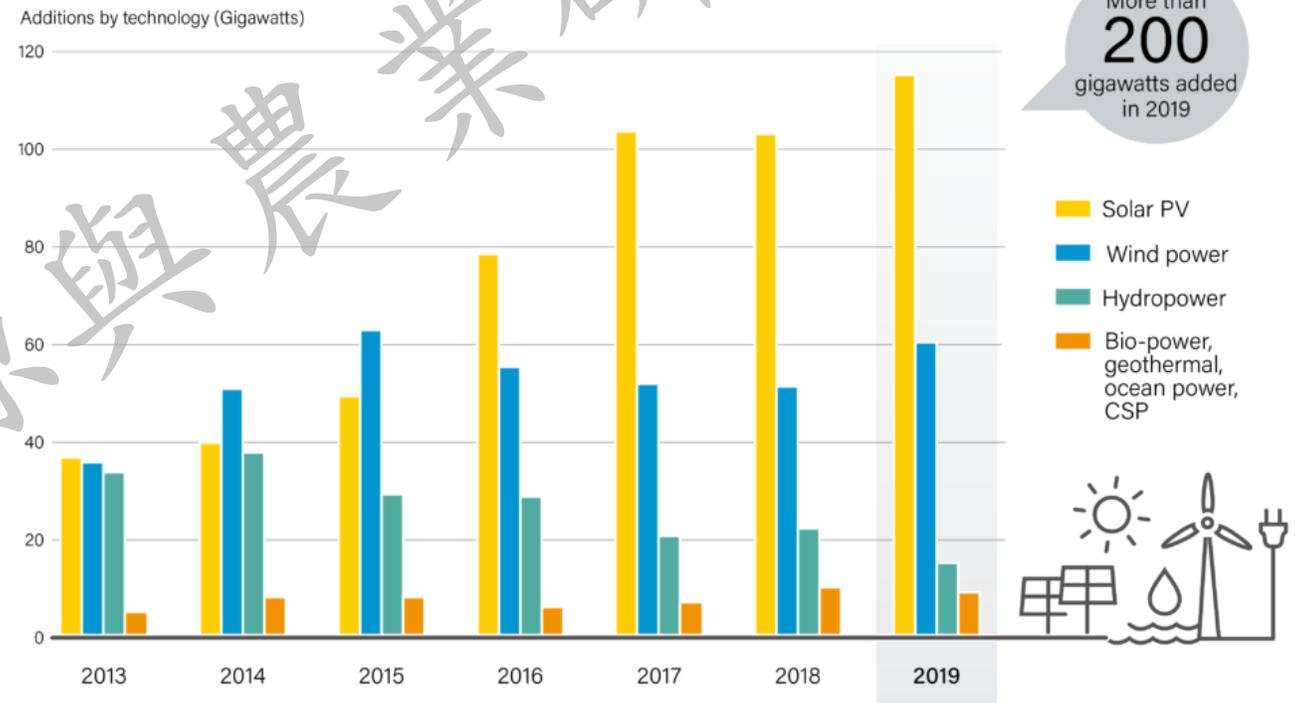
國際太陽光電發展趨勢



- ✿ 全球市場上，由於多國啟動招標計畫大力推動太陽光電，使得公用事業規模的光電市場在2019年裝置容量大量增長。
- ✿ 招標制度增加公共事業規模的太陽光電發展，各國也在尋求招標框架或類似政策來發展公共事業規模的太陽光電。
- ✿ 公共事業規模的太陽光電是未來主要的發展趨勢(IEA, 2020)。
- ✿ 預計至2050年，公用事業規模類型的太陽光電將佔約60%太陽能光電總容量，其餘40%為分散式。
- ✿ 在政策和支持性措施以及消費者參與清潔能源轉型的推動下，分散式太陽能光電裝置也在快速增長(IRENA, 2019)。

- ✧ 全球再生能源裝置容量已達 200GW，而主要增長以太陽光電為主(REN21, 2020)。
- ✧ 政府政策是太陽光電市場增長的主要驅動力，諸如淨計量、財政激勵措施及成本下降。
- ✧ 印度、韓國、墨西哥、巴西、德國、澳洲、日本、荷蘭等國政策持續支持分散式太陽光電設置。

