

出國報告（出國類別：參訪）

西班牙光電發展交流
暨第42屆歐洲光電會議

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：西班牙

出國期間：2025年9月20日至2025年9月28日

報告日期：2025年12月19日

內容摘要

我國太陽光電截至 2025 年 8 月底，容量已達 15.02GW。惟因地狹人稠，在推動太陽光電過程中，受國土地面積限制，使得地面型光電土地取得挑戰、土地使用高度競合，且須與居住空間、生態環境與既有產業發展維持平衡，故目前太陽光電政策以推動「屋頂優先、地面複合利用」原則避免使用衝突，並透過複合利用，有利在我國土地面積限制下，與既有土地使用複合設置光電設施達到合作與共融，在多年的努力下，目前屋頂型達 9.57GW，地面型(含水面型)則達 5.45GW。

然而近年來，我國太陽光電在推動上面臨諸多來自環境生態與社會面的誤解及挑戰，本次藉由參與舉辦於西班牙畢爾包的 42th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC 研討會)，透過研討會，以及和國際專家學者進行太陽光電發展趨勢、農電共生以及回收等議題互動討論，並參訪西班牙在地建築整合光電案例及智慧零碳島計畫，了解國際在光電推動上遭遇課題與突破模式和光電案場於都市環境設置的創新太陽光電模式，以掌握目前太陽光電國際發展趨勢，以及太陽光電於都市空間之利用設計與營運管理機制，作為臺灣未來推動都市型、複合型光電場址之借鏡。

另第 42 屆歐洲太陽光電研討會暨展覽會(EU PVSEC)於西班牙畢爾包展覽中心舉辦，本屆會議共有來自 61 個國家、超過 1,600 名專家學者與業界領袖參與，堪稱全球太陽光電領域規模最大、學術水準最高的盛會之一。整個會期共展示了超過 1,000 場關於最新創新的科學報告與研究成果，進一步鞏固了 EU PVSEC 作為國際太陽光電研究與合作首要平台的地位。

目 錄

內容摘要	II
目 錄.....	III
圖目錄	V
表目錄	VII
壹、 內容概要	1
一、 目的	1
二、 參加人員	1
三、 行程紀要	2
四、 結論與建議	4
(一) 國際光電發展技術多元，研究趨勢聚焦於跨域整合管理	4
(二) 都市再生與能源轉型結合展現綠色治理典範	5
(三) 建築整合光電展現能源與美學兼具的新方向	5
貳、 行程及工作內容.....	7
一、 與馬德里理工大學太陽能研究所師生交流	7
(一) 馬德里理工大學太陽能研究所簡介	7
(二) 交流紀要	7
(三) 小結	12
二、 與 ONYX SOLAR 公司交流建築整合光電	15
(一) 公司簡介	15
(二) 交流紀要	15
(三) 小結	24
三、 訪談 SOLAIS 公司技術總監 CHRISTOPHE VERNAY	27
(一) 公司簡介	27
(二) 訪談紀要	28
(三) 小結	33
四、 訪談 UNSW 教授 MARTIN GREEN	35
(一) 簡介	35

(二) 訪談紀要	35
(三) 小結	37
五、 參加第 42 屆 EU PVSEC	38
(一) 簡介	38
(二) 會議主題	38
(三) 海報報告摘要	39
(四) 動態演講摘要	47
(五) 小結	52
六、 參訪 ZORROTAURRE 案場	53
(一) 案場簡介	53
(二) 參訪紀要	56
(三) 小結	57
七、 參訪 KUKULLAGA 車站—建築整合光電案例	59
(一) 案場簡介	59
(二) 參訪紀要	62
(三) 小結	64
參、 心得	65
一、 國際光電發展議題與我國相似，惟我國光電推動議題較多	65
二、 各國積極推動太陽光電，各專家也對太陽光電發展具信心	66
三、 光電與生活的距離很近	67
肆、 檢討及具體建議	69
一、 規劃行程：參訪案例類型偏重都市型，後續可擴大場域多樣性	69
二、 行前準備：案例觀摩資訊彙整與當地交流聯繫可更周延	69
三、 實地參訪：強化與當地學者、業界實地觀摩和互動	70
伍、 附件-交流訪談預擬談參與訪鋼	71

圖目錄

圖 1 與 MIGUEL-ÁNGEL MUÑOZ-GARCÍA 教授交流畫面	10
圖 2 與 CARLOS DEL CAÑIZO 教授交流照片	12
圖 3 SAN ANTON MARKET 外觀	16
圖 4 SAN ANTON MARKET 之建築整合光電案例實際畫面(天窗)	17
圖 5 建築整合型光電玻璃解構示意	18
圖 6 舊金山 APPLE STORE 頂上安裝可行走光電地板	20
圖 7 西班牙 CASTILE AND LEON 地區光電溫室(屋頂側牆 100% 覆蓋).	20
圖 8 美國科羅拉多州丹佛植物園 BIPV 案例	22
圖 9 美國邁阿密 BALENCIAGA STORE BIPV 案例	22
圖 10 SAN ANTON MARKET 現場交流與 ONYX SOLAR 公司合影	24
圖 11 鐵路與周邊案場反射光路徑分析示意圖	28
圖 12 眩光分析案場場址(CHRISTOPHE VERNAY 研討會簡報).....	29
圖 13 眩光分析案場周邊環境條件(CHRISTOPHE VERNAY 研討會簡報)29	
圖 14 眩光模擬解析度說明(CHRISTOPHE VERNAY 研討會簡報).....	30
圖 15 駕駛視野受眩光影響分析(CHRISTOPHE VERNAY 研討會簡報)...	30
圖 16 與 MARTIN GREEN 教授交流合影	36
圖 17 EU PVSEC 2025 西班牙畢爾包會場	38
圖 18 洪子涵發表於 EU PVSEC 2025 之海報	40
圖 19 洪子涵 5DV.3.43 海報張貼照片	41
圖 20 與會者駐足 5DV.3.43 照片	41
圖 21 與加拿大 CONCORDIA UNIVERSITY 教授交流 BIPV 議題交換名片	42
圖 22 王姿雅發表於 EU PVSEC 2025 之海報	44
圖 23 姿雅 5DV.3.41 海報張貼照片	45
圖 24 王姿雅於 5DV.3.4 場次海報交流照片 (1)	46
圖 25 王姿雅於 5DV.3.4 場次海報交流照片 (2)	47
圖 26 位於內維翁河中段的 ZORROTZAURRE 島現況	53

圖 27 ZORROTZAURRE 島都市規劃構想圖	53
圖 28 ZORROTZAURRE 島都市再生規劃與智慧電網整合	55
圖 29 內維翁河東側觀 ZORROTZAURRE 島北側施工情形	56
圖 30 ZORROTZAURRE 島北側住宅群施工中	56
圖 31 ZORROTZAURRE 島中側既有建築已荒廢尚未拆除	57
圖 32 KUKULLAGA 車站參訪照片	60
圖 33 KUKULLAGA 車站一案技術列表	61
圖 34 KUKULLAGA 車站一案模組設計	62
圖 35 西班牙其他案例	68

表目錄

表 1 參加人員名單	1
表 2 西班牙出差每日行程紀要	3

壹、內容概要

一、目的

我國太陽光電截至 2025 年 8 月底，設置容量已達 15.02GW，惟因地狹人稠，在推動太陽光電過程中，受國土地面積限制，使得地面型光電土地取得挑戰、土地使用高度競合，且須與居住空間、生態環境與既有產業發展維持平衡，故目前太陽光電政策以推動「屋頂優先、地面複合利用」原則避免使用衝突，並透過複合利用，有利在我國土地面積限制下，與既有土地使用複合設置光電設施達到合作與共融，在多年的努力下，目前屋頂型達 9.57GW，地面型(含水面型)則達 5.45GW。

然而近年來，我國太陽光電在推動上面臨諸多來自環境生態與社會面的誤解及挑戰，雖經濟部能源署已增訂了「設置地面型太陽光電設施景觀及生態環境審定原則」，期使太陽光電與在地自然風貌與環境和諧共存，實現綠能與環境共榮的目標，然而許多爭議仍持續延燒中。據此，希冀藉由此參與舉辦於西班牙畢爾包的 42th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC 研討會)，透過研討會，以及和國際專家學者進行互動討論，並參訪西班牙在地建築整合光電案例及智慧零碳島計畫，了解國際在光電推動上遭遇課題與突破模式和光電案場於都市環境設置的創新太陽光電模式，以掌握目前太陽光電國際發展趨勢，以及太陽光電於都市空間之利用設計與營運管理機制，作為臺灣未來推動都市型、複合型光電場址之借鏡。

二、參加人員

本次赴西班牙參加位於畢爾包第四十二屆歐洲光電會議(下稱 EU PVSEC)、光電案場觀摩及與歐洲當地學界及產業界交流之人員名單如下表 1：

表1 參加人員名單

姓名	單位	職稱
梁信君	經濟部能源署	科長
洪子涵	工業技術研究院 綠能推動組	管理師
王姿雅	工業技術研究院 綠能推動組	副研究員

三、行程紀要

本次出國主要任務為參加位於西班牙畢爾包之第 42 屆 EU PVSEC，並參訪光電案場並與學界及產業界交流。本次出國行程概要與每日行程如下(表 2)：

(一) 參加第四十二屆 EU PVSEC：9 月 24 日至 9 月 25 日間，並與國際專家學者進行互動討論，了解光電系統中汙垢(灰塵、塵粒中的微生物)所造成的汙損影響、農電共生之能源、農業與環境整合議題。

(二) 參訪光電案場：

1. 9 月 23 日，觀摩 Onyx Solar 公司其位於馬德里 San Anton Market 之建築整合光電實際案例，並交流有關 BIPV 模組規格、當地屋頂型推動激勵措施、環境問題、回收機制等議題。

2. 9 月 25 日，觀摩 Zorrotzurre 智慧零碳島計畫(零碳排智慧城市示範區)，惟尚施工中，僅於外圍參觀。

3. 9 月 26 日，觀摩 Onyx Solar 公司其位於畢爾包之 Kukullaga 車站(建築整合光電案例)。

(三) 與學界及產業界交流：

1. 9 月 24 日，訪談 University of New South Wales (UNSW) 教授 Martin Green，交流新型高效電池技術，以及世界太陽光電發展趨勢。

2. 9 月 25 日，與馬德里理工大學太陽能研究所 Miguel-Ángel Muñoz-García 教授及 Carlos del Cañizo 教授交流直立式農電共生與模組回收等議題。

3.10 月 7 日，訪談 SOLAÏS 公司技術總監 Christophe Vernay，交流歐洲鐵、公路設置光電經驗及新型高效電池技術。

表2 西班牙出差每日行程紀要

日期	行程內容描述
9/20	去程(臺灣桃園機場-伊斯坦堡機場)
9/21	去程(伊斯坦堡機場-馬德里機場)
9/22	學術交流：原定參訪馬德里理工大學太陽能研究所，並與其師生交流，惟經接洽後系所表示該所人員皆赴畢爾包參加 EU PVSEC，故臨時調整至 9/25 上午與該所師生交流。
9/23	案場觀摩：Onyx Solar 公司於 San Anton Market 之建築整合光電案例
9/24	去程(馬德里機場-畢爾包機場) 1. 學術交流：訪談 UNSW 教授 Martin Green，交流新型高效電池技術。 2. 研討會觀展(EU PVSEC)：光電系統中的污垢和雪的影響議題。
9/25	1. 學術交流：與馬德里理工大學太陽能研究所 Miguel-Ángel Muñoz-García 教授及 Carlos del Cañizo 教授交流直立式農電共生與模組回收等議題。 2. 工研院研究發表(EU PVSEC) (1) 工研院洪子涵：【5DV.3.43】Integrating Energy Policy into Spatial Planning Frameworks: A Study of Taiwan's Approach (2) 工研院王姿雅：【5DV.3.41】Photovoltaic Development and Landscape Conflicts in Taiwan: Status and Resolutions 3. 研討會觀展(EU PVSEC)：農電共生作物產量與發電效率平衡、政策執行策略。 4. 產業界交流：原定訪談 SOLAÏS 公司技術總監 Christophe Vernay，惟 Vernay 先生臨時有事先離開西班牙畢爾包，故改為 10/7 線上交流。 5. 案場觀摩：Zorrotzaurre 智慧零碳島計畫
9/26	案場觀摩：Kukullaga 車站—建築整合光電案例

9/27	回程(畢爾包機場-伊斯坦堡機場)
9/28	回程(伊斯坦堡機場-臺灣桃園機場)
10/7	產業界交流：訪談 SOLAÏS 公司技術總監 Christophe Vernay，交流歐洲鐵、公路設置光電經驗及新型高效電池技術。

四、結論與建議

(一) 國際光電發展技術多元，研究趨勢聚焦於跨域整合管理

本次國際交流與研討會演講討論，國際上針對光電的研究持續就新型技術進行突破，如 UNSW 的 Martin Green 教授持續研發 Tunnel Oxide Passivated Contact (TOPCon) 光電技術，預期突破轉換效率達 30%，並邁入商業化階段。

除技術方面，大部分研究則是針對跨域系統整合進行研究，包含農電共生適宜模組與配置方式，環境塵粒所造成的汙損須重新思考土地配置、案場規劃與後續清潔方式，或針對光電案場的眩光影響建立評估模型，以便可快速在不同工具模擬下，精準調整案場角度、鋪排設計等規劃事宜。同時不論學術或光電業者，皆對建築整合型光電 Building-integrated photovoltaics (BIPV) 抱予期待及深入討論，認為該設置態樣為未來發展趨勢，除技術方面可行以外，也應開始關注於制度的建構，才能在兼顧安全、都市設計、居民觀感等情形下，大力鼓勵 BIPV 設置。

而從臺灣的觀點，我們認為國內制度發展和國際對於跨域整合的趨勢相近，皆朝向複合型利用發展為主，國內包含屋頂型、漁電共生、近期發展的光電車棚等，而國際趨勢則期望建構光電在都市地區的整體管理規劃，加之居民對都市景觀的考量，要建構一套因地制宜符合在地氣候條件的安全規範，以及 BIPV 的都市設計準則，同時對於都市近郊的農業發展區域，則強調農業生產環境為主的規劃方法，如因應作物的遮蔭需求，即時調整光電鋪排設計

或角度等，以上皆為我國可持續追蹤的政策制度建立方向，以利未來可穩定推動光電與建築及土地整合的應用。

(二) 都市再生與能源轉型結合展現綠色治理典範

這次參訪了位於西班牙畢爾包的 Zorrotzaurre 智慧零碳島計畫，雖然仍在興建中，然而其是歐洲在都市再生與能源轉型結合的典範案例之一，原為工業荒廢區的 Zorrotzaurre，透過重新規劃建築群落與基盤設施，目標打造一個能自給自足、低碳且智慧化的島嶼，全面導入太陽光電、地熱、儲能與電動車充電網絡，並以智慧電網串聯各類能源系統，實現區域內即時調度與能源共享。

這樣的再生模式不僅是空間重建，更是一種能源治理創新的案例，透過地方政府在其中扮演關鍵整合角色，以及政策引導與協調機制，使公部門、民間企業與研究機構形成穩定的合作網絡，讓都市再生與綠能推動同步發展。Zorrotzaurre 的經驗顯示，當能源被視為都市設計的核心要素，城市更新就能不再只是土地重劃與建築翻新，而是包含能源安全、氣候調適與居民參與的整體系統工程。

對臺灣而言，此案例提供了極具啟發性的借鏡。當前我國在都市的部分，雖然目前已透過屋頂設置的補助與獎勵，鼓勵民眾設置屋頂型光電，然而較少將能源轉型納入整體規劃的案例，若能比照西班牙的經驗，從小規模或社區尺度的都市示範開始，於都市再生中導入再生能源、智慧電網以及儲能設施，長遠而言，我國亦有機會打造具韌性、可再生、以民眾主導的綠色都市發展模式，使我國能以再生能源支持智慧城市的發展，展現綠色治理的典範。

(三) 建築整合光電展現能源與美學兼具的新方向

本次案場參訪行程中也觀摩了 Onyx Solar 公司的 San Anton Market 及 Kukullaga 車站兩案場，皆為建築整合光電(BIPV)之案例，兩案皆是以 Onyx Solar 公司開發的光電玻

璃替換原先的傳統玻璃天窗，並且透過特殊的設計，San Anton Market 一案的光電玻璃甚至從外觀上看不出光電電池，整體結合美學設計，完美融入建築中。另外，兩案的電力設備也皆被巧妙隱藏，整體空間寧靜舒適，玻璃外觀更無反光或刺眼眩光，不干擾周邊交通或行人視線，無景觀方面的疑慮，展現良好的環境相容性。

因此透過本次觀摩，我們發現光電玻璃與建築結構的融合，得以成功讓再生能源設施成為建築美學的一部分，不僅不影響外觀，更可以幫助建築節能。故此兩案例顯示，光電不再只是屋頂附加的能源設施，而能透過 BIPV 與建築整合的方式兼顧機能、美感與永續價值。

Onyx Solar 公司目前的案例不僅有車站與市場，也包含辦公大樓、住宅公寓、工廠、機場、學校、老教堂等，且遍佈世界各地，可預見 BIPV 是未來都市發展光電的新趨勢，若能成功將 BIPV 概念導入我國新建案，或公共建築、交通設施及都市更新計畫中，不僅能有助於改變民眾對光電設施「破壞景觀」的刻板印象，也能提升我國光電的設置量，展現綠能與城市美學並行的新方向。

貳、行程及工作內容

一、與馬德里理工大學太陽能研究所師生交流

(一) 馬德里理工大學太陽能研究所簡介

馬德里理工大學太陽能研究所 (the Solar Energy Institute at the Technical University of Madrid, IES) 是馬德里理工大學旗下的研究中心，成立於 1979 年，致力於推動太陽光電技術與研究，提供教育、科學與技術，旨在為加速過渡到綠能的未來做出貢獻，促進更多創新的太陽光電，主要可以分為下列三個領域：

- 1. 實現更好的太陽光電：**幫助光電產業最大限度降低目前技術的成本和環境影響，同時提高其社會價值和效益。
- 2. 推廣太陽光電：**透過創新應用、概念和策略推廣太陽光電。
- 3. 創造新型太陽光電：**開拓下一代太陽光電產品，探索其技術與經濟可行性。

(二) 交流紀要

原定於 9/21 參訪馬德里理工大學太陽能研究所，並與其師生交流，惟經接洽後系所表示該所人員皆赴畢爾包參加 EU PVSEC，故臨時調整至 9/25 上午與該所師生交流，其中訪談了 Miguel-Ángel Muñoz-García 教授與 Carlos del Cañizo 教授。

1. 與 Miguel-Ángel Muñoz-García 教授交流

(1) 研究方向—最小化影響農業的垂直試驗

Miguel-Ángel Muñoz-García 教授團隊提出了「YIELD AND PR ESTIMATION FOR VERTICAL AGRIVOLTAICS SYSTEMS(垂直型農電共生系統的發電量與預期效能評估)」的研究，主要是因為農電共生逐漸受到重視，但常常遇到農作與光電設備競爭

光照的問題，因此掌握精確的受光量便為重要的議題。

教授團隊以垂直雙面太陽能模組作為主要研究對象。此設計的優點包括：

- A. 減少對農機運行與耕作動線的干擾；
- B. 雙面模組可同時吸收東、西向日照，整體發電效率高於傳統單面模組；
- C. 結構採非混凝土基礎，能夠減少土地破壞，試驗結束後亦可回復原有土壤使用。

研究透過實測分析垂直模組的實際發電量與性能比，發現目前國際間無統一的垂直雙面模組 PR 計算方式，且數據易受相鄰模組遮蔭及輻射角度影響。

教授指出在此類系統中總日射量總和(Global Irradiance Sum)應納入計算模型，因雙面模組的受光角與散射輻射比例較傳統模組複雜，故研究團隊建議後續持續進行戶外環境下的雙面光照行為與模組性能評估，以長時間取得數據成果驗證垂直雙面模組的性能。

目前實驗基地採用兩排垂直模組、間距約 15 公尺，以減少遮蔽對作物(日照作物如向日葵)的影響，並留有農業機具通行空間，刻正擴大建設更大規模的試驗場。教授強調，此設計雖非追日型，但因維護簡便、成本低、土地干擾小，整體經濟效益仍具吸引力。

(2) 國際對於農電發展之規範討論

教授指出，目前歐洲各國對農電系統的法規與認定仍處於發展階段。以德國與法國為例，現已建立初步的農電設置規範，規定農電設施不得造成作物減產超過 20%；若超過此比例，該案場將被重新分類為地面型光電案場，喪失農業用途認定。部分地區甚至明

