



海上太陽光電系統發展及風洞試驗概述

楊証皓/ 工研院 綠能所 太陽光電技術組，資深研究員

一、前言

因應國際淨零排放趨勢及氣候變遷環境衝擊，國際能源署（IEA）為達成能源轉型至可再生能源及實現2050年淨零排放制定一個全面性框架。此框架在其2021年發布的《2050年全球能源部門淨零排放路線圖》報告中有詳細描述，為全球能源部門達到淨零排放提供了一條明確的道路，即是呼籲顯著提升可再生能源技術，並預計至2030年太陽能光電每年新增630 GW、風能達到390 GW，較2020年設置量成長四倍[1-2]。而台灣也於110年4月22日世界地球日時宣示「2050年淨零碳排」計畫，政府隨後於111年3月及12月分別公布「臺灣2050淨零排放路徑及策略總說明」及「12項關鍵戰略行動計畫」，在路徑規劃電力能源以去碳化為目標，希冀總電力之60-70%佔比為再生能源，作為達成整體電力供應去碳化之重要作法，其中太陽能光電之設置為再生能源之重要選項，為達成再生能源佔比提高之目標，2030年的具體目標，台灣設定了更高的目標，即將太陽能光電的安裝容量從2025年的20GW提高到2030年的30GW[3]。這部分的政策規劃是為了支持2050年台灣達到淨零碳排的長期目標。

目前台灣太陽能光電系統設置正面臨土地使用、併網容量、跨域技術整合、自然災害影響以及經濟效益等多方面的挑戰。政府及產業界正在積極尋找解決方案以克服這些障礙，在太陽能光電設置場域推動以屋頂型、地面型、水面型、海上型等場域為主，其中水面型及海上型太陽能光電系統皆是屬於浮式太陽能光電（Floating Photovoltaics, FPV），利用水體表面安裝太陽能板的技術。這種系統對於土地資源有限或土地用途需保留農業等其他重要功能的國家而言，是一種吸引人的解決方案。考量大型太陽能電廠需要大面積土地支應，而地球表面主要由海洋覆蓋，海洋面積約佔地球表面總面積的70%，據2022年Nature期刊指出全球海上光電可行場域之設置潛力量約可達4,000GW[4]。然而，海上型太陽能光電系統安裝在沿海區域（Onshore）或離岸海域（Offshore），面對的挑戰要更為嚴峻，包含鹽霧腐蝕、強風、海浪衝擊和海洋生物的影響，以及在技術和成本上都更具挑戰性，但也提供了在土地極度稀缺的區域部署太陽能的潛力。隨著技術進步，這些系統有望在未來成為可再生能源領域的重要組成部分。因此，本報告就針對目前國際海上光電技術發展現況及風力風壓測試之風洞試驗進行說明。

二、海上太陽光電國際及我國發展現況

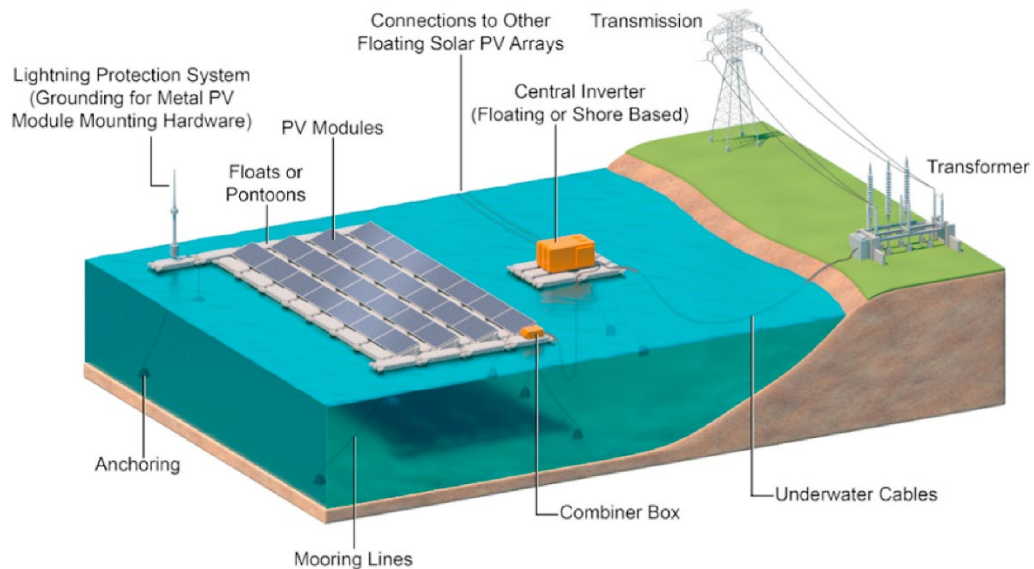
國際可再生能源機構（IRENA）指出，包括海上太陽能、離岸風力、海洋能等海上可再生能源能夠支持長期可持續發展，並為世界各國提供可靠、穩定的電力，以及支持水淡化和水產養殖。海上太陽能對於島嶼型發展中國家至關重要可確保能源安全[5]。2023年荷蘭應用科學研究組織(Netherlands Organization for Applied Scientific Research, TNO)籌組建立了荷蘭海上光電聯盟組織(Offshore Solar Platform, POS)，POS組織成員由荷蘭國內知名海上太陽光電企業組成，包括SolarDuck、Oceans of Energy和Bluewater Energy Services等企業，計劃到2030年實現3 GWp [6]。POS作為政府和其他利益相關者的討論夥伴，強調與政府的良好產業合作和標準規範對加速海上太陽光電發展至關重要。此外，荷蘭-挪威聯盟主導開發歐洲北海之海上太陽光電示範場域，此聯盟包括SolarDuck及多個研究機構，如代爾夫特理工大學（TU Delft）、荷蘭應用科學研究組織（TNO）、荷蘭海洋研究所（MARIN）和Deltares等機構，透過結合北海離岸風場進行海上太陽光電平台開發驗證，共同致力促進離岸太陽光電商業化之推動[7]。

