

出國報告（出國類別：實習）

波浪發電及相關新興能源開發技術研習

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：劉家成（課長）、黃柏諭（專員）

派赴國家/地區：荷蘭

出國期間：112年10月22日至10月29日

報告日期：112年12月

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：波浪發電及相關新興能源開發技術研習

頁數 113 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/翁玉靜/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

劉家成/台灣電力公司/再生能源處/新能源課長/02-23667534；

黃柏諭/台灣電力公司/再生能源處/策略專員/02-23665057

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 開會 6 其他

出國期間：112年10月22日至10月29日

派赴國家/地區：荷蘭

報告日期：112年12月

關鍵詞：海洋能、波浪發電、潮流發電

內容摘要：(二百至三百字)

近年在政府積極推廣再生能源下，光電及風力發電已逐步邁入軌道穩定成長，在中期規劃部分亦有逐漸飽和的趨勢，而新興再生能源如海洋能將成為下階段的開發選項之一，在國際上海洋能技術發展方面，除潮汐能達成熟商業電場規模（TRL 8~9）外，其餘海洋能類型大多仍處於研發/示範階段（TRL 3~7）。歐洲為海洋能發電技術領導者，在海洋能發電方面已有多項計畫取得建造資金，並朝商業化運營邁進，故本次赴海洋能發展先進國家參加歐洲海洋能年會及海洋能機組現地參訪進行交流，了解並學習相關經驗，將國際海洋能發展現況、電廠開發及運轉經驗回饋本公司海洋能研究及建置等相關計畫，以期培養未來國內開發海洋能源之能力。

本文電子檔已傳至公務出國報告資訊網（<https://report.nat.gov.tw/reportwork>）

目錄

摘要.....	1
目錄.....	2
壹、 目的	3
貳、 行程概要	3
參、 研習專題說明	4
一、 旗艦-海洋能領先者展示	4
二、 申設程序-加速海洋能申設許可	7
三、 潮流發電展示	9
四、 波浪發電展示	11
五、 O&M-降低岸邊制造成本.....	14
六、 避開 NEMO-環境監測創新技術	15
七、 工業革命-規模化波浪/潮汐機組製造	18
肆、 參訪單位說明	21
一、 SYMPHONY WAVE POWER (波浪能發電)	21
二、 SLOW MILL SUSTAINABLE POWER (波浪能發電)	22
三、 REDSTACK (鹽差能發電)	23
四、 FISH FLOW INNOVATIONS (潮流能發電)	24
伍、 心得及建議	25
一、 心得	25
二、 建議	25
陸、 附錄	26

壹、 目的

近年來氣候議題引發國際高度重視，世界各國陸續立法或宣示「2050 淨零排放」的目標及行動，為響應全球淨零趨勢，政府於 2022 年 3 月正式公布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」，規劃至 2050 年淨零之軌跡和行動路徑，將以「能源轉型」、「產業轉型」、「生活轉型」、「社會轉型」等四大轉型作為主軸推動，其中在「能源轉型」方面，將以展綠、增氣、減煤、非核之潔淨能源發展方向為規劃原則，在確保供電穩定的情況下，同時可兼顧降低空汙及減碳。

在展綠方面，政府目前已宣示 2050 年再生能源發電占比達 60~70% 之目標，並規劃短期透過優先佈建成熟光電、風電等技術增加自產再生能源；中長期則規劃持續擴大光電及風電設置場域、扶植前瞻地熱、海洋能等新興能源技術及建構基載型綠電以極大化自產再生能源。近年在政府積極推廣再生能源下，光電及風力發電已逐步邁入軌道穩定成長，在中期規劃部分亦有逐漸飽和的趨勢，而新興再生能源如海洋能將成為下階段的開發選項之一，且台灣四面環海，擁有豐富的海洋資源亦具有發展海洋能的潛力，故本次赴海洋能發展先進國家參加歐洲海洋能年會及海洋能機組現地參訪進行交流，了解並學習相關經驗，將國際海洋能發展現況、電廠開發及運轉經驗回饋本公司海洋能研究及建置等相關計畫，以期培養未來國內開發海洋能源之能力。

貳、 行程概要

本次行程主要分為兩部分，首先是參加由歐洲海洋能源協會在荷蘭海牙舉辦的「2023 歐洲海洋能源年會」；第二部分是參加由荷蘭水能源協會安排拜訪坐落於荷蘭北部的四家海洋能尖端技術開發商的實地考察，相關行程如表 1。

