

出國報告（出國類別：參訪）

第四十一屆歐洲光電會議暨展覽會 (EU PVSEC)

服務機關：經濟部能源署

姓名職稱：梁信君科長

派赴國家/地區：奧地利

出國期間：2024年9月21日至2024年9月29日

報告日期：2024年12月20日

內容摘要

我國能源轉型政策於太陽光電訂有 20GW 之設置目標，其中屋頂型為 8GW、地面型為 12GW 的建置量。其中屋頂型光電於 2024 年度 3 月已達設定目標，然地面型光電目前僅達成 41%。顯見國內大眾對屋頂光電接受程度及建置意願較高，未來勢必需擴大推動屋頂型設置態樣，以加速補足地面推動缺額。

另地面型光電部分，我國已推動鹽業用地、閒置工業用地及水域空間等，其餘可發展地面型光電之土地主要為農業用地，因此面臨如何於光電與農業衡平發展之課題，同時也須回應有關農地生態、農村地景等發展適宜性討論，二者皆屬現今社會大眾觀注之焦點。據此，希望藉由參與歐洲太陽光電展覽及研討會 EU PVSEC2024，透過全球光電歷史最優久的國際會議與展覽，瞭解全球系統設置相關議題、蒐集新知以供本國借鏡，協助並開拓我國光電推動的空間。

第 41 屆歐洲太陽光電研討會暨展覽會(EU PVSEC)於奧地利維也納舉辦，這次會議有來自 60 個國家的 1,800 多名與會者，研究人員、行業領袖和政策制定者齊聚一堂，共同討論太陽能的未來。在眾多富有洞察力的演講和討論中，開幕大會活動「太陽能無所不在：應對全球太陽光電擴張的挑戰和潛力」是重點。

目 次

內容摘要	ii
壹、行程紀要	4
一、出國目的	4
二、行程說明	4
二、參加人員	5
貳、參訪過程摘要	6
一、第 41 屆 EU PVSEC (9/23~9/26).....	6
(一)簡介	6
(二)會議主題	6
(三)動態演講摘要	7
二、參訪 Wien Energie 及 EVN 公司所屬光電案場(9/27).....	25
(一)Wien Energie 公司農電試驗場域	25
(二)EVN 公司浮動光電案場參訪	28
參、結論與建議	30
一、光電產業本土化，強化國際競爭力	30
二、增加 AI 研究成本，提升光電效益品質	31
三、農電共生仍需強化溝通，並跳脫既有框架	31
四、藉由建築整合模式，有望增加屋頂型設置潛量	32

壹、行程紀要

一、出國目的

為協助國內太陽光電產業持續投入新產品研發與國際接軌，積極參加國際研討會議蒐集整理最新技術發展與研究趨勢。本次出國任務主要是參加歐洲太陽光電展覽及研討會 EU PVSEC 2024，本研討會為歐洲最盛大太陽光電年度活動，聚集了全球領先的太陽光電專家和科學家，可以通過專題演講、研討會和展覽等活動，深入瞭解最新的太陽光電技術和趨勢，範圍涵蓋材料、電池、模組、系統、電網、政策與商業應用等。

透過會展蒐集太陽光電技術發展預測以及新型潛力技術，並參加平行研討會，包含太陽光電發展趨勢、農電共生議題太陽光電材料發展、BIPV 未來走向等。另外也會著重蒐集太陽光電最新量測技術、系統檢查與故障分析、發電預估等方案，並進一步瞭解目前計量領域如何將 AI 與數據分析應用在太陽光電各技術領域。

本次並於會展後安排參訪奧地利電力公司之光電案場，以交流及了解奧地利之光電案場規劃設計，並研議可借鑑之處。

二、行程說明

本次出國主要任務為參加第 41 屆 EU PVSEC，本次展期自 2024 年 9 月 23 日起至同年月 27 日止共計 5 日。囿於飛機班次時間及飛行時數較長，出差整體期間為 9 日。

9 月 23 日至 9 月 26 日間，主要為參與有關光電技術、建物光電發展、農電共生等相關議題演說。9 月 27 日則排定參訪維也納電力公司(Wien Energie)所屬農電試驗場域及 EVN 電力公司水面型光電專案。本次出國行程概要如表 1。

表 1、出差日程表

日期	行程內容摘述
9/21	去程(出發:台灣)
9/22	去程(抵達:維也納 奧地利)
9/23	1. 觀看靜態展覽 2. 聆聽演講主題: 製造業回顧與展望、先進的維運策略與方法、模組髒污影響研究。
9/24	1. 觀看靜態展覽 2. 聆聽演講主題: 建物光電技術與性能分析、模組設計與著色技術
9/25	1. 觀看靜態展覽 2. 聆聽演講主題: 農電共生研究回顧
9/26	1. 觀看靜態展覽 2. 聆聽演講主題: 農電共生可行性及績效、光電的創新應用
9/27	參訪 Wien Energie 農電試驗場域及 EVN 電力公司水面光電專案
9/28	回程(出發:維也納 奧地利)
9/29	回程(抵達:台灣)

二、參加人員

本次赴維也納(奧地利)參加歐洲光電會議暨展覽會(以下簡稱 EU PVSEC)人員名單如下。

表 2、參加人員名單

姓名	單位	職稱
梁信君	經濟部能源署	科長
蔡閔安	工業技術研究院 量測中心	副組長
郭駿璿	工業技術研究院 綠能推動組	管理師

貳、參訪過程摘要

一、第 41 屆 EU PVSEC (9/23~9/26)

(一)簡介

EU PVSEC 為歐洲最大的光電會議及展覽，每年於不同的城市舉辦，本年度於奧地利維也納的 Austria Center 舉辦，同時亦預告明年會議地點將落於西班牙 Bilbao。

EU PVSEC 旨在推動光電的技術發展與應用。自 1983 年首次舉辦以來，儼然成為全球光電領域的重要的平台，每年均集結學術、產業、政策等組織人員前來參與、發表並交流新知。EU PVSEC 的舉辦還吸引了許多國際產業的參與，與會者不僅可以建立廣泛的行業網外，還能與全球領先的研究機構和企業分享經驗與最佳實際操作。會議內容通常含蓋設計與製造、光電系統優化、智能電網等面向。

(二)會議主題

本次會議則圍繞著以下五大主題，並分別以動態演講及靜態展出為呈現：

矽與電池：晶體矽技術，涵蓋從矽材生產到電池製造的各個階段。其內部子會議又可細分為五個主題，除涵蓋了矽的材料科學、單界面矽電池、串聯光電系統中的矽電池、矽電池建模及製造技術外，亦著重於提升矽電池的性能與可持續性，並應對技術與成本挑戰。

薄膜新知：以非矽為基礎的光電系統技術，涵蓋薄膜太陽能電池及各種新型概念，亦分為五個子主題。主要關注非矽材的理論研究、製造技術的創新、擴大生產以及測量方法。這些研究旨在促進新材料與技術的發展，並推動光電系統產業的創新進步。

光電模組與系統平衡 (BoS)：探討光電系統的所有必要組件。該主題涵蓋光伏模組的設計、製造、耐久性、可靠性及性能，並包括逆變器等其他 BoS 元件。

光電系統工程及整合應用：涵蓋從單個模組到多 MW 等級的光電電廠設計、建模和運營。此項目下之子主題，涵蓋多種光電系統應用模式，包括建築整合光電系統(BIPV)、基礎設施整合光電系統 (IIPV)、車載整合光電系統 (VIPV) 和農業結合光電系統