文規定，不得於灌溉農地上設置光電系統，以避免糧食生產受到影響。然前述所謂「作物減產 20%」之認定，尚未有明確的定義與查核方法，教授指現似由個案方式認定。

而在西班牙，農電共生仍屬試驗性質，尚無建構明確的全國性規範，目前僅有地方政府或研究機構依據試驗目的進行個案申請。由於缺乏制度化的農作產量監測與能源收益評估，政府難以確定農電是否真正達到「共生」效果。教授坦言，即使未來法規建立，若無標準化的作物產量與能源效益量測機制，執行仍有相當難度。

這也反映出歐洲現行農電發展的關鍵挑戰，在實務制度執行與科學數據研究之間存在落差，二者難以併行完成。目前雖有法源雛形，但在農業資料蒐集與驗證程序上仍待建立明確的評估框架。

(3) 在地觀感與挑戰

針對社會接受度與在地農民觀感，教授認為西班牙因土地利用集中，未開發利用的國土廣闊，早期光電案場即多設於此類偏遠地區，與農業活動關聯不大。然而近年隨著光電發展逐步擴張，慢慢進入國民的視野範圍，部分農民開始表達反對態度，主要擔憂土地用途轉變、租地權益減少或作物生產受影響。有些農民甚至以拖拉機阻止施工，反映了對光電開發的不信任。

教授強調農電之推動必須以農業功能維持為前提，因此他的研究團隊採用「不取代耕作、保留農地原功能」的理念，與農民共同參與規劃、選擇作物與光電板鋪設排距。實際試驗結果顯示，當農民能清楚

理解農電對作物生產無重大影響且有額外收益時，接受度會顯著提高。

而在技術層面，垂直模組仍面臨多項挑戰，包括結構穩定、積塵和受光不均等問題，目前尚在持續試驗及尋求解方中：

- A. 現垂直模組易受季風影響，抗風性與結構穩定性仍待提升，目前試驗模組可抵抗約中度旋風強度，但若要推廣至沿海或高風區域，仍需強化支架設計與材料耐久性；
- B. 雙面模組有單面積塵與腐蝕問題，造成其發電效率降低；
- C. 各地日照、遮蔭等環境條件差異，造成模組受光不均與效能差異。

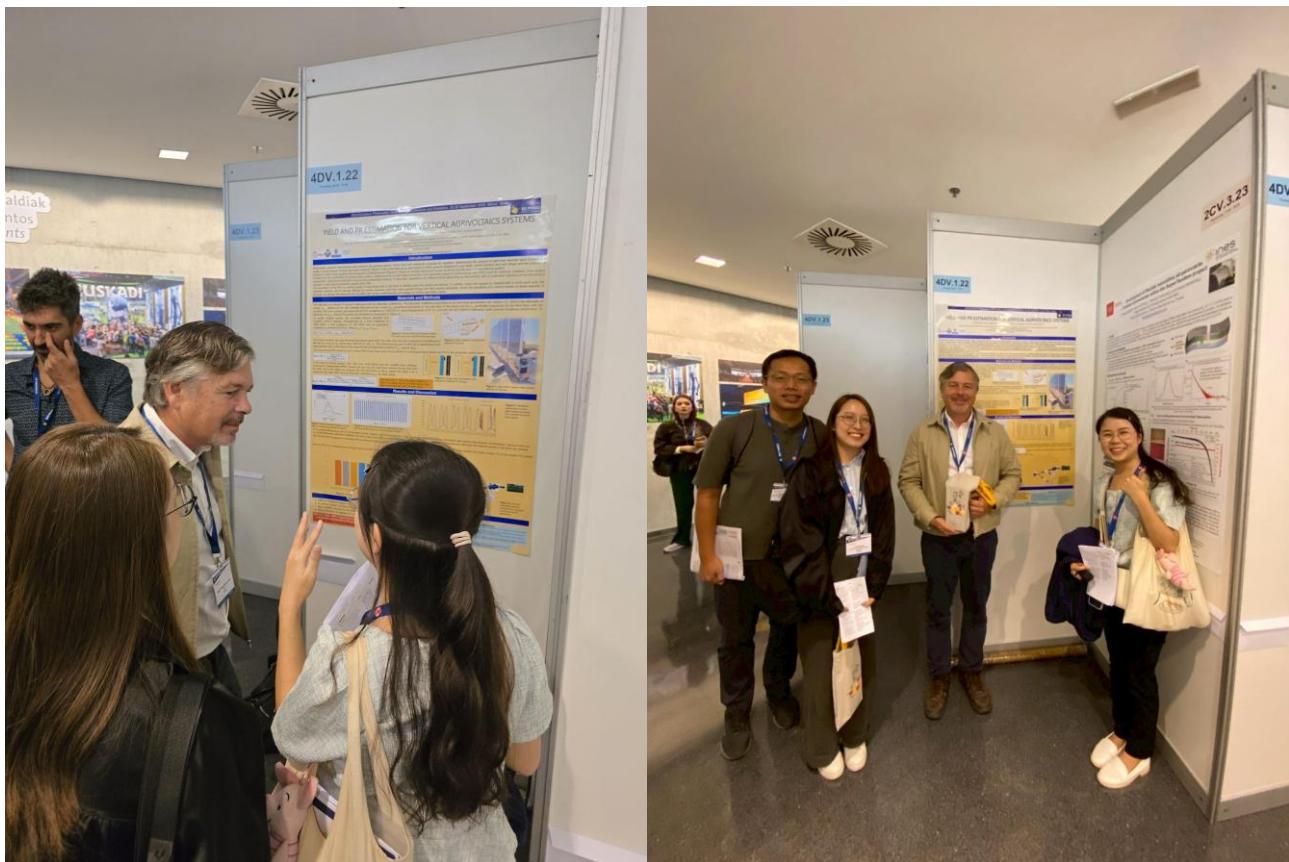


圖1 與 MIGUEL-ÁNGEL MUÑOZ-GARCÍA 教授交流畫面

2. 與 Carlos del Cañizo 教授交流

(1) 研究方向—光電回收與循環經濟討論

Carlos del Cañizo 教授團隊提出「The Landscape of PV Recycling: Challenges to Make PV an Example of Circular Economy(光電回收現況：光電成為循環經濟典範的挑戰)」之研究，該研究探討光電模組的回收問題，說明目前現有的回收方法包含機械式、熱處理與化學等方法，且玻璃與鋁框的回收已成熟，惟金屬接點與高純度矽的回收仍具挑戰。

團隊以全球模組裝置量與預估退役期為基礎，假設模組可在 100% 回收情況下重新投入製造鏈，推估至 2030 與 2050 年間可能再生的模組產能。結果顯示，即使在理想條件下，若所有材料皆被完全回收，仍僅能額外產出約 100 GW 等級的新模組。

研究結論指出未來的重點應放在提升回收效率、純化技術與材料再利用品質，讓模組材料能以原有等級重新投入製造過程，才能真正實現光電產業的循環經濟。

(2) 制度和實務挑戰

在訪談中，教授指出以目前技術而言，光電模組要達到 100% 回收極為困難。現階段多屬降級回收 (down-cycling)，即雖可回收部分材料，但因雜質、污染與分離技術限制，回收後材料品質下降，無法再次用於高效模組生產。

他指出目前以歐盟的規範，要求回收率要達 85%，通常可以透過回收鋁框及玻璃達成，然而模組中最有價值的銀和矽，在大多數的情況都被直接丟棄，並未被有效回收，雖然目前少數像在德國的公司有在嘗試處理矽的回收，但技術仍是困難，因為大部

分的模組還有幾年才會報廢，故近 5 年才開始商業化。而目前在西班牙政府尚未有大規模商業回收的計畫，僅有一些示範性的項目，多數也僅針對鋁框和玻璃，也是以公司與機構為主。

在制度層面，教授指出歐洲雖已有回收法源，如 WEEE(廢電子電機設備指令)框架，但各國執行標準不一，導致再生材料的品質認定、責任分工與市場激勵不足。西班牙目前尚無大規模商業化回收計畫，僅有部分研究機構與企業合作的示範性項目，且多著重於鋁框與玻璃回收。

他認為，要讓光電產業成為循環經濟典範，必須同時強化法規制度、經濟誘因與技術研發三個面向，建立跨國與跨產業的回收再製體系，否則再生利用將難以形成產業規模。

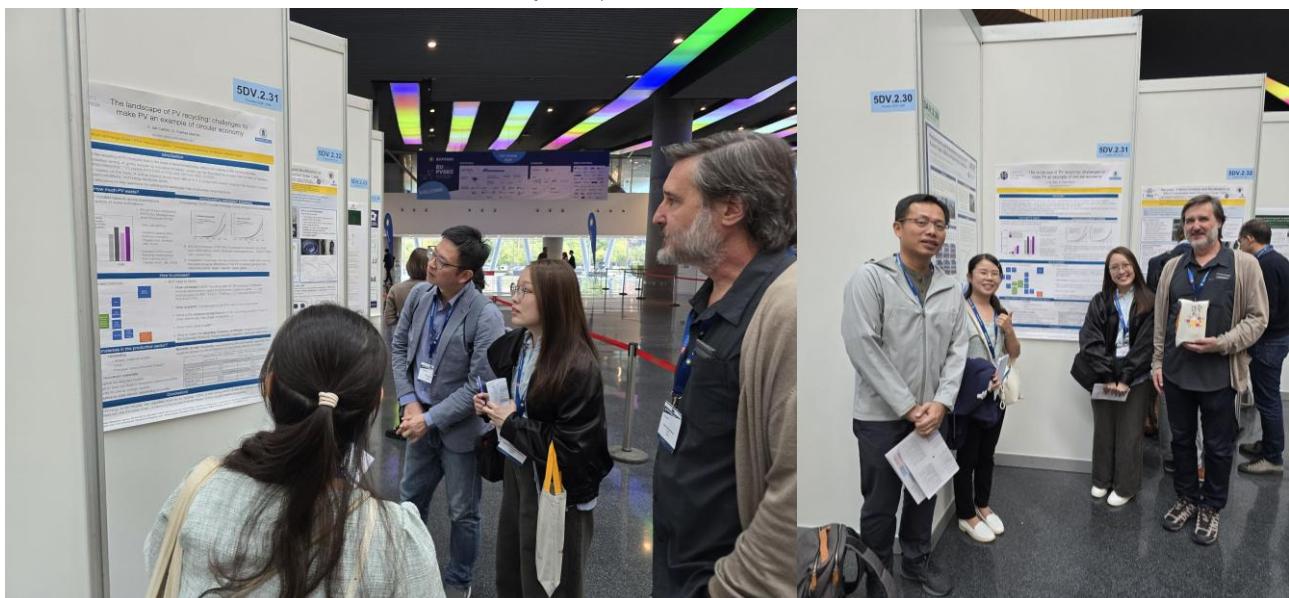


圖2 與 CARLOS DEL CAÑIZO 教授交流照片

(三) 小結

本次拜訪馬德里理工大學太陽能研究所(IES)教授加深了對歐洲光電研究現況與未來趨勢的了解。特別是在與該所兩位教授的交流中，我們分別從農電共生系統與光電回收兩大議題獲得重要啟示。

首先，Miguel-Ángel Muñoz-García 教授團隊針對垂直型農電共生進行研究，研究顯示垂直雙面模組在農電共生中表現佳，且輻射在系統效能中扮演關鍵角色，未來需進一步強化相關研究。不過歐洲目前對相關系統的規範尚不明確，此外，農民對農電共生仍抱持疑慮，擔心土地用途改變與風險增加，未來也需要持續透過相關研究提高社會的接受度。而 Carlos del Cañizo 教授團隊則聚焦模組回收的議題，探討光電產業邁向循環經濟的挑戰，研究估算若模組可 100% 回收並再投入製造鏈，至 2050 年可額外產出約 100GW 模組的量。雖然現行歐盟規範要求回收率達 85%，但目前技術難以達成完全回收，多數透過回收玻璃與鋁框完成，未有效利用最具價值的材料，故提升回收效率及材料再利用將是關鍵發展的方向。

綜合與兩位教授的研究與交流內容，顯示歐洲在光電發電與回收技術上持續創新，皆值得我國借鏡，臺灣宜在充分的社會溝通下，進行新興技術之現地試驗，並強化資源循環利用相關研究與技術，整合給臺灣的建議事項如下：

1. 深化農電共構示範與社會溝通

評估導入垂直型農電示範，以兼顧能源與農業功能，針對作物適應性與社會接受度累積監測統計數據，並建立減產比例與設置規範，確保農地用途不被取代。

2. 強化在地氣候適應與結構設計標準

借鏡歐洲的垂直模組與建築整合經驗，針對臺灣多颱風、多雨環境，建立耐震、耐候的農電與光電設計準則。

3. 建立循環導向的模組回收體系

持續和環境部研商光電模組報廢與回收制度，建構未來完整的回收追蹤與廢棄物再造體系，鼓勵產學研合作發展高純度矽與銀的再生技術，促進再生材料產業鏈成形。

4. 以政策與示範帶動市場形成

由政府機關協調在地意願，小規模推動垂直農電與模組回收示範計畫，累積制度與技術經驗後，再逐步擴大市場應用。

本次交流經驗反思臺灣過去經驗，回應了未來應在充分的社會溝通下推動新興技術試驗，並強化資源循環與材料再利用研究，從而實現能源轉型與永續發展並行的目標，使光電真正成為兼具生產力與環境責任的產業。

二、與 Onyx Solar 公司交流建築整合光電

(一) 公司簡介

Onyx Solar 成立於 2009 年，為西班牙本地的公司，總部位於西班牙的阿維拉(Ávila，距離馬德里約 1 小時車程，是座古老的城市，有西班牙保存最完整、最大、最古老的城牆，建於 12 世紀)，該處擁有該公司之辦公室、工廠及生產線。該公司同時是建築整合光電(BIPV)全球的先驅者，目前在全世界 60 多個國家擁有超過 500 個項目，重點項目遍佈美國、以色列、沙烏地阿拉伯、墨西哥、西班牙、法國等眾多國家，透過該公司開發的光電玻璃，提升光電設置量之餘，同時也增強隔熱性能、隔音效果，提高室內舒適度和能源效率，並過濾紫外線與紅外線輻射，該公司最特別的是，可以客製化，滿足客戶各種建築與美學需求，包括各種顏色、形狀、尺寸(最大可達 4 公尺 × 2 公尺)和透明度。將尖端太陽能技術無縫融入任何建築設計，例如本次參訪的光電天窗、玻璃帷幕外牆、可行走的光電地板等。

另外，該公司所開發的模組，主要有兩種，其中晶體矽光電發電可以達 $100\text{~}180\text{Wp/m}^2$ ，而非晶矽光電發電量則比晶體矽光電低三倍，約 $28\text{~}57\text{Wp/m}^2$ ，但卻可以做全透明或有色的設計，較容易融入建築設計中，甚至有特殊設計的玻璃可以過濾有害輻射。此外，公司也宣稱約四年內即可回收投資，年報酬率超過 20%，並可連續生產清潔能源超過 28 年。

(二) 交流紀要

1. San Anton Market 之建築整合光電案例介紹

San Anton Market(聖安東市場)位於西班牙馬德里 Chueca 區，因靠近 San Antón 教堂，原作為戶外露天市場供應鄰里各類食材商品，於 1945 年市場以混凝土柱樑的樸

素建築形式建成，服務當地居民數十年後，逐漸老化，故在 2000 年聖安東市場協會意識到市場需轉型、現代化，並由馬德里市政府自 2002 年啟動初步評估，2007 年拆除舊建築，開始重建工程。

該市政府提供約 1 千 2 百萬歐元進行聖安東市場的規劃與重建，由 QVE Arquitectos(Ataria 工作室)建築師團隊與 Onyx Solar 公司合作規劃。整體建築調整為 3 層結構，一樓為新鮮食材攤位，持續供應當地鄰里需求，二樓和三樓為餐廳與酒吧，吸引年輕人、觀光客前往。



圖3 SAN ANTON MARKET 外觀

除此以外，整個建築係以回收建材建成，並將水、電系統皆重新規劃，讓該市場得永續發展。在電力部分，強調了節能家電應用，以及光電天窗的設計(圖 4)，透過安裝 168 平方公尺的玻璃天窗(容量約 6kWp，年發電量約

7,448kWh)，提供市場內的自然採光(透光率約 10-20%)，過濾 99% 的紫外線和 95% 的紅外線輻射，每年可以減少 5 公噸 CO₂ 的排放，還能阻隔室外氣溫，減少室內空調能耗約 20-30%，同時結合整個市場的智慧能源管理系統，監控與優化電力分配，所產生之電力優先提供自用，確保高峰時段(用餐時段)的用電效率，而多餘電力則饋入西班牙電網，獲得電價補貼。



圖4 SAN ANTON MARKET 之建築整合光電案例實際畫面(天窗)

此案例為該公司在西班牙第一個代表性的光電玻璃專案，算是公司的起點。其特色為外觀與普通玻璃無異，不僅降低了市場的電費，還增強自然採光和室內舒適度。

2. 有關 BIPV 方面之交流(訪綱如附件)

針對這次 SAN ANTON MARKET 觀摩以及與 Onyx Solar 公司訪談，彙整 BIPV 交流重點涵蓋「建築整合性光電玻璃技術」、「應用與維護」以及「成本與可行性」這幾類：

(1) 建築整合型光電玻璃技術

Onyx Solar 開發的建築整合型光電玻璃，為一種將光電模組夾設於雙層或三層玻璃之間的創新建材(如圖 5)，不僅具發電功能，同時兼顧建築美觀與結構安全。其電路導線可完全隱藏於玻璃框架內，使整體外觀整潔不突兀，特別適用於都市建築與高設計要求的場所。

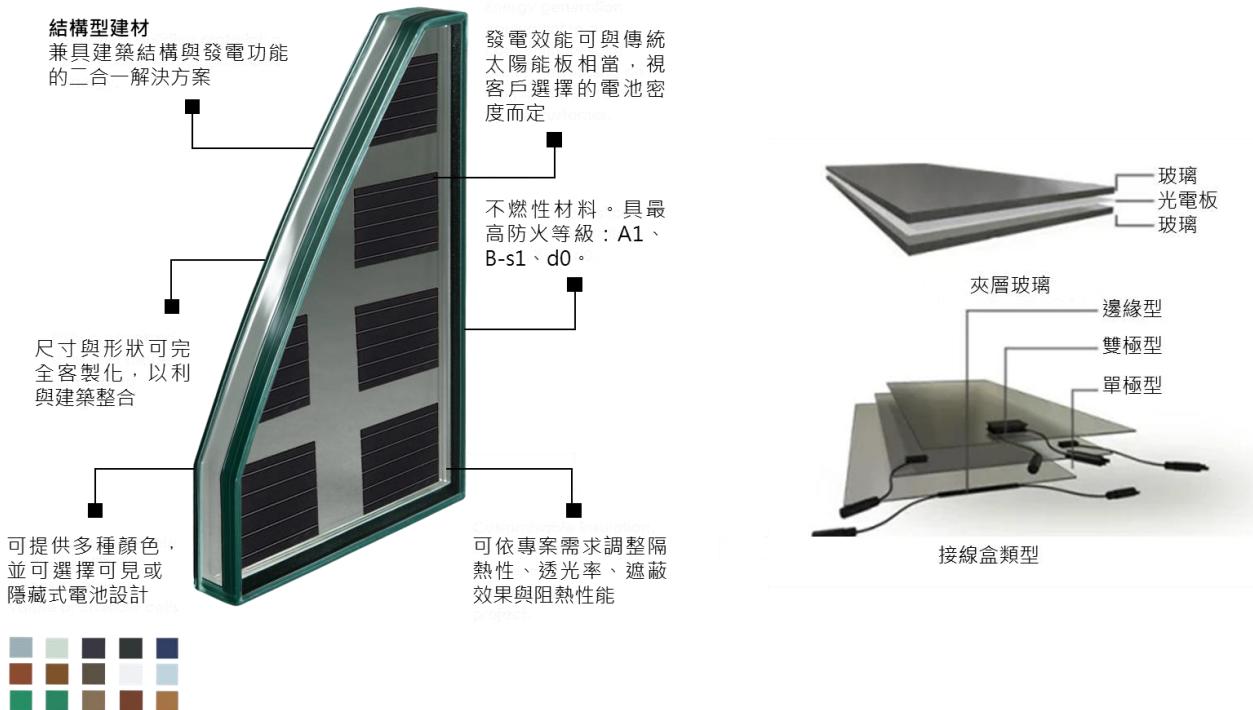


圖5 建築整合型光電玻璃解構示意

(資料來源：[Onyx Solar https://onyxsolar.com/](https://onyxsolar.com/))

光電玻璃具備高度客製化能力，可依照使用需求選擇尺寸、形狀、顏色(如白、灰、藍等)與透明度。

模組結構採用夾層玻璃設計，內層包含光電電池，外層為強化玻璃，可依需求設計成雙層或三層結構。依 Onyx Solar 專員的介紹，建築整合型之光電板可承受風壓與積雪，同時通過耐火、抗風、耐久性等測試，壽命約可達 25 年以上，即便模組屆期停止發電，也不影響建築外觀，且材料可回收再利用(部分塑膠與玻璃層皆可再製)，如有損壞可單片更換或僅更換外層玻璃。