表 1 行程總覽

日期	行程概述	主辦單位	地點
112/10/24 ~ 112/10/26	1. 參加旗艦-海洋能領先者展示會議 2. 參加申設程序-加速海洋能申設許可研討會議 3. 參加潮流發電展示會議 4. 參加波浪發電展示會議 5. 參加 O&M-降低岸邊制造成本研討會議 6. 參加避開 NEMO-環境監測創新技術研討會議 7. 參加工業革命-規模化波浪/潮汐機組製造研討會議	歐洲海洋能源協會 (OEE)	荷蘭海牙
112/10/27	1. 拜訪 Symphony Wave Power 參觀波浪能機組 2. 拜訪 Slow mill Sustainable Power 參觀波浪能機組 3. 拜訪 REDstack 參觀鹽差能機組 4. 拜訪 Fish Flow Innovations 參觀潮流能機組	荷蘭水能源協會 (EWA)	荷蘭北部沿海

參、 研習專題說明

一、 旗艦-海洋能領先者展示

首先由歐洲海洋能源協會執行長 Rémi Gruet 作為主持人並做開場引言，內容主要含括歐洲海洋能源年會介紹、本年度歐洲海洋能源產業的重大進步等。歐洲海洋能源協會一年一度舉辦的年會，是海洋能業界的年度盛事，每年都會雲集業界高層、政府部門官員和歐盟委員會專員。本次會議是距蘇格蘭愛丁堡首次舉辦會議以來的 10 周年紀念日。Rémi Gruet 表示對於海洋能源來說，今年是非常美妙的一年，因為陸續收到許多海洋能相關進展的好消息。在今年夏天，歐洲授予了兩個示範計畫的補助資金，每個專案 €2000 萬，這是歐洲海洋能源協會多年來一直推動的事情，最終讓歐盟委員會創建了適合海洋能專案類型示範計畫的中型補助。另外在今年，英國宣佈 CFD 結果，其中通過的海洋能專案有 11 個，比預期的多許多，這是一個非常好的開始。

第一位講者為 Oliver Wragg，是 Orbital Marine Power（以下稱 OMP）的商業總監，OMP 在過去 20 年裡一直在開發潮汐流技術，總部設在奧克尼，在愛丁堡也有一個辦公室，奧克尼同時也是 OMP 的營運基地，OMP 在這裡安裝了享譽世界的潮流能機組 O2，而這實際上已經是 OMP 安裝的第三台併網潮流能機組。更重要的是，O2 是世界上首個商業運營的潮流能機組之一，該設備資金由 2019 年籌集的債券再進行融資，根據 OMP 的計算，O2 從產生的收入中獲得每 MWh 約 325 英鎊（約 12.85 元/度），並於 2022 年通過蘇格蘭國家投資銀行籌集債券再次進行融資。安裝在 EMEC 的 O2 使 OMP 重新定義潮流能機組的技術性能設定基準，在 OMP 的統計中，O2 以不到 60 天的連續運行中產生 1000MWh，因此 OMP 也重新設定新的私人投資基準，並於 2021 年 12 月獲得英國政府 CFD-AR4 潮流能的競標分配。

Oliver Wragg 在本次會議要介紹的機組是 O2x，這是 OMP 技術的下一個版本，它將推向市場，額定裝置容量為 2.4MW，在歐盟「2030 年前瞻專案」中 OMP 將推進第一個 O2x 的部署，並展示 OMP 如何將其與氫氣生產、電池存儲和陸上風電相結合，這也為如何使未來的能源系統脫碳提供藍圖。OMP 計畫進入商業化陣列營運的第一步，將以在 EMEC 的分階段部署做為跳板，OMP 已經在 CFD-AR4 和 CFD-AR5 分配中獲得合同，這將在未來的五年內提供總共 16.4MW 裝置容量的機組。預估足以每年產生超過六萬 GWh 的電力，相當於一萬六千戶家庭供電。

第二位講者為 Guillaume Gréau，是 HydroQuest（以下稱 HQ）的商業總監，Guillaume Gréau 本次主要介紹 HQ 法國的 FLOWATT 專案，該專案在諾曼第，離英國不遠，從地圖上可以看到該專案離瑟堡港非常近，大約 30 公里左右的路程。這個專案中 HQ 有兩個重要的合作夥伴，第一個是 Qair Marine，這是一家致力於開發再生能源的公司，Qair Marine 已獲得蘇格蘭一個 2GW 的 ScotWind 專案，其中 1GW 用於傳統離岸風電，另外 1GW 用於浮動式離岸風電；第二個夥伴是 CMN，CMN 是一家造船廠，自 2015 年起就與 HQ 建立工業和金融合作關係，本次 CMN 也將建造