Annual Additions of Renewable Power Capacity, by Technology and Total, 2013-2019



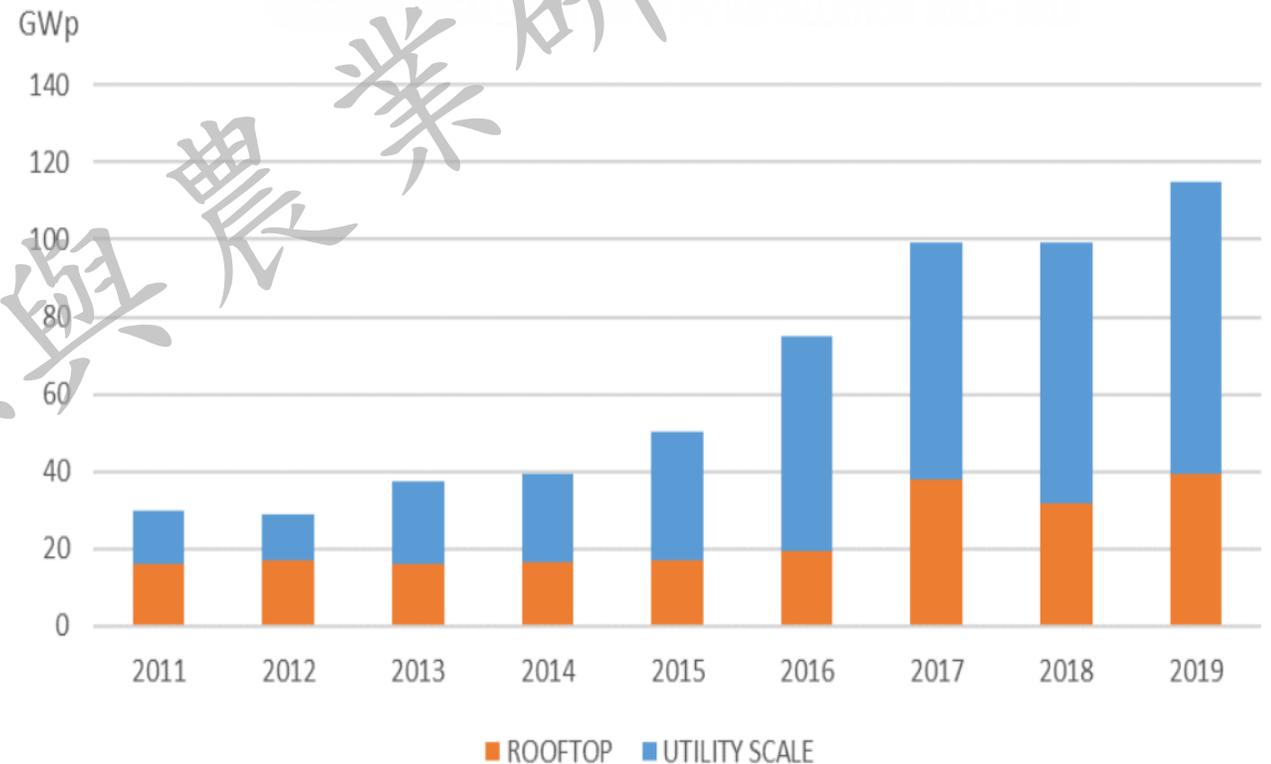
Note: Solar PV capacity data are provided in direct current (DC). Data are not comparable against technology contributions to electricity generation.

REN21 RENEWABLES 2020 GLOBAL STATUS REPORT

圖一 2013-2019年全球再生能源裝置容量

全球太陽光電裝置容量分類市場

- ✧ 全球數據顯示，公共事業規模之太陽光電裝置容量仍然大於屋頂型(分散式)太陽光電裝置容量 (IEA, 2020)。
- ✧ 農業太陽光電，目前還無法被預見到規模化應用的趨勢，日本、法國、德國、義大利、智利、美國、中國、英國、比利時、埃及、以色列等國已經開始試點研究與推廣。