(Agri-PV) 等創新應用。此外，浮動式光電系統 (FSPV)、集中式光電發電系統 (CPV) 等項目在此探討。

光電與能源轉型：光電系統於全球能源轉型位居關鍵地位，然加速光電系統的技術需多方合作。本主題涵蓋光電系統整合、持續性發展、政策、經濟及社會挑戰等多項內容。同時在全球能源轉型中，光電面臨的技術、經濟及社會等多面向挑戰與機會。

(三)動態演講摘要

本屆 EU PVSEC 各項主題演講並未按日期依序舉行，係分散於展覽會期各日。後續將以演說內容所涉主題進行匯整。

另外本次大會開幕演講嘉賓，大會主席 Gabriele C. Eder 博士強調今年「PV Everywhere」主題概括了此次研討會願景。另外奧地利聯邦氣候行動、環境、能源、交通、創新和技術部長 Leonore Gewessler 的演講也很鼓舞人心，部長致力於與科學家合作並倡導支持歐洲氣候中和願景的政策，呼籲全球合作至關重要，沒有人能夠獨自應對這項挑戰。奧地利的目標是到 2040 年實現氣候中和，並將著重電氣化來實現這一目標，其中太陽光電是「核心支柱」。

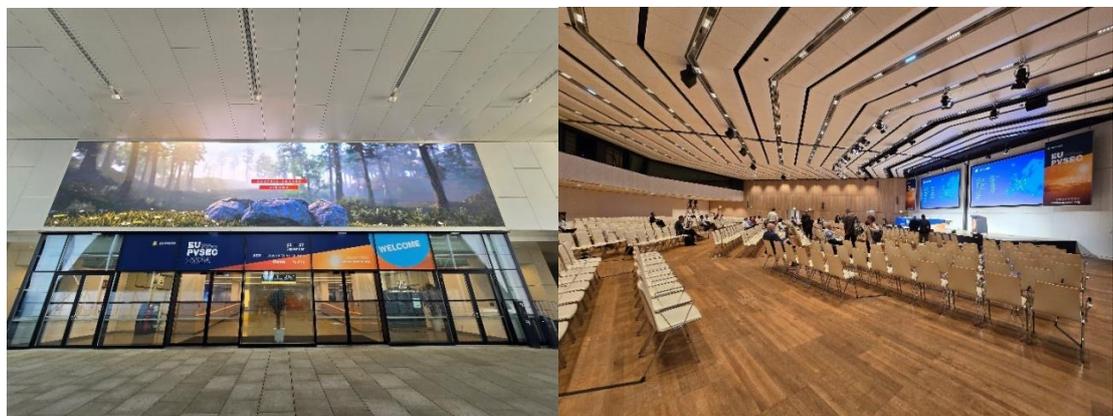


圖 1 EU PVSEC 會場

1. 光電產業發展與展望

(1) 現況回顧

A. 主講人：Xinyu Zhang(中國)、Eszter Voroshazi (法國)、Marina Foti (義大利)

B. 摘要:過去十年內，矽晶光電在晶圓、電池及模組各方面都有顯著成長，單矽晶已成為現今光電產品的主流。如 CR (Czochralski 法) 坩堝尺寸變大使用年限延長、N 型矽材質量提升等因素，均有助於光電成本調降及性能提升。在電池技術領域，TOPCon 因其高效率及相容性也漸成為主流，另透過背面接觸結構及鈍化技術改進提升了整體性能。模組技術方面，切割、材料創新，也提升了模組在不同環境中的適應能力。整體而言，光電產業於未來仍將持續保持高度發展。

另位於義大利的 3-SUN 公司為歐洲重要的光電產業，擁有高度自動化產業。技術創新為其核心發展策略，該公司已逐步轉向高效的晶矽太陽能電池技術，特別是異質結 (HJT) 電池、堆疊型 (Tandem) 太陽能電池等技術。現已宣布擴產計畫並獲得歐盟及義大利政府的支持，目標是在未來幾年內將產量從 200MW 提升至 3GW 的產量，期望成為全球光電產業發展的參考範例。

(2) 歐洲光電未來展望

A. 主講人：Frank Tannhäuser(德國)、Stefan Roest (荷蘭)、Gaëtan Masson (比利時)

B. 摘要:主要探討下階段歐洲光電產業的發展，並著重於技術、產線自動化、國家政策及重啟歐洲光電產線的挑戰。

現今再生能源以光電及風電為主力，現階段光電全球安裝量達 400GW，預計於 2027 年達 1TW。而光電發電效率每年仍持續增長 0.3~0.4%，其技術進步的速度，讓光電在未來成不可撼動的主要能源。

光電市場的多元發展性，如 PREC、TopCon、異質結電等多種技術，各具其優勢而適用於不同設置環境，因此製造商也要抱持寬廣包容的態度去面對各種技術，不應畫地自限的在單一領域內，才不會被光電的發展潮流所淘汰。

隨著光電需求及發展技術提升，創新性也是未來歐洲光電發展的重要指標，包括自動化及數位化，其中也包含了人工智慧、大數據的應用分析的發展，然而創新的同時也應著重於人力與自動化間之平衡發展。儘管現階段歐洲製造商正面臨中國廉價競爭，然更應著重於透過技術提升、流程優化、創新應用來促成市場區隔。

政府政策的態度及推動積極度也是光電產業未來發展得否成功的關鍵因素。雖然德國目前的各項措施及支持力道較為薄弱，但仍有像義大利、法國等國家，透過積極提供補助誘因而讓新公司更容進入光電市場。除了提升歐洲光電產業生產力，減少進口仰賴程度外，歐盟透過淨零產業法案，以強化歐盟淨零產業的韌性及競爭力，並策略性保留 40%市場給歐盟本土產品。

2. AI 技術及光電維運

(1) 系統監控與故障排除

A. 主講人：Mousa Sondoqah(義大利)

B. 摘要:主要介紹如何利用 AI 技術加強光電系統故障排除流程。早期光電系統的監測及故障排程主要係透過人力操作，然隨著技術的演進，未來則可以透過無人機、機器人和雲端技術整合轉向自動化系統，進而減少人力成本並提高營運效率。

人工操作與機器（演算模型）操作目前優劣互見，前者在應對不確定情境得以衡量相關資訊推導出新結論見解，後者則擅長於現存有模式下進行識別及分類。

研究者透過提供光電系統性能、天氣數據，交由演算模型處理進而預測發電量。演算模型則通過預測發電與實際發電量，來判斷光電系統是否在故障疑慮，並進一步進行故障分類。並由故障分類結果來提出最佳解決方案。

然而現階段演算模型發展尚未完全成熟，可能因為概念、參數漂移或感測器問題，而使演算模型無法達到完全準確的判斷結果。因此研究者功率檢測及

故障分類階段納入人工參與機制，以適時介入減少最終的決策失誤。與此同時，人工參與亦可針對演算模型所致錯誤提供反饋意見，提供演算模型主動學習的機會。

相對的，人類判斷亦非總是完全準確，為確保反饋意見的品質，研究者另設計一套 AI 模型，旨在人工參與階段提供注意事項及可供選擇之建議解決方案，來減少錯誤反饋的情形發生。