此外，日本Tokyu Land Corporation與荷蘭SolarDuck公司簽署合作意向書，將實現日本首個海上浮動太陽能發電廠，該項目名為東京灣eSG項目；韓國全羅北道規劃Saemangeum海上浮動太陽能電廠項目，將是設置1.2 GWp太陽光電發電項目，預計將於2024年開始施工，並於2025年投入商業運營；中國分別在山東及江蘇計劃新增11 GWp及12.7 GWp的海上太陽能；新加坡計劃到2025年將太陽光電建置量增加四倍，達到1.5 MW峰值，並計劃到2030年達到2兆瓦峰值新加坡Sunseap集團開發五公頃海上太陽光電農場，預計建置容量為5 MWp，而台灣則由辰亞(日資台企)建置彰濱海岸線上建置太陽光電案場(Onshore)，總裝置容量約為248 MW，其浮台則採用法商Ciel & Terre之技術[8-12]。上述亞洲海上光電示範案少數自行開發投入，多數於歐洲海上太陽光電開發商Ocean Sun、SolarDuck AS、Ciel & Terre等國際業者合作，目前主要皆在試驗不同的概念於各地海洋環境，以開發能夠承受顯著風速及波高的浮動太陽光電系統技術，並透過國際合作建立大型海上太陽光電案場，前期佈署及探討可行之商業模式。以下就海上光電系統架構及國際代表性業者進行介紹

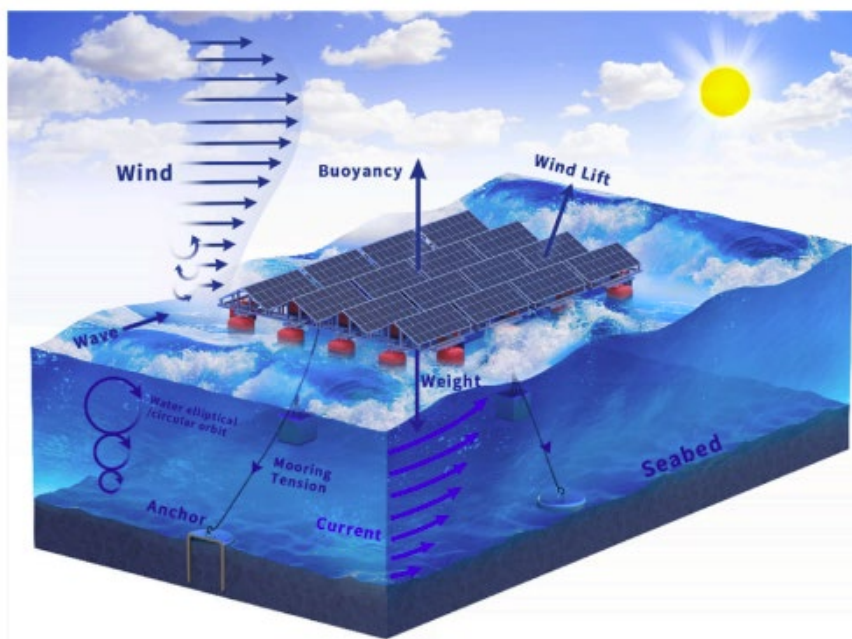
（一）海上光電系統架構

浮式太陽光電(FPV)系統通由浮體或浮筒、光電組件、繫泊系統和電纜組成，變流器選擇、直流/交流箱設計、電纜設計等等都需要多方考量，系統架構圖示如圖一(a)所示[13]。此系統典型的外部載重示範如圖一(b)所示，包含重力、浮力、