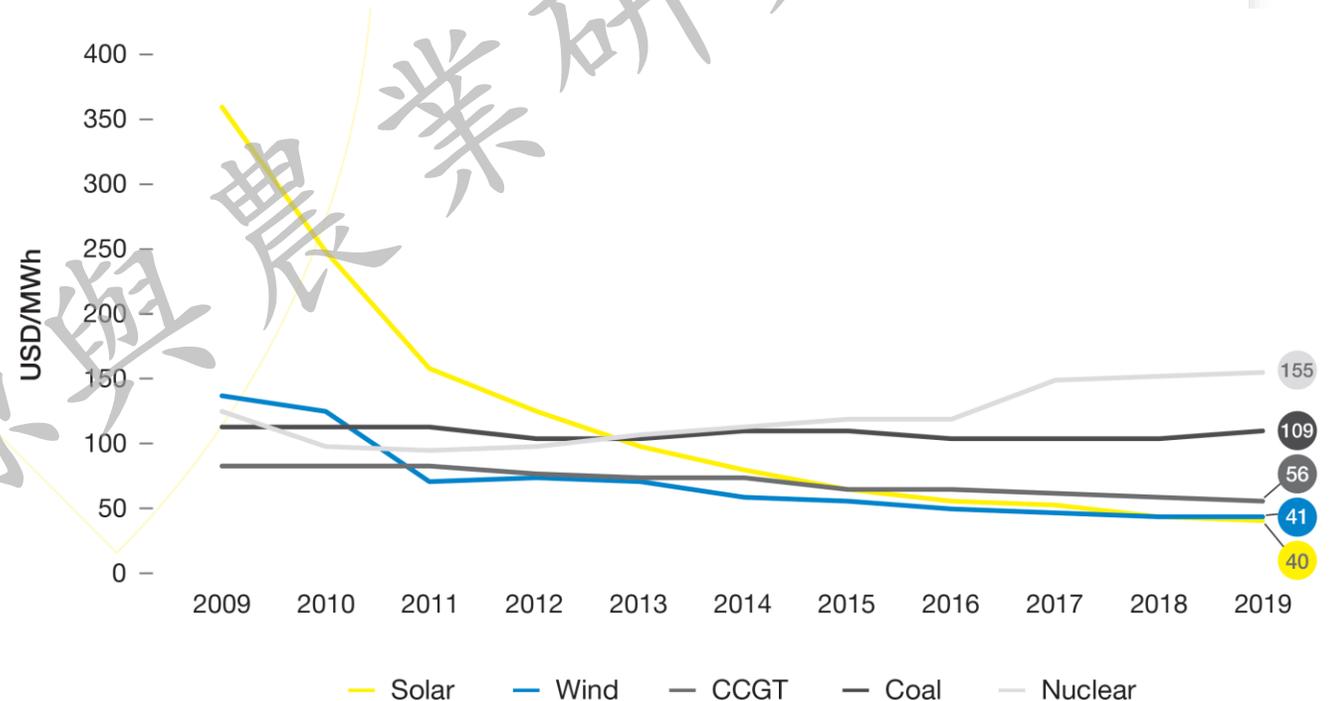
Source: IEA PVPS

圖二 2011-2019年全球PV裝置容量市場細分

國際太陽光電發展趨勢

國際太陽光電發電成本

- ✿ 全球再生能源發電成本中，太陽光電發電成本以較天然氣與風能低(40 USD/MWh)。
- ✿ 隨著電池成本下降與政策框架配合，太陽光電+儲能設備競爭優勢將高於傳統燃氣發電。



Source: Lazard (2019). Historical mean unsubsidised LCOE values (nominal terms, post-tax).