研究者期望演算模型透過納入人工參與來改進演算模型準確性，同時亦透過 AI 模型作成報告提點人工參與者，間接進一步提升其工作表現。

(2) 逆變器故障檢測與分析

A. 主講人：Stephanie Malik (德國)

B. 摘要：光電系統每日逆變器監測均可能接受到數個異常訊息，尤其是在氣候不佳或其他環境因素的影響下，光電營運商恐將面臨龐大壓力去區分異常訊息及處理系統故障。

本次研究的重點在於檢測逆變器的絕緣閘雙極性電晶體 (IGBT) 元件切換錯誤。透過材料特性分析，研究團隊發現模組內部出現了線路連接損壞、IGBT 金屬層完全降解、晶片焊接點發生重熔等問題。這些故障現象在模組經過現場老化後顯得尤為明顯，並且伴隨著功率模組的局部熔化，這表明長時間的高溫負載對模組的半導體造成了不可逆的劣化，最終導致故障的發生。

除了材料特性分析，研究團隊還進行了數據分析。通過比較故障逆變器和正常逆變器運行狀態，發現故障逆變器在人工棄電期間的偏離顯著，並且在人工棄電期間結束後數小時內出現 IGBT 模組的錯誤訊息。這表明人工棄電操作對逆變器行為有著深遠影響，進一步強調了在大型案場進行數據監測和早期故障檢測的重要性。

研究團隊使用了人工神經網絡 (ANN) 及聚類數據分析技術進一步分析逆變器的正常運作及異常運作，通過將電氣參數、輻射度、環境溫度等變量作為模型輸入，研究團隊成功地建立了逆變器運作參考模式，藉以協助自動化檢測

逆變器的異常狀態，進而提早發現光電系統潛在故障。研究結果顯示，約 89% 的數據屬於正常行為，而 11% 的數據被標記為不規則行為，這些異常行為多與逆變器的故障有關。

此研究的最終目標是實現逆變器故障的自動化檢測。研究顯示，通過材料特性分析與數據監測，可以準確識別逆變器的故障模式，並且將其應用於實際的現場檢測中，有助於提高太陽能系統的可靠性與運行效率。

(3) 複數故障診斷模型

A. 主講人：Giosué Maugeri (義大利)

B. 摘要：過往光電系統的故障及檢修，多先由系統性能分析發現光電異常後，再由光電維運者至現場檢測具體異常原因。但隨著大型光電案場逐漸增加，其管理過程愈加繁雜。研究者認為可透過 AI 技術協助識別光電系統性能下降，並同時判斷、歸納出光電系統故障或退化的具體原因。

因此 AI 技術現階段已漸吸引光電營運商或投資者的眼光，然而研究者認為 AI 在應用上仍面臨部分挑戰，如光電系統同時發生數原因所致的複故障時，AI 技術的故障辨識準確性可能會下降。

研究者針對二極體故障、串聯電阻增加以及部分遮蔭為故障類型來進行單一故障及複合故障辨識測試。因這些故障在單獨發生時，會造成串聯電壓的下降，而當它們同時出現時，影響更為複雜，難以準確診斷。

因此研究者自 2018 年開始實驗計畫，透過生成逾 160 萬筆光電系統故障標籤，來提供機器學習 (ML) 演算法。透過大規模標籤故障數據據的支援，協助 ML、訓練、驗證或測試機器能否識別特定故障類型。

研究顯示，ML 並加入了日常串列電壓監控分析，得以成功有效的區分不同故障類型，並在多重故障情境下提供準確的診斷結果，而此結果也再次強調了數據收集和標記的重要性。

(4) 預測維護與故障分析

A. 主講人：Demetris Marangis (賽普勒斯)

B. 摘要: 光電設備本身折舊問題，可以透過後續運營和維護來減少經濟損失。因此研究者主要探討如何透過趨勢預測維護和故障檢測技術來提升光電案場的運營效率。

光電設備本身折舊問題，可以透過後續運營和維護來減少經濟損失。因此研究者主要探討如何透過趨勢預測維護和故障檢測技術來提升光電案場的運營效率。

現行有二種方式進行故障檢測：資料導向(又稱為資料驅動)及預測分析來協助光電系統於故障發生前，即早識別系統潛在的問題來減少不必要的停機時間並提升整體效率。研究者的目標是建立一個專門用於光電系統檢測及預測性維護的機制。

研究者從數據收集開始，主要收集為期三年的氣象、電氣及維護數據，並分為訓練群和測試集群。後續則使用 XGBoost 演算法來模擬光電系統的直流電流、電壓和功率，並使用支撐向量機來識別模擬數據及實際量測值的異常比，以便於研究團隊能夠有效地進行故障檢測。

於預測性維護，研究者使用 PRDC 指標來生成光電系統性能趨勢，並使用 Facebook Prophet 進行時間序預測生成 95%的信賴區間以標示系統正常運行的上下界線。這些趨勢預測結果與當年的實際趨勢進行比較，以生成預測維護警報。

依據實驗結果，XGBoost 模型的模擬結果顯示了極高的準確性，均方根偏差 (nRMSE) 值均低於 2%，這表明該模型在模擬直流電流、電壓和功率方面有出色的表現。支撐向量機算法在故障檢測方面的表現同樣優異，成功檢測到 96.9%的故障，僅有 1 個故障未被檢測出。而在預測維護方面，Facebook Prophet 則成功預測了 7 日內部分潛在的性能問題。

(5) 紫外線分子影像應用分析

A. 主講人：Claudia Buerhop-Lutz (德國)

B. 摘要：紫外線分子影像（UVF）能夠提供其他影像技術無法涵蓋的功效，尤其是在檢測材料劣化和模組內部故障方面，具有更高的靈敏度和精確度。

相較於近紅外光分析（NIRA），UVF 技術，每小時每個檢測人員可以檢查多達 300 至 400 個模組，這遠遠超過了近紅外光譜每小時 25 至 35 個模組的檢測能力。另 UVF 操作簡單，只需要一個紫外線燈和智慧型手機即可拍攝影像，這使得現場應用更加靈活，而 NIRA 技術則需要拖車搬運設備進行檢測，耗時且效率較低。就功能而言，UVF 更專注於揭示材料劣化和老化現象，特別是背板材料和 EVA 的變化，可讓檢測人員能夠清楚觀察到背板和接線盒的劣化、模組內的裂紋，甚至是更換過的模組部件。

透過主成分分析（PCA），UVF 檢測可明確透過影像差異來分類模組材料，特別是聚酰胺、PET 背板和 PE 背板間的區別。這些材料的 UVF 檢測中，亮度、邊緣細節和形狀上存在明顯差異，透過這些模式的分析，技術人員可以快速識別故障模組並進行維護。

另 UVF 也可檢測熱異常現象，當 NIRA 顯示電池片溫度過高時，UVF 也會顯示出異常亮度，這通常與電池片的裂痕和背板材料的劣化有關，這一特性使得 UVF 可成為檢測材料結構問題的有力工具。

然而 UVF 仍面臨一些挑戰，主要是圖像處理和分析工具的欠缺。雖然此技術在影像收集方面速度很快，但在數據處理上仍以手動操作為主，這限制了技術的廣泛應用。因此，未來發展的重點將是開發自動化工具，提升影像後處理能力，並進行更高效的數據分析。