表面張力（僅適用於彈性浮台之FPV）、繫泊張力等，而系統作用的外力主要來自風、浪、海流等環境作用。此外，值得一提的是，其他環境荷載也可能對某些地點的設計至關重要，例如潮汐、地震、冰和雪等。而環境和地表水溫的變化會導致光伏組件週期性熱膨脹和收縮，增加系統疲勞故障的風險



(a) 海上太陽光電系統架構



(b) 海上光電系統外部載重示意圖

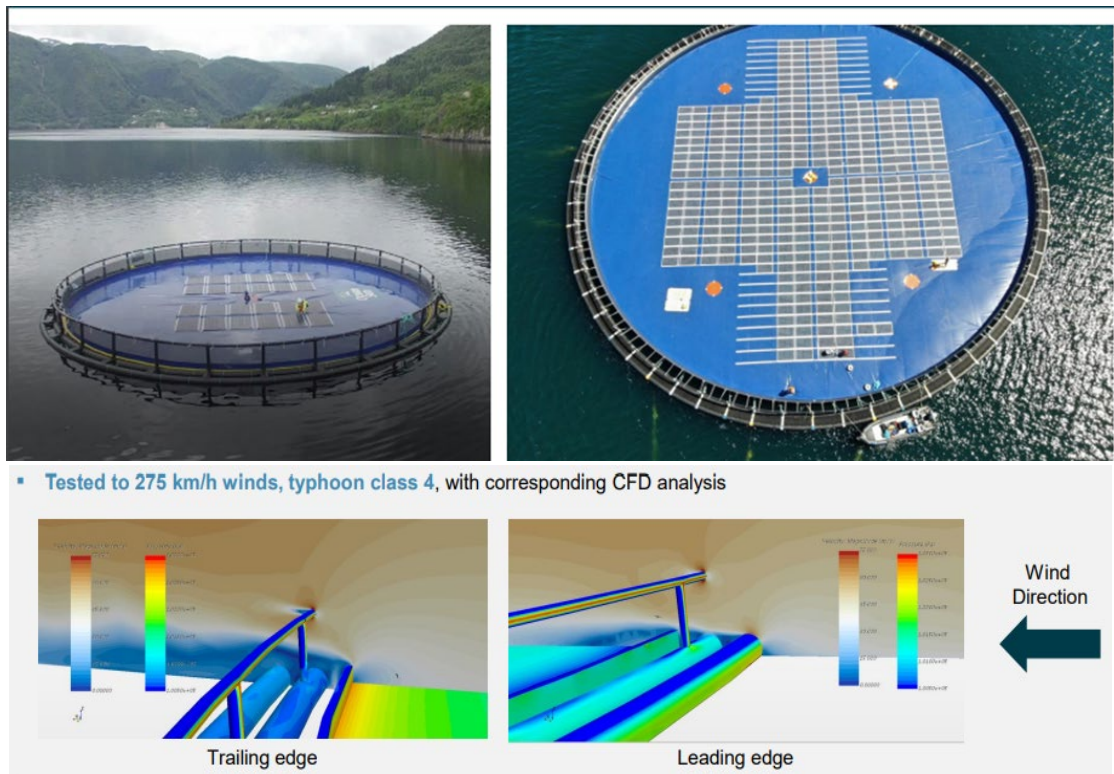
圖一、典型大面積海上太陽光電示意圖。

(二) Ciel & Terre產品：以浮台來支撐太陽光電系統，以夾具或固定件方式固定PV發電設備，系統架構如下圖二所示。



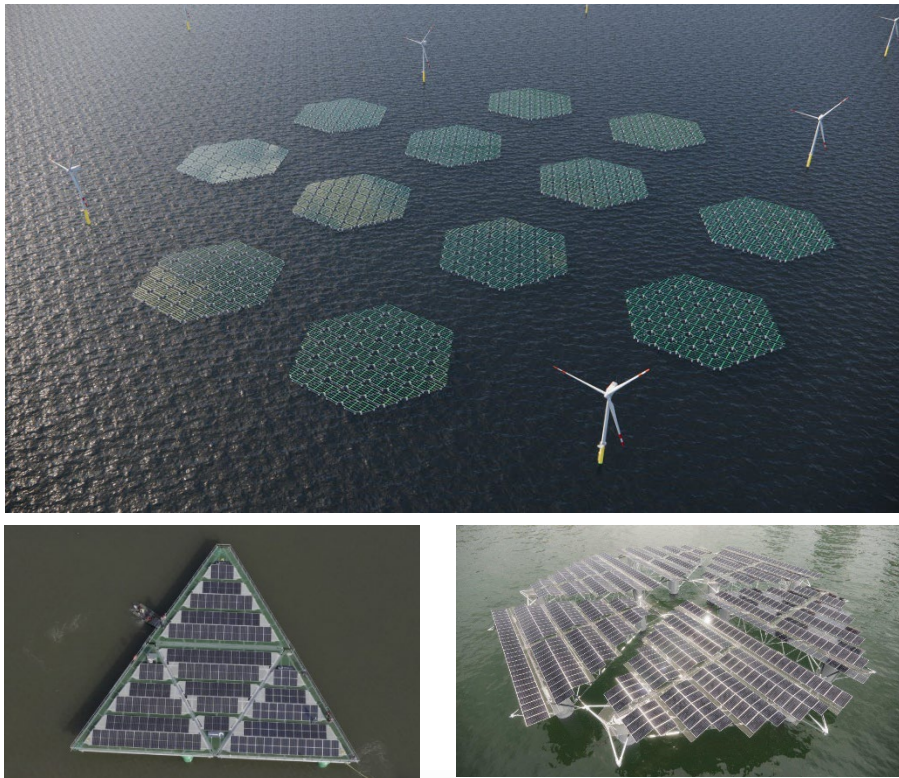
圖二、Ciel & Terre浮動太陽光電示意圖。

(三) Ocean Sun產品：將PV發電設備接到額外的可支撐的強化膜片中，例如提供浮力支撐的管狀環，再利用抽水馬達將流入強化膜中的水抽出，系統架構如下圖三所示。



圖三、Ocean Sun浮動太陽光電示意圖。

(四) Solar Duck產品：以浮台來支撐太陽光電系統，結構可以承載多個太陽光電模組，同時可以支撐線纜、直流箱與變流器，系統建置示意圖及局部架構如下圖四所示。



圖四、Solar Duck浮動太陽光電示意圖。

三、風洞試驗之原理與目的