該專案的七個發電機。FLOWATT 專案本身由七台發電機組成，整體的裝置容量達 17.5MW，預估每年可發 41GWh 的電力。接下來是關於機組組件的部分，HQ 做了很多改進，相比於在 Pampol Brea 試驗場進行兩年測試的 1MW 原型機組相比，HQ 優化了葉片形狀，為了保持較好容量因數，HQ 將單一機組的裝置容量從 1MW 增加到 2.5MW，為了保持機組堅固性和發電效率，機組採雙垂直軸設備設計，不附設機艙，由於 HQ 選擇重力型的底座，所以實際上機組會比預想的容易安裝。

法國能源部長 7 月宣佈，法國政府將向該專案提供超過 €6,500 萬的資本支出補貼，並附加優惠的發電費率，使該專案具有可融資性；而 Raz Blanchard 地方當局也將直接投資專案 €200 萬取得一定比例的股權，這是一個非常好的信號，表明法國當局以及地方當局也支持推動海洋能的發展。

第三位講者為 Simon Forrest，是 Nova Innovatioan（以下稱 NI）的執行長，NI 是一家在愛丁堡、都柏林、哈利法克斯設有辦事處的潮流能公司，在蘇格蘭北部的設得蘭群島安裝了世界上首座海上潮汐陣列，並在 2020 年贏得了第一份國際合同，未來則計畫在加拿大安裝 15 台潮流能機組。Simon Forrest 回應主持人所提 2023 年對海洋能來說是豐收的一年，對 NI 來說 2023 年無疑也是非常特別的一年，NI 交付的專案使設得蘭群島潮汐陣列的容量翻了一倍，同一年度也開始進行批量生產。在過去 NI 每隔一年就建造一台潮流發電機，迄今已經製造四台潮流發電機。會議中有播放設得蘭群島的介紹，這是世界上第一個海上潮汐陣列，自 2016 年以來就一直為居民、企業和電網持續生產可預測的綠電。在這裡 NI 對於機組附近有數千小時的調查，數萬小時的視訊紀錄，並與監管機構進行了公開討論，NI 向監管機構提供了所有數據，監管機構於去年發佈了報告，說明透過分析該場址陣列運行五年的情形下，未出現負面影響，這也為 NI 將要進行的每個項目必須面對的一些事情奠定重大基礎，Simon Forrest 有舉個簡單例子，從 2017 年開始，NI 不僅有環境案例和 KPI，同時也有能源成本案例和 KPI，當潮汐小的時候，可以看到魚在發電機上覓食，當潮汐開始時，魚會游散並消失，而當潮汐大時，發電機周圍實際上沒有任何魚，所以這也是 NI 的機組能與環境和諧相處的證明。Simon Forrest 認為這是 NI 應該帶入新市場的東西，透過與監管機構合作，降低 NI 目前投入專案可能遭遇的阻礙。NI 今年在加拿大交付了第一台發電機，也在法國安裝了第一台發電機，在加拿大的機組已經下水測試；在法國則是在阿特爾河口部署了第一台發電機，該項目進展得非常順利，不僅代表技術的優化，效率更高以外，更重要的是這是一個全新的市場！以往 NI 的渦輪機都部署在海上，而在法國這是在一條河的人海口，Simon Forrest 認為這可為聖勞倫斯河、多瑙河等河流開闢一個全新的市場。

最後 Simon Forrest 播放了設得蘭島群島的短片，在過去的一兩年裡，NI 在設得蘭群島擁有潮汐電動樁，這是三四年前幾乎無法想像的，世界的變化日新月異 Simon Forrest 認為目前正處於整個海洋能產業的轉捩點，而這取決於在座的人們來努力實現。

第四位講者為 Sarah Thomas，是 Floating Power Plant（以下稱 FPP）的技術主管，FPP 剛獲得創新基金 \$2,600 萬的專案，主要是一個基本的漂浮半潛式的風力發電

機，所以在水中位移相對少，而在平台下方會有波浪轉換機組，當機組在海浪中上下顛簸，平台裝有一個油液壓系統將波浪運動轉化為電能，代表在沒有風僅有浪的情況下仍可發電，同時也設計可裝載氫氣或電池以用於長期或短期的能量儲存，這意味著機組能夠持續提供電力符合需求曲線。目前很多島嶼社區仍通過柴油發電，這對環境非常不利，且非常昂貴，因此很多島嶼社區正在大力推動引入再生能源，但往往受限於島嶼社區的孤島電網不夠強壯，無法應對間歇性，所以島嶼社區會要求以某種方式將可再生能源與儲能相結合作為解決方案，FPP 則將解決方案都匯集在機組上。