為與建築整體設計結合，會由光電業者提供完整的規劃設計與安裝技術協助，由光電業者內部的建築師與工程師團隊支援建築師與開發工程顧問團隊，協助 BIPV 從概念設計、結構整合到現場施工的全過程整合。

聖安東市場(San Antón Market)即是 Onyx Solar 在西班牙的重要示範案例。該市場位於馬德里市中心的歷史街區，於十多年前翻修時導入了面積 168 平方公尺的光電天窗。其採用非晶矽光電玻璃，兼具採光與發電功能，清潔方式與普通玻璃相同，維護簡單。此案成為西班牙首個以 BIPV 結合歷史建築的範例，展現了光電建材在文化資產更新與能源轉型中的融合潛力。

(2) 建築整合型光電之應用與維護

建築整合型的光電玻璃具備極高的應用多樣性與都市適應性，能兼顧能源生產、建築美學與居民接受度。其應用範圍涵蓋歷史建築、博物館、銀行、大型商業空間、公共建築，甚至可應用於地板與陽臺。Onyx Solar 公司開發的「可行走光電地板(walkable PV floor)」具防滑設計與結構承重能力，已在舊金山

Apple Store(圖 6)、巴倫西亞藝術與科學城等地使用，兼具安全性與視覺整合效果。

此外，Onyx Solar 亦有溫室型光電玻璃應用案例(圖 7)，該案例因可達近乎透明的光學設計，能兼顧採光需求與電力生產，但同時會過濾部分紫外線與紅外線，須考慮植物種類與栽培條件。



圖6 舊金山 APPLE STORE 頂上安裝可行走光電地板
(資料來源：翻攝自 ONYX SOLAR 提供書面資料)



圖7 西班牙 Castile and Leon 地區光電溫室(屋頂側牆 100% 覆蓋)
(資料來源：ONYX SOLAR <https://onyxsolar.com/>)

在案場的維護與營運面向，光電玻璃的清潔方式與普通玻璃相同，只需使用清水，而光電板部分約每年由光電業者檢查一次。由於模組嵌入於建築結構中，不需額外空間與支架，因此比傳統光電板更為簡潔、美觀。這樣的整合特性提升了民眾對光電設施的接受度，尤其在都市或景觀敏感區域中更具優勢。

因 2025 年 7 月臺灣受到颱風丹納絲的影響，而衍生有關太陽光電災害影響之議題，故我們也和 Onyx Solar 專員討論這類 BIPV 的光電玻璃是否有辦法耐受極端氣候和災害(颱風、地震)等影響。專員表示因應客戶所在地理條件以及建築需求不同，針對玻璃部分可以客製化因應，例如在嚴寒地區需要特別考量積雪重量的耐受和隔熱效果，例如位於美國科羅拉多州丹佛植物園案例(圖 8)，因位於高海拔 1,600 公尺地區，長年嚴寒(年均雪量 150cm，溫度可降至 -20°C)且為高風壓地區(山區風速常超 50km/h)，為提升植物園的能源自給，依建築設計要求模擬蜂巢構造，設計為金字塔立面形結構，光電玻璃不僅提供發電功能，還提供熱絕緣，減少冬季熱損失與夏季過熱，同時經高機械強度測試(符合 ASCE 7 風載規範)，承受雪積載與強風衝擊。



圖8 美國科羅拉多州丹佛植物園 BIPV 案例
(資料來源：翻攝自 ONYX SOLAR 提供書面資料)

此外，也有因應在地災害防治規範，如美國邁阿密 BALENCIAGA STORE 的案例(圖 9)，為符合邁阿密因應颶風之建築規範(High-Velocity Hurricane Zone (HVHZ))，建築材料(如玻璃和門窗)皆須通過 Miami-Dade Notice of Acceptance(NOA)認證，確保能承受 120-165mph 風速和飛濺物衝擊。

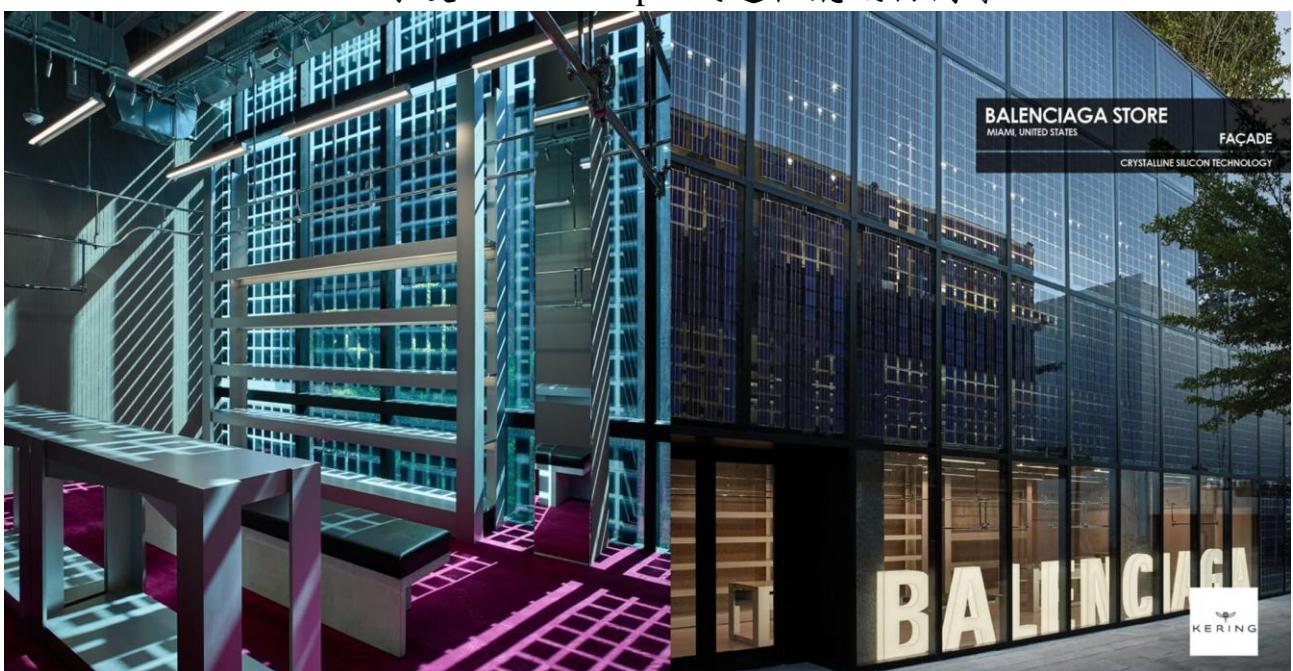


圖9 美國邁阿密 BALENCIAGA STORE BIPV 案例
(資料來源：翻攝自 ONYX SOLAR 提供書面資料)

除個別案場的維護、設計以外，回顧到政策與市場面，西班牙目前尚未針對 BIPV 設立專屬法規，僅將其歸類為屋頂型光電，並透過淨計量制度(net metering)抵扣電費並將餘電售回電網以鼓勵民眾設置。而自 2020 年起，歐盟推出 NextGenerationEU 基金(總額 7,500 億歐元，其中至少 37% 用於綠色轉型與氣候行動)，積極補助公共建築導入 BIPV 系統，進一步提升該技術在歐洲的實際應用與政策誘因。

(3) 製造成本與可行性

雖然 Onyx Solar 的 BIPV 技術具高度客製化與建築整合性，但在成本與市場可行性上仍存在挑戰。由於產品結構複雜且皆於西班牙在地製造，成本略高於傳統光電模組。Onyx Solar 專員稱，雖然在價格方面的確難以和中國製造光電模組競爭(該公司認為中國公司仿造他們所生產的模組品質與耐久性皆不足，雖歐美市場仍偏好高品質的歐洲產品，但長久來看仍對該公司是一大威脅)，但建築整合型的光電玻璃若與其他建築材料相比，其價格差異並不大き，以建材方面來看屬於建商可接受範圍。

雖光電玻璃之發電效率低於傳統晶矽模組，但因其可達幾乎透明的外觀設計，又能客製選擇想要的玻璃色彩，在有效結合建築功能與美學情形下，光電公司的客群將轉變為想要規劃建造新型綠建築的企業或政府機構。一般而言，其投資回收期約 4–5 年，在考量節能與自發自用的前提下，長期可有效降低建築電費支出。



圖 10 SAN ANTON MARKET 現場交流與 ONYX SOLAR 公司合影

(三) 小結

此次和 Onyx Solar 公司交流及實地觀摩馬德里聖安東市場(San Antón Market)案例，充分展現建築整合型光電在都市環境中兼顧美學與能源效益的發展潛力。該案例透過在市場建築中導入光電玻璃天窗，將發電功能與建築設計融合，不僅維持建築的外觀完整性，也提升了自然採光與能源效率。從外觀上難以辨識光電模組存在，顯示光電可成為建築語彙的一部分，而非額外附加的能源設備。

訪談中，Onyx Solar 專員指出，BIPV 的核心價值不僅在於發電，更在於與建築整體設計的協調。光電玻璃能依照不同氣候條件與建築用途調整結構與透光性，具備防火、隔熱、耐風雪等多重特性。產品可回收、維護簡便，且壽命長，使其成為兼具永續性與設計性的建材。該公司並分享，BIPV 技術在歐洲的推廣多仰賴政策誘因與公共建築示範案推動，而非僅靠市場機制，例如近期的歐盟所提

出的綠色轉型基金(NextGenerationEU)，就對 BIPV 普及發揮了關鍵作用。

綜合觀摩與交流成果，西班牙和歐洲對於 BIPV 的發展及布局，對臺灣具有以下啟發：

1. 都市地區以建築整合為導向的光電策略

光電設施應從「外掛型能源設備」轉向「整合型建築構件」，在建築設計初期即納入綠色能源規劃與美學考量。此做法不僅能解決都市空間受限的問題，也可提升公眾對光電設施的接受度。依 Onyx Solar 專員的介紹，其實周邊居民基本上對 BIPV 都不會有反對意見，甚至該公司過去詢問 San Anton Market 周邊居民對於光電天窗是否支持時，沒有居民意識到那個天窗具有發電功能，因為光電玻璃就跟一般的玻璃窗戶是一樣的。

2. 跨域合作與產業鏈整合

為了在建築設計時即考量能源規劃，BIPV 的推動即需結合建築、結構、材料與能源專業，此舉為多個產業的整合，而非僅由光電業者可獨立促成。舉例來說，臺灣可先從促進國內光電、玻璃與建築設計產業合作，建立標準化產品模組與整合性施工技術，以創造新形態建材的角度，評估降低營造成本的需求，尋求未來擴大應用。

3. 公共建築示範與政策引導

為了帶動異業整合，依據歐洲經驗顯示，BIPV 的推廣初期需要政策支持與公共部門帶頭示範。以臺灣來說，可優先選擇學校、車站、市場、文化設施等公有建築的更新，透過整體建築構造的重新規劃，導入 BIPV 綠建築示範案，建立在地技術標準與驗證制度。

4. 強化耐候與在地適應性設計

除綠建築示範以外，鑒於臺灣多颱風與地震環境，亦須從安全角度妥善管理新型態建材的應用，未來 BIPV 設

計須納入結構安全、模組固定與防水標準，建立完整的國家級規範體系，才能確保安全、耐久性，繼而能有效從示範案擴大推展到民間建築。

5. 由示範推廣邁向制度化發展

在技術成熟與市場形成後，應逐步將 BIPV 納入綠建築評估體系與能源設施規範，使「建築即發電」成為都市更新與永續設計的重要元素。

綜上所述，此次交流和案例觀摩反映 BIPV 的價值不僅在於能源產出，更在於其對城市美學、建築永續與公共認知的轉變。臺灣若能以政策誘因與示範推動為起點，建立法規基礎與產業協作機制，未來將有機會讓光電真正成為建築文化的一部分，實現都市能源自主與綠色轉型的願景。

三、訪談 SOLAÏS 公司技術總監 Christophe Vernay

(一) 公司簡介

Solaïs 成立於 2008 年，為一家總部位於法國尼斯(Nice)的光電工程與技術顧問公司。公司早期主要服務於法國本土的案場開發，逐步擴展至全歐洲，並自 2016 年起跨足國際市場，至今已在超過 18 個國家提供技術服務，包含中國、越南、馬來西亞、烏茲別克、摩洛哥等，累積專案規模超過 1.2GW。

Solaïs 的核心理念是結合工程專業與精確模擬，提供從可行性分析、場址規劃、監測評估到運轉維護等各階段顧問服務，並涵蓋地面型、屋頂型、農電共生(Agri-PV)與建築整合型(BIPV)等不同設置態樣之評估。公司在法國光電領域以「技術導向、精密模擬、重視安全標準」著稱，特別在光線反射與視覺安全分析領域建立權威地位，並與 Mines Paris/PSL 研究院等機構長期合作，共同建構光電眩光之分析軟體，如 SunReverb®(眩光模擬)、CalibSun(光資源調整、校正工具)和 PVOptim(鋪排設計評估工具)等。

該公司自 2010 年起投入光電之眩光、反射研究，是歐洲最早建立此類技術體系的公司之一。其起因來自法國民航總局(Direction Générale de l'Aviation Civile, DGAC)對機場與飛行安全的法規要求——反射光可能干擾飛行員與塔臺人員視線，為此 Solaïs 透過 SunReverb® 軟體，建立三維地形模型並模擬全年太陽路徑，精確計算反射光在不同時間與角度下的強度與可視範圍。分析中結合 LiDAR 雷射測高數據與高解析度 DSM/DEM 地形模型，使模擬能精準反映建築、樹木、坡度等遮蔽條件，誤差小於半公尺。

因應飛航安全的分析及評估，Solaïs 將其延伸應用至鐵路、公路周邊案場的交通安全分析。基於法國的運輸法(Transport Code Article L.2242-4-7)，須確保鐵路、公路周

邊交通安全無虞，由 Solaïs 的技術總監 Christophe Vernay 帶領約 20 人團隊進行眩光影響研究，將道路走向、環境地形、模組類型以及日照條件(亮度和方向)等納入分析，每年亦於 EU PVSEC 等國際會議發表多篇論文，說明近期專案研究成果與突破。

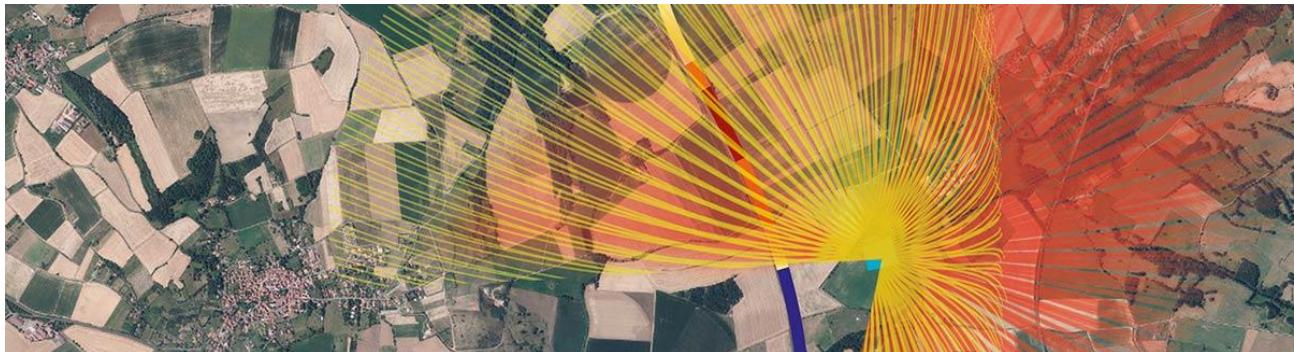


圖11 鐵路與周邊案場反射光路徑分析示意圖

(二) 訪談紀要

1. EU PVSEC 發表之眩光研究

Christophe Vernay 本次參與 EU PVSEC 發表「Addressing Glare Problematics for Photovoltaic Projects in the Immediate Proximity of Roads and Railways through the Use of Accurate Digital Surface Models(透過使用精確的數位表面模型解決道路和鐵路附近光電項目的眩光問題)」之研究，依據過去研究光電案場的眩光對法國和美國飛航運輸安全影響，確認了飛機航行高度、交通管制塔的高度是關鍵，因此希望利用這個評估方法套用到地面型光電案場來檢測對道路和鐵路交通安全的影響，並增加周邊地形和遮蔭條件進行分析，以準確評估眩光的影響程度和解決方案。

以法國北側一處地面型光電案場(約 16 公頃)為分析標的，案場北側緊鄰一條東西向鐵路(如圖 12 所示)，以 DSM 地圖納入周邊環境參數，包含北側有樹林遮蔽、南側有空曠土地等(如圖 13)，分析該案場眩光情形對鐵路行運安全之影響。

Use case

- Northern France / 16 ha / 29 MWp
- PV tables: southward, 17° tilt
- Building permit process started in early 2025
- Glare risk assessment for the train drivers coming from southeast

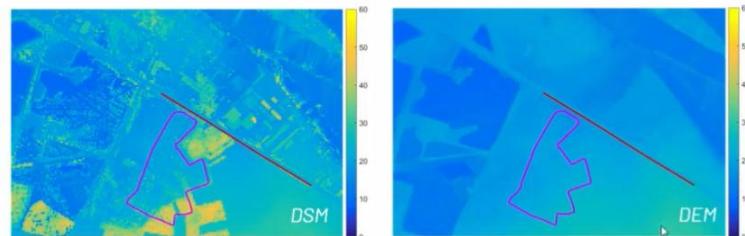


EU PVSEC - 22nd Sept. 2025

7

圖 12 眩光分析案場場址(CHRISTOPHE VERNAY 研討會簡報)**DEM and DSM**

- Source: IGN's HD LiDAR
- Raw resolution: 50 cm

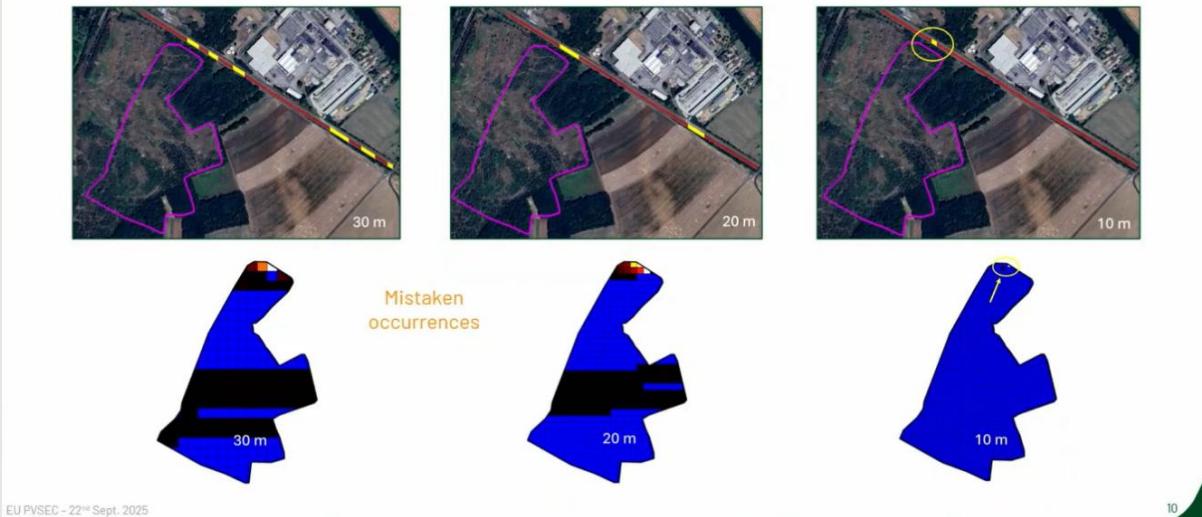
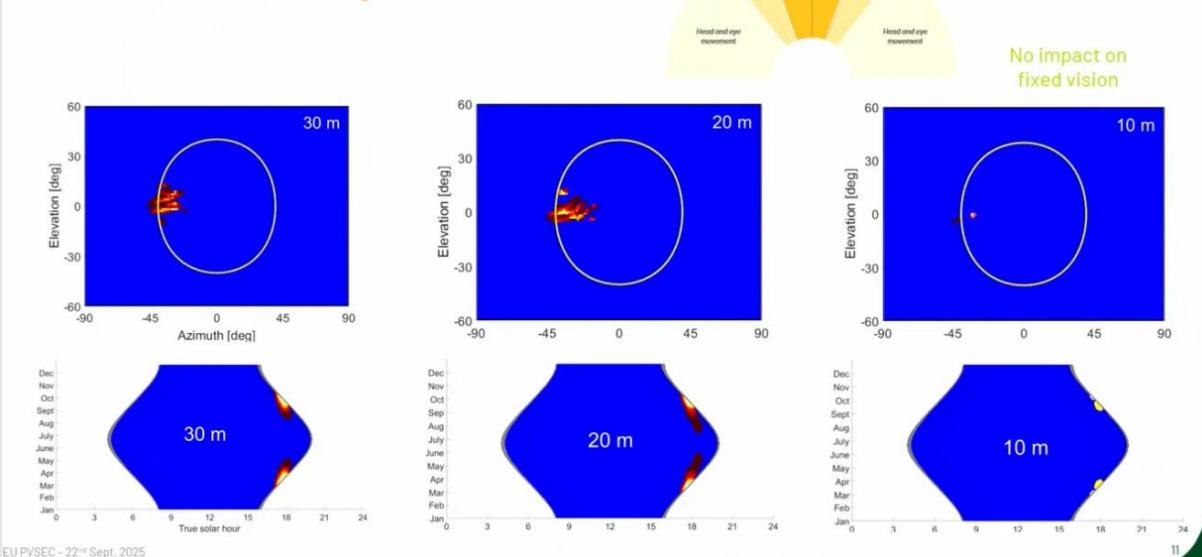