風力載重是海上浮式光電系統設計中需要考慮的重要環境荷重之一。台灣地處於颱風帶、極端風力事件會對 FPV 結構造成損害，其中風對FPV系統產生動態負載並影響當地的波浪條件。在初始設計階段，結構上的風致荷載（主要考慮光電板和浮台）提出的方法進行估算。面板上的風荷載取決於浮體的幾何形狀、其在陣列中的位置、風向、風速、風強度等。阻力係數的決定要考慮浮體的形狀和風的入射角。在估計光電陣列上的局部風荷載時也應考慮屏蔽效應。然而，考慮到具有不同截面的漂浮物，總是首選風洞測試或數值模擬來估計特定設計的屏蔽係數。

海上浮式太陽能光電系統（Offshore Floating Photovoltaic Systems，簡稱OFPV）由於其特殊的應用環境和結構設計，風洞試驗時會有幾個重點考量：

（一）風洞試驗類型

1. 大氣邊界層風洞（Atmospheric Boundary Layer Wind Tunnel）：這類型的風洞可以模擬真實大氣條件下的風速分佈和湍流特性，對於海上浮式太陽能系統的設計和測試至關重要。由於這些系統會受到不同風速和方向的影響，風洞中必須能夠重現海上環境中的風場。
2. 結構動態風洞（Structural Dynamics Wind Tunnel）：用於測試結構對於風載荷的反應。這對於確保浮動結構的穩定性和耐久性是必要的，特別是在強風條件下。

（二）試驗內容

1. 靜態風載試驗：測量風在不同角度和速度下對結構施加的壓力，以確定最大載荷和壓力點。
2. 動態風載試驗：分析結構在風載作用下的動態響應，包括振動頻率、疲勞壽命等。
3. 風引致振動試驗（Wind-Induced Vibration Tests）：評估風速變化對浮動太陽能平台的影響，特別是涉及到共振和渦流脫離（vortex shedding）問題。