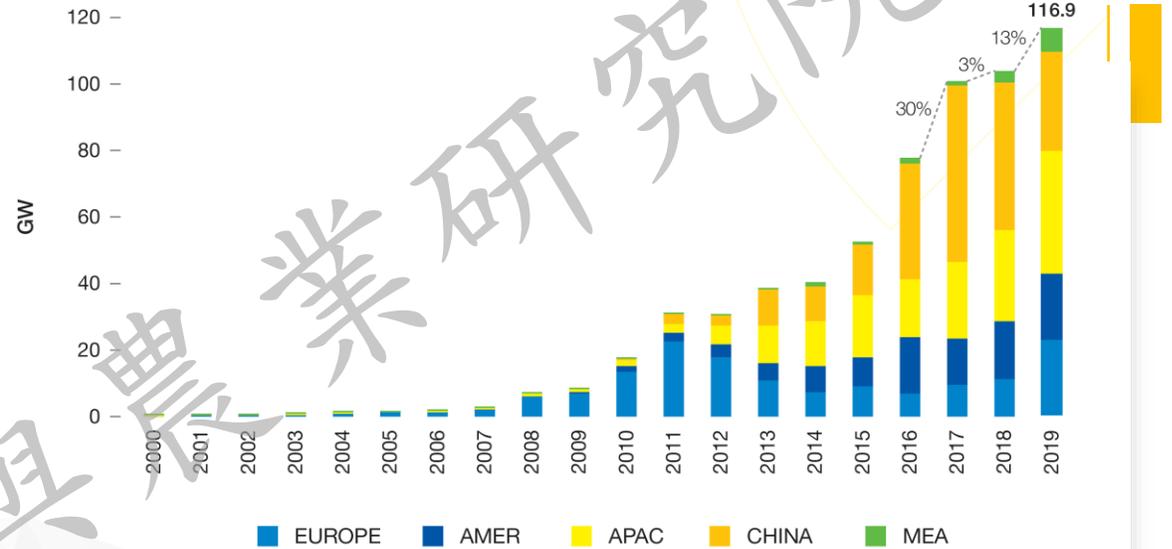
© SOLARPOWER.EU

圖三 2009-2019年太陽能發電成本與其他能源的比較

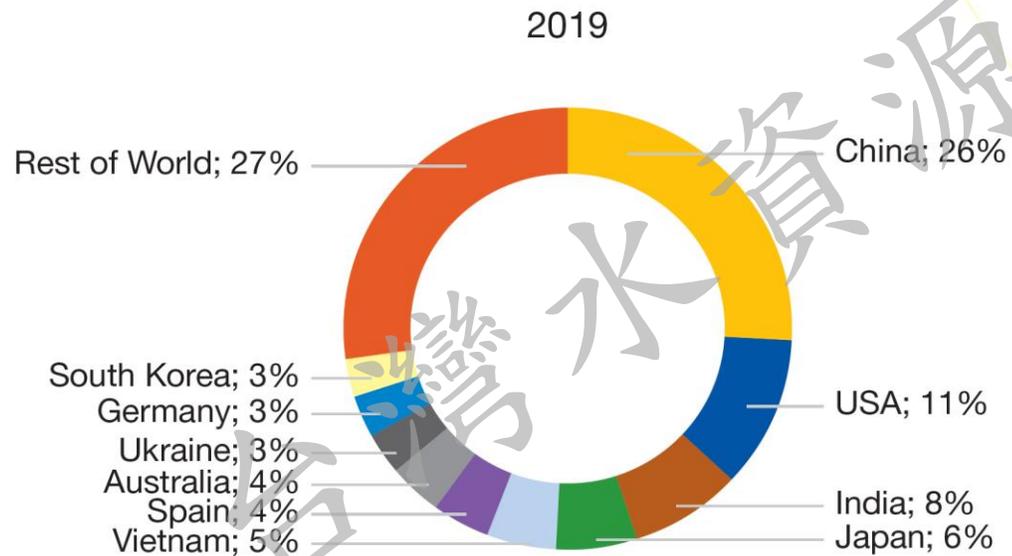
國際太陽光電發展趨勢

國際太陽光電裝置容量

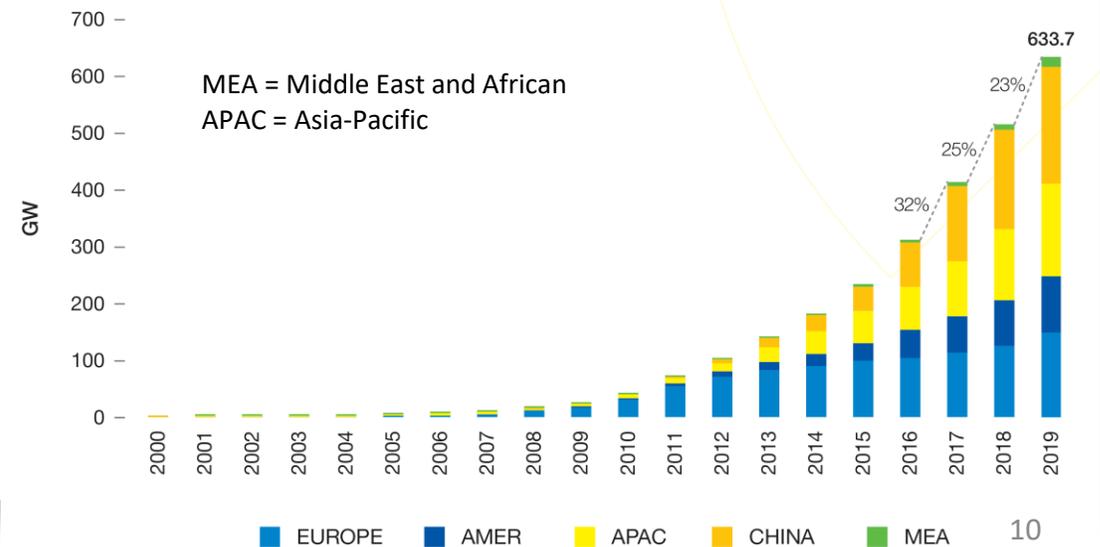
- ☀ 2019年全球太陽能裝置容量達116.9 GW，比前一年增加的103.7GW增長13%。
- ☀ 中國在全球太陽光電裝置容量排首位。



圖四 2000-2019年的年度太陽能光伏總裝機容量 (IEA, 2020)



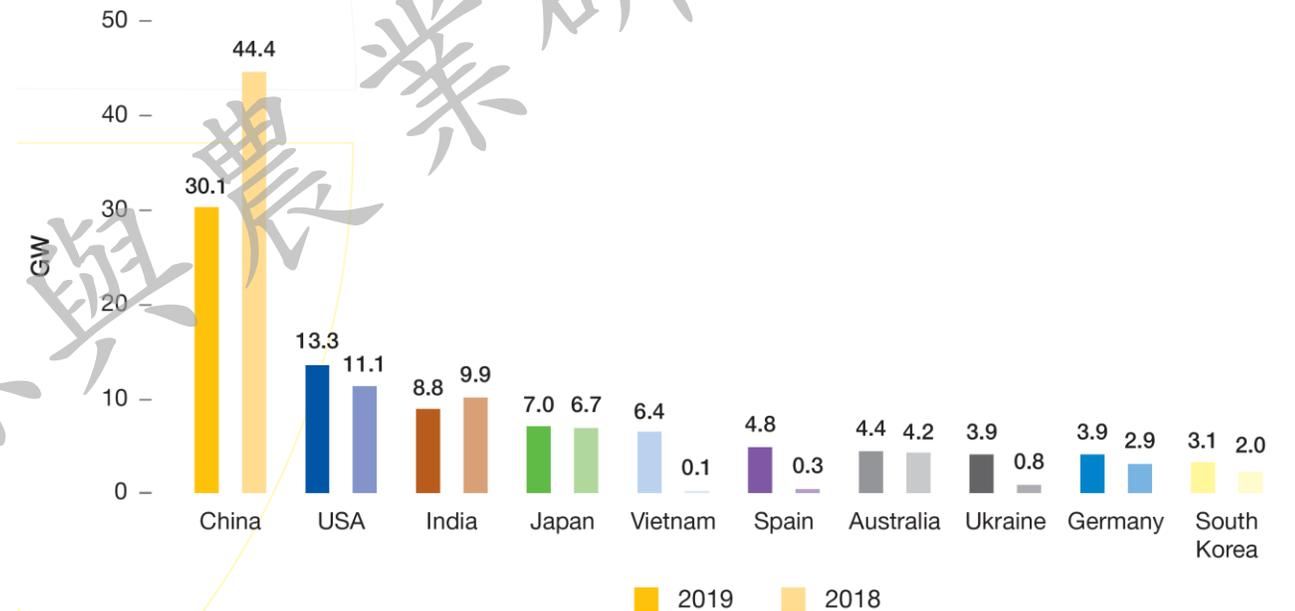
圖六 2019年前十大太陽光電總安裝量 (IEA, 2020)