EU PVSEC - 22nd Sept. 2025

8

圖 13 眩光分析案場周邊環境條件(CHRISTOPHE VERNAY 研討會簡報)

Christophe Vernay 透過 SunReverb® 進行該案場眩光模擬，並以 30 公尺、20 公尺與 10 公尺等不同解析尺度之網格分別進行模擬(如圖 14 所示)，並加上駕駛的視野分析進行眩光影響的評判(如圖 15 所示)，以此才能建構明確的分析標的和後續案場設計調整建議。

Glare results*Impacted trajectory and impacting PV areas***圖 14 眩光模擬解析度說明(CHRISTOPHE VERNAY 研討會簡報)****Glare results***Field of vision and timing***圖 15 駕駛視野受眩光影響分析(CHRISTOPHE VERNAY 研討會簡報)**

該研究發現在 30 公尺、20 公尺解析度較低的情形下，會誤判案場北側區域存在嚴重眩光風險，但如果以 10 公尺的精度進行鐵路駕駛眩光影響分析，則實際僅有極小範圍存在短暫反射，若再加上東北側的植被遮蔽，則對鐵路交通安全幾乎無影響，整個案場範圍可能僅有少部分模組需調整位置或角度。

2. 眩光定義：無統一定義或評估標準

基於前述 Christophe Vernay 的研究內容，我們就眩光的定義、國際規範、因應對策與臺灣未來建議方向進行討論。在我們訪談中，Vernay 提到目前在國際間尚無統一「眩光(glare)」的定義，而之所以近期在歐洲被廣泛討論，主要是因為太陽光電案場產生的眩光影響了航安，在今年 3 月 4 日荷蘭阿姆斯特丹 Schiphol 機場，因鄰近的太陽能板產生反射眩光，有機長反映視線受阻難以降落，故塔臺為確保航空安全而暫時性關閉 Polderbaan 和 Zwanenburgbaan 跑道起降。Vernay 指出從過去飛安研究的角度，若機長視野中出現 1 至 2 秒的強反射光，就可能造成瞬間視覺失調或判斷錯誤，進而影響起降安全。以此案為契機，法國也開始討論高速公路與鐵路沿線的交通安全考量，若駕駛視野在行駛過程中遭遇 5 至 10 秒強光干擾，尤其在高速情況下確有可能造成恍神、判斷失準等危險。

因此，在歐洲對於光電案場的眩光模擬分析，係以「交通安全」為核心進行評估，無法規強制要求辦理亦無統一分析的規範，因此一般針對受光影響共有 2 項評估重點分別是「時間長度」以及「受影響視野範圍」。

針對「受眩光影響之時間長度」反映若只是發生瞬間閃光，在駕駛快速通過的情形下即可避免受光影響，即可視作非重大風險；而就「受眩光影響的視野範圍」則強調若眩光出現在駕駛視野的盲區，也是可以被忽略不計影響的，各國對於該範有不同界定方式，以法國為例，通常眩光落入駕駛視野 40 度範圍內，才會納入眩光風險評估(進而去提出案場鋪排調整等因應方案)，而德國則會以 30 度內為高風險範圍。

3. 國際規範：無規範強制辦理

Vernay 表示目前國際上無強制要求光電案場需進行眩光評估，但在某些敏感情況或靠近重要設施，如機場、高速公路、鐵路或住宅區等，當地主管機關往往會建議做相關的模擬分析，作為安全性評估以及作為後續社會溝通的文件之一，以 Solaïs 公司於歐洲的案場為例，案場距離住宅區較近(約 20 公尺)或鄰近高速公路(500 公尺)範圍內，就可能需要辦理眩光評估，即使採用抗眩光(anti-glare)模組，其涉及敏感區域者，仍需評估特定角度、日照條件與周邊環境下的反射強度是否仍有風險；若強光影響仍可達危險等級，就必須進行模擬分析。而散射光的討論，通常不在此類評估範疇內，因其強度與直接反射相比較弱，對視線影響較低。

此外，以歐洲過去分析的經驗來看，對行人進行眩光模擬幾乎沒有意義，因其移動速度較慢，視線方向可自由轉動或低頭迴避，遭遇短暫閃光對行走安全影響有限。他認為就交通安全討論，針對行人的眩光評估在實務上缺乏必要性。

4. 評估後因應對策與案場設計調整

依據眩光模擬結果，如出現有交通風險時，即須調整案場規劃，Vernay 建議可先調整太陽能模組的傾斜角度與方位，以改變入射角使反射光不會進入敏感視野區域。

其次在案場整體鋪排設計進行調整，例如在高速公路、鐵路或視線敏感方向的那一側，預留一定距離的緩衝帶，或於眩光產生的可能區域內，不予鋪設光電模組。

若不論調整角度或預留緩衝空間，仍難完全避免眩光危害交通安全風險時，他建議於案場邊界種植遮蔽植栽，或透過地形微調等方法，遮擋眩光影響路徑，但因這些做法通常有成本或技術限制，因此仍建議於規劃初期利用角

度與鋪排設計就納入眩光評估和規劃，是降低後續風險與修改成本的關鍵。

5. 紿予臺灣的建議方向

考量臺灣地狹人稠的特性，Vernay 建議在安全和實務之間取得平衡的方案，如在高速公路或鐵路沿線，對於規模較大(如 500kW 以上)的地地面型光電案場，非強制但建議可進行眩光模擬分析，以評估對於行車安全的潛在影響。

至於鄰近居民的反射光觀感問題，其實歐洲近兩年也越來越多這樣的爭議，反映在地對於光電不支持的態度，或認為效益分配不均而提出各種反對訴求，Vernay 認為類似的問題應該採個案討論方式辦理，以說明會來解決相關的疑慮，而不是直接要求每個案場做眩光或其他相關的分析，這樣反而會造成行政負擔與成本，阻礙小型案場發展，也對爭議核心的解決沒有幫助。整體而言，他建議臺灣這樣空間有限的環境，僅在具有「安全風險」、「高度環境敏感」情形下，進行精細的評估與分析，這樣才能兼顧太陽光電發展之安全和推動可行性。

(三) 小結

綜整本次訪談 Christophe Vernay 有關眩光研究議題，歐洲針對太陽光電案場眩光議題的關注起源於飛航與交通安全，故非所有光電案場皆須進行眩光模擬，且眩光尚無統一定義，各國評估與分析方式亦未統一。目前 Solaïs 公司在法國的作法多採「安全導向」的個案評估模式，透過精確的數位地形模型(DSM)與三維模擬，分析反射光在時間、角度與遮蔽條件下的影響。

除此以外，依據歐洲就交通安全的眩光分析實務經驗，其分析重點不在於是否「存在」眩光，而在於這個眩光是否會進入影響駕駛的視野範圍，且持續足夠常的時間造成駕駛安全風險。因此，眩光評估應聚焦在交通敏感區

域(如高速公路、鐵路、機場)，並透過模擬結果調整模組傾角、鋪排或留設緩衝帶，以預防潛在風險。參酌本次經驗對於未來臺灣有關眩光評估的建議如下：

1. 應以安全導向評估，並鼓勵敏感區位案場辦理模擬分析

有關國內太陽光電辦理之眩光評估，應明確以「交通安全」為分析標的，而非以鄰里觀感作為主要依據。對於鄰近高速公路、鐵路或飛航航線的大型案場，採「非強制但鼓勵辦理」模式，依照案場規模與周邊敏感度進行分級評估，在高風險地區透過模擬分析與案場設計修正，提前排除安全疑慮，兼顧政策可行性與公共安全。

2. 發展國內標準化工具與分析資源

宜由中央主管機關主導，結合研究機構與產業界，共同發展具一致性且可公開使用的眩光模擬工具和資料庫，整合全國 DSM、LiDAR、道路與鐵路現行資料，並研議標準化評估流程和結果判讀，確保不同案場的分析具備可比性與公信力，以利後續光電業者與在地維持良好協商基礎。

3. 維持在地協商與社會溝通機制良好運作

Vernay 認為眩光作為周邊居民訴求的標的之一，其背後反映的不一定是居住品質、環境影響，而潛藏著效益不均、在地溝通不足的問題，建議我們應維持、深化我國以有的在地說明會制度，透過相關的可視化模擬、影像展示說明實際的眩光影響時段與程度，才能達成有效的溝通，並提升在地接受度，維持太陽光電推動過程的穩定性和正當性。

四、訪談 UNSW 教授 Martin Green

(一) 簡介

1. 澳洲先進光電中心簡介

澳洲先進光電中心(The Australian Centre for Advanced Photovoltaics, ACAP)是澳洲太陽光電研究合作國家機構，於 2013 年開始由澳洲再生能源署(ARENA)提供資助，並由新南威爾斯大學(UNSW)領頭，相關合作機構包含澳洲國立大學、澳洲聯邦科學與工業研究組織、墨爾本大學、莫納什大學、昆士蘭大學和雪梨大學，主要致力於推動澳洲在太陽光電方面技術，並且保持澳洲在該領域國際上的領先地位，期能開發下一代太陽光電電池技術，成為太陽光電技術開發的全球領導者。

2. Martin Green 教授簡介

Martin Green 教授是新南威爾斯大學(UNSW)雪梨分校的科學教授，同時是澳洲先進光電中心(ACAP)的主任，被譽為「世界太陽能之父」，致力於開發矽太陽能電池，並曾多次榮獲國際太陽光電相關大獎，擔任學術期刊《Progress in Photovoltaics》主編。

(二) 訪談紀要

透過訪談交流(訪綱如附件 1)，我們主要針對太陽光電產業趨勢，以及新型高效率電池的技術、商業化與回收等議題進行詢問。教授表示，太陽光電製造業的崛起是自約 2002 年開始，當時中國開始生產成本較低的模組，原先採用 1970 年代美國發明的相對簡單與穩定技術，後續甚至在美國上市，更吸引更多投資銀行加入，因此這些中國公司，從技術不複雜的模組組裝到現在已經逐漸掌握完整製造技術，甚至該教授研究室 1983 年開始創下世界紀錄的太陽能電池，後續也因為有些學生於中國成立自己公司，到 2014 年就被超越，也製造出與德國廠商品質相當的產品。

有關電池技術，教授表示傳統矽晶太陽能電池的效率提升到某個程度後，就會遇到瓶頸，因此需要發展高效率電池，目前轉換效率已經可以達 24%，未來期望可以突破 30%，然而這種電池需要更高潔淨度的環境與設備，成本也較高，但同時能帶來更高效率。另外，教授也提及目前新型高效電池已經進入大規模商業化的進度了，有許多公司都嘗試在疫情期間趁機布局，並且目前設立生產線非常容易，因此已經算是有在大量生產了。老師團隊也持續研究高效率電池，期望透過材料與技術的研發，持續增加矽電池的效率，目前認為最好的方式，是在電池上加一層吸光層，提高光能的轉換率。

澳洲過去完全依賴煤電，但現在已經有 40% 電力來自再生能源發電，其中太陽光電佔 20%，並且日間的太陽光電過剩，電價可能為負值，因此這促使人們安裝儲能設備，德國也有類似的問題，因此發展方向也雷同。目前澳洲大部分的家戶(約有 300~400 萬戶家庭)都有設置儲能系統，可作為電動車充電用，已經相當普遍，目前也沒有人覺得有安全疑慮，僅有少數意外發生的案例，但也少數，大部分的人還是相信大品牌製造商會控制品質。



圖 16 與 MARTIN GREEN 教授交流合影

(三) 小結

Martin Green 教授是澳洲先進光電中心的主任，長期投入矽晶太陽能電池的研發，並在效率提升及技術商業化方面具有豐富經驗，訪談中教授也提及太陽光電從 2002 年隨著中國低成本模組生產崛起開始快速成長，並且持續發展中，目前就連高效率電池也已經進入大規模商業化階段。

另外，就澳洲目前光電的發展，目前再生能源已占總發電量約 40%，其中太陽光電占約 20%，且有日間電力過剩問題，間接促使家庭安裝儲能系統，並與電動車充電結合使用。

綜合來看，本次交流得知澳洲太陽光電發展現況已發展成熟，高效率電池研發、儲能系統普及為持續推動光電在能源轉型中的關鍵角色。而我國因對於中國生產的模組有所限制，更應該從源頭支持模組的研發，跟上世界的趨勢，採高效率電池，或新一代的光電，有效提升我國的光電技術與設置量。另外，隨著太陽光電的普及，我國未來也將會面臨日間發電多而夜間少的鴨子曲線問題，也應積極研議儲能相關設置的安全法規與激勵措施，以減少日間再生能源發電的浪費，提升發電被使用的效率。

五、參加第 42 屆 EU PVSEC

(一) 簡介

第 42 屆歐洲光電太陽能會議與展覽(42nd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, EU PVSEC 2025)是全球光電領域最具影響力的國際盛會，專注於光電研究、技術、應用與產業發展。該會議由歐洲委員會聯合研究中心(European Commission Joint Research Centre)結合科學研討與產業展覽，匯聚來自 60 多個國家的專家、研究者與企業，探討光電在能源轉型中的關鍵角色。



圖17 EU PVSEC 2025 西班牙畢爾包會場

(二) 會議主題

EU PVSEC 2025 於 9 月 22 日至 9 月 26 日西班牙畢爾包召開，以「光電革命」(Photovoltaic (R)evolution)為核心，強調光電作為「電力新王者」在能源轉型中的作用，並涵蓋科學與技術創新、應用與系統整合、政策和社會溝通、產業展覽等多面向，旨在促進跨領域交流與創新：

1. 科學與技術創新：最新的光電材料、電池效率、材料降解與電網穩定等研究討論。

- 2. 應用與系統整合：**建築整合型光電 BIPV、氣候變遷影響研究、能源儲存、電網整合之研究。
- 3. 政策和社會溝通：**轉型政策落實、市場趨勢，以及社會永續發展等政策制度討論。
- 4. 產業展覽：**專注上游 PV 產業，展示新技術、創新概念與商業機會。

(三) 海報報告摘要

1. Integrating Energy Policy into Spatial Planning Frameworks: A Study of Taiwan's Approach

(1) 發表人：洪子涵

(2) 文本摘要：

隨著太陽光電設置量快速成長，其用地需求與國土規劃的落差成為社會與政策焦點。臺灣土地資源有限，能源開發常與環境保育、農漁生產及地方經濟衝突，顯示能源政策與空間規劃銜接不足。《國土計畫法》於 2018 年公告全國國土計畫，建立分層分區治理架構，但能源部門計畫多自成體系，缺乏縣市層級的空間對應，且法制落實需至 2031 年。為探討整合途徑，本研究透過文獻回顧與國際比較，分析日本、印度、韓國、荷蘭等高人口密度國家的再生能源與空間計畫介接模式，歸納可供臺灣參考的制度設計。

研究發現，四國均建立能源與土地兼顧的治理架構：日本強調地方自治與社區參與，採自下而上協調；印度以州政府為主體，確保中央與地方一致；韓國透過法定空間計畫界定能源設施設置區；荷蘭導入生態補償與參與審議，檢核能源與空間平衡。反觀臺灣，能源政策缺乏空間整合與地方授權。

為此，本研究建議利用 2028 年國土計畫通盤檢討，將《再生能源用地白皮書—光電篇》制度化並空

間化，納入國土計畫指導原則；同時建立中央與地方協作機制，推動再生能源示範區及跨部會審議平臺，兼顧能源安全、環境永續與地方發展。透過制度整合與現地試驗，臺灣可逐步形成具韌性與永續的光電推動模式。

(3) 海報：

Integrating Energy Policy into Spatial Planning Frameworks: A Study of Taiwan's Approach

Tzu Han Hung
Industrial Technology Research Institute

 ITRI
Industrial Technology Research Institute

ABSTRACT

How can land-scarce regions balance development needs with ambitious renewable energy goals for a sustainable future?

Taiwan, an island of 36,197 km² with a population of 23 million and density of 640/km², faces competing demands for housing, high-tech industry, food security, climate adaptation, and energy. The 2016 Spatial Planning Act, the National Spatial Plan (2018), and 18 municipal plans (2021) established a framework to integrate sectoral policies, yet challenges remain. Energy policy, for example, sets a 20GW solar target by 2025 (revised to 8GW rooftop, 12GW ground-mounted) under the Renewable Energy Development Act (2009), but national planning offers limited spatial guidance, weak local autonomy, and insufficient mechanisms to coordinate overlapping land uses.

To address this gap, this article compares four land-constrained countries with higher solar deployment—Japan, India, South Korea, and the Netherlands. By analyzing how their spatial planning systems align with sectoral policies, it identifies governance and planning approaches that guide solar development within limited territory. The study aims to provide lessons for Taiwan to strengthen land-energy integration, resolve policy conflicts, and achieve its net-zero 2050 goals.

INTRODUCTION

Taiwan enacted the Spatial Planning Act in 2016, launching a new system to be fully applied by 2025. The framework operates at three levels: the National Spatial Plan (2018) sets broad zoning principles; municipal/country plans adapt them locally; and township plans reflect settlement and industry needs with community-based controls. While the law requires integration of sectoral policies, energy planning remains difficult, as diverse facility types—nuclear, thermal, hydro, and multiple renewables—make it hard to designate suitable zones or guide capacity.

For solar PV, the only clear rule is that composite systems combining agriculture or aquaculture with PV are widely permitted, resulting in most installations being placed in farmland, particularly fishpond-based aquacultivations. Ground-mounted PV, by contrast, is mainly installed on non-agricultural land, such as roadsides, former salt fields, subsidence zones, reclaimed landfills, and contaminated sites. This distribution reflects the current lack of precise spatial guidance and planning principles for renewable energy under the spatial planning system.

CASE STUDY & DISCUSSION

Taiwan's 2018 National Spatial Plan lacks clear solar siting guidance, limiting local governments and causing policy conflicts. The energy authority should use the 2028 spatial plan review to turn the Solar Land Use White Paper into concrete site selection and land use principles, aligning with rural planning to better implement energy goals. This study compares four land-scarce, high-density countries—Japan, India, South Korea, and the Netherlands—that achieved higher solar capacity. By analyzing how they integrate spatial and energy planning, it seeks to provide a framework for Taiwan to strengthen guidance, align sectoral policies, and advance renewable development.



```

graph TD
    LA[Limited area] --> SP[Spatial Plan]
    HD[High Density] --> SP
    NP[2050 Net Zero] --> EP[Energy Policy]
    SP -- Weak linkage --> NSP[National Spatial Plan]
    NSP --> CSP[County Spatial Plan]
    CSP --> CRAP[Comprehensive Rural Area Planning]
    EP --> WLW[White Paper on Land Use]
    WLW --> RL[Rooftop]
    WLW --> HL[Hybrid Land-use]
    WLW --> SE[Social Engagement]
  
```

Taiwan	Japan	India	South Korea	The Netherlands
Population Density & Solar Capacity	640/km ² world 17 th 9.7GW world 17 th	333/km ² world 27 th 78GW world 3 rd	431/km ² world 26 th 63.19GW world 4 th	516/km ² world 20 th 22GW world 8 th
Spatial Planning and Energy Sector Integration	<ul style="list-style-type: none"> Use the Solar White Paper to guide energy policy with ongoing social dialogue. Not yet integrated with sectoral spatial strategies in spatial plan. 	<ul style="list-style-type: none"> Guide energy policy via National Basic Energy Plan with disaster integration. Embed targets in National Spatial Plan, locals set zoning and controls. 	<ul style="list-style-type: none"> National mission to guide off-grid and grid-connected development. Spatial planning defines local permitted grid-connected zones and review rules. 	<ul style="list-style-type: none"> Integrate energy plan with national spatial planning to guide local growth. Municipal scale: plan energy with public facilities, stressing local participation and siting rules.
Insights from Cases	Taiwan draws on four countries' model of spatial-energy integration to guide its policy planning.	Taiwan's spatial framework aligns most with Japan's, where layered governance and community-led models can guide stronger local participation.	India's state-level, localized model emphasizes benefit-sharing with people, reducing negative perceptions of solar power.	South Korea shows close coordination between land and energy planning, integrating at the policy stage to prevent future conflicts.