（三）試驗方法

1. 模型縮比測試：使用比例縮小的模型在風洞中進行測試，這需要精確的比例縮放和相似律的應用，以確保數據可以正確無誤地放大到實際尺寸。
2. 全尺寸部件測試：如果可能，進行全尺寸或大尺寸部件的風洞測試以獲取更準確的數據。
3. 數值模擬和風洞試驗相結合：使用數值模擬方法（如計算流體力學CFD）來補充和校驗風洞試驗數據。

進行這些風洞試驗能夠幫助工程師們設計出能夠承受海上環境風載的結構，同時確保太陽能板系統的穩定性和發電效率。這些測試還可以用於優化平台的排列方式、間隔和固定方式，以提高其在多變氣候條件下的持久性和可靠性。

四、海上太陽光電風洞試驗說明

海上太陽光電透過物理縮尺風洞試驗，建構浮式太陽光電系統模型-包含光電板、浮台模塊等元件，進行太陽能光電板的表面風壓分布量測。試驗結果可提供水面型太陽光電系統之風載重形式，作為未來案場提供錨定需求之風載重參考。此外，為了能在未來減少風洞試驗的試驗次數並獲得光電系統周圍完整的風場資訊，後續亦可同步採用計算流體力學模擬(Computational Fluid Dynamics)的方式來進行細部分析。比對風洞試驗結果來修正計算流體力學模擬的分析結果，以便未來因應海上型太陽能光電系統因應場域尺寸變化而變化多端的排列形狀。

依過去試驗研究經驗及國內外文獻得知，太陽光電系統最外緣一排的太陽能光電板直接受風力作用，故其受風力最大。在第二排以後的太陽能光電板由於受到最外緣一排的光電板遮蔽效應，其受力明顯降低許多。因此，通常在研究整片太陽能光電系統的整體風力前，詳細量測局部風壓分布是光電系統耐風設計中十

分需要注重的細節。

風洞試驗與風壓量測可使用之風速與風壓量測儀器，細部說明如下：

(一) 風速量測使用儀器包括有：

1. 皮托管 (Pitot-static tube) — 用於風洞內風速之監控。
2. 熱風速儀 (Thermal anemometer) — 用於對邊界層風速剖面及紊流特性之量測。

所謂熱風速儀是利用電流通過金屬導線時會使導線溫度升高，而當流體流經金屬表面時會帶走部分熱量之原理來量測流體之速度。其基本電路為惠斯頓電橋 (Wheatstone Bridge)。當探針 (Probe) 所在位置之電阻 R 值因溫度之改變而改變時，會使電橋失去平衡。探測元 (Sensor) 之運作方式可採用恆電流式 (Constant current) 及恆溫式 (Constant temperature) 兩種。

(二) 整體風力量測

結構整體風力之量測分析是以風洞試驗所量測之結構物基底剪力為基礎。此基底載重可透過六軸向剪力彎矩感應儀作為實驗之量測儀器，同步對模型基底之 F_x 、 F_y 、 F_z 、 M_x 、 M_y 、 M_z 受風反應變化進行量測。該系統之主要構件為感應器 (Monolithic Six-degree-of-freedom Force Sensor)，以及進行訊號處理及提供穩定電源之部分。其中訊號處理部份包括類比訊號放大、類比式與數位式訊號濾波、類比/數位訊號轉換。系統透過序列連接埠與個人電腦連接，作為指令與訊息之傳遞並完成實驗歷時資料之取值及儲存。六軸向高頻力平衡儀為一相當靈敏之感應器，需將其置於風洞試驗段下方之高質量圓形旋轉台上，再將模型固定於其上以進行風洞實驗。藉由改變旋轉台之角度以使建築物相對於風洞流場產生不同的風攻角，以模擬結構物在不同風向角作用下之反應。

(三) 壓力量測

壓力量測元件包括：壓力訊號處理系統以及壓力感應器模組。風洞試驗與風壓量測，可由壓力訊號處理系統以及多組，合計數佰個壓力感應器模組，透過電腦主機控制則可建構一套壓力量測系統。透過此系統，每秒鐘可同時擷取幾佰組壓力資料，若將此數佰組壓力量測點，分佈於模型表面，則可瞭解模型表面各區域局部受力狀況。

風洞試驗可採用均勻紊流場的方式模擬來流風場。主要原因在於模型的縮尺考量，由於實際光電系統非常接近於海平面，其高度不會超過一公尺，因此可以說平均風速剖面的變化不是重點，反而應注重在單元模型的製作精緻程度，因此