Sarah Thomas 在會議中介紹 FPP 的 P-demo 專案，雖然這對學界來說已經是一個相當大的版本，但對 FPP 來說，這仍算是一個相對較小規模的版本，它不是總計 15MW 的機組，而是 4MW 的示範發電機組。P-demo 專案設在大加那利島，是一個非常好的測試點，在那裏已經鋪設好一條海底電纜，並取得上岸許可，Sarah Thomas 表示 FPP 的很多潛客戶都在等待這裏測試的結果再進一步投資。

第五位講者為 Patrik Möller，是 CorPower Ocean（以下稱 CPO）的執行長，同時也是 OEE 的聯合董事，CPO 在開發測試機組的路上一直遵循著結構化的五階段驗證方法，CPO 堅信能將可靠的技術推向市場，今天會議主要介紹 CPO 第 4 階段更新計劃，該計劃現已完成，並在進入第 5 階段第一個示範陣列測試時產出非常好的結果。CPO 的第一台商業規模化機組，直徑約 9 公尺，額定功率達 300kW，機組錨定在海床上，這個機組真正獨特創新的地方在於，CPO 的技術設計使機組能自動調整作動以適應週期波達到最佳化情況，CPO 技術基礎主要建立在挪威特隆赫姆大學 40 年來研究的相位控制技術上，當海上面臨大風暴時，這些機組設備不會因波浪而運動，它們只會停在那裡，當大浪席捲來時，就不會有影響；然後，當 CPO 激活相位控制系統時，機組將會開始以最佳時間作動，而且能有效放大入射波的作動，因此，在 1 公尺左右的人射波作動下，機組設備通常能達到上下移動三公尺的效果，CPO 設計的這種風暴保護模式，能夠不對風暴波的頻率做出反應，然後以常規波放大設備效能，後續 CPO 希望至少能達到放大五倍能量的效果，以提高波浪能的發電效率。同時 CPO 也開發了一種新的錨定技術，CPO 稱之為 UMAC 錨，在安裝到海洋前，CPO 已經在英國、德國和葡萄牙的陸地上進行了多輪測試，測試結果噪音值非常低，今年是 CPO 第一次將商業規模化機組連接到 UMAC 錨上，在斯德哥爾摩，CPO 有自建的動力輸出和傳動系統設施，另外 CPO 也在此地開發了一個大型測試設施，主要使用模擬波浪負載測試，在 C4 機組於去年運往葡萄牙之前，就花了將近一年的時間，包括整備控制系統的穩定性，這樣把機器運送到海洋中時，CPO 才有信心宣示這會是個安全可靠的系統，因為對 CPO 來說，機組在受控環境的生存能力是至關重要的一環。

目前 C4 機組安裝在葡萄牙海岸以北約四公里處，自今年夏天安裝以來，已經證明系統能順利運行，透過監測可以看到機組是如何沉進和浮出水面的，機組目前已併網在為葡萄牙電網供電，而在上周（10/22 巴貝特風暴），也對機組的生存能力進行了重大考驗，透過監測發現現場有高達 13~16 米的海浪衝擊，該機組的系統仍以非常穩定的方式倖存下來且持續運行。接著 Patrik Möller 展示了 CPO 運維的做法，機組的設計可以允許在海上做簡易的檢修，CPO 也規劃設定一個維護週期，透過斷開設備連結將機組拖回岸

上進行檢查，Patrik Möller 認為這種易於斷開設備連結的 O&M 方法會是一個很大的優勢。CPO 設計每個設備 300~500kW，接著把機組排列在高密度的集群中，間距大約 150 公尺左右，這樣得到每平方公里海洋空間的功率密度約可達到 15MW，相當於離岸風電的 3~5 倍，因此在同一場域利用許多相同類型的設備，來實現規模經濟和降低學習週期，Patrik Möller 認為這對於推動成本曲線會是一個很大的機會。

有許多大公司已經制定雄心勃勃的氣候目標，希望轉向 24/7 的無碳電力，這些公司也正與 CPO 或其他海洋能源公司合作開發，藉以填補風能和太陽能發電的空白期，而大量的系統研究也表明，波浪和潮汐可以在最低的成本中發揮至關重要的功能。