圖五 2000-2019年各區與各國太陽光電總裝置容量 (IEA, 2020)

政策影響太陽光電發展

- ✧ 中國2019年裝置容量下滑，是由於其將躉購制度改為拍賣制度，並降低躉購電價，刪除激勵措施的原因。
- ✧ 美國的增長趨勢則是因為2020年聯邦太陽能投資稅收抵免將從30%降至26%，且部分州提供再生能源投資組合標準支持。
- ✧ 印度裝置量下滑與經濟放緩、關稅上限和與投標參與需更高的成本、付款延遲、徵地困難、缺乏輸電設施與併網連接的機會。



圖七 2018-2019年太陽光電市場前十名國家 (IEA, 2020)

國際農業結合太陽光電的試驗

國際農業結合太陽光電現況



- 農業結合太陽能光電屬於新興行業，可以解決土地局限的問題。
- 隨著雙面太陽光電板的出現，運用在農業的可行性增加。
- 一些研究顯示太陽能系統應用對農業有正面與負面影響。
- 2019年日本與其他國家總產能超過2.9GW，其中包含馬來西亞1GW的畜牧結合太陽光電項目。
- 大面積的地面型太陽光電引起民眾對潛在環境的影響疑慮及對農業用地擔憂。
- 屋頂型太陽光電仍是許多國家在與農業結合應用上主推的目標。

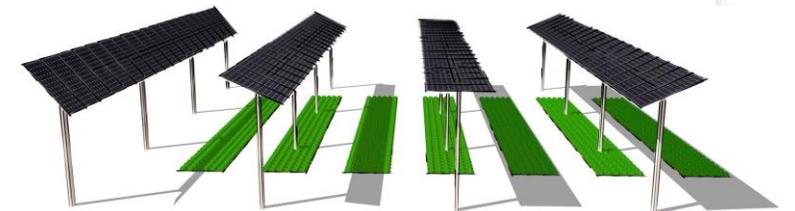


國際農業結合太陽光電的試驗



● Agrophotovoltaic systems (APV) 農用太陽能系統的概念

- 在農田上建立光電系統可能產生能源與糧食安全間的土地衝突，APV系統是近年為了研究平衡再生能源生產與農地利用的農業太陽能系統。
- APV系統最大的潛力在乾旱區域，可以降低過高的太陽能輻射與土壤水分散失。
- 乾旱氣候下的植物可以受益於太陽能板下光輻射的減少與水分保留，使產量提升。
- APV系統裝設高度至少要高於農地2公尺以上，太陽能板間距要增加，避免過度遮蔭，且光電板模組密度要松散。
- 一種專為作物設計的動態APV系統能給作物在需光時提供較大的光輻射和透光度，正中午光輻射最強時光電板角度呈水平可以適度提供作物遮蔭，發電量較低，但能平衡作物與能源生產。
- 遮蔭的影響取決於作物種類。具備調適遮蔭能力及形成植物生質量能力強的作物，其APV下的產量仍能維持。

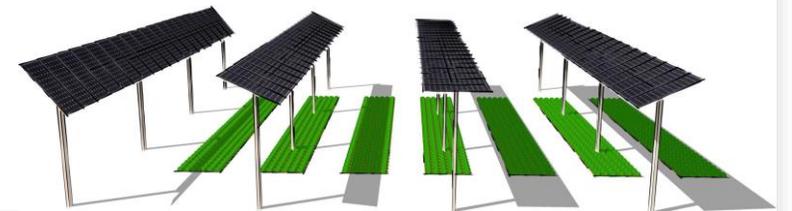


國際農業結合太陽光電的試驗



● Agrophotovoltaic systems (APV) 農用太陽能系統的挑戰

- 太陽光電板下的微氣候影響作物生產，有待進一步相關研究。
- APV適用於乾旱及半乾旱區域，一般種植區會導致作物不同程度減產。
- 暴雨期間，太陽光電板組件產生的強烈徑流會導致土壤侵蝕和溝渠的形成，最常發生在作物發育早期。
- 光電板遮蔽下的區域水分分配不均勻。
- APV下生長的作物生長略有延遲，可能對產量造成負面影響。
- 不同遮光條件與陽光輻射度對作物產量影響變化大，作物營養成分也會改變。
- 裝設APV系統會有2%土地被佔據，採收量損失評估必須列入考量。
- APV系統下的適用作物仍然須個別調查。
- 全球目前缺乏科學證據研究APV下對農藝學的影響，例如作物性能與作物產量等指標。