認為採取一個屬於開闊海洋地況、且屬於颱風極端氣候的部分邊界層流場就為適合，此外，接近於海平面的流場具有較小的紊流積分尺度，以被動式產生紊流的上游均勻格柵也較能模擬出適當的紊流特性。以下就分別說明國際代表性認證單位DNV GL及研究機構所發佈之指引及試驗報告進行簡要說明：

A. DNVGL-RP-0584錨定指引之風洞試驗簡述

DNV指引文件提供關於水面型太陽光電系統在設計、開發、營運及維護階段的錨定結構指引，涵蓋了從風力評估到錨定系統設計的各项關鍵考量[14]。以下就其內容進行簡要說明：

1. 目的與範圍：確保水面型太陽光電系統結構安全，完善錨定設計要求與檢測，降低因結構強度不足導致的損壞，保障系統長期結構安全。
2. 風力條件的考量：重點在於詳細列出極端設計風力條件，參考標準與實務規範，並根據每個現場的條件提供適用依據或說明。
3. 風力模擬：包括基本設計風速、風速剖面、紊流、空間相關性與非定常暫態效應等項目的評估。
 - (1) 風力與風壓係數取得：可採用風洞試驗來獲取風力和風壓係數，此試驗可提供可靠且足夠的數據來評估風力和風壓係數。所使用的方法應根據所需的精確度水平和元件形狀的複雜性來選擇，並需要第三方專家或學術團體的審核。
 - (2) 風洞測試應用：風洞測試的數據可用來驗證後續設計中相似尺寸和形狀的係數。此外，對於由多個陣列組成的浮式結構物，干擾效應十分重要。在評估不同水面型/海上型太陽光電系統間的干擾效應時，可以考慮使用風洞測試數據來調整風力係數。

上述項目評估表示風洞測試在水面型/海面型太陽光電系統設計的重要性，尤其是在評估風力對系統性能的影響方面。

4. 錨定系統設計：涉及繫泊系統設計、錨定能力等方面，以確保系統在各種環境條件下的穩定性。

B. 荷蘭應用科學研究組織(TNO)測試計畫

荷蘭應用科學研究組織（Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek, TNO）積極參與了多項與浮動太陽能板相關的項目，特別是在海上設置方面。他們的研究分為幾個步驟[15]：

1. 可行性研究：2017 年，TNO 與合作夥伴進行了水面太陽能系統的可行性研究，包括評估這些系統中的挑戰和潛在故障機制。
2. 實地實驗室研究：TNO 設有一個實地實驗室，用於在包括風力、波浪和腐蝕環境在內的具挑戰性條件下測試浮動太陽能系統，並研究其對生態的影響。
3. 海上項目：他們正在進行多個項目，以開發堅固的海上浮動太陽能系統，這包括專注於高產量和長壽命，同時成本可接受。
4. 合作項目：
 - (1) 與 Oceans of Energy 公司合作，TNO 參與了建造海上太陽能能力和研究太陽能板適用於海上使用的項目。
 - (2) 在 Solar@Sea 項目中，TNO 與多個夥伴合作開發可隨波浪移動的靈活浮動太陽能板。
 - (3) TNO 為 CrossWind 聯盟的一部分，致力於海上太陽光電系統開發。
 - (4) Merganser 項目涉及與 SolarDuck、Marin、Deltares 和 TU Delft 的合作，以開發、測試和驗證海上太陽能試驗裝置。

TNO 在 Oostvoornse 設立測試設施，用於分析風和波浪對浮動太陽能結構和模組性能影響分析。該研究主要集中在以下內容[16]：

1. **結構完整性**：TNO 首先關注的是浮動結構的完整性。風和波浪的不斷運動可能會對浮動結構造成損壞。特別是當波浪的頻率與浮動結構的共振頻率相同時，結構的失敗風險會增加。
2. **波浪影響**：Oostvoornse 湖在暴風雨條件下出現高達 1 米的波浪。研究將重點放在不同結構設計，以確定不同受力情況是否會導致模塊損壞。

3. **錨定系統**：錨固系統對於維持浮動太陽能結構的穩定性非常重要，TNO 將透過不同錨定系統、監測風和波浪對錨定系統的影響，以確保浮動太陽能結構能夠在各種環境條件下保持穩定
4. **模組陣列方向和效能匹配**：如果太陽光電模組安裝在小型浮體上，並隨波浪運動，則各個模組將朝向太陽的方向不同。這可能導致發電量失效損失達幾個百分點。
5. **海上應用**：TNO 正在研究適用於海上條件的浮動太陽能概念。海上條件更具挑戰性，風和波浪更大，海上光電系統複雜性也顯著提高。
6. **Oostvoornse 測試設施**：在 Oostvoornse 的測試設施中，PV 陣列最大為 50 kW。TNO 將監測這些系統的電氣性能，同時荷蘭海事研究所(Maritime Research Institute Netherlands, MARIN)將同步參與研究水動力學、水工測試等研究。