二、 申設程序-加速海洋能申設許可

首先由歐盟委員會專員 Vera Kissler 作為主持人並做開場引言，Vera Kissler 提到申設同意許可是實現再生能源目標的主要障礙之一，而最近，歐盟的再生能源指引的修訂工作已經完成。因此在下個月，歐盟將正式制定一個目標，即到 2030 年歐盟再生能源達 42.5%，這也意味著幾乎需要將目前再生能源的量體翻倍。為使歐盟的能源結構穩定，需要部署更多所有類型的再生能源，而申設同意許可往往需要很長時間才能取得，因此歐盟於去年有向成員國提出建議，如何改進程序、如何提高公眾接受度等，歐盟也因此提出了緊急條例，該條例規定再生能源專案具有壓倒一切公共利益的優先執行權，這有助於解除介於權衡不同的法律利益而陷入無法取得申設許可的專案。在修訂后的指引中，歐盟也明確訂定授予申設許可證的截止日期，以前的海上專案截止日期是兩年（不含環評），現在的海上專案截止日期是三年（含環評）。

第一位講者為 Rebecca Bamlett，是蘇格蘭政府海事局許可營運團隊（以下稱 MD-LOT）的部門主管，海事局是蘇格蘭政府內部的一個部門，負責管理蘇格蘭的海洋，以維持生態繁榮和環境可持續性。海事局許可營運團隊是董事會內的一個監管機構，負責對蘇格蘭水域的海事許可證和 1989 年《電力法》第 36 條同意申請進行第三方公正評估，並直接向蘇格蘭部長提供第 36 條同意申請評估後的建議。總體來說，MD-LOT 是申請在蘇格蘭水域部署海上再生能源專案同意許可的單一聯繫窗口，因此想在蘇格蘭水域部署潮汐能或波浪能設備需通過 MD-LOT 審核。根據 1989 年《電力法》第 36 條同意申請及 2010 年蘇格蘭海洋法相關規定，針對發電站的建設和運營，在蘇格蘭近海水域（小於 12 海里）超過 1MW、遠海水域（小於 200 海里）的所有專案需要海事許可證才能建造工程，前述的申請都可能需要一份支援性的環評報告，該報告需涵蓋工程對環境可能產生的重大影響，接著 MD-LOT 會確實進行 EIA 篩查。再者是歐洲受保護物種許可證許可證及海事相關許可證的申請，如施工時可能需要於現場移除巨石、疏浚或清除未爆彈之類的水事工程。最後，所有專案都需要根據 2004 年《能源法》制定退役計劃，並得到蘇格蘭部長的批准，然後才能開始安裝，包括為退役成本提供財務擔保的部分都需要在安裝之前到位。

就每階段的時程方面，MD-LOT 預估約需要 9 個月的時間來確認第 36 條同意申請 EIA 海洋許可證，歐洲物種許可證約需要 6~8 周，然後約需要 14 周審查海事相關許可證，而退役計劃批准可能需要長達 18 個月的時間。因此，回到本場會議的主題，即海洋

能源如何加速這一個進程，Rebecca Bamlett 認為重要的是需考慮如何縮短從申請前到同意后的總體時間框架。因此，這一切都得從申請前開始籌備，MD-LOT 建議從這個階段（申請前）開始就先與利害關係人進行協商，這是關鍵，也是在設計專案和 EIA 範圍界定之前應先諮詢的事項之一，另外檢附海事局批准的提案，可以確保開發商的退役提案符合立法要求以及 MD-LOT 指南中的標準。一般情況下，退役計劃批准的最大延誤之一未遵守 MD-LOT 指南，而當中如果涉及到 EIA 範圍界定时，需在規定的時間以合乎內容的方式執行，所以也不能太早。最後，MD-LOT 建議開發商在申請專案的同時提交退役計劃草案以及財務規劃，雖然在取得申設同意許可之前，尚不能動工，但這可以提早表明提案的可行性。