CONCLUSION

To bridge Taiwan's land-energy planning gap, the White Paper and spatial plans should adopt other countries' strategies in the following principles:

- 1 Local spatial plans should align energy development with community needs and local characteristics.
 - Localized, community-driven
 - Social dialogue & coordination
- 2 Local plans should define siting principles for energy development.
 - Landscape preservation
 - Ecological sensitivity
- 3 Central-local governments should coordinate robust monitoring and evaluation mechanisms.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Energy Administration, Ministry of Economic Affairs, Taiwan.

REFERENCES

- Taiwan Government Reports (2019-2023), National Spatial Plan; White Paper on Land Use for Renewable Energy Development; Solar Power; Municipal spatial plans; Approved projects.
- Japan/PJTF (AERI), (2015, 2021). National Spatial Strategy; 6th Strategic Energy Plan.
- India/National Mission (2008, 2020). National Action Plan on Climate Change; Jawaharlal Nehru National Solar Mission.
- South Korea (MOIE, MOCT & KEPCO), (2019-2020). 5th Comprehensive National Energy Strategy; Energy Efficiency Master Plan; 2nd Basic Energy Supply Plan.
- Netherlands-Government (2019-2023). National Energy Strategy (NEN); National Energy and Climate Plan (NECP).

Presented at EU PVSEC 2025

14F-1, No.248, Sec. 3, Nanjing E. Rd., Songshan Dist., Taipei City 105403, Taiwan, R.O.C.

itr537353@itri.org.tw

圖 18 洪子涵發表於 EU PVSEC 2025 之海報

(4) 交流內容：

本次報告內容，與會者普遍對於「能源部門計畫與國土計畫之整合」的議題興趣較低，認為此屬跨部門協調範疇，涉及不同治理層級與權責分工，實際上可能會由具規劃權限的空間治理或都市計畫單位主導，能源研究機構介入空間計畫的角色相對有限。



圖19 洪子涵 5DV.3.43 海報張貼照片



圖20 與會者駐足 5DV.3.43 照片

考量能源研究機構、政府單位與業者之介入空間有限，討論重點並未集中於上位計畫架構，而更傾向交流地方實際推動面向。依循前述參訪的交流內容，如 Onyx Solar 公司、馬德里理工大學的 Miguel 教授等，皆表示歐洲在再生能源推動上強調在地的協調與公民溝通，地方政府與社區往往在決策初期即參與其中，透過空間共識與土地對話推動計畫落實，這樣也可避免太陽光電選址、規模等和空間規劃競合所造成的衝突與延宕。另有與會者對建築整合型太陽光電 BIPV 的發展表示關注(圖 21)，認為這種設置態樣將會是未來普及的型態，進而可能在都市設計與建築規範中帶來新的空間與景觀議題，並建議未來可以朝向此方面探討相關的政策制訂與規劃因應。



圖 21 與加拿大 CONCORDIA UNIVERSITY 教授交流 BIPV 議題交換名片
(Prof. HUA Ge, Building, Civil, and Environmental Engineering)

2. Photovoltaic Development and Landscape Conflicts in Taiwan: Status and Resolutions

(1) 發表人：王姿雅

(2) 文本摘要：

近期隨著太陽光電設置的快速增長，進而引發了不少景觀與生態環境衝突的問題，造成社會的反感與關注，使得相關議題更顯為重要。雖然相對於傳統發電所造成的環境問題太陽光電輕微許多，但由於太陽光電通常距離聚落較近，較容易造成民眾對於其設置可能造成之景觀、環境與生態產生疑慮，本研究彙整了過去相關的文獻，並將其分為視覺、環境與生物棲地影響進行討論。

本研究亦就我國目前較具爭議三個案件進行討論，研究發現與民眾溝通的重要性。目前我國為減少太陽光電設置對於景觀與生態環境上的影響，已訂定了《設置地面型太陽光電設施景觀及生態環境審定原則》，給予太陽光電業者在景觀與生態環境方面有所依循，也有不少案場依前述之原則規劃出配合當地景觀特色之案場，然而在本研究比較該原則與其他國家的相關規範後，發現我國缺乏與地方民眾溝通的相關規範與指引，以及因地制宜的相關規範，未來我國也應朝此方向檢討，以完善我國整體太陽光電的設置環境，更透過相關研究減少太陽光電對於景觀、環境與生態方面的衝突。

(3) 海報：

Photovoltaic Development and Landscape Conflicts in Taiwan: Status and Resolutions



WANG, TZU-YA (DianaWang@itri.org.tw), WANG, CHIA-CHEN / Industrial Technology Research Institute (ITRI)

1 Introduction

BUT IMPACT

Literature review: Identify the landscape-related issues solar PV installations may encounter.

Case study: The situation of solar PV and landscape conflicts with Taiwan's cases.

Solution analysis: With forming the *Directions for the Landscape and Ecological Environment Assessment of Ground-Mounted Photovoltaic Systems*.

2 The Potential Impacts of Solar PV on the Landscape

3 Cases of Conflict Between Solar PV and Landscape in Taiwan

A solar PV site in Pingtung

Case of Visual Impact

- The operators removed the original vegetation on the site to prepare the land.
- Located on the slopes along Highway leading to a popular tourist destination that affect travelers' visual aesthetics.

(Source: <https://tinyurl.com/y282qz62>)

A solar PV site in Tainan

Case of Environmental Impact

- Close to a community, and residents protested against light pollution, noise, and hot island effect.
- The operators must follow within regulatory standards. Operators should communicate with the stakeholders better to minimize conflicts.

(Source: <https://tinyurl.com/2m62224>)

A solar PV site in Miaoli

Case of Habitat Impact

- With limited land and a dense population, recently, operators have turned to develop the land.
- To protect the habitat of endangered animals such as leopard cats.
- An environmental association suggested that these areas should hold local briefings.

(Source: <https://tinyurl.com/2m62224>)

4 How Does Taiwan Resolve the Conflicts Between Solar PV Development and Landscape?

Taiwan Ministry of Economic Affairs established *Directions for the Landscape and Ecological Environment Assessment of Ground-Mounted Photovoltaic Systems*

With cross-department expert meetings 2 times + Discussion meeting 1 time May 1, 2018 announced <ul style="list-style-type: none"> Targeting large-scale ground-mounted solar PV (2MW ↑). Important regulations: <ul style="list-style-type: none"> 1)Avoiding Class I environmentally sensitive areas. 2)Considering local contour lines and maintaining the original site landform. 3)Carrying out suitable greening with indigenous species as the primary. 4)Requesting to conduct ecological surveys. 5)Prohibiting cleaning agents. 	With glare simulation noise measurement November 22, 2023 Revised <ul style="list-style-type: none"> Continue to use the important previous version related to landscape and ecology. Adding maintaining a certain distance between solar PV & buildings: <ul style="list-style-type: none"> 1)fishery and electricity symbiosis models: 2)Non-compound models: 3)Inverter: 	Glare simulation noise measurement March 31, 2025 Revised <ul style="list-style-type: none"> Continue to use the previous version related to landscape and ecology, but not limited to 2 MW. Modify the distance between solar PV & buildings. <ul style="list-style-type: none"> 1)2ha ↑ : 100m or 200m according to building height 2)2ha ↓ : 100m or 200m according to building height 3)Inverter: 10m
---	---	---

5 Discussion

Landscape conflict between solar PV cases in Taiwan, and overseas examples for reference.

Impact Category	Cases in Taiwan	Overseas examples for reference
Visual	Site in Pingtung which is next to Highway	1.Lingewaard City, the Netherlands: take into account the existing landscape when planning the site. The facilities will be located outside the planning zone. And in future, the area will be supported by the locals. 2.Hyogo Prefecture: Install the facility on the main road slope area, the slope angle must be less than 30°, and retained a percentage of green spaces.
Environment	Site in Taiwan which is closed to a community	Refers to the self-government experiences of Japan and South Korea. It should be explained to the local public before development and the consent of residents should be obtained. 1.Hyogo Prefecture, Japan: Solar Power Generating Facilities and Local Environment Coordination Act (太陽光発電施設と地元環境との調整に関する法律) 2.Youngju City, South Korea: The Standards for the Permission of Solar Power Generation Facilities Development (太陽光発電施設の開発に係る基準)
Habitat	Site in Miaoli which near the habitat of endangered animals	According to the Guidance on the Solar Power Generation Areas released (太陽光発電の適地選定ガイドライン) by Japan's Ministry of Environment, the operator should learn more about the local habitat and wildlife through literature studies, interviews, field surveys, and other methods before development.

6 Conclusion

Solar PV installation	Visual Impact Solution	Environmental Impact Solution	Habitat Impact Solution	Taiwan has Revised the <i>Directions for the Landscape and Ecological Environment Assessment of Ground-Mounted Photovoltaic Systems</i>	designing with local landscape and protecting the ecosystem & maintaining distance from buildings	Taiwan lacks of:
	1 landscape visual and color analyses 2 Adding hedge fences	1 Deploying ARC, ventilation, or sound-proofing devices 2 setting on degraded land and increase land use rate	Avoiding sensitive areas and deploying site management measures can help protect vulnerable habitats.			1. The regulations for communication with the local. 2. The flexibility for adjustments according to region.

圖 22 王姿雅發表於 EU PVSEC 2025 之海報

(4) 交流內容：

針對本研究，與會者主要對我國經濟部訂定之《設置地面型太陽光電設施景觀及生態環境審定原則》表達高度興趣，特別關注該原則的訂定背景與實

-44-

際執行方式。部分與會者對於光電在地景中可能引發的視覺衝突問題提出疑問，並進一步詢問本研究如何界定「景觀衝突」的範疇與判定標準，筆者亦以文獻蒐集回顧結果回應之。此外，也有與會者關心該審定原則在推動過程中的實際成效、地方政府與業者的配合情形，以及此制度是否能有效兼顧再生能源推動與景觀環境保護之間的平衡。整體而言，與會者皆對我國訂定的該原則表示好奇與新奇，顯示我國針對此議題有超前國際的對應措施，另外討論也聚焦於制度設計與執行層面的實務經驗交流，可見國際間對我國在光電與景觀整合政策上的作法具有高度關注。

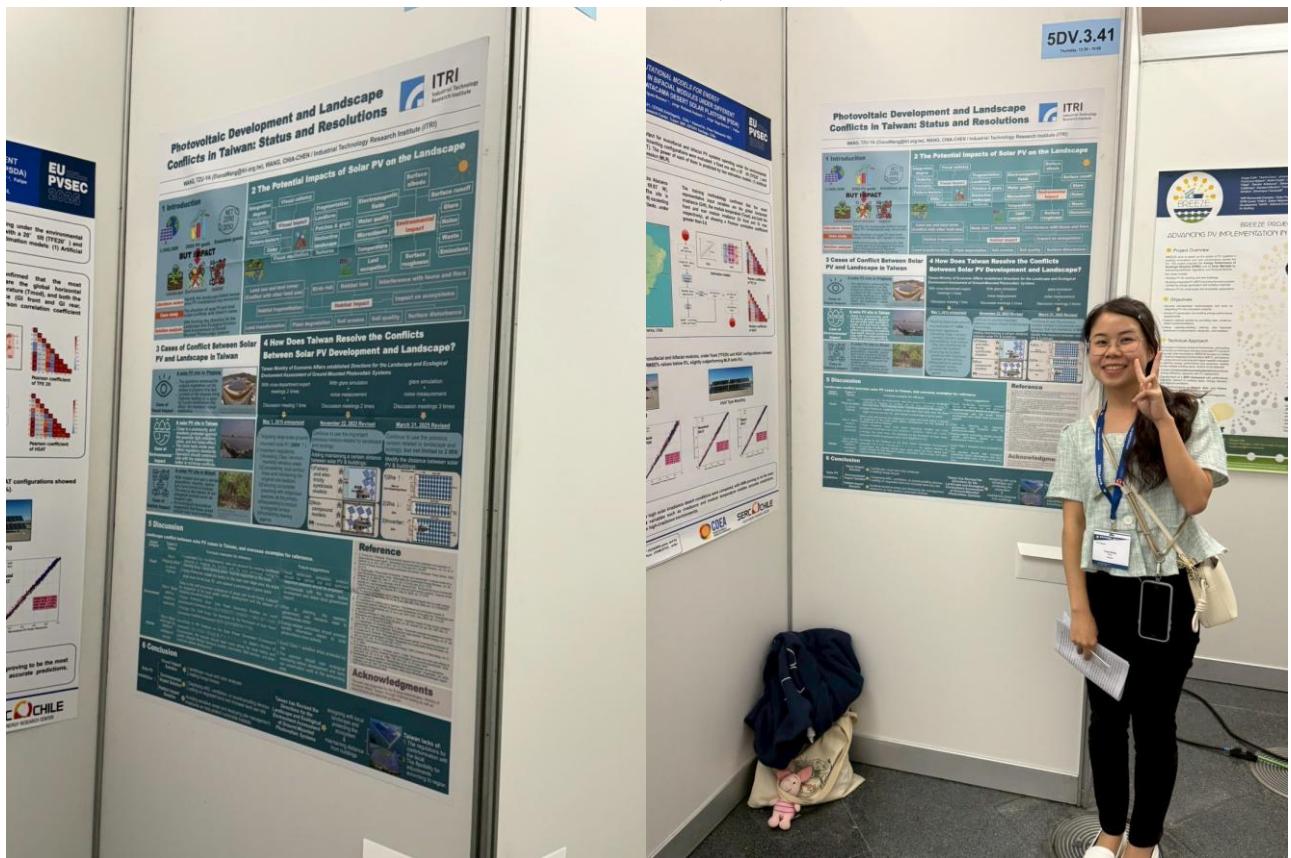


圖23 姿雅 5DV.3.41 海報張貼照片

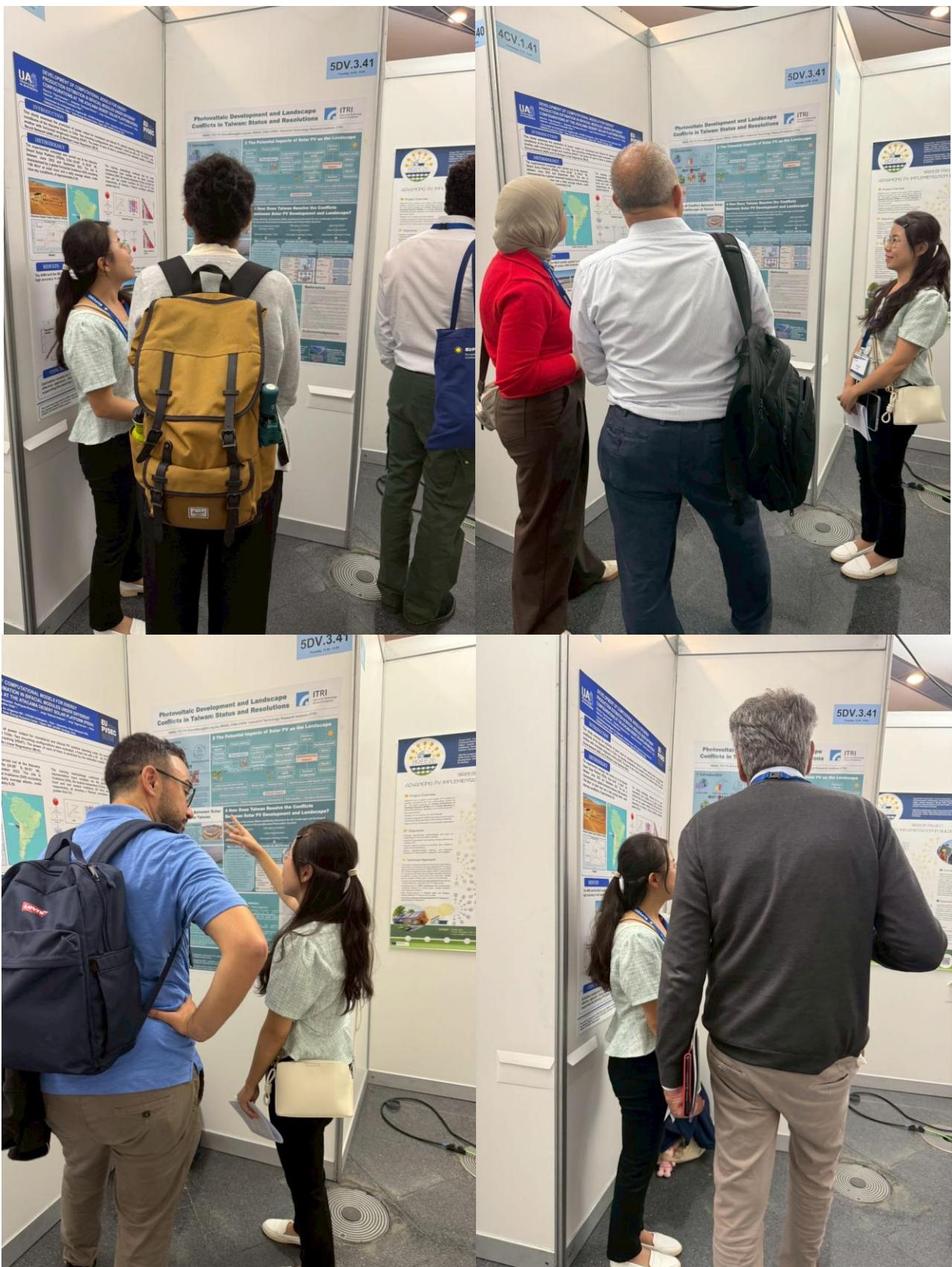


圖24 王姿雅於 5DV.3.4 場次海報交流照片(1)

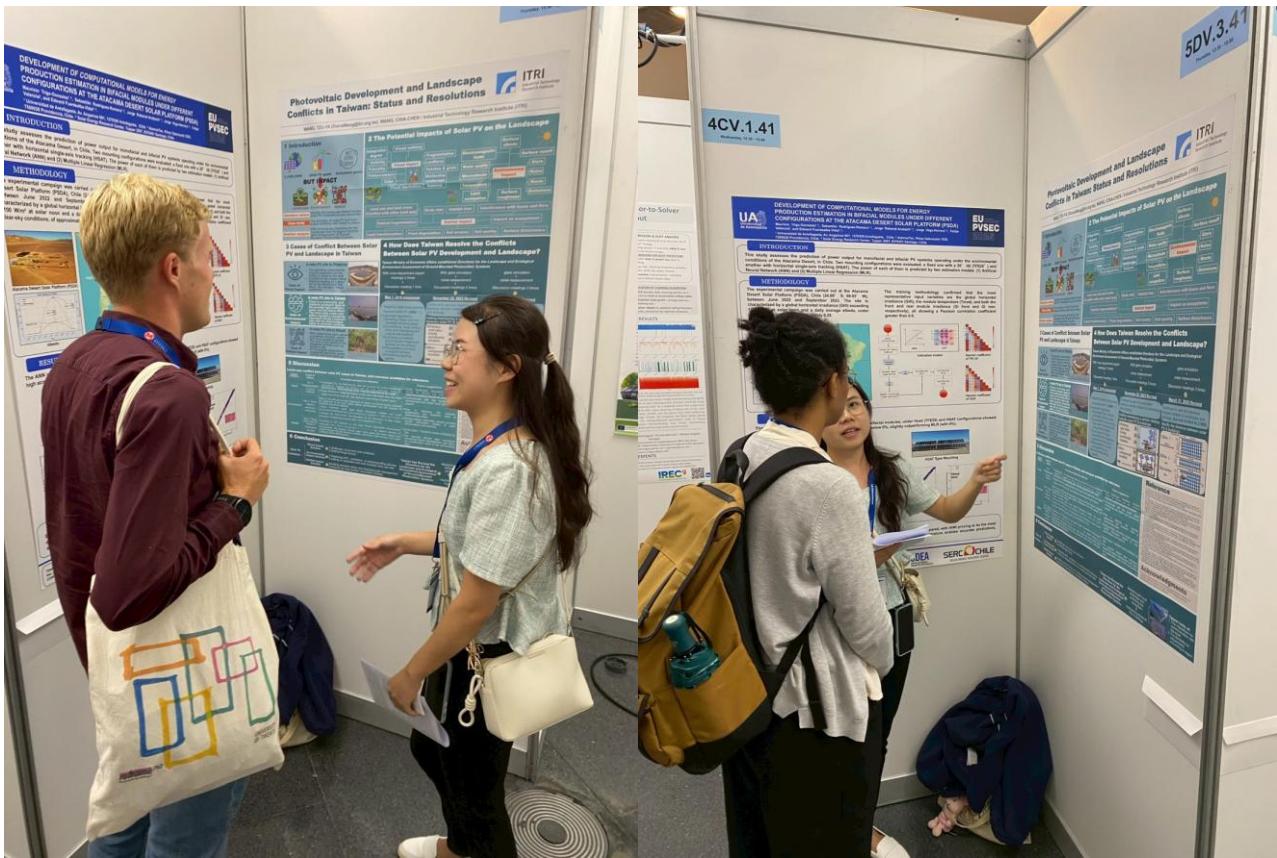


圖25 王姿雅於5DV.3.4場次海報交流照片(2)