整體而言，UVF 是種非常強大的現場檢測工具。這種方法非常便宜、簡單且快速。我們可以通過紫外螢光技術獲得有意義的結果，對物料清單進行分析，還能檢測出故障機制。

3. 光電模組清潔效益分析

(1) 雨水清潔效能研究

A. 主講人：Fernanda Norde Santos（德國）

B. 摘要:多數雨水清潔光電模組效果模擬，多為使用閾值模式，即先假定雨水量達一定門檻後即具清潔效果，反之則否。然實際上降雨僅可達到部分清潔，且其效果亦會受其他因素影響。

研究者實測發現於強降雨情形下，光電模組幾近可以達完全清潔的程度；然中低雨量下模組清潔的效果則不明顯，甚至降雨量低於 0.2 毫米還出現光電模組變更髒的情形發生。另清潔程度的數據分析也顯示，模組清潔程度確實受降雨量的多寡、強弱的影響，但幾乎未有達完全清潔的程度。

研究者將降雨量、降雨平均及最大強度、髒污減少比例等實測數據使用多元線性回歸、隨機森林統計方式來評估清潔效果後發現，傳統閾值模式通常高估了降雨清潔效果，且實測發現降雨未必均具良好清潔效用，建議應用更精確的統計模型來反映光電模組清潔的實際現況，以作為優化光電系統營運策略的參考依據。

(2) 防污塗層的性能分析

A. 主講人：Leonardo Micheli（義大利）

B. 摘要:灰塵、污垢等污染物積聚光電模組玻璃表面上，可能會吸收、反射或散射部分陽光，而致發電效能減低。經研究者於 2018 年所統計，全球因光電模組髒污問題所損失的價值介於 30 至 40 億歐元。

目前光電模組上髒污的清理方式，除傳統物理清潔外，尚可採事前預防措施，即以防污塗層來減少灰塵累積或促進自然去除。然而該塗層最受挑戰之處即需額外耗費成本，且塗層在自然環境且無其他外在磨損下，且於 1 至 5 年即可能消失殆盡。

防污塗層通常會增加期初設置成本，但同時也提高了發電量，研究者採用均化能源成本（LCOE）及淨現值法（NPV），在防污塗層應用間找出發電效益提升及成本控制的平衡點。另研究者收集不同地區 PM10、PM2.5 及降雨量數據，作成污漬清潔效果地圖，用以統計分析各地區塗層防污效果及折損率，進而計算塗層可允許投入的最高成本。

研究者最後指出其分析結果，於塗層具完全避免光電模組污染物累積且年折損率 25%（即使用年限為 4 年），光電營運商可花費於塗層的成本約 €8.0/ 呎。如果未來能將年折損率降至 1% 時，則可花費成本則可提高超過 10 倍，再次強調塗層耐久度對經濟效益影響。

4. 建物光電的設計與推動

(1) 閃蝶 (morphocolor) 模組塗層技術

A. 主講人：Benedikt Bläsi（德國）

B. 摘要：無論 BIPV 設計方式究竟純作為建材亦或點綴設計，主要要求除了色彩多樣性、視覺效果穩定性外，最重要的是模組上色後應維持其發電效率。

為達上開要求，研究者利用閃蝶 (Morpho Butterfly) 為靈感。此種蝴蝶來自於亞馬遜地區，其翅面有非常鮮豔的藍色。進一步使用電子顯微鏡觀察翅面後發現，其顏色並非來自於色素，而係由石蠟和空氣構成的不規則排列磚塊層狀構成，進而引起光散色，使顏色可以從各個角度均能完整呈現。

研究者遂將閃蝶翅面特性應用於實際光電模組玻璃蓋板上 (MorphoColor)，當陽光自玻璃頂部入射時，部分波長的光會受干涉而反射進而呈現顏色外觀，其餘波長則被用於生成電流。此項優點在於所有的光線均被有效利用（呈現顏色或發電）。其發電數據經與黑色的參考模組相比，彩色模組依然保持了 95% 的效率。

然並非所有模組均有玻璃蓋板，且不是所有的製造商都願意為了一項技術而更換玻璃蓋板。為了使 MorphoColor 可應用於更多場合之中，研究者現已成功閃蝶概念應用於聚合物薄膜上 (MorphoFlex)，其優點在於不必改變模組製程，且應用上更富有彈性（應用於車頂等彎曲表面）。其發電數據經與黑色的參考模組相比，其發電效率仍維持了 94%。

因此利用這種薄膜，未來可以達到模組外觀的靈活設計，進而提升 BIPV 的實務運用範圍。

(2) 纖維素於模組之應用

A. 主講人：Leo Adachi（日本）

B. 摘要：模組透過折射率差異引起的特定反射或粗糙表面引起的散射效果，可以產生白化的效果。然而現階段彩色模組的轉換效率較低，如綠色只有 84%、金色或灰色則只有 76%。

為了達到更高效能的 BIPV 系統，須同時達到高透光性及高霧度來滿足減少耗損及提升亮度的需求。研究者因此聚焦於奈米技術，並選用了纖維素奈米纖維 (CNF) 及微米化纖維纖維素 (MFC) 進行比較。纖維素材質具有許多優點，除了熱膨脹係數低、強度高外，並具有生物相容性及降解性。

CNF 具高透高性低霧度，MFC 則具高透高性高霧度。在亮白度比較上顯示，MFC 隨著纖維直徑增加而導至散射增多進而提高白度。另觀察薄膜厚度的增加，亦會使散射增加而提高白度，然轉換效率卻會因此下降，顯示出亮度提升及轉換效率間需有所取捨。

最終，研究者製作二種模組原型進行比較，分別為薄膜厚度 7.8 微米及 35 微米。結果顯示前者轉換效率耗損 1%、亮度為 18；後者轉換效率耗損 30%、亮度為 60%。於考量在日本理想的牆面高度為 40%，依據實驗結果可採用 MFC 模組來改善 BIPV 亮度不足的問題，並成功製作出具白色外觀的模組。

(3) 光電窗戶效能分析

A. 主講人：Simona Villa（荷蘭）

B. 摘要：專題主要探討半透明光電窗戶的挑戰，過往光電的透明度及發電效率往往無法相容，研究者因此並提出了一個結合雙面晶矽太陽能電池和百葉窗的多功能解決方案，用以達到透明度、發電效率及美觀三方面的平衡。

其概念基於以雙面晶矽太陽能電池以條狀形式層壓絕緣玻璃外部，百葉窗則嵌入光電模組與內部玻璃間隔之中。這些百葉窗可以根據需要打開或閉合，從而影響光線的反射和發電效率。當百葉窗閉合時，即為一個半透明窗戶；但百葉窗打開時則會充當反射器，將部分輻射光線反射到太陽能電池的背面，以

提高發電量。另百葉窗則設計成可以調整角度，因此輻射光線反射量也可隨之調整。

研究者使用二種雙面電池（交指式背接觸電池-IBC、鈍化射極與背面電池-PERC）、二種不同覆蓋率（50%和 60%）及三種不同類型百葉窗（S157：一般灰色百葉窗、S102：具高漫射反射性白色百葉窗、V95：反射性最高百葉窗）設計了 12 種測試用光電窗戶，並將其安裝於戶外設施進行實測。