第二位講者為 Marlène Kiersnowski，是 OPEN-C Foundation（以下稱 OPEN-C）SEENEOH 測試場的主管，Marlène Kiersnowski 先簡要的介紹 OPEN-C，該機構是歐洲最大致力發展海洋再生能源的試驗中心，主要工作為協調、開發和管理潮汐能、波浪能的海洋試驗，該機構匯集法國 5 個海上試驗場，且試驗場都已經運行了多年。回到今天會議的主題，取得申設同意過程的第一階段，在每個歐盟國家都是要先看一看海洋能源機組開發計畫，必須審查是否與能源政策相關，預定目標是什麼？如果是 MW 級機組生產，時間規劃會是什麼？是否有計劃書提供有關該位置的更多詳細資訊？在海洋空間規劃方面，是否有特定的生態敏感問題？諸如此類的問題非常多且繁雜，更具體來說，是環境影響評估和環境許可問題。因此，Marlène Kiersnowski 以 OPEN-C 在法國的經驗為例子，OPEN-C 有取得海底租約及離岸和陸上的授權，一般海底租約的期限大多為 30 年，但最近，法國有關部門專門將該期限延長至 40 年。法國為簡化法規付出了巨大的努力，例如在 2017 年，其中一項法律統一了許多授權過程，但如果涉及特別瀕危物種，就可能需要另外取得受保護物種豁免許可，這具體取決於專案所在的地區。雖然政府努力扶持並朝著越變越好的方向前進，但這總歸是不容易的，首先申設許可雖然最後是國家同意，但不是國家層面的國家，而是在法國所謂的部門層面的國家。Marlène Kiersnowski 表示在法國有大約 120 個省長，而這 120 個省長其中有大約四分之一在沿海地區，每個地方有他們不同的要求，也會需要多取得不同的授權，如公共領域、水警、都市化之類等等，他們也會徵求外部利益相關者的意見如國家有關的協會及環境協會等，當然，其中一些意見是必須遵循的，有些只是建議，但可以肯定的是，他們會要求額外的研究、額外的測量，所以在時程方面必須考慮到這一點。在專案開發過程中，必須在更早的時候組織公眾參與，在這個過程中，將不得不經歷一個至少持續一個月的公開調查，這些 OPEN-C 預估將耗時 12~24 個月，其中還不包括測量基線調查所需的時間，所以有時需要更長的時間。在法國，某些情況下對於環境影響研究較小的專案不是強制性的，一般來說低於 € 190 萬的小型專案是不需要的，但建議仍向公共服務部門詢問並確認專案需不需要進行全面的環評，否則可能面臨一種會浪費很多時間情況，因為你必須再次重新啟動完整的 EIA。

第三位講者為 Dan Hellin，是 PacWave（以下稱 PW）計畫的主任，PW 計畫是一個波浪能測試設施，位於西海岸太平洋西北海岸，華盛頓州下方，加利福尼亞州以北，大約在俄勒岡州的中部海岸，在那裏 PW 有兩個大型的海洋波浪能試驗場，分別命名為北 PW

及南 PW，北 PW 是一個未具有併網功能的測試場，而南 PW 是旗艦波浪能試驗場，目前仍在建設中，完成後將是一座具四個測試泊位的併網站點，每站配備專用的 5 MW 電纜，該站位置由當地漁民選擇，獲得漁業社區的支持，這在整個許可過程中非常重要。雖然 PW 計畫主要由美國能源部資助，這並不代表與參與 PW 測試的人必須通過能源部才能加入，PW 計畫也向其他人開放測試。

PW 計畫從 2011-2012 年啟始，進行可行性分析，分析是否要在俄勒岡州做一個併網測試站，應該設置在哪裡等問題，2021 年開始進入了專案的建設階段。PW 的海底電纜預定於明（2024）年初完工，同年夏天安裝電纜，並將於 2025 年投入運營，但這裡的重點卻是中間未提及的部分，實際上 PW 的許可期長達八年。會這麼長包含許多原因，首先美國目前的法規主要是圍繞石油和天然氣行業制定的，因此沒有一個非常成熟的流程，也有很多未知數，這增加了許可過程所需的時間；增加許可取得時間的另一個因素是，PW 是一個測試設施，有關機構顯然想知道我們將在海洋中擁有什麼，繫泊系統是什麼，會使用什麼錨，作為一個測試站，PW 根本無法回答這個問題，因為 PW 的目的是希望在測試站上簡化開發機組安裝下水的整個過程，且能預先允許大多數類型的波浪能轉換器，這在美國是沒有做過的事情，所以當 PW 開始這個過程時，有關機構告訴 PW，這真的是做不到的，基本上這導致了取得許可所需的額外時間。而且美國系統內部有很多複雜性，有很多重疊的司法管轄區，而且需要很多不同的執照和許可證，例如併網波浪能試驗場的方式，離岸三海里以內屬於州管轄範圍，一旦超過就進入了聯邦水域，就屬於聯邦政府的管轄權；又如有美國魚類和野生動物管理局與俄勒岡州魚類和野生動物部以及國家海洋漁業重疊，所以有很多重疊部分還有縣級或市級政府可能有地方自治規定等。Dan Hellin 提到，這個專案獨特的另一個原因是，在美國有兩個關鍵的官方機構 FERC 和 BOEM 在 2009 年簽署了一份合作備忘錄，PW 計畫是他們第一次真正作為合作機構參與專案，所以這對他們來說也是新的，由 FERC 作為主辦機構，而 BOEM 將作為協辦機構，關鍵是 NEPA 流程可以適用於這些機構中的每一個，PW 本應該需要通過 NEPA 多達 6 次而不是 1 次，這也在一定程度上簡化了程序，儘管該過程確實花了八年。最後結果是，南 PW 計畫的許可期限為 25 年，PW 希望為開發人員鋪平道路，以便能夠在海洋中順利研發技術，PW 在技術上是預先允許波浪機組進行測試的，但 PW 還未正式安裝完成並啟動和運行，所以當真正開始將設備放入水中時，會依遇到的問題再滾動努力嘗試簡化流程。