(四) 動態演講摘要

1. 光電系統中的污垢和雪的影響

4CO.8 場次探討「太陽光電系統汙損與積雪效應(Soiling and Snow Effects in PV Systems)」，涵蓋灰塵附著與積雪遮蔽兩大議題。惟相較於高緯度國家常見的雪覆問題，臺灣屬亞熱帶氣候，全年氣溫偏高且少有積雪現象，同時臺灣位處季風交替帶與海陸交界區，灰塵、鹽分與空氣污染物易沉積於模組表面，造成效率衰減與維運成本提升。因此，本次主要聚焦分享「塵粒汙損」相關的國際研究趨勢，探討各國如何依區域特性發展汙損模型與清潔策略，並作為我國後續管理與技術精進之參考。

(1) 國際研究趨勢—依地區特性分析影響與清潔策略

國際間對太陽光電系統灰塵汙損效應的討論已從單純的效率衰減，進一步轉向「汙損生成機制」與

「區域化模型建構」。西班牙馬德里理工大學(Miguel教授的研究團隊)關注「部分清潔效應」與「永久附著汙損」對長期發電效率的影響，指出傳統假設雨水能完全清潔模組的模式過於理想化，導致發電量預測偏低。摩洛哥國家太陽能與新能源研究中心研究聚焦於汙損地圖化與地區差異分析，利用衛星氣象資料建立空間分布模型，揭示沿海與內陸環境間的汙損差異，分析不同地區相對濕度、風速與降雨量對汙損速率的影響。另一方面，智利的安托法加斯塔大學研究團隊則從生物化學角度探討阿塔卡瑪沙漠的極端汙損現象，發現灰塵中的微生物組成生物膜，可促進灰塵膠結、強化顆粒附著形成生物膠結層，導致清潔工作困難，除使透光率下降 20% 以外，也容易因清潔頻率提升而影響模組壽命。而美國國家再生能源研究室、德國弗勞恩霍夫太陽能研究所則以模擬方式，比較不同塵源(細粒沙型、高鹽分塵)特性與清潔策略，顯示汙損並非單一物理問題，而是受氣候、塵源組成與表面反應共同影響，因此不能以單一種清潔或防塵方案應對所有地區。整體而言，各國研究正朝向以「地區環境特性」為核心，發展更精細的汙損行為模型與預測系統。

(2) 研究成果—依塵源、氣象條件規劃清潔方案

依該場次研究討論顯示，汙損行為受氣象條件與不同塵源性質交互影響。西班牙理工大學透過模型計算引入部分清潔係數與永久附著比例，使汙損預測與實測結果差距縮小至 10% 以內，找出降雨強度與顆粒特性的關鍵參數。摩洛哥建構汙損地圖，顯示內陸乾燥區(沙漠邊緣地帶)年能量損失可達 10% 以上，建議依區域條件設定清潔週期以平衡維運成本。智利團隊

的微生物研究，證實乾旱地區的灰塵並非物理性的附著於光電板上，而是生物、化學和物理共同作用的結果，強調防塵與清潔策略須依地區化設計，並建構後續防黴、防菌與抗黏附表面材料的研究方向。

(3) 臺灣可借鏡方向

臺灣地處亞熱帶與季風交替帶，降雨不均且沿海地區塵源多樣，極易發生灰塵汙損問題，參考前述研究，臚列三項我國後續可評估建構之制度方向：

- A. 建立區域化汙損監測與模型化系統：參考西班牙與摩洛哥研究內容，整合降雨、風速、氣膠與土地利用資料，建置臺灣版「汙損潛勢地圖」，作為光電案場維運與效能預測的依據。
- B. 檢核我國模組表面與抗黏附材料應用評估：參考智利團隊之研究，指出生物性汙損將加劇灰塵固化，臺灣高濕高鹽環境同樣可能需關注此議題，檢核我國模組表面之污損情形，並評估發展具親水、防菌或自潔特性的模組玻璃塗層。
- C. 導入氣候敏感型清潔管理制度：比照國際作法，結合氣象預測模型與自動化維運機制，根據實際汙損速率與降雨事件動態調整清潔時機，以降低維運成本並穩定發電效率。

2. 農電共生光照模擬與系統精進規劃

(1) 國際研究趨勢—能源、農業與環境整合方案

本場次 4DO.5 討論包含歐盟的 SYMBIOSYST 計畫(涵蓋義大利國家新技術能源署、西班牙薩拉戈薩能源研究中心等單位)以及義大利波隆那大學，關注光照模型中作物受光均勻性的精準度探討，並指出傳統光電模擬軟體無法準確反映農地的動態光分布與

遮蔭效應，因而發展整合散射、反射與作物光飽和曲線的混合模型，以精進模組配置與材料選擇。德國弗勞恩霍夫太陽能研究所則提出開放式農電共生對微氣候調節機制之討論，證實架高的模組可促進空氣對流，評估模組與植物熱環境的相互影響；西班牙科爾多瓦大學則聚焦研究於智慧追日與作物導向控制(crop-driven control)，以橄欖園為標的，開發結合智慧追日演算法的農電系統，探討作物導向動態控制的效益；而剛果盧本巴希大學則研究園藝作物導入農電共生的可行性與最佳化方案。

(2) 研究成果—精準預測模型、微氣候緩衝與在地支持

A. 農電共生評估模型精進縮減作物產量估算誤差：

傳統光電模擬軟體多假設光照均勻，忽略作物層下的動態遮蔽與散射光效應，歐盟 SYMBIOSYST 計畫透過多地實測與模型校正，於傳統模型中納入模組反射、作物光飽和曲線與散射性，預測誤差縮小至 10% 以內，為未來農電系統設計提供更精確的預測參數。而義大利波隆那大學則探討模組傾角、電池間距及玻璃材料散射性共同決定作物層光照均勻性，指出高散射性透光模組能減少陰影、提升作物光照約 10–15%，建議未來農電共生之應用，應透過材料光學設計改善作物層照度分布，實現農業產能與發電效益兼顧。

B. 開放式農電共生可提供微氣候緩衝功能：德國弗勞恩霍夫太陽能研究所與霍恩海姆大學透過模型模擬、實地監測方式，分析模組架高後確實可促進空氣對流，使模組溫度降低 3–5°C、轉換效率提升約 2%，作物區域亦因蒸散效應降低地表溫度，形成「雙向降溫」機制，改善模組與植物熱

環境，具備環境緩衝、調節功能，強化農業對極端氣候的適應性。而西班牙科爾多瓦大學透過演算法建構智慧追日農電系統，可根據光照需求、氣象條件與太陽位置自動調整模組角度，夏季時可降低土壤水分蒸發約 15%，並維持橄欖產量與發電效能，展示以作物需求(遮蔭、節水)為導向的乾旱地區農電發展模式，有助於推動智慧化與氣候韌性農業。

C. 農電提升能源、作物自給，仍面臨社會支持議題：
剛果盧本巴希大學研究發現農電共生系統，能在乾季提供約 80% 的能源自給率，並改善灌溉穩定性與作物產量，提升當地的能源與糧食自給，然而仍面臨成本高、技術支援不足與民眾接受度低等挑戰，凸顯農電共生於國際共通的發展議題，該研究建議應持續結合在地培訓與教育，才能穩定推動能源政策、獲得地方發展認同。

(3) 臺灣可借鏡方向

臺灣地狹、氣候多變且農業型態多元，若推動農電共生，應借鏡歐洲與非洲的實證經驗。首先，可參考歐盟 SYMBIOSYST 計畫與義大利研究成果，建立本土化農電模擬與設計平臺，整合輻射、氣象與農作資料，作為案場可行性評估與遮蔭預測工具。

其次參考德國微氣候研究，將環境調節效益納入政策評估，發展具降溫與節水功能的開放式架構設計，並與社會各界宣導發展效益，持續溝通政策精進面向。

第三，結合西班牙智慧控制概念，研擬氣候敏感型追日與管理制度，根據作物需光與氣象條件動態調

整模組角度或清潔週期。最後，參考非洲經驗，推動示範性中小型案場，並強化農民參與和技術培訓。

（五）小結

參加 2025 年 EU PVSEC，我們除了展示臺灣在能源政策與空間規劃整合以及景觀管理上的成果外，也藉由與國際學者的互動與觀摩，進一步理解歐洲光電發展的趨勢與思維。

依據訪談、演講的過程，我們發現歐洲的光電發展已從以技術為核心的階段，逐步轉向強調「社會協調、環境整合與永續治理」的多元模式，並持續追求政策設計、技術創新與地方參與之間的平衡。從會議與訪談觀察可見，歐洲各國普遍重視地方政府與社區在再生能源推動初期的角色，透過空間規劃、視覺整合及公民溝通，降低土地使用衝突，建立更具共識與認同的推動機制。

在技術面向上，國際研究已進一步深化太陽光電與環境之間的互動關係。像是在「塵粒汙損」議題上，即根據不同氣候條件提出具區域特性的清潔與維運策略，而在「農電共生」領域，則透過模型優化與微氣候模擬，探索兼顧農業生產與發電效益的系統配置或材料選擇。這些成果顯示，太陽光電的發展已超越單純的能源技術問題，逐漸成為整合土地利用、氣候調適與地方發展的重要議題。

對臺灣而言，未來可從三方面借鏡歐洲經驗，包含建立跨部會協調與地方參與的制度，將能源政策納入國土計畫體系，形成中央與地方協同推動的治理模式；其次，建置在地化的環境與汙損監測機制，作為光電設置與維運管理的重要依據；第三，發展在地化的農電模擬與規劃工具，將氣候調節、農業需求共同評估，並將社會接受度納入整體政策推動考量。透過制度與技術並行的推進，臺灣有機會發展出兼具地方韌性與國際接軌的太陽光電推動模式。

六、參訪 Zorrotzaurre 案場

(一) 案場簡介

Zorrotzaurre 智慧零碳島計畫是西班牙畢爾包市(Bilbao)長期推動的都市再生願景，將昔日的工業島轉型為永續智慧社區。此計畫由畢爾包市政府主導整體都市更新與管理，規劃核心是創造一個兼具宜居性與防洪韌性的島嶼社區。



圖26 位於內維翁河中段的 ZORROTZAURRE 島現況

(資料來源：<https://www.zorrotzaurre.com/en/>)



圖27 ZORROTZAURRE 島都市規劃構想圖

(資料來源：<https://www.zorrotzaurre.com/en/>)

1. 歐盟補助畢爾包都市再生，並與能源整合共同推動

智慧零碳島計畫為歐盟 Horizon 2020 計畫下的 ATELIER 專案(Acting Together on Energy Liveability by Innovating towards Excellent Replicable smart cities)的一環。ATELIER 由歐盟提供研發與示範資金，聚焦於兩個「燈塔城市」—阿姆斯特丹與畢爾包，期望建立可複製的「正能量地區」案例(Positive Energy Districts, PEDs)。因此，Zorrotzaurre 不僅是都市再生規劃案，更是歐洲氣候與創新政策的試驗基地。

其中在能源轉型層面，西班牙電力公司 Iberdrola 扮演關鍵角色，承諾投入約 2,000 萬歐元，建設智慧電網並導入分散式再生能源、電動交通與儲能系統，打造島上自給自足的低碳能源環境。整個都市再生與能源規劃的推動，形成以公私協力為核心的治理模式，結合市府、民間公司(Iberdrola)、學術單位與歐洲夥伴共同促成。

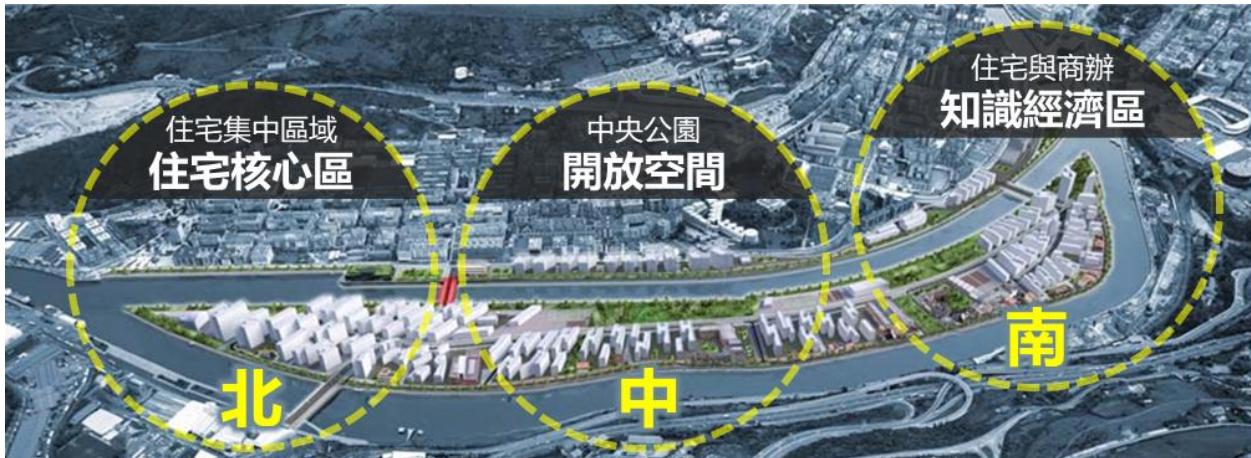
2. 智慧電網作為都市基盤設施，並和太陽光電系統整合

太陽光電是 Zorrotzaurre 邁向淨零排放的核心技術之一。不同於傳統僅將光電作為獨立設施的作法，此計畫以「都市規劃與能源系統一體化設計」為原則，透過分散式發電、智慧電網與建築整合策略，建立具備韌性與自給能力的能源生態系。

首先，所有新建建築均優先配置屋頂型太陽光電，並鼓勵住戶與企業採取「自發自用」模式，使能源的生產與使用能在地平衡，減少傳輸損耗並提高能源自主性。太陽光電同時是正能量區(PEDs)的核心動力來源，示範建築群中的光電系統設計能產出超過自身需求的電力，剩餘電力回饋至島上電網，形成正向循環。

其次，Zorrotzaurre 的能源設計建立在精細的都市能效模擬基礎上。規劃團隊以原始總體規劃資料為依據，分析

建築高度、街道寬度、朝向與用途分布，並在不改變總建築面積的前提下優化都市形態。結果顯示，此優化過程使能源消耗相較原設計降低約 18%，為後續區域能效條例與能源系統整合提供了實證基礎。該成果證明，僅透過規劃階段的形態調整即可實現顯著節能，為達成歐盟 Concerto 對「節能 30% 以上」之目標奠定條件，展現此區成為「生態社區」的潛力。



地熱網絡
整合地熱發電網絡(鑽孔、地下水井)，建構區域供熱系統，確保氣溫穩定

智慧電網
串聯全島發電與儲能系統，並整合公共設施(路燈/充電樁等)供電規劃

智慧城市家具
整合電網的公共照明、公車站(候車看板)...等

屋頂型光電
建築物強制配置屋頂型光電，並鼓勵各建築搭配BIPV(立面型)，提升自發自用能力

規劃電動車環境
增加充電樁規劃配置，並逐步限制非電動車進入島中

圖 28 ZORROTZAURRE 島都市再生規劃與智慧電網整合

此外，為解決太陽光電間歇發電的課題，島上導入儲能單元與智慧電網監控平臺，動態平衡供需並提升系統穩定度。新建建築亦鼓勵採用建築整合型光電(BIPV)設計，使模組成為屋頂或立面的一部分，兼顧美學與功能性。整體而言，Zorrotzaurre 的太陽光電策略並非單點技術，而是都市尺度的能源治理實驗，展示了未來智慧零碳社區如何透過空間設計、模擬優化與再生能源整合，實現真正的永續城市轉型。

(二) 參訪紀要

Zorrotzaurre 島的開發進度分為整體基礎建設與智慧能源系統兩階段，前者涵蓋運河開鑿工程，已於 2018 年完成，使半島正式成為島嶼，徹底解決防洪易淹的風險，而連結周邊市區的橋梁，以及島上道路與公共空間建設仍持續推進中，並已啟動住宅與商業建築施工。



圖29 內維翁河東側觀 ZORROTZAURRE 島北側施工情形

在智慧能源部分，作為歐盟 ATELIER 專案示範區之一，有關能源基盤設施，諸如智慧電網、分佈式光電、儲能系統與電動車充電基礎設施等，目前尚於施工階段。



圖30 ZORROTZAURRE 島北側住宅群施工中

根據畢爾包市政府的規劃，整體 Zorrotzaurre 都市再生將持續至 2030 年代中期才有望完工。雖然目前北側已有部分基礎設施與建築完工，中側仍有荒廢的建築群落尚未拆除，而島嶼南側地段則有圍欄難以前往。整個智慧零碳體系的整合仍需長期運行測試與調整。未來數年，該島將成為歐洲能源轉型與城市創新的重要展示場，提供可複製的模型給其他城市參考，象徵歐洲「從工業遺址走向淨零未來」的具體實踐。



圖31 ZORROTZAURRE 島中側既有建築已荒廢尚未拆除

(三) 小結

Zorrotzaurre 智慧零碳島的經驗展現了歐洲在能源轉型與都市再生間的深度整合模式，強調由當地政府主導未來發展願景，由企業投入技術建構基礎設施，由歐盟提供政策與資金支援三者形成的公私協力機制，使都市再生不僅是空間改造，更能成為能源治理的實驗場。

在荒廢的都市空間中，重建建築群落、鋪設智慧電網，將太陽光電、地熱、儲能、電動車與未來的建築和公共設施用電管理系統納入同一架構，使能源得以在地生產、即時調度與智慧化分配，充分達到歐盟對「正能量地區(PEDs)」的示範理念。透過這項案例，我們可以對臺灣未來空間規劃和能源整合政策可以有更多的期待與願景：

1. 都市再生和能源轉型應同步

目前臺灣都市更新的尺度較小，多為單一建築或街廓整合重建，然其實都市更新可以成為更大規模的空間再生規劃，如日本六本木地區、畢爾包的 Zorrotzaurre 島，皆屬於大規模都市再造計畫，除建築整合以外，亦涵蓋基盤設施的重新布局，透過再生能源和儲能系統的導入，更能建立具韌性、穩定的能源網絡。

2. 在地政府作為公私整合平臺

比照 Zorrotzaurre 島案例，透過畢爾包當地政府整合歐盟資源和企業，建立中央、地方和企業的三方合作模式，能夠讓整體計畫運行更具財務可行、規劃彈性，在前期規劃階段即納入能源等基盤建設布局，亦可提升開發施工效率。

3. 能源社區化與智慧治理為未來趨勢

透過建構島上自給自足的能源系統，以及整體智慧電網的布局，地方政府可依據開放的數據資料、能源效率模擬與用電管理，提升整體地區能源效率，逐步發展貼近在地使用特性的能源分配機制，以作為未來能源轉型管理的示範。

七、參訪 Kukullaga 車站—建築整合光電案例

(一) 案場簡介

Kukullaga 車站位於畢爾包(Bilbao)的 Etxebarri 市，是一座地面車站，於 2017 年 4 月 8 日開通，為 Onyx Solar 公司(介紹如二)於畢爾包設置的一個建築整合光電案例，主要是利用太陽光電玻璃取代該車站原有的玻璃天窗，安裝了 35 種不同尺寸的菱形雙層夾層的安全光電玻璃板(光電位於玻璃夾層中)。同時配合特殊的設計，解決了原有的玻璃缺乏防曬性能，造成乘客和工作人員因高溫所引起不適的問題，也消除了該站的溫室效應，又不影響自然光進入。

這種玻璃的特殊設計，平衡了透熱能力與透光能力，其透熱能力(如圖 33 所示之 g-value)為 40%，屬保有少量透熱的程度，適合大多數夏季炎熱的地區，而其透光能力(如圖 34 所示之 VLT)則為 43%，已經達到減少照明的目的，維持最佳的能源效率。