C. 日本NEDO水面型太陽光電(含海上型)之風洞試驗簡述

日本國立研究開發法人新能源·產業技術綜合開發機構（NEDO）委託產業技術總合研究所(National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, AIST)、構造耐力評估機構、JPEA 太陽光電協會、Deloitte、Kyoraku、北海道科學大學、北見工業大學等產學研各單位，進行水上設置型太陽能發電設施的風洞實驗，並於 2023 年 4 月 28 日發佈相關測試之概要結果[17]，報告內容說明如下：

1. **目的與背景**：隨著太陽能發電設備（PV）之普及，除了地面型及屋頂型安裝，也開始使用水面型太陽光電系統安裝。目前日本工業標準 JIS C 8955:2017 已規定陸地安裝 PV 的風載重設計，但對於水上安裝 PV 尚無明確標準。因此，這項實驗旨在通過風洞實驗，使用縮尺模型來評估水上設置型 PV 的風力係數。
2. **實驗對象**：實驗對象為水上型 PV 設施，包括安裝有太陽光電模組的主浮台以及未安裝光電模組的次浮台。實驗中設想的主浮台為 7×7 排列。
3. **實驗模型**：實驗採用 1/20 的縮尺率模型，考慮了風洞實驗內容、測試場域週邊狀況，風壓測試模型包括傾斜角度為 5 度、10 度、20 度的三種模型。
4. **風洞使用**：實驗在日本大成建設株式會社技術中心的室內回流式埃菲爾型風洞進行，風洞尺寸為寬 3.2 米、高 2.0 米、長 23.8 米

5. **實驗條件：**風向範圍從 0 度到 345 度，以 15 度為一個間隔。總共進行了 15 種不同的實驗情境
6. **測量方法：**使用了可同時測量 576 個點的風壓測量系統，包括風壓感應器、基準壓力發生機和 A/D 轉換器
7. **數據分析：**測量得到的浮體和模塊的表面及背面外壓(P_e)被轉化為外壓係數(C_{pe})。而作用在模塊上的風力(P_f)則通過表面壓和背面壓的差壓來計算風力係數(C_f)。

此份實驗報告提供水上型/海上型安裝型太陽能發電設施的風洞實驗的詳細描述，包括實驗設計、實驗方法、使用的設備和分析方法。這項研究對於改善水上安裝太陽光電系統在面對風力影響時之性能至關重要。

根據上述國際代表性單位DNVGL、NEDO及TNO等認證及研究機構所發佈之指引及試驗報告可得知，目前海上型太陽光電系統尚屬於技術開發及示範驗證階段，前期則投入技術挑戰性較低之水面型太陽光電系統建置及商轉示範，透過水面型光電系統之技術驗證及運維經驗，布局光電建置潛力量更可觀之海上型太陽光電系統，其中許多風、波、流氣候環境之對應技術尚待克服，為加速海上型光電系統之商業驗證，有賴整合國內既有產官學研合作推動，共同打造國內海上太陽光電技術平台，布局海外近岸或離岸太陽光電市場及我國產業技術能見度。

五、結論

海上型太陽光電系統安裝在沿海區域 (Onshore)或離岸海域 (Offshore)，面對的挑戰要更為嚴峻，包含鹽霧腐蝕、強風、海浪沖擊和海洋生物的影響，以及在技術和成本上都更具挑戰性，但也提供了在土地極度稀缺的區域設置太陽光電的潛力。而風力載重是海上浮式光電系統設計中需要考慮的重要環境荷重之一，台灣地處於颱風帶具極端風力，海上光電系統有效設計將避免風力對FPV結構造成損害，面板上的風荷載取決於浮體的幾何形狀、其在陣列中的位置、風向、風速、風強度等。以下就海上太陽光電發展及風洞測試作出以下結論：

1. 台灣太陽光電系統設置正面臨土地使用、併網容量、跨域技術整合、自然災害影響以及經濟效益等多方面課題。而海上型浮式太陽光電 (Floating Photovoltaics, FPV)，利用水體表面安裝太陽能板的技術。這種系統對於土地資源有限或土地用途需保留農業等國家而言，是一種具潛力之再生能源方案。
2. 風洞試驗能有助於設計出能夠承受海上環境風載的結構，同時確保太陽能板