三、 潮流發電展示

首先由來自英國海上再生能源技術創新研究中心（ORE Catapult）的 Simon Cheeseman 作為主持人並做開場引言，ORE Catapult 是由英國政府設立的組織，旨在促進研究與開發並開拓海上再生能源市場的機會。ORE Catapult 主要透過科學家、學者、工程師、企業家、產業領袖和政府之間以商業為主導的合作來促進研發和創新。本次潮流發電展示合計有 6 位開發商，大多為近年取得政府核配容量或已經過實海域測試，準備投入商業化運營的開發商，整理如表 2：

表 2 開發商展示潮流發電機組整理

公司	單一機組裝置容量	獲配或規劃裝置容量	規劃安裝地點	運作方式
Minesto	100kW~1.2MW	200MW	The Faroe Islands、Holyhead Deep、Northern Ireland、Taiwan	Minesto 的技術原理類似於風箏在風中飛行，機翼利用水流產生的升力來移動風箏，透過控制系統可以按照預定的八字形軌跡作動。作動時帶動渦輪軸轉動發電機，發電機透過繫繩中的電力電纜和連接到海岸的海底電纜向電網輸出電力。
Verdant Power	35kW~設計中	CFD-AR5 4.9MW(2023-2028)，25MW(2028-2030)	Morlais	Verdant Power 潮汐渦輪機系統的核心部件是三葉片水平軸渦輪機，這些葉片以緩慢且規則的速度旋轉，遠低於正常船螺旋槳速度和傳統水輪機葉片速度。而傳動系統和發電機則封閉在機艙內，機艙再連接到海底支架的塔架支撐，當水流速度超過 1m/s 時，發電機與水流自動對準，在漲潮時發電，然後隨著平潮的發生而停止；再沿退潮方向改變方向。
Magallanes Renovables	1.5MW	CFD-AR5 4.5MW (1.5MW+3 MW)	Morlais、Pentland Firth	Magallanes Renovables 的理念是「利用現有技術」以低成本實現穩健性和高產量，盡可能使用已經成熟的風能和船舶工業開發的技術，最大限度地降低技術風險。主要是以風力發電機為原型連接於船底，由海流代替風流的概念運作。
HydroWing	340kW~設計中	CFD-AR5 10MW	Morlais、Indonesia	HydroWing 的潮汐渦輪機擁有專利的被動變槳轉子葉片系統，並允許發電機自動優化應對漲潮和落潮的情形。HydroWing 由重力結構底座及配備 3-5 個小型發電機的可回收設備組成。這種簡單的設置好處是可以降低非偏航和雙向發電機的成本並提高可靠性、多個發電機可在個別故障的情況下維持發電、小型發電機可減少尾流效應，從而提高功率密度及延長疲勞壽命等。
ORPC	50kW~150kW	-	Maine、Patagonia、	ORPC 的潮汐能設備專為深水環境設計，其浮力繫泊系統可降低安裝成本和

			Canada、Alaska	時間，並最大限度地減少海底足跡。而發電機部分則研發專利的橫流式發電機組，該機組採用先進複合材料設計和建造，除可增強水下動力性能，更可承受惡劣的海洋條件。
SeaCurrent	50kW~500kW	10MW	Ameland	SeaCurrent 的 TidalKite 系統由一個主框架和多個串聯排放的機翼組成，概念如同風箏，水流使 TidalKite 在水中產生巨大的升力，再透過繫繩傳遞到動力輸出裝置。該裝置包括液壓缸和發電機，液壓缸透過 TidalKite 的牽引力被抽出，加壓液體在發電機上作動產生電力，裝置透過繫泊結構固定在海床上，並透過海底電纜將電力輸送到岸上。

四、波浪發電展示

首先由來自 Sustainable Energy Authority of Ireland (SEAI) 的 Emer Dennehy 作為主持人並做開場引言，SEAI 是愛爾蘭的政府機構，成立的目的是促進和幫助愛爾蘭永續能源的發展。本次波浪發電展示合計有 8 位開發商，大多尚未邁入商業化，處於以尺規比例模型驗證波浪發電機組的性能階段，整理如表 3：

表 3 開發商展示波浪發電機組整理

公司	單一機組裝置容量	獲配或規劃裝置容量	規劃安裝地點	運作方式
Mocean Energy	10kW~250kW	250kW	Orkney	Mocean Energy 透過創新思維及設計過程中利用軟體建模和優化的情況下，不採用傳統標準的船體設計，改為擷取波能的轉換器設計了更激進的筏體形狀（形似挖土機），該設備有兩個透過鉸鏈連接的船體，波浪帶動圍繞驅動發電機的鉸鏈往復旋轉以產生電力。
Symphony Wave	100kW	-	Northsea	Symphony Wave 屬於點吸收式波浪機組，該技術主要是利用波浪週期性的作動所產生的能量帶動在彈簧室中的水去壓縮水輪機，水輪機再驅動發電機產生電力。組件的結構可分為中間的核心管體以及外面受波浪能量作動的殼體，為了使機組運作達到最高效率，設計透過改變系統中的彈簧室，使設備調整到與

				波浪同週期產生共振，另也開發專為機組用的雙向渦輪機，並取得專利技術。
CPower	2kW~設計中	-	Hawaii	CPower 設計了兩款核心產品，SeaRay 和 StingRay，Sea Ray 主要功能為自主海上電力系統 (AOPS)提供動力，該系統具備一個充電站、一個伺服器 and 一個雲端資料庫連接，這些都封裝在一個外殼中，可用於數據收集、通信和其他操作。海面上的 SeaRay 波浪能系統，可捕捉波浪能並轉換為電能以滿足海上電力需求，假設客戶在太平洋中部的海底建置一套資料收集系統。該系統收集資料時，可通過 AOPS 將資料傳輸至雲端資料庫。另一款 StingRay 產品則是基於 Sea Ray 的商業化測試結果，進一步設計成 MW 級的機組，這將提供更具有成本效益的再生能源。
Havkraft	30kW~300 kW	5MW	Norway	Havkraft 設計的 H-WEC 屬於 OWC 式波浪機組，H-WEC 由一個帶有反射器且優化的空氣管，及帶有引導葉片的發電機組成。透過將波轉換為腔室中的水活塞來起作用，後者透過加壓的空氣驅動渦輪機。基於 H-WEC 的設計，Havkraft 建造出命名為 Havkraft N 及 Havkraft O 的兩項產品，Havkraft N 主要是用於低波能（低於 15 kW/m）和短波週期（低於 10）的近海設置方案，目前第一份商業合約已簽署並正著手生產；Havkraft O 可視為一座波浪發電廠，同時結合了兩種波能轉換方法，以最大程度地效率和成本效益，該機組同時結合 OWC 與點吸收式。
Carnegie Clean Energy	240kW~設計中	-	UK、Australia	CETO 屬於點吸收式波浪機組，其中浸沒於海面下的浮標會利用海浪的能量在海面以下 1~2 公尺處移動，浮標透過繫繩連接到 PTO，當浮標隨著波浪運動而振盪時，它允許系統伸展和收縮，透過管道將高壓流體變成如水輪機般提供動

				力發電。
Sigma Energy	30kW	-	Adriatic Sea	Sigma Energy 開發的 Sigma WEC 點吸收式波浪機組，透過原有的機械式 PTO，將波浪而產生的垂直運動轉換為電能，開發方面遵循 IEA-OES 的指引，目前已達到開發計畫的最後階段（全面設備建置、部署和商業化）。設計方面，Sigma Energy 開發了配備慣性單向離合器的機械 PTO 系統，可平穩發電機的旋轉並提高其效率；浮標方面，具有開放式底部和單向閥系統，這使得浮標能適當減少底部的撞擊負荷，另外浮標透過特殊構造且獲得專利的球形接頭連接到翼梁，此舉可使浮標傾斜，進而減少垂直翼樑上的負荷，使浮標運動更加平穩。
CalWave	100 kW ~800 kW	-	San Diego、Newport	CalWave 執行長說明設計機組的概念來自於現行風力機組具有迎風轉向功能等設計以實現高性能，所以 Calwave 將該架構採完全浸沒方式運行，透過完全浸沒除可從多個自由度捕捉波浪能量，還可防止猛烈的海浪和風暴影響使機組能高效率的運作。將高效率的主動負載管理功能和波浪載荷緩解功能整合在一個架構中，在 San Diego 的縮小尺規機組完成 10 個月的順利運行後，接下來將在 PacWave 進行安裝 100kW 的原型機組測試。
Exowave	35kW~設計中	-	Denmark	Exowave 設計的波浪能轉換器主要透過底部銜接的構件從海浪中提取動能，這些構件會受波浪激活並繞水平軸樞轉，而此軸會連接