經蒐集一年的測試數據顯示，相較於無百葉窗的裝置，。當百葉窗傾斜至 75 度時，性能提升最為顯著。具體來說，V95 百葉窗能夠將性能提升高達 25%，而 S102 百葉窗的性能提升約為 10%。整體來看這些結果表明，百葉窗不僅可以在需要時提供遮陽效果，還能顯著提高光電窗戶的發電效率。

（4）線條式電池於光電窗戶的應用

A. 主講人：Kazuhiko Umeda（日本）

B. 摘要：傳統的建物光電，主要係著重在屋頂上建置，但隨著現代建築需求的增加及能源自主、轉型的觀念提昇，光電如何應用於外牆與窗戶也漸顯的重要。

過去光電應用於屋頂外的技術具有許多局限，如傳統光電窗戶，除受限於光電電池製程上的標準化限制，而致應用上缺乏彈性且美觀性不足外，也需要在發電量、透光度及視野間進行取捨。

研究團隊遂提出一個新型半透明光電模組，其技術是採用寬度僅有 4mm 的線條式雙面電池，透過均勻排列來確保透光性，同時也可解決美觀及視野的需求。同時也增加模組尺寸的設計彈性，可以根據建築需求進行定訂製。此外，此模組也使用了低輻射塗層，來隔熱並反射近紅外線以協助提昇發電量。

為驗證近紅外線的利用，研究團隊分別以具低輻射塗層及不具塗層的模組樣比進行實測，顯果亦顯示出具塗層樣本較不具塗層樣本的全年累計發電量高了 9%。此外，研究團隊也進行線條式電池與傳統方型電池的性能比較，結果也顯示線條式電池的發電效率較佳。

研究團隊已持續的開發及優化，現已成功應用於越南和泰國的數建物中，雖早期開發初期面臨了許多挑戰，但現今已經能夠實現自動化生產，並具備一定市場競爭力。

(5) 系統化 BIPV 規劃流程

A. 主講人：Frank Ensslen (德國)

B. 摘要：演講主要針對如何將 BIPV 的規劃整合至建築規劃過程進行討論，並指出 BIPV 推廣的主要障礙是知識與經驗的不足，特別是在規劃、工程及技術實施方面；另利害關係人間的責任亦未明確，進而導至 BIPV 推動及建置成效不彰、增加額外成本或期程延宕等問題。

因此演講者嘗試提出 BIPV 各階段規劃架構，並研提一套 BIPV 子流程與利害關係人模型作為輔助配合，清楚描述利害關係人於各階間中所扮演的角色及責任，以期解決利益相關人在隨著 BIPV 規劃進展所致的角色變化及相互作用。最終希冀藉由明確 BIPV 規劃、設置指引原則，進而達到更具成本效益的 BIPV 推動方式。

演講者比較了各國的建築規劃過程，發展英國皇家建築師學會 (REBA) 將 BIPV 規劃推動做了相當簡潔明瞭的階段性分類得以參採作為流程設計。其後演講者提出利害關係人流程模型，並盤點 BIPV 規劃過程中所涉技術性(如 BIPV 模組設計、電機系統、防火安全、眩光風險等)及非技術性 (BIPV 美學設計、預算、產品利用選項)事項、法律規範及相關議題 (如保險、營運模式)、BIPV 子流程及利害關係人。演講者借鏡 REBA 設計之階段性分類結合 BIPV 子流程所訂事項，進行排列組合並劃分 0~3 級優先辦理級別 (0 為非優先事項)，以期達到資源合理分配。後續再針對優先級別 1~3 級對應事項，逐一分配予各利害關係人，以明確責任歸屬。

演講者期望透過這套 BIPV 推動架構設計，能夠有效解決各個規劃階段中的技術及非技術性問題。總體而言，BIPV 規劃過程的成功取決於早期介入規劃階段、根據建築特徵調整規劃流程、明確利害關係人之間的責任。

(6) 建物光電與能源轉型

A. 主講人：Delia D'Agostino (義大利)

B. 摘要：專題主要討論建物光電的效益，依歐盟建築物能源效能指令自 2021 年起，所有新建物應盡量消耗少量能源，以達到幾近零耗能的目標，而 2030 年目標則為零排放。另根據歐盟建築物能源效能指令的最新要求，新建物均須預留安裝光電的空間。

歐盟建築物能源效能指令之所以如此要求，主要係建物耗能及排放量比例極大，總能源消耗約占 40%，總溫室氣體排放約占 36%。而多數建物多為 2001 年前所建照，每年平均僅有 1% 進行翻新，因此未來提升建物效能及減少排放是項重大政策挑戰。

聯合研究中心 (JRC) 為此遂提出了成本優化方法，以期提升建物能源的效能。該方法自 2010 年引進，並要求歐盟成員國每 5 年提交報告，以因應實務現況調整建物能源效能要求。而成本優化方法確實也提升能源效能，於 2013 年至 2018 年間，歐盟層面平均提升了 20% 的能源效能。

成本優化方法主要步驟為確立各國典型建物類型、找出適宜節能及再生能源措施、計算建物淨能源消耗、計算光電設備各項成本、分析耗能與成本以確立成本優化標準，最後再配合調整更新建物能源效能。

依統計光電系統在不同氣候區域的效能不一，透過區分歐盟成員國的氣候可發現，在地中海氣候區，設置建物光電平均可節約 45% 的非再生主要能源需求，在北歐地區則為 15%。雖然各國節能效能不一，但平均而言新建築可節約 35%，而翻新建築則可節約 20% 的能源。

因此，光電不僅能降低能源需求，還能提升自我消耗，增加能源自主，並減少對不可再生能源的依賴。依據統計數據，歐盟現今幾近零耗能新建物設置再生能源占比約為 10% 至 60%，而翻新建築的占比則為 55%，可見光電設備已逐成為提升建築物能源效能的主流技術。

5. 農電共生

(1) 評估歐盟農電共生潛力

A. 主講人：Anatoli Chatzipanagi（義大利）

B. 摘要：農電共生並非全新的概念，隨著氣候變遷加劇及能源需求增加而漸受關注。傳統地面型光電主要專注於如何產出最大化的能源效益，而農電共生則著重於土地的複合利用，以期達到農業生產及能源產出的雙重效益。

歐盟約有一半的土地是被森林所覆蓋，而耕地及草地僅占了約 2 成。農電共生不僅可以減少光電設備用地需求，也有助於保護農作物受冰雹、熱浪等極端氣候影響，並為農民提供額外的收入來源。

為評估歐盟農電共生的潛力，研究團隊評估了全歐洲的地理空間，顯示全歐洲約有 2000 萬公頃適合農電共生的設置，其中 8 成為耕地、牧場等設施則占了 1 成。

針對不同的土地類型，研究團隊規劃了不同的光電設備配置方案，如耕地採用東西向間距需 14 米的立面型設置，以提供大型農業機具通行；牧場則採面南方式設計，模組高度應提高以提供足夠空間供動物活動；而永久性作物區域則同樣採取東西向設置，並應提高模組的透明度來增加光照。如此設計，則歐盟農業光的潛在裝置量將有 9.1TW，為達 2030 年 500GW 的推動目標，僅需利用 0.3%的土地；其至 2050 年的淨零排放目標，也僅需要利用 1%的土地即可達成。