國際農業結合太陽光電的試驗



德國 – 霍恩海姆大學APV系統評估

- 與Fraunhofer ISE合作的為期一年試驗，種植了四種作物(冬小麥、馬鈴薯、三葉草和芹菜)，收穫了245,666 kWh的太陽能。
- 結果顯示：
 - 在3 - 5公尺以上設置光電板，朝南向不利作物生長，朝東南有較佳的結果。
 - APV系統下的光合有效輻射降低了約30%。
 - 太陽光電板組件下方顯示雨水分布不均勻，邊緣地帶土地有沖刷現象。
 - 三葉草的產量僅略有下降 (-5.3%)，但馬鈴薯 (-18.2%)、小麥 (-18.7%) 和芹菜 (-18.9%) 的產量下降較高。
 - 冬小麥和馬鈴薯的生長速度比參考地塊上的相同作物略慢。
 - 收穫時，沒有觀察到作物發育上的明顯差異。
 - 馬鈴薯、葡萄、啤酒花、菠菜等作物比較適合APV種植。
 - 乾旱與離網區適合使用APV兼具發電與農業生產。

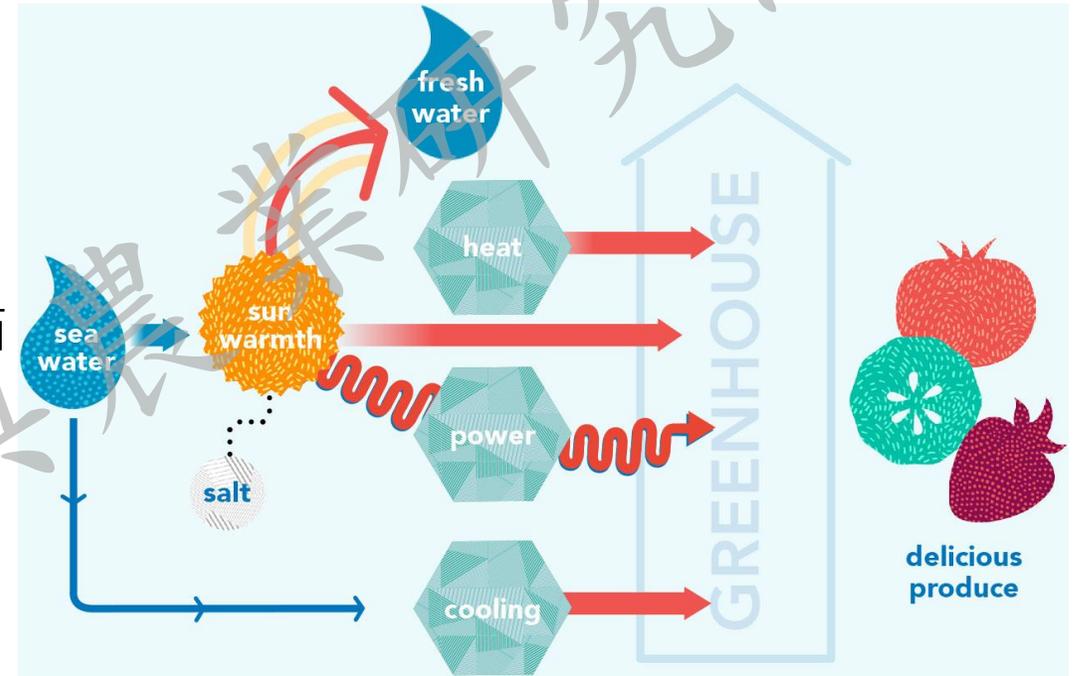
(Schindele and Högy, 2017)



國際農業結合太陽光電的試驗

澳洲 – 日落農場

- 澳洲阿德萊德以北300公里的日落農場，位於乾旱地區退化的土地上，種植大面積的溫室水培番茄。
- 使用太陽能產電及淡化海水，淡水提供給溫室番茄灌溉。
- 農場種植不需依賴地下水及化石燃料。
- 其所種植之番茄與傳統方式種植的番茄產量相似，但品質更佳。