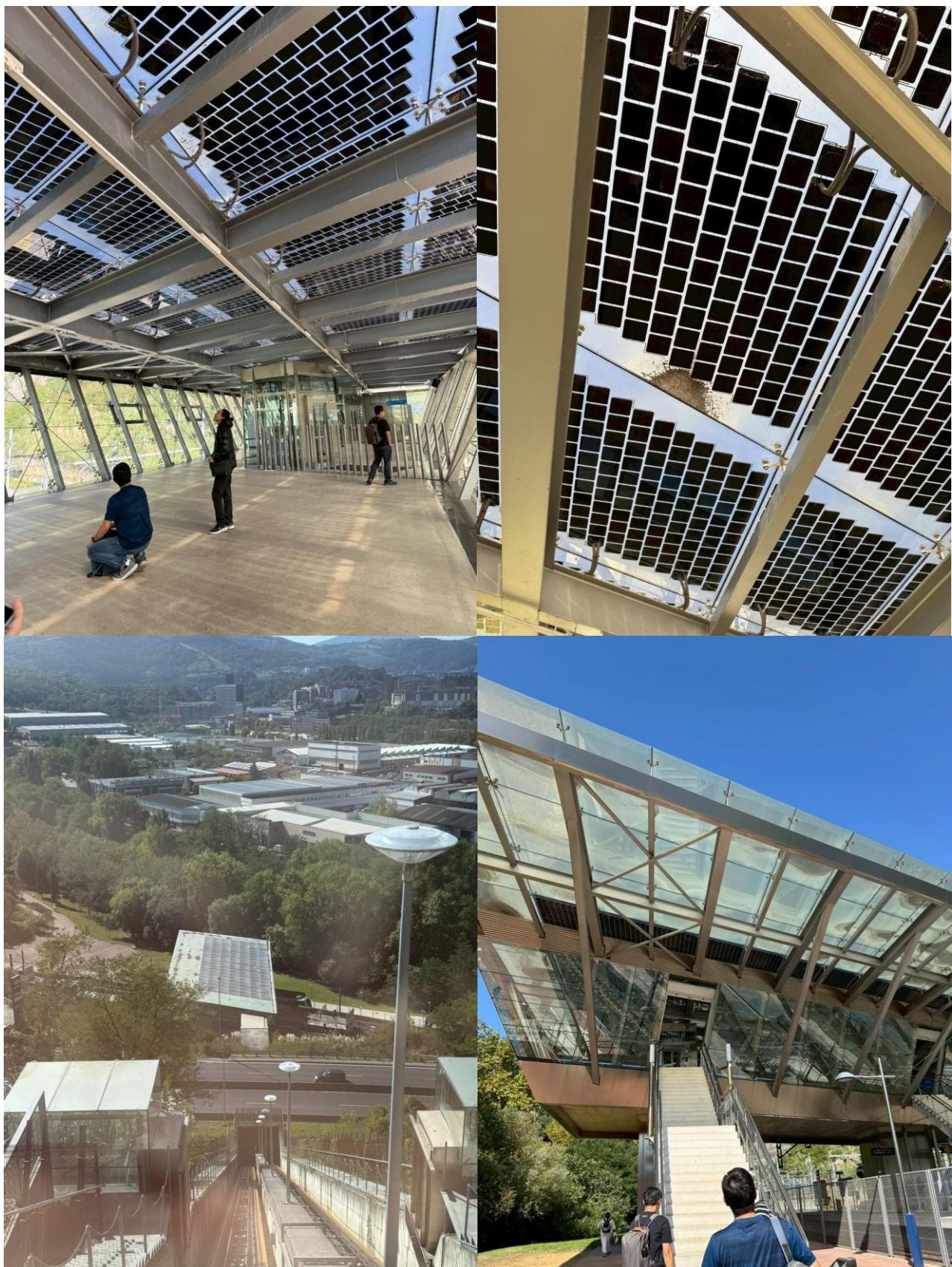


圖 32 KUKULLAGA 車站參訪照片

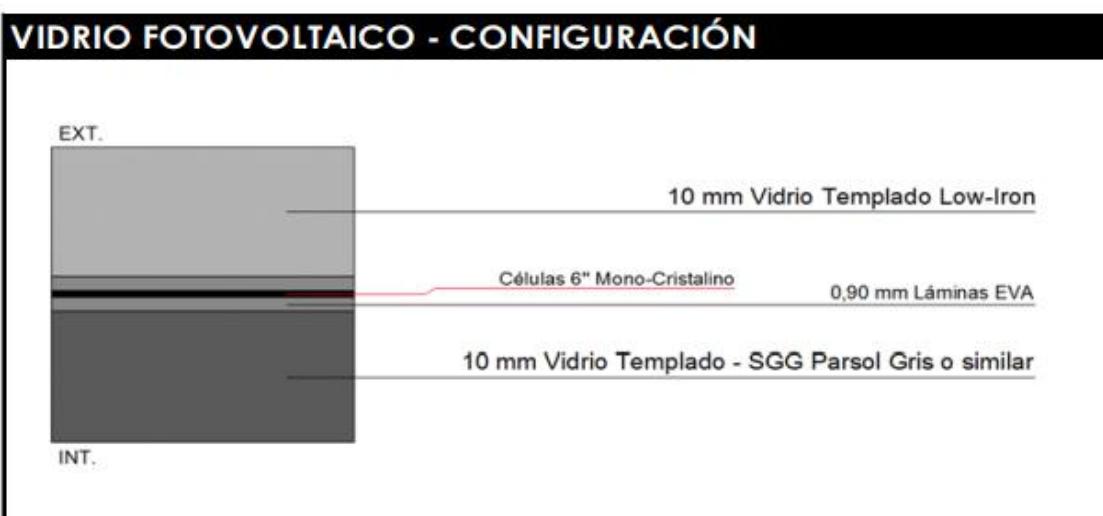
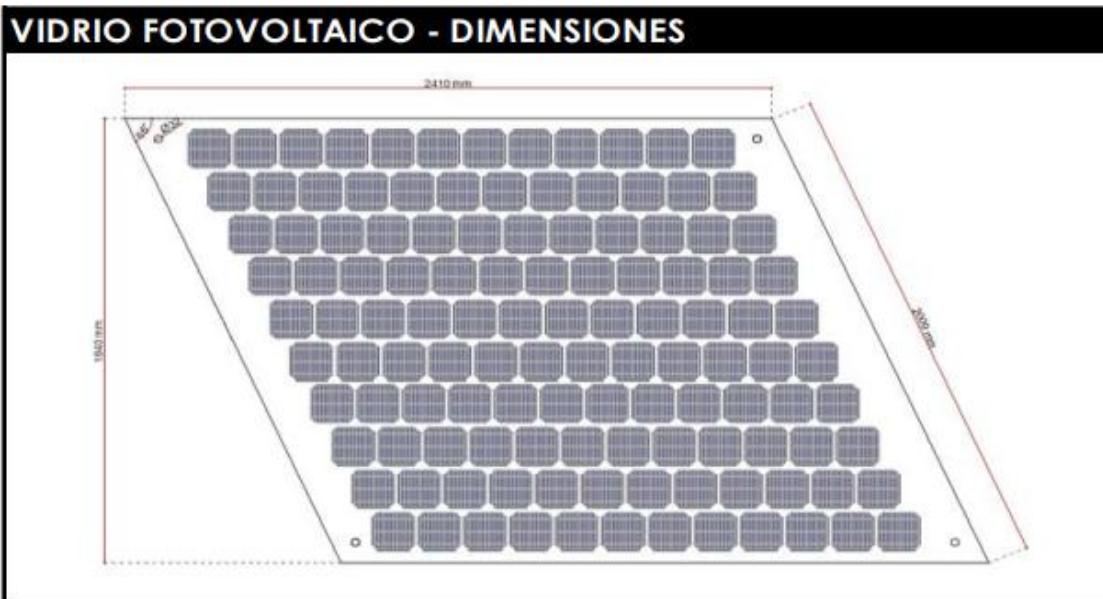
FICHA TÉCNICA - C1-37

VIDRIO FOTOVOLTAICO		2410 x 2009	
		6" Mono	Cristalino
Características eléctricas (STC)			
Potencia nominal	553	P_{mpp} (Wp)	
Voltaje circuito abierto	79	V_{oc} (V)	
Intensidad de cortocircuito	9,02	I_{sc} (A)	
Voltaje máxima potencia	65	V_{mpp} (V)	
Intensidad máxima potencia	8,47	I_{mpp} (A)	
Tolerancia de potencia	±10	%	
STC: 1000 w/m ² , AM 1.5 y temperatura de célula de 25°C, estado del módulo estabilizado.			
Características constructivas			
Longitud	2410	mm	
Anchura	2009	mm	
Espesor total	21,8	mm	
Área total	4,43	sqm	
Peso específico	222	Kgs	
Célula fotovoltaica	6" Mono	Cristalino	
Número células / Grado transparencia	120	43%	
Vidrio frontal	10 mm	Vidrio templado low-iron	
Vidrio trasero	10 mm	Vidrio temp. Parsol Gris	
Espesor encapsulante	1,80 mm	Láminas EVA	
Categoría / Código color			
Caja de conexiones			
Protección	IP65		
Sección de cableado	2,5 mm ² or 4,0 mm ²		
Límites			
Tensión máxima del sistema	1000	V_{sys} (V)	
Temperatura de operación	-40...+85	°C	
Coeficientes de temperatura			
Coeficiente de temperatura; P_{mpp}	-0,451	%/°C	
Coeficiente de temperatura; V_{oc}	-0,361	%/°C	
Coeficiente de temperatura; I_{sc}	+0,08	%/°C	

*Especificaciones técnicas sujetas a cambio sin previo aviso por parte de Onyx Solar.

圖33 KUKULLAGA 車站一案技術列表

FICHA TÉCNICA - C1-37



VIDRIO FOTOVOLTAICO - PROPIEDADES

Transmisión luminosa	43%
Valor U_g [W/m ² .K]	5,2
Potencia pico [Wp/m ²]	124,8

圖34 KUKULLAGA 車站一案模組設計

(二) 參訪紀要

Kukullaga 車站是畢爾包地鐵 3 號線的終點站，在前往 Kukullaga 車站時，映入眼簾的是 1 座斜梯，沿著山坡蓋的電梯，可以從 Kukullaga 車站連通道搭乘斜梯前往山頂的

San Antonio 社區。參訪 Kukullaga 車站時，我們深刻感受到建築整合光電(BIPV)設計的多重優勢。進入車站內部時，空間光線充足，我們也發現室內照明不多，甚至白天不需要任何照明即能保持明亮舒適，不影響乘客的視覺體驗，這都歸功於 Onyx Solar 公司對於他們光電玻璃的特殊設計，使得透光與熱控都得以兼顧。同時，由於太陽光電模組的適當遮蔽，進而對太陽輻射的有效控制，車站內部涼爽不悶熱，即便外部陽光強烈，也不會感到熱氣蒸騰，難以想像過去此車站飽受溫度過熱的爭議。

另外，我們也發現該車站電力設施被巧妙隱藏，完全看不到變壓器等相關電力設備，且沒有噪音問題，整個候車環境寧靜舒適。此外，從外部觀察，Onyx Solar 公司所產的光電玻璃沒有反光問題，不會干擾周邊行人或交通視線，更不影響斜梯搭乘的乘客，不僅展現出良好的環境兼容性，也同時幫助車站節省能源。

然而，我們也有發現該車站的光電玻璃可能久未清洗，有些髒污的痕跡，雖然於 9/23 與 Onyx Solar 公司的交流過程中，專員提到該公司的光電玻璃通常不需要特別清洗，多靠雨水自然清潔，並且如果有特別髒污或毀損的玻璃或模組，可以簡單拆卸單片進行更換，然實際赴該公司的 Kukullaga 車站還是可以看到案場疏於維護的現況。

整體而言，透過本次參訪 Kukullaga 車站的案例，可以看到光電模組的設計與建築外觀完美融合，遠看和一般車站無異，現代美觀，故本案例充分展示了建築整合光電技術不僅能產生綠電，提高車站的能源效率，還能兼顧室內舒適、外觀美感及環境適應性，是建築與能源整合的良好案例。

(三) 小結

Kukullaga 車站為西班牙畢爾包地鐵系統的重要節點，其採 Onyx Solar 公司開發的建築整合光電技術，以光電玻璃取代原有的天窗，並兼顧節能、採光與美觀，主要是因光電玻璃具備良好的透光與隔熱性能，故有效改善原先車站內部悶熱的問題，使空間保持明亮且涼爽。

另實地參訪後，發現車站設計細節多，除了電力設備被巧妙隱藏且無噪音干擾，外觀也符合現代建築美學，亦無反光問題，展現出極佳的環境整合性與視覺舒適性。然而，現場部分光電玻璃出現未清潔的痕跡，顯示後續維護仍需加強。

總之，Kukullaga 車站充分體現 BIPV 技術在兼顧能源效率、環境舒適與都市美學上的潛力，是結合再生能源與建築設計的成功示範案例。

參、心得

一、國際光電發展議題與我國相似，惟我國光電推動議題較多

透過這次出差交流，我們更加深刻地體認到我國在光電發展過程中所面臨的挑戰與複雜性。相較於其他國家，臺灣地狹人稠、土地利用競爭激烈，在推動光電設置時，不僅需面對民眾對景觀破壞、生態衝擊的疑慮，亦常遭遇地方居民對開發案的不信任與抗拒。此外，臺灣地處地震帶且颱風頻繁，自然條件嚴峻，這些風險都使得光電設置必須兼顧安全性、韌性與環境永續，增加了推動的困難度與政策設計的複雜性。

然而，在交流過程中也發現，臺灣並非孤例，許多國家在光電推動上同樣面臨相似的挑戰，例如，法國 SOLAÏS 公司特別針對光電案場可能產生的眩光疑慮進行專業分析與模擬，以減少對航空、道路或居民生活造成干擾；馬德里理工大學的 Miguel-Ángel Muñoz-García 教授亦分享西班牙部分農村地區光電設置引起農民反對的案例，突顯光電的社會接受度與土地使用衝突是全球共同課題。此外，西班牙針對光電模組的設計與安裝也訂有嚴格規範，要求模組必須通過耐火、抗風及耐久性測試，以確保設施在長期運作中的安全與穩定，反映出其在風險管理與公共安全方面的法規也健全。

最後，雖然我國政府已陸續建立環評機制、景觀與生態審查，以及生態補償等相關機制，期在推動再生能源的同時兼顧環境保護，但在實際執行層面仍有許多需要滾動修正與精進的空間。未來如何在綠能推動與環境保護間取得更好的平衡，並強化政策透明度與社會溝通機制，使民眾能理解與支持能源轉型的必要性，將是我國光電發展能否順利推進的關鍵。

二、各國積極推動太陽光電，各專家也對太陽光電發展具信心

透過研討會交流、實地參訪以及與專家訪談的過程中，我們可以感受到各國在能源轉型上的積極態度，以及專家們對於太陽光電發展的信心，從西班牙在建築整合光電(BIPV)的創新應用與積極推動都市結合能源，到高效電池技術的快速成長與商業化，以及澳洲太陽光電與儲能的普遍化，皆顯示再生能源已成熟，除此之外，許多國家不僅將光電視為能源政策的支柱，更將其與城市更新、美學設計及產業創新結合，展現出推動綠能的整體決心與前瞻眼光，也一再提醒我們，綠能發展的重要性，如要跟上國際趨勢，必須帶著創新的眼光建立一套適合我國光電發展的路徑，使我國綠能政策得以落實。

另外，此行我們拜訪了馬德里理工大學太陽能研究所 Miguel-Ángel Muñoz-García 及 Carlos del Cañizo 教授、Onyx Solar 公司、SOLAÏS 公司 Christophe Vernay 技術總監、新南威爾斯大學(UNSW)Martin Green 教授等人，包含技術研發端、研究端、生產端、回收端及相關衍伸議題研究的專家與學者，透過跟他們交流的過程中，可以感受到馬德里理工大學太陽能研究所對於太陽光電相關的議題研究的熱忱，Carlos del Cañizo 教授研究甚至以太陽光電回收率 100% 的樂觀情況下進行假設，Onyx Solar 公司也透過客製化盡量滿足客戶各種建築與美學需求，並宣稱四年內即可回收投資，年報酬率超過 20%，並可連續生產清潔能源超過 28 年，非常看好建築整合式光電的發展，Martin Green 教授團隊也積極研發新的材料與技術，提望可以提高太陽光電的轉換率，以上都顯示各個專家對於未來光電技術的發展與創新抱有信心，更看好此產業的永續性，故持續在這條路上努力。未來我國若要持續專注太陽光電方面的發展，應投注更多人力與經費於此領域，發展出一套適合我國長久發展太陽光電的技術與政策，期盼除了可以抗衡中國所帶來的競價危機，也可以使我國太陽光電更被民眾接受，以邁向綠色的永續未來。

三、光電與生活的距離很近

此次參訪的案例也讓我們深刻感受到，光電不僅是發電設施，更能成為日常生活的一部分，首先是 Onyx Solar 公司的 San Anton Market 一案使用了光電玻璃作為市場的天窗，不僅幾乎看不見光電發電電池，也完全沒有噪音或眩光等疑慮可以看到，因此也沒有民眾因市場天窗替換為光電玻璃而反對，顯示光電其實可以很自然地進入居民的生活中，透過技術的提升，結合美學設計，完美融入建築中，使得該市場一舉兩得，保有原始透光天窗，又節省了電費支出。

而 Zorrotzaurre 智慧零碳島更是展現了能源轉型與都市再生的整合，不僅建設智慧電網，並導入分散式再生能源、電動交通與儲能系統，試圖打造該島成為自給自足的低碳能源環境，不僅一舉打破只有偏鄉需要自給自足的供電環境之偏見，更讓都市居民也可以享有能源自給自足的永續環境，未來如此案例得以成功，相信會有更多都市效法，使未來都市可以逐步蛻變成電力自給自足的都市，同時幫助都市邁向智慧城市發展。

另外，同樣是 Onyx Solar 公司的 Kukullaga 車站一案，亦使用建築整合光電技術，以光電玻璃取代原有的天窗，兼顧節能、採光與美觀，不僅使光電無違和的結合至車站的天窗，並且該公司的光電玻璃也清洗容易，如有損壞亦可小面積拆卸替換，更符合安全規範，另外可以客製化，使光電玻璃融入建築，且符合美學，使人流眾多的車站能因光電受益，解決原本悶熱問題，也減少該車站的能源消耗。

除此之外，我們在這出差訪赴西班牙馬德里與畢爾包當地時，除了這趟預定要參訪的案場之外，也看到了當地光電遍布各種生活場域，如機場、家戶屋頂、遊船、市場、球場(如圖 35)等，在在都顯示西班牙對於太陽光電發展的普遍性與成熟。

綜觀顯示，這些案例皆以很自然的方式融入當地人的生活中，並且當光電以更人性化與環境友善的方式融入城市時，綠能

就不再距離人們遙遠，而成為每個人與生活息息相關的永續實踐，期盼未來臺灣也可以透過這些較具美學的光電設計，有機會拉近再生能源與人們的距離，使民眾不再只對光電抱有負面的態度，反而願意為了地球更盡一份心力，一起努力打造低碳的社會。



圖35 西班牙其他案例

肆、檢討及具體建議

一、規劃行程：參訪案例類型偏重都市型，後續可擴大場域多樣性

本次安排之觀摩案例多集中於都市型光電應用，包含 San Anton Market、Kukullaga 車站與 Zorrotzaurre 智慧零碳島，雖充分展現歐洲在建築整合光電與都市能源轉型上的成就，但相對缺乏我國相對較普遍的變更型、漁電共生型或其他地面型之案例。

未來若能同時納入都市、郊區或農村等不同地區的光電設置案例，將有助於更全面理解各國在應對土地利用衝突、生態影響及社會溝通上等我國經常遭遇之推動瓶頸的具體作法，對我國後續政策研擬亦更具參考價值。建議後續在規劃行程上可與歐洲光電協會、地方政府合作，選擇不同類型案場進行比對觀摩，以豐富學習面向，確保參訪結果有益於我國案場推動上之借鑒。

二、行前準備：案例觀摩資訊彙整與當地交流聯繫可更周延

針對案例觀摩部分，此次位於西班牙畢爾包之 Zorrotzaurre 智慧零碳島參訪行程，原期望能實地體驗零碳島之規劃布局和空間落實，但因該案例具有多個開發規劃單位，故難以確認聯繫窗口，同時也難以確認各開發項目的最新進度，因此到現場發現僅北側島嶼於基礎建設施工階段，中側與南側則尚未開發，僅能於現場進行外部觀察，且目前也未有已安裝好光電的部分得以參觀，略顯可惜。

另部分與學術與企業單位的聯繫，如馬德里理工大學及與 SOLAÏS 公司技術總監 Christophe Vernay 訪談行程，因時程規劃較緊湊，難以預留緩衝時段安排交流，造成僅能在研討會場和馬德里理工大學師生進行簡單交流，並於研討會後線上與 SOLAÏS 公司技術總監訪談。

建議未來有類似國際交流或技術觀摩行程的機會，提早確認成員與行程方向，並預留幾個交流時段與相關專家學者、學術機

構或光電商進行聯繫及訪談安排，爭取更多受邀參訪或共同討論的機會，以提升整體出訪的深度與效益。

三、實地參訪：強化與當地學者、業界實地觀摩和互動

本次和學者與業界訪談，多侷限於研討會場、線上的交流，建議未來有類似的交流機會，可以預先規劃安排進入學術研究室、企業展示場域或案場實地進行觀摩，例如 Onyx Solar 的總部和光電模組開發製造地點，或馬德里理工大學的研究設施等，將更有助於深入理解技術應用、學術研究發展情形，使學習和觀察更為全面。

伍、附件-交流訪談預擬談參與訪鋼

總說明

- 設置量臺灣目前太陽光電設置容量已達約 15GW(截至 7 月 14,942.62MW) · 其中屋頂型約 9.5GW · 地面型(含水面型、複合利用式、漁電共生、設置於不利耕作地、土地變更型等)約 5.5GW 。預計 2026 年達到 20GW 。

Installed Capacity: Taiwan's current installed solar PV capacity has reached about 15 GW (until July, 14,942.62 MW), including around 9.5 GW from rooftop systems and about 5.5 GW from ground-mounted systems (including floating PV, multi-purpose use, aquavoltaics, installations on unused farmland, and land-conversion projects). The target is to reach 20 GW by 2026.