然而，農電共生的潛量無限，卻仍有許多挑戰需加以克服，特別是在農電共生實際運用、法規框架、社會接受度以及對農業產量的影響方面。

(2) 提升農電共生的社會接受度

A. 主講人：Alexis Pascaris（美國）

B. 摘要：美國持續時間最長的農電共生專案（Inspire）於 2015 年啟動，目的是調查農電共生的可行性，目的在提高農電共生的效能，並促進不同農電共生的最佳實踐與經驗分享。

本專題提出光電成功的 5C 要素，即為氣候 (Climate)、光電技術和系統設計 (Configuration)、農作與栽培 (Crops and Cultivation)、合作關係 (Collaboration)。目前多數的研究多著重於氣候、技術及農作栽培，但實際上真的面臨的挑戰，是應如何解決農電共生實際設置所生社會接受度的問題。

就社會接受度議題，本專題試圖提出了解決方針供參考。主要有提升民眾參與：於推動過程中納入更多利害關係人的意見時，社會接受度愈高愈有助於推動；社會公平性：主要在於農民權益應如何維持，特別是仰賴租賃土地用以農作的農民，如何保障他們不受光電開發而受有損害；法律與政策明確：應確保平行或垂直單位就法律與政策見解的一致性，以避免後續開發過程的不明確。

最後，並點出農電共生不僅需依賴技術面的優化，更需要考慮社會層面的影響。為了確保農電共生的公平性和可持續性，必須建立跨部門的協作機制，以確保農民、政策制定者和開發商等多方利害關係者能夠參與到整體規劃與推動過程。

(3) 義大利農業推動的困境分享

A. 主講人：Celeste Mellone (義大利)

B. 摘要：義大利環境部在 2022 年正式定義了農電共生，該系統被認為對土地使用的影響較低，且更符合環境保護需求。這種新型的農電共生系漸受到立法者和投資者的青睞，相較於一般光電案場，農電共生更容易取得政府機關的許可。

義大利政府於 2023 年明定農地上允許設置農電共生並簡化了相關辦理程序。雖然義大利政府採取了明確的立法措施來推動農電共生，但義大利境內不同地區對光電設置的法規範跟態度有著極大的差異，部分地區的機關與民眾甚至極為反對光電設置甚至推動立法完全禁止設置。

因此顯現推動農電共生的發展不僅是技術和政策的問題，更是一個需要政府、專家和民眾之間達成共識的過程。其過程中，有關提升能源需求、環境保護意識、加強政策透明度和一致性，都是未來需解決的議題。

(4) 遮蔭與光合作用效率影響研究

A. 主講人：Christiana Honsberg（美國）

B. 摘要：本專案主要討論如何透過光電系統來優化農作產物的生產力。於 1900 年初期，農作生產迎來一次快速成長，隨後也持續穩定成長。然而在過度的 50 至 70 年間，成長幅度也漸平緩。而未來隨著氣候變遷的加劇，可以預見農作生產力可能會開始下降。而如果將光電視為一個輔助農業的技術，則必須展示光電對農作產量的幫助。

演講者指出，植物行光合作用在一定的光照強度下即會飽合，過度光照反而會損其效。而光電架設所生陰影，雖減少了日照卻能維持較好的光合作用效率。等別在高溫及陽光充足的地區，對農作物生長有積極的影響。

研究團隊主要就羅勒、番茄和豆類等作物進行測試，以有無光電設備及不同灌溉條件來進行農作物光合作用的比較。研究結果顯示，在正常灌溉的情形下，設置光電系統雖然會使日照降低，但光合作用的表現卻更加的穩定，而番茄會因光電的設置減少需水量。在減少一半的灌溉量時，羅勒會因水量的關係而致光合作用減少、而豆類作物光合作用則保持穩定，甚至有提升的現象。

透過此實驗，可證實光電設備不僅可以維持農作產量，也可減少部分農作物的灌溉用水。

(5) 將防風撐板概念融入立面型光電設計

A. 主講人：Erlend Hustad Honningdalsnes（挪威）

B. 摘要：挪威幾近 8 成以上土地為山林，而農地僅佔了不到百分之五。然而通常適宜適宜光電的區塊多為平地甚至農地，自會面臨犧牲自然環境換取綠能適宜性的敏感議題。因此如何找出可避免對生物多樣性的破壞，為重要課題。

防風擋板現已被證實可以有效增加溫度、濕度並可減少土壤侵蝕進而提升農作產量，設置概念相當類似於沒有頂棚的溫室，研究團隊遂仿效提出垂直安裝模組充當擋板的概念。為進行風力對農作產品帶來的影響，研究團隊藉由利用衛星數據進行氣候建模、Penman-Monteith 建立蒸發散量模型並分析不同土壤蓄水量、反向光電追蹤模型建立陽光輻射模擬、OpenFOAM 進行計算流體力學模型。

研究發現光電系統面朝風向方位設置，透過陽光輻射和風速的綜合作用下，可以同時提昇農作產量及能源產量。

研究團隊亦回顧歷史數據亦發現，於 2018 年因氣候乾燥炎熱而減少陽光遮蔽和風速時，當年農作物產量有很大的增力；反觀 2012 年為氣候較差的一年，農作物普遍出現了減產的情形，也可以驗證風力大小影響了農作生產的量能。

演講者總結說到，目前光電設備的設計多著重於如何最有效取得日照輻射，而防風擋板則尚未被立面型光電充份運用。未來如果是將此概念納入光電系統優化程序，即時是微幅調整模組設計，都可能會產生提升整體效能。

(6) 日光調配於農電共生的實測

A. 主講人：Jacques Levrat (瑞士)

B. 摘要：農電共生主要目的是解決農業用地與能源生產的競爭問題，以實現土地的複合利用。此外，在氣候變遷現今，光電設備亦可作為保護不受如冰雹、熱浪等不利氣氛現象侵襲。

研究團隊於雙軸追器上裝設反射鏡及小型模組，當光線進入溫室並穿過反射鏡時，反射鏡會讓農作物用於光合作用的光線通過，而農作物不需要的部分（如綠光）則會反射給模組進行能量轉換。由於光線折射及模組是安裝於溫室，同時也可避免受因風吹雨淋而致設備損害的情事發生。

此項技術目前已進入實際試驗階段，其中一個測試地點種植作物為葡萄番茄，此種作物於荷蘭的溫室有著 1% 光線原則存在，即減少 1% 的光線則產量亦

會減少 1%。然實測後數據顯現農作物產量基本上保持不變，而光電的發電效率亦有所維持。另一個測試地點種植黃瓜，農作產量亦未有受影響的跡象發生，甚至裝有光電系統的區域因受溫度調節的效益，反而提高了產量。