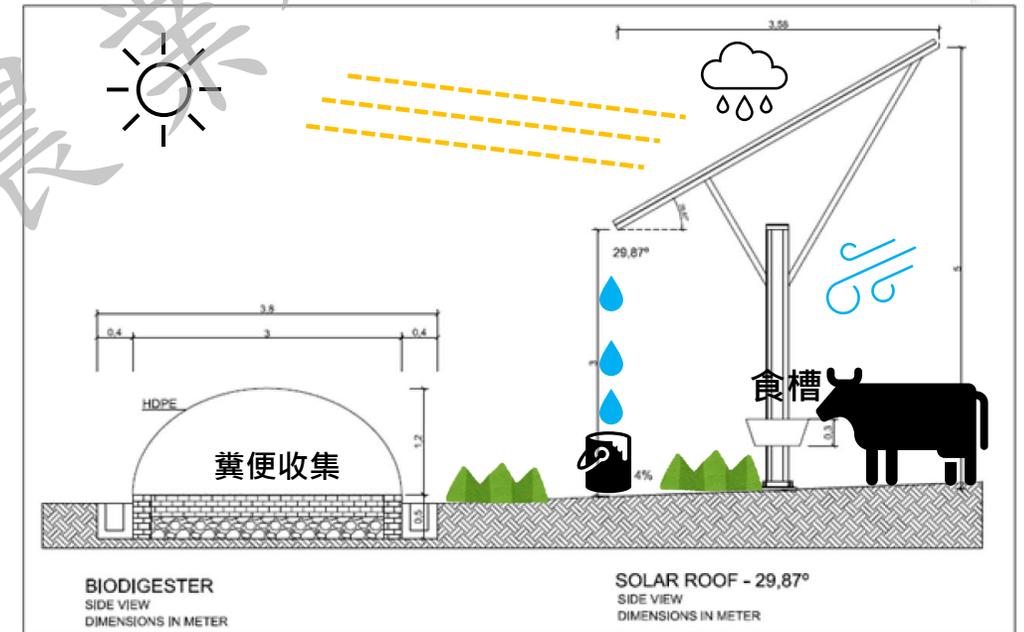


國際農業結合太陽光電的試驗



巴西 – 可持續性生產模型

- WEF (fresh water, energy and food) system：為解決雨水收集、糧食生產與清潔再生能源生產問題的可持續性生產模式。
- 在粗放牧型肉牛農場設置具遮蔭功能的地面型太陽光電板，提供肉牛熱舒適度，促進動物福利。
- 太陽光電板除了發電以外，具有集水、遮陰、放置食槽與飲水功能，肉牛生產的糞便進行沼氣發電。
- 牛隻在等溫的遮蔭狀態下，減少能量消耗與水消耗，並增加體重，提高肉類生產。
- 發電完全可以提供附近屠宰場或酪農場用電。



(Neto et al., 2018)

國際農業結合太陽光電的試驗



美國 - 卡佩爾農場奶牛場

- 卡佩爾農場在奶牛場屋頂裝設100kW太陽能系統。
- 現場安裝的保護系統監視電網安全運作，並通過網路提供用戶控制監測。
- 減少了31%的電網用電量，降低了41%的用電成本。



國際農業結合太陽光電的試驗



澳洲－佩斯蛋雞場

- 在3個農場屋頂總共安裝了1.7MW裝置容量的太陽能板。
- 將節約Pace Farm在未來20年內約45%的能源費用。
- 屋頂裝設光電板降低蛋雞舍內的溫度，使雞舍全年保持雞隻生存適宜溫度。



國際農業結合太陽光電的試驗



英國－威爾斯德維爾德蛋雞農場

- 農場屋頂總共安裝了60kW裝置容量的太陽能板。
- 利用太陽能產電供地面下埋設超過2000m的水管加熱使地面溫度達18°C，提升緯度高氣候溫度低的農場放養雞使用。
- 優勢：
 - 雞隻產蛋率提升
 - 雞隻因為溫暖，飼料量減少，體重卻增加
 - 生產出環保與人道飼養雞蛋
 - 電力成本下降
 - 不需要時常砍柴燒火加熱水源
 - 地面不會結霜與凍結
 - 地面上的雞糞乾燥很快，收集方便

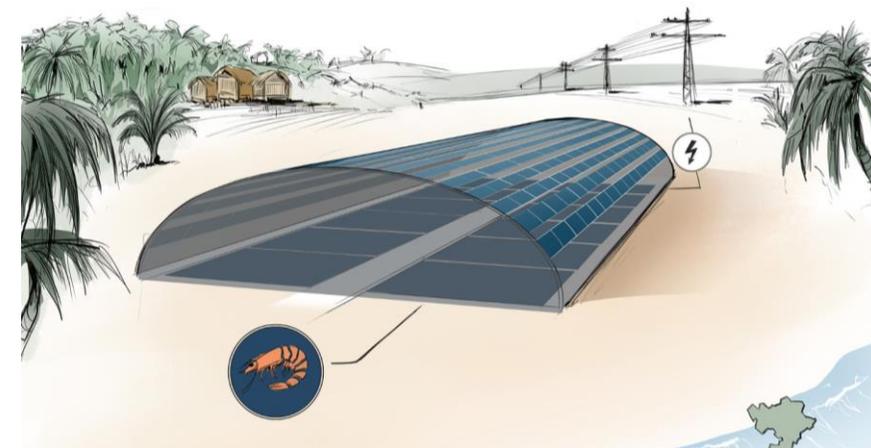


國際農業結合太陽光電的試驗



越南與德國 – 湄公河三角洲蝦類養殖

- 越南與德國Fraunhofer ISE太陽能系統研究所合作，在當地開發以封閉迴路進行魚蝦水產養殖結合太陽光電電力生產。
- 主要目的是為了解決當地蝦類養殖的問題，包括：
 - 緩解土地資源壓力、保護剩餘的紅樹林
 - 避免抗生素與飼料殘渣對當地生態造成的環境污染
 - 減少地下水的使用
- Biofloc蝦類養殖方法的優點
 - 提高土地面積的整體生產力
 - 減少廢水輸出與75%淡水使用量
 - 每年可減少約15,000噸的碳排放
 - 減少掠食鳥類侵害與降低
 - 維持養殖池內較低水溫，促蝦生長