系統的穩定性和發電效率。這些測試還可以用於優化平台的排列方式、間隔和固定方式，以提高其在多變氣候條件下的持久性和可靠性

3. 完成太陽能板含支架結構、浮台支撐物等模型初始風壓分布測試，太陽能板模型單元之正面最大風壓系數於角落發生。為建立多角度風向及浮台風壓量測參考數據庫，依然持續進行各式浮台風壓測試。
4. 海上太陽光電透過物理縮尺風洞試驗，建構浮式太陽光電系統模型-包含光電板、浮台模塊等元件，進行太陽能光電板的表面風壓分布量測。試驗結果可提供水面型太陽光電系統之風載重形式，作為未來案場提供錨定需求之風載重參考

六、參考文獻

- [1] Fatih Birol et. al., “World Energy Outlook 2002”, IEA
- [2] Fatih Birol et. al., Net Zero by 2050-A Roadmap for the Global Energy Sector, IEA, 2021.
- [3] “淨零12項關鍵戰略行動計劃(草案)關鍵戰略1-風電/光電”，經濟部能源署，<https://shorturl.at/osDKO>. Accessed 5, Nov. 2023.
- [4] Xue Xiao and Yuheng Yang, Could the oceans host floating solar power plants?, Nature, Vol. 607, p.239, 2022.
- [5] David Carroll, “Taiwan’s largest solar plant goes online”, pv magazine, <https://www.pv-magazine.com/2023/04/24/taiwans-largest-solar-plant-goes-online/>. Accessed 5, Nov. 2023.
- [6] Wiep Folkerts et. al., “Platform offshore solar: 3 gigawatt peak (GWp) of solar power by 2030”, TNO, <https://www.tno.nl/en/newsroom/2023/01/platform-offshore-solar-3-gigawatt-peak/>. Accessed 5, Nov. 2023.
- [7] Beatriz Santos, “North sea offshore floating solar project secures funding”, PV magazine, <https://www.pv-magazine.com/2022/11/18/north-sea-offshore-floating-solar-project-secures-funding/>. Accessed 18, Nov. 2022.
- [8] “Japan’s first offshore floating solar power plant”, Ocean Energy Resources, <https://ocean-energyresources.com/2023/03/20/japans-first-offshore-floating-solar-power-plant/>. Accessed 5, Nov. 2023.
- [9] “Power plant profile: Saemangeum floating solar power project, South Korea”, Power Technology,

- <https://www.power-technology.com/marketdata/power-plant-profile-saemangeum-floating-solar-power-project-south-korea/?cf-view>. Accessed 6, Nov. 2023.
- [10] “Solar farms out at sea are clean energy’s next breakthrough”, EnergyNow, <https://energynow.com/2023/07/solar-farms-out-at-sea-are-clean-energys-next-breakthrough/>. Accessed 6, Nov. 2023.
- [11] Amir Garanovic, “Sunseap installs one of world’s largest offshore floating solar farms in Singapore”, Offshore energy, <https://www.offshore-energy.biz/sunseap-installs-one-of-worlds-largest-offshore-floating-solar-farms-in-singapore/>. Accessed 6, Nov. 2023.
- [12] Jules Scully, “Chenya energy eyes floating PV growth after completing 181MWp offshore project” PVTECH, <https://www.pv-tech.org/chenya-energy-eyes-floating-pv-growth-after-completing-181mwp-offshore-project/>. Accessed 6, Nov. 2023.
- [13] Wei Shi, Chaojun Yan et. al., Review on the development of marine floating photovoltaic systems, Ocean Engineering, Vol 286, 115560, 2023.
- [14] “Design, development and operation of floating solar photovoltaic system”, DNVGL, https://brandcentral.dnv.com/fr/gallery/10651/others/0338546af264473e8481ba6ea78daf0f_hi.pdf. Accessed 10, Nov. 2023.
- [15] “Floating solar panels”, TNO, <https://www.tno.nl/en/sustainable/renewable-electricity/sustainable-solar-land-water/floating-solar-panels/>. Accessed 10, Nov. 2023.
- [16] Emiliano Bellini, “Waves, wind & floating PV”, TNO, <https://www.pv-magazine.com/2020/04/07/waves-wind-floating-pv/>. Accessed 10, Nov. 2023.
- [17] “水上設置型太陽光発電設備の水理実験結果の概要” NEDO, <https://www.nedo.go.jp/content/100960297.pdf>. Accessed 10, Nov. 2023.