最後，演講者再次強調農電共生的願景是可以實現的，本專案借助光譜過濾技術，成功就農作物與光電設備進行日光輻射調配，不僅無損於農作物的產量，同時亦能生產電能。

(7) 動態農電共生技術運用及實測

A. 主講人：Damien Fumey (法國)

B. 摘要：由於氣候變遷帶來的極端天氣事件，如熱浪、霜凍、大冰雹等，為農業生產帶來諸多挑戰。傳統農業技術已難應對這些頻繁且劇烈的氣候現象，導致增加農作產量的不確定性，且增加農業保險成本。

研究團隊試著提出動態農電共生技術，來避免氣候對農作帶來的影響。此技術核心概念是將模組設置於農作物上方，其高度亦保留農業機具通行空間，而模組則可根據天氣條件隨時調整角度及遮蔭效果。因此不僅能減少過度日照和高溫對作物的影響，還能防止暴雨和霜凍帶來的損害，以確保農作物在不同環境條件下都能得到最佳的生長環境。

此外，研究團隊使用大量的氣候數據、監測感應器並模擬農作物生長過程，以建立自動控制系統。該系統能夠實時收集氣象數據和擬作物生長狀況，並根據這些數據動態調整模組角度，確保農作物能夠獲得適當的光照、水分和溫度，從而提高作物的產量和品質。

在實驗中，這項技術已被應用於多種作物，如葡萄、蘋果、櫻桃等。研究結果顯示，動態農電共生技術能顯著降低葉片溫度，在熱浪期間降低葉片溫度約 10 攝氏度，並且在極端氣候下，土壤溫度的差異可達 30 攝氏度。這種溫度控制能有效減少高溫對作物的損害，從而提高作物的存活率。

除了高溫保護，此技術也能減少水分蒸發，進而節省約 40%至 60%的灌溉用水；此外，透過調整模組角度至水平時可以形成溫室效應，將土壤夜間釋放的紅外線熱量保留於模組下方，進而避免霜凍對作物花朵的損害。

整體而言，動態農電共生技術不僅能有效地保護農作物免受氣候災害的影響，還能節省灌溉用水、提高作物產量和品質，進而實現農業和能源生產共榮的結果。

二、參訪 Wien Energie 及 EVN 公司所屬光電案場(9/27)

最後一天行程拜會駐奧地利代表處經濟組孫組長良輔(圖 2)，以及參訪奧地利最大的兩家民營電力公司，分別為 WIEN ENERGIE 的農電視驗場域以及 EVN 水面型系統案場。



圖 1、駐奧地利代表處合照

(一)Wien Energie 公司農電試驗場域

Wien Energie 是奧地利主要能源供應公司之一，主要服務於維也納及其周邊地區，其成立於 1999 年，業務涵蓋廣泛，涉及電力、天然氣、暖氣等面向。該公司每年產出約 500 萬 MWh 的電力，主要來自天氣然發電、汽電共生及再生能源。Wien Energie 致力於推動能源轉型，積極投資可再生能源項目，如風能、太陽能及水力發電等，並預計到 2030 年，至少有 1/3 的電力來自再生能源。

Wien Energie 目前擁有多個風力發電場，同時也積極推動鼓勵居民和企業參與屋頂型光電設備設置計畫，這種分散式設置不僅能滿足部分用戶的需求，還能將餘電送回回電網，以進一步實現地域性的能源自主。

就光電的推動，Wien Energie 亦透過開發民眾認購模組的方式，讓促使未擁有適合裝設光電設備空間的民眾，亦有機會投入光電設置，實現大眾參與能源轉型的理念。此種策略不僅有助於光電設置的發展，亦讓人民得以投資者身份獲取穩定的投資回報。且於光電設置期滿，Wien Energie 亦承諾買回設備，因此大幅提升民眾參與意願，甚至出現釋出認購標的即被搶購一空的情形。

9/27 上午參訪位於 Schafflerhofstraße 編號為 PV-SAF-1 的光電案場，解說人員為 Wien Energie 能源諮詢部的 Wudy Bernhard。

本案設置容量為 5,420 瓩，年發電量為 6,117,874kWh。本案主要結合放牧使用，每年 5-8 月會將綿羊群轉至此場地進行放牧，其餘月份則會移轉至他處。會選擇綿羊作為放牧標的，主要係基於光電案場的維運所需。如放養牛隻，牛隻可能會磨擦背部而使光電支架變型、歪斜或倒塌；放養山羊則可能因為山羊跳躍、衝撞、踩踏而使模組破裂受損；放養雞群則可能因其排泄物成分致使模組腐蝕。

另此案場旁則另設有農電試驗場域，將農業與光電結合使用亦為該公司能源創新項目，該公司所有的農電案場，通常會根據農作物需求來設計光電的排列方式及高度。模組通常可提供部分遮蔭，減少烈日直接曝曬，除可以減少農業用水外，於特定物種亦可透光日照調解來提高其產量。

農電試驗場域模組是採立面型的，於模組左右兩側均會保留空間，除提供通行使用，主要目的還是在避免農作物遮蔭問題。該保留空間的寬度則需視模組高度而定，模組架設設愈高則須保留空間愈寬。農作場域則架設土壤濕度及溫度測器，以適時監控案場農作生長的環境。場域內光電設備支架設置主要是採螺旋樁，即無需進行挖掘土地或灌注水泥，直接將螺旋樁打進地面，除可以減少地基的花費，也可降低對土地環境的影響，待未來光電案場退役時僅需拔除即可。因此，倘欲提高光電架設高度以

增加光電設置量，因需考量迎風面積增加，其立樁深度亦會隨之增加；另為確保農作空間足夠，提高光電架設高度後，二側模組排列的間距亦需拉寬。

Wien Energie 於農地建置光電的方式目前主要有三種：買斷離農、立樁處買斷、立樁處租賃。凡涉及買斷的部分，因改變農業用地原規劃用途使用，農民雖可獲得土地價金，卻失去了全部或部分農業補助的機會。農業補助於奧地利種類多樣且金額為數不小，多數農民均不會為了光電設置而放棄補助金額。農業補助主要在確保並促進農地農用的持續發展，其補助款項通常由奧地利及歐盟共同資助。補助款種類眾多，有直接支付補助（€200~300/公頃/年）、農村發展計畫補助（€1,000 以上/年）、有機農業補助（€600~900/公頃/年）、環境計畫補助（€300~500/公頃/年）等。

綜而言之，買斷離農的設置方式，係有利於光電設置者而不利於農民；立樁處買斷則讓農民持續保有受補助的機會，但其持有或擁有使用權的面積縮小亦會影響補助金額的計算；立樁處租賃方式，農民除因土地所有或使用權未減少而較無影響補助金額計算之可能外，尚可透過租賃議約收取租賃收入及光電收益回饋。



圖 3 Wien Energie 公司農地光電案場資訊



圖 4 Wien Energie 公司農電試驗場及與 Wudy Bernhard 先生合照

(二)EVN 公司浮動光電案場參訪

EVN 是一家領先的國際上市能源和環境服務公司，總部位於奧地利最大的聯邦州下奧地利州。在其國內市場，EVN 基於最先進的基礎設施「單一來源」提供電力、燃氣、熱力、飲用水供應以及廢水處理和熱廢物回收。產品範圍還包括有線電視和電信網路的運作以及為私人和企業客戶以及市政當局提供各種能源服務。海外能源業務包括向德國、保加利亞和北馬其頓的最終客戶銷售電力，向克羅埃西亞的最終客戶銷售天然氣，以及在北馬其頓、保加利亞、阿爾巴尼亞和德國生產電力。其他活動包括向保加利亞的最終客戶生產和銷售熱量、採購電力、天然氣和其他一次能源，以及在批發市場上進行電力和天然氣交易。透過 EVN 提供的完整建議、規劃和實施服務，幫助快速輕鬆地獲得太陽光電系統。