國際農業結合太陽光電的試驗



越南－魚蝦養殖

- 使用太陽能電源系統為水產養殖設施(蝦場)供電。
- 非逆流併網太陽能發電系統可為蝦場提供螺旋槳水輪機電力，如曝氣、吸氧、取水、排水等。

Security
Surveillance
camera



PV (Solar)
power supply system

LED lighting



<http://azroad.net/pdf/en.pdf>

國際農業結合太陽光電的試驗



美國 – 低影響太陽能農場開發

- 什麼是低影響太陽能開發？

傳統太陽能常規場地準備	低影響太陽能場地準備
<ul style="list-style-type: none"> • 清除土壤和植物根部 	<ul style="list-style-type: none"> • 現有植被完好無損，或由生長緩慢的本地植物種或農作物替代
<ul style="list-style-type: none"> • 移除表土與堆存 	<ul style="list-style-type: none"> • 保留表土，使原有植被持續生長，維持地力
<ul style="list-style-type: none"> • 重型機械平整土地 	<ul style="list-style-type: none"> • 土地的自然輪廓被納入太陽能項目的設計和配置中
<ul style="list-style-type: none"> • 重型機械壓實土壤 	<ul style="list-style-type: none"> • 保持植被完好無損，以減少雨水導致的逕流和土壤侵蝕
<ul style="list-style-type: none"> • 含混凝土的垂直支撐結構(打樁)占據地面較大面積 	<ul style="list-style-type: none"> • 用於垂直支撐結構基礎的土地佔地面積較小
<ul style="list-style-type: none"> • 清除植被 	<ul style="list-style-type: none"> • 保留植被
<ul style="list-style-type: none"> • 運轉維護行動(O&M)：噴灑除草劑、殺蟲劑，修剪雜草和其他植被 	<ul style="list-style-type: none"> • 維護生長較慢的原生植被，執行最少的運轉維護(O&M)行動，可以放牧



Aurora Solar Project的低影響裝置



科羅拉多州科的卡森陸軍基地-傳統裝置

國際農業結合太陽光電的試驗



美國 – 低影響太陽能農場結合傳粉媒介

- 昆蟲授粉是與人類福祉直接相關的最重要的生態系統功能服務。
- 土地用途的變化導致授粉媒介及其棲息地的減少。
- 傳統大規模公共事業規模的太陽能光電發展顯示許多潛在不利影響。
 - 水文模式改變
 - 文化和視覺資源的影響
 - 棲息地的喪失和破碎化
 - 野生動植物的直接死亡
- 確認依賴傳粉媒介作物耕地區域，選擇鄰近土地建立結合低影響太陽能設施之授粉媒介棲息地。
- 建立太陽能傳粉媒介棲息地優勢：
 - 保護傳粉媒介種群及其提供的農業生態系服務功能
 - 提高棲息地1.5公里範圍內高度依賴傳粉媒介作物的農業經濟效益
 - 與周圍農地居民建立積極良好的關係，並獲取能源生產以外的收益

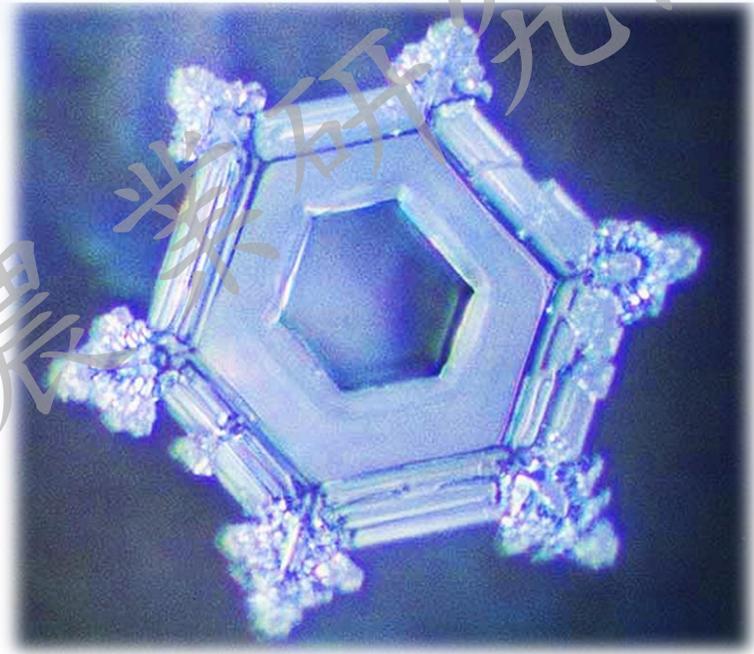


結論

- 未來的太陽光電發展仍具相當潛力，且為發電成本最低的一種再生能源。
- 各國的再生能源支持政策、監管架構、財政是影響太陽能發電發展的重要因素。
- 太陽能結合農業設施提供了實現可持續農業和清潔能源轉型的機會。
- 如何最大程度地提高太陽能發電與可持續農業之間的協同作用是當前的重點課題。
- 地面型太陽能裝置要於農業結合需要調整模式，須根據其所在區域、作物種類、生產形式、環境等進行評估，以調整至最適合農業生產的狀態。



感謝聆聽



水的結晶—感謝

摘自《生命的答案—水知道》2002.10

日本IHM研究所江本勝博士等人自1994年起，以高速攝影技術來觀察水的結晶，他們發現帶有「善良、感謝、神聖」等的美好訊息，會讓水結晶成美麗的圖形。