- 申設法規：在經濟部主要依「電業法」進行審查 · 主要包含電業籌設(初步確認)、施工許可(進一步確認案場規劃)與電業執照(完工後 · 現場檢查沒問題才能營業)；另外在土地方面主要依非都市土地開發相關法規與農業部農地變更或容許等法規辦理；如果涉及環評則依環境部的環評法規(國家公園、重要濕地、自然保護區、山坡地達 20MW 或 15 公頃)；另外如果在山坡地 · 還需要做水土保持。

Application Regulations: Under the Ministry of Economic Affairs, project reviews are based on The Electricity Act, which covers 3 stages: founding permit (preliminary confirmation), construction permit (further confirmation of project planning), and electricity business license (after completion, on-site inspection is required before operation). For land use, regulations are mainly based on non-urban land development laws and Ministry of Agriculture rules on farmland conversion or permitting use. If environmental impact assessment (EIA) is involved, it follows the Environmental Impact Assessment Act (required for projects in national parks, important wetlands, natural conservation, or hillside projects reaching 20 MW or 15 hectares). In addition, hillside projects must also comply with soil and water conservation requirements.

- 激勵措施：臺灣主要以躉購制度(FIT)來激勵太陽光電發展 · 從 2010 年開始實施 · 目前費率已經逐步遞減 · 目前屋頂型 10kW 為 5.3819 元/度(0.18 美元/度) · 500kW 以上為 3.6236 元/度(0.12 美元/度) · 地面型為 3.5037 元/度(0.12 美元/度) · 水面型為 3.8948 元/度(0.13 美元/度) · 另外也設置屋頂的獎勵 · 鼓勵設置於屋頂 。

Incentive Measures: Taiwan primarily promotes solar PV through a Feed-in Tariff (FIT), which implemented since 2010. The rates have gradually decreased over time. Currently, rooftop systems receive NT\$5.3819/kWh (US\$0.18/kWh) for systems up to 10 kW, and NT\$3.6236/kWh (US\$0.12/kWh) for systems above 500 kW. Ground-mounted systems receive NT\$3.5037/kWh (US\$0.12/kWh), while floating systems receive NT\$3.8948/kWh (US\$0.13/kWh). Additional rooftop installation incentives are also available to encourage adoption.

4. **目前遭遇困難、解決方式：**目前臺灣因為漁電共生推動所引發的農業法規問題與地方政府對於土地變更型態的態度，審查緩慢，因此進度落後，目前政府已組成跨部會的平臺，定期召開會議，共同解決案件所面臨的問題，期望2026年可達成20GW的目標。

Current Challenges and Solutions: Taiwan is currently facing delays in project review due to agricultural regulatory issues triggered by aquavoltaics and differing attitudes among local governments regarding land-use conversion projects. To address this, the government has established a cross-ministerial platform that holds regular meetings to jointly resolve case-specific issues, with the expectation of achieving the 20 GW target by 2026.

4 位主要訪談對象訪綱

1. 臺灣現況

- **臺灣訂有標準模組規格，但 BIPV 常需額外客製，增加成本與推廣難度。**
In Taiwan, we already have standard module specifications, but for BIPV projects, panels often need to be customized. That makes them more costly and harder to promote.
- **部分居民有反映眩光、溫度和變壓器噪音影響周邊環境問題，但研究團隊實際量測發現沒有，產生羅生門，也導致民眾對光電觀感不佳。**
Some local residents complain about issues like glare, heat, or transformer noise around PV sites. But measurement studies usually don't find clear evidence, which creates a sort of "he said, she said" situation, and makes the public impression of solar less positive.
- **臺灣因違建、地震與颱風風險，BIPV 應用受限，推廣態樣有限。**
Taiwan also faces unique challenges for BIPV because of widespread unauthorized buildings, plus risks from earthquakes and typhoons. These factors limit how broadly BIPV can be applied.
- **臺灣的屋頂光電還在成長階段，政府近期有推出補助民眾設置的計畫，鼓勵中小型屋頂設置，也強制要求新的建築物必須要設置光電。**
Rooftop solar is still growing here. Recently, the government has introduced subsidies to encourage smaller rooftop projects, and new buildings are now required by law to include solar installations.
- **國內民眾對光電觀感偏負面，鄰近居民反彈成案場推動瓶頸。**
In Taiwan, public acceptance is still a major barrier. Many projects run into opposition from nearby residents, and that often becomes the biggest bottleneck for development.

2. 提問內容

Questions	訪綱	提問目的 (筆記用)
1. Are these panels made in standard sizes, or can they be customized to fit different window frames?	1. 這種非晶矽光電玻璃面板，是否能依據不同窗框大小去客製？	模組規格
2. Do these solar glass panels create any issues with heat build-up or noise?	2. 這類光電板會有升溫或噪音的問題嗎？	溫度噪音
3. In Madrid, do you experience heavy rain, earthquakes, or strong winds? If so, can the panels withstand those conditions?	3. 好奇馬德里會有大雨、地震或強風狀況嗎？光電板承受得住嗎？	極端氣候災害耐受
4. Roughly how many square meters is this installation? And if it's under 1,000 square meters, does the government provide subsidies since the financial return might be limited?	4. 這個案場規模大概多少平方公尺？如果小於1000平方公尺的話，因為收益有限，政府會提供補助嗎？	小屋頂 (補助)
5. For a project of this size, what is the typical payback period? And does the government offer any incentives to make the investment more attractive?	5. 像這樣規模大小的案例，投資回收期大概多久？政府是否有提供一些政策誘因？	小屋頂 (怎麼推)
6. Was this project initiated by the community directly working with your company, or was it led by a government agency?	6. 這個案場是民眾自己找公司合作的嗎？還是有政府機構主導？	小屋頂 (怎麼推)
7. This technology seems very suitable for historic buildings. Are there many similar BIPV projects in Spain, especially involving heritage sites?	7. 這個技術感覺能夠和很多古蹟結合？像這樣的案例在西班牙多嗎？	BIPV 擴大推廣情形
8. Can the transparency level of the solar glass be adjusted depending on the type of building—for example, markets, offices, or housing?	8. 像這樣的技術有辦法根據不同建築用途調整透光率嗎？	BIPV 擴大推廣情形
9. Since the panels look almost the same as normal windows, is there potential to combine it with agriculture—like growing crops underneath?	9. 因為和普通玻璃無異，那是不是有機會跟農業結合，在光電板下種植農作物？	農電共生機會

Questions	訪綱	提問目的 (筆記用)
10. How is maintenance handled for these panels? Can they be cleaned with just water like regular glass, or does the skylight installation make the maintenance different from typical rooftop solar panels?	10. 這類光電板在維護清潔上跟一般的一樣嗎？天窗形式設置，跟一般屋頂型太陽光電會不會有不同的維運方式？	維護清潔
11. When it comes to end-of-life, are these panels recycled in the same way as other PV modules?	11. 後續回收處理跟一般光電板一樣嗎？	回收機制
12. When it comes to solar PV development in Spain, what kinds of challenges have you encountered in promoting or implementing projects?	12. 國內推動上有沒有遇到甚麼困難？	推動困境

Minimizing Parasitic Optical Losses in Bifacial TOPCon Solar Cells

through Laser-Induced Localized Polysilicon Thinning

透過雷射局部減薄多晶矽以降低雙面TOPCon太陽能電池的寄生光學損失
(UNSW 新南威爾斯)

隨著全球推動潔淨能源，隧穿氧化層鈍化接觸(TOPCon)電池成為主流，2024年效率已達26.58%，展現取代PERC的潛力。然而，其多晶矽層易產生寄生吸收，特別在雙面電池中降低效率。為改善此問題，本研究提出雷射減薄(Laser Thinning, LT)技術，在非金屬接觸區域選擇性減薄poly-Si層，降低光學損失並保留鈍化效果。實驗顯示M10電池正面效率提升0.12%，雙面性提升6%，並經TEM、EDS、Raman、XPS驗證其機制，展現進一步提升TOPCon的潛力。

1. 臺灣現況

- 臺灣原本有階段性目標，但因環境與防災考量下修目標，不過2050淨零方向不變，現正規劃透過模組汰舊換新提升效率。

Taiwan originally set annual milestones toward net-zero 2050, but interim targets were lowered due to environmental and disaster concerns. The 2050 goal remains, and upgrading modules is seen as a way to boost efficiency.

- 臺灣TOPCon、HJT等新技術僅在實驗室或小產線，尚無示範案場，政策與標準也未建立。

In Taiwan, investments in TOPCon and HJT remain at lab or pilot scale, with no demo projects yet and no clear government standards.

- 臺灣土地有限(常以 $1\text{MW} \approx 1$ 公頃估算)，模組效率提升關鍵；同時政策轉向「光電+儲能」與需量反應。

With limited land (roughly one MW per hectare), higher efficiency is critical. Policy is also shifting to solar plus storage and demand response.

- 大部分案場仍用傳統模組，對新技術的維運成本與需求尚無經驗。

In Taiwan, most plants still use conventional modules, so there's little experience with the maintenance needs or costs of new technologies.

- 臺灣其實已經制定傳統模組的回收法規，回收的流程、責任歸屬都很明確，但對於新材料和新技術的回收路徑還沒有討論過。

Taiwan already has clear regulations for recycling conventional PV modules, including the processes and responsibilities. But when it comes to new materials and technologies like TOPCon or HJT, recycling pathways haven't

really been addressed yet.

- 臺灣常見爭議包含了光電對農業環境、水質的影響，近期也討論支架廢棄處理問題。

There are also common social and environmental debates. People often worry about the impacts of PV projects on agriculture and water quality, and more recently, there's been concern about how to handle waste from mounting structures after decommissioning.

2. 提問內容

Questions	訪綱	提問目的 (筆記用)
1. What do you see as the current global development trends in solar cells? What are the main bottlenecks or challenges?	1. 您認為目前全球太陽能電池的發展趨勢是什麼？主要的瓶頸或挑戰有哪些？	國際技術趨勢
2. What are the current efficiency levels of new high-efficiency cell technologies? How many of them have been commercialized, and when do you expect large-scale deployment?	2. 目前新型高效電池技術的效率水準？其中有多少已經商業化？您預估大規模部署大約會在什麼時候？	商業化進展
3. Is there a theoretical efficiency limit for solar cells? Do you foresee future PV policy focusing more on system integration (such as storage and demand-side management) rather than solely on individual module efficiency?	3. 太陽能電池是否存在理論效率極限？您是否認為未來光電政策會更著重於系統整合(例如儲能與需量管理)，而不再只是單純追求模組效率？	技術和政策
4. For maintenance and cleaning, are TOPCon cells any different from conventional solar panels?	4. TOPCon 新型電池，後續的維護清潔跟一般的光電板有差嗎？	維護清潔
5. From your experience, what are the main differences between Asia, Europe, and Australia in how they promote solar power?	5. 您覺得亞洲、歐洲、澳洲在推動光電上的差異是甚麼？	國際政策

Yield and PR Estimation for Vertical Agrivoltaics Systems

垂直農光電系統的產量和PR 估算 (UPM 馬德里理工)

光電與農地交錯設置日增，垂直型農業光電因不妨礙耕作與農機操作而受關注，若採用雙面模組，發電量可接近單面兩倍。評估經濟性需兼顧實際發電與性能比(PR)，同時確保農作物產量不顯著下降，普遍原則為減產不得超過 20%。然而，雙面模組在垂直系統的 PR 計算仍具爭議，尤其南北向排列時易受遮蔭影響。本研究針對峰值功率應否同時納入雙面、以及雙面係數設定，提出設計與理解的關鍵探討。

1. 臺灣現況

- **臺灣原本有階段性目標，但因環境與防災考量下修目標，不過 2050 淨零方向不變，現正規劃透過模組汰舊換新提升效率。**

Taiwan originally set annual milestones toward net-zero 2050, but interim targets were lowered due to environmental and disaster concerns. The 2050 goal remains, and upgrading modules is seen as a way to boost efficiency.

- **臺灣土地有限，1MW 約需 1 公頃，因此效率和土地利用率很關鍵。**

Taiwan is a small island with very limited available land. At the moment, we usually estimate that about one megawatt of solar requires around one hectare of land. That makes efficiency and land-use a critical concern.

- **因為地狹人稠的關係，臺灣對於發展農業結合光電非常小心，怕因為能源的投入導致農產業失衡或環境受到影響。**

Because Taiwan is small and densely populated, we have to be very cautious about combining agriculture with solar. Land is already under a lot of pressure from housing, farming, and industry, so people worry that energy projects could disrupt agriculture or harm the environment.

- **目前國內跟農業結合案例以漁電為主，因不像農作物是固定在地上的，生產量並不會受到太大影響，反而我們會需要討論的是怎麼設計光電鋪設，讓漁獲收成更有效率。**

Most of our current agri-PV projects are aquavoltaics, combining solar with fish farming. Since fish production isn't fixed in the ground like crops, yields are less affected. The main question becomes how to design panel layouts that actually improve aquaculture efficiency.

■ 農作跟光電結合的案例比較少，臺灣目前只有試驗型的案例，還在測試光電板下農作物生長影響，也缺乏垂直型光電板的案例。

Crop-based agrivoltaics are still rare in Taiwan. At present, we only have small pilot projects testing how crops grow under solar panels, and we don't yet have any experience with vertical agrivoltaics.

2. 提問內容

Questions	訪綱	提問目的 (筆記用)
1. Vertical systems aligned north–south are often sensitive to shading. How do you usually plan the spacing between module rows to reduce these effects?	1. 垂直系統在南北向排列時容易受到遮蔭影響，設計時通常怎麼規劃模組間距？	鋪排設計
2. How many vertical agrivoltaic projects are currently operating in Spain?	2. 西班牙目前有多少垂直農業光電的案場？	發展現況
3. For vertical modules, are there any special issues in maintenance and operation—such as wind resistance, structural stability, or cleaning?	3. 垂直型模組在維護營運上有沒有甚麼需要注意的？像是風阻的設計、結構穩定、清潔等等	維護設計重點
4. Since different crops need different levels of light, have your studies shown which crops are more suitable for agrivoltaic systems?	4. 不同作物對光線需求不同，研究中是否有發現哪些作物比較適合和光電共生？	農電共生作物選擇
5. How do local communities in Spain perceive vertical agrivoltaics? Is there a special way you communicate or negotiate with farmers and residents?	5. 在地民眾對垂直型農業光電的接受度如何？是否有特別的溝通或協商模式？	在地觀感
6. In Spain, are there regulations that require a minimum level of agricultural production—for example, not reducing yields by more than 20%?	6. 在西班牙，農業光電設置有沒有法規規定農業產量的最低	農電規範和權責單位

Questions	訪綱	提問目的 (筆記用)
<p>And how is this monitored or enforced? By agricultural agencies or energy agencies?</p>	<p>維持比例(例如不得減產超過 20%)？這些規範如何監測與驗證？是農業單位還是能源單位主導？</p>	

The Landscape of PV Recycling: Challenges to Make PV an Example of Circular Economic

光電回收現況：光電成為循環經濟典範的挑戰 (UPM 馬德里理工)

隨著光電裝置快速成長，未來數十年將有數千萬噸模組退役，回收議題日益迫切。現有回收方法涵蓋機械、熱處理與化學技術，玻璃與鋁框回收已成熟，但金屬接點與高純矽仍具挑戰，且受製程快速演進影響。關鍵在於確保回收材料品質，能再投入產業鏈或有效降階利用。未來研發需聚焦提升回收效率與材料再利用，才能推動光電邁向循環經濟典範。

Recovery of Metal Contacts and Reutilization of Silicon Substrates from Recycled Solar Cells

從回收的太陽能電池中回收金屬接點並再利用矽基板 (UPM 馬德里理工)

隨裝置量增加，退役模組廢棄物回收成為課題。本研究基於 RESILIENS 計畫，致力開發具成本效益且環境友善的矽太陽能電池回收技術，可回收貴金屬並再利用矽基板。研究中，兩種矽電池已透過鹼性法及微生物法去金屬化，並成功將舊矽晶圓碎片再結晶，製成再生電池在運行參數上有所提升。結果顯示，金屬與矽的回收具可行性，能減少廢棄物並促進循環經濟。

1. 臺灣現況

- 臺灣已建立模組回收基金與責任歸屬制度，我們透過法規要求設置光電者，每 kW 要繳納未來清理費用 1000 臺幣，作為回收經費來源。
Taiwan has already set up a recycling fund and responsibility system. By law, PV developers must pay about 1,000 NT dollars per kilowatt as a future clean-up fee, which serves as the main source of recycling funds.
- 業者應回收傳統模組的玻璃、鋁框等結構，但新型模組(TOPCon、HJT、玻璃-玻璃)因為還沒有在臺灣商業化，所以尚無專門回收技術與標準。
Companies are required to recycle parts like glass and aluminum frames from conventional modules. But for newer types, such as TOPCon, HJT, or glass-glass modules, since they are not yet commercialized in Taiwan, there are no dedicated recycling technologies or standards in place.
- 現況以玻璃與鋁框為主要回收項目，因臺灣蓬勃發展太陽光電的時間較晚，還沒有面對大批退役模組需回收的狀況，目前較難掌握統計數據並公開。

At present, recycling mainly covers glass and aluminum. Because Taiwan's large-scale PV deployment started relatively late, we have not yet faced a large wave of decommissioned modules, and reliable statistics or public reporting are still limited.

■ 因應 2025 年 7 月的丹娜絲颱風影響，我們意識到回收量能評估不能只依正常的模組壽命估算，還需要納入極端氣候造成的災損廢棄量，政府正在檢討中。

After Typhoon Danas in July this year, we realized that recycling capacity estimates cannot rely only on normal module lifetime. We also need to consider waste from extreme weather damage, and the government is now reviewing this issue.

■ 目前回收產業依賴政府的回收經費補助，尚未形成市場化的商業模式。

Right now, the recycling industry still depends on government subsidies from the recycling fund. A fully market-driven business model has not yet been developed.

2. 提問內容

Questions	訪綱	提問目的 (筆記用)
1. For the new recycling technologies under research, what are the main challenges when moving toward commercialization?	1. 目前研究中的新回收技術，面對商業化過程遇到甚麼樣的挑戰？	新技術挑戰
2. If metals and silicon are successfully recovered from decommissioned modules, can the silicon be reused in the PV industry, or does it usually end up in downcycling applications, like construction materials?	2. 如果成功從退役模組回收金屬和矽，那這個矽有沒有辦法再次運用到 PV 的產業鏈中？還是說要降階應用，可能作為建材的材料？	回收再利用 (矽)
3. Regarding the recovery of metal contacts such as silver, aluminum, and copper, what recovery rates can currently be achieved? And which metal has the highest economic value for recycling?	3. 有關金屬接點的回收，像是銀、鋁、銅等，回收率大概可以達到多少比例？最有回收價值的是哪	回收再利用 (金屬)

Questions	訪綱	提問目的 (筆記用)
	種？	
4. Are bifacial modules recycled in the same way as conventional modules, or do they require different strategies?	4. 雙面模組和一般模組的回收量跟回收策略是否一樣？	不同模組 回收差異
5. In Spain or the EU, are there official targets for PV recycling rates, or standards for material reuse?	5. 西班牙或者歐盟，是否有針對 PV 制定回收率目標，或再利用的標準？	回收機制 (規範)
6. How is the overall recycling system organized in Spain? Specifically, who holds the responsibility for recycling—manufacturers, installers, or other entities?	6. 西班牙目前如何規劃整個回收的機制和回收責任歸屬？	回收機制 (責任歸屬)