2003 年，EVN 收購了一家德國環境服務集團，將環境業務打造為第二個策略支柱，並將其融入其商業模式。EVN 擁有 100 多個環境項目，在飲用水供應和廢水處理系統、海水淡化以及熱廢物和污水污泥回收廠的規劃和建設方面擁有豐富的專業知識。

2022/23 財年，約 490 萬客戶信任 EVN 能源和環境產品及服務的安全供應。EVN 集團目前活躍於 14 個國家。2022/23 財年，52.8% 的銷售收入來自奧地利以外的中歐、東歐和東南歐市場（前一年：63.5%）。2022/23 年再生能源發電量成長 2.1%，達到 2,295 GWh。風力流量遠低於平均水平，但被水力發電量年增率所抵消。再生能源發電佔比為 77.0%（上年度：66.8%）。火力發電量下降 38.6% 至 686 GWh，主要是由於奧地利輸電網路營運商減少使用 Theiss 發電廠來穩定網路。

9/27 下午參訪位於下奧地利州 Grafenwörth 的 24.5MW 案場（歐洲第四大浮動光電站），解說人員為 EVN 資訊與通訊部的 Ing. Martin Fries。

這個佔地 14 公頃的系統案場建在兩個相鄰湖泊的水面上，這些湖泊以前是沙子和礫石坑。僅在十週內就安裝了 45,304 個太陽光電模組，該項目每年將產生 26,700 MWh 的綠色電力，可為約 7,500 個奧地利家庭供電。該系統主要是透過荷蘭技轉技術在進行改良的浮動光電專案，EVN 在創紀錄的時間內成功安裝了該案場，同時又不影響環境保護。生物多樣性和永續性。



圖 5 EVN 公司浮動光電案場資訊



圖 6 與 Ing. Martin Fries 先生合照

參、結論與建議

一、光電產業本土化，強化國際競爭力

會議展示了過去近年光電技術的進步，特別是在單晶矽、TOPCon 電池和異質結（HJT）電池技術方面的創新。這些技術不僅提升光電設備的效率，成本亦顯著降低，使光電產業在再生能源市場中占據主導地位，成為推動能源轉型的核心之一。歐洲雖作為全球光電技術的重要創新地區，但仍面臨供應鏈過度依賴亞洲（尤其是中國）。歐洲需要進一步推動產業本地化、提升自動化生產線，並加強國際間的合作，來避免競爭力持續萎縮。

而我國在光電技術方面具備良好的基礎，特別是半導體和電子產業的優勢，可以幫助我國在光電技術面的研發與應用。然而，我國光電產業在全球市場中面臨著中國等國家帶來的低成本競爭壓力，因此如何提升技術、降低成本、優化供應鏈，是未來發展的重要課題。借鑒會議中提到的歐洲技術發展趨勢，特別是單晶矽和 TOPCon 電池

技術的進步，我國也應加強研發投入，並結合現有的半導體製造優勢，擴大產能、提升產品品質，以應對全球市場對高效光電產品的需求。此外，我國也應加速推動光電產業的本土化，尤其是在關鍵材料和元件生產上減少對外部市場的依賴或減少對單一地區的依賴，並透過國內政策支持，提升產業競爭力與抗風險能力。

二、增加 AI 研究成本，提升光電效益品質

近年來 AI 話題盛行，因此於光電設備監控維運系統中加入 AI 技術也是本次會議的亮點。無論是在系統監控、故障檢測，還是預測性維護方面，AI 都顯示出巨大的潛力，得提高設備運行效率並減少人力成本。這些都是可以作為我國光電營運商未來的參考方向。

我國光電案場現階段多設有遠端監控設備，然而就 AI 的研發與投入甚少。多數案場監控數據判斷、故障措施處理還是透過人工方式進行初步篩檢，再行指派工班到案場進一步釐清。如此一來一往的時間，所需人力及時間成本難謂不多。倘若未來納入 AI 協助監控、分析、判斷故障排除方式等作業時，仍需考量 AI 本身的缺陷。AI 需要耗費大量時間及成本進行資料餵養，且其所得進行的資料分析，都是藉由過去歷史資訊建構邏輯。然而現實層面上，總是偶有特例存在。因此未來運用上，需著重人工與 AI 間如何互助合作，俾以強化光電設備營運品質，最終達成提升發電效益的最終目的。

三、農電共生仍需強化溝通，並跳脫既有框架

本次會議也強調了光電技術與其他產業的融合應用，如農電共生。農電共生透過光電設備與農業生產結合，實現土地複合利用，以實現滿足能源需求、保護農作物、提升農作產量、增加農民額外收入等目標。尤其在現今氣候變遷異常，農電共生更顯現出實際運用的潛力。

我國地狹人稠，土地資源有限，農電共生看似也提供了一種土地複合利用，創作多贏面向。然而實際上的現況卻常見地方民眾、有關機關以破壞良田、減少日照、侵害生態的反對聲浪，也常出現光電設備設置者未能從提升或維持農作產量、保護農作物的角度去建造光電案場。如此一來一往，農電共生目前尚無法於我國順利推行。無

獨有偶，前述現象並非只存在於我國，國際間也經常面臨如何公平分配利害關係人利益、如何提升公眾參與度、環境保護、各機關間意見不同調等議題。因此，如何驗證光電與農業間非屬競合而是可以相輔相成的共存更顯重要。

在我國光電設備的架設大多還停留在傳統屋頂與地面上以頂蓋型式設置法為主，反觀本次會議的各項演說內已跳脫此窗架，有以立面型為設置，也有以小型模組架設於溫室內上方的方式設置。透過模擬、監測系統進行長時間對照組比對，加以驗證其可行性。我國目前整體最缺乏的是實驗及驗證，多數光電設置者不願放棄發電設備的發電成本效益，甚少有願意花費更多成本進行相關研究或改變既有設置模式。長久下來，農業與光電的結合方式與成果均停滯不前。

而農業單位對農作耕作方式、日照需求、農業政策等，多採取傳統且保守的態度。日照對農作產物的生長固然重要，但相關研究也指出農作物光合作用存在一個飽合指數，且部分作物的日照需求不大，甚至需要部分遮蔭。然而如何改變農業單位態度，最終還是需仰賴大量實測數據的提出及光電設備設置者願意維護農糧生產的決心，而非一味的盤點土地面積或單純性的政策分配土地給農業或光電使用。

四、藉由建築整合模式，有望增加屋頂型設置潛量

我國於今年3月屋頂型太陽光電的設置量已達階段性8GW的目標。顯現出國內對屋頂型光電的接受程度較高，其原因或可歸功於屋頂型案場多屬小型案場，其申設程序較為簡易、亦或屋頂型設置型態較不易產生生態衝擊或受土地使用劃分的影響，因此未來持續推動屋頂型太陽光電為我國光電推動政策重點。

然而屋頂可設置空間隨著累積設置量的增加而漸減少。本次會議內所展現模組製造技術的提升，諸如上色技術與發電效益間的平衡、薄膜型電池或新形態電池於光電窗戶的實際運用等，也可作為未來建物設置光電的參考方向之一，以期進一步增加建物光電的設置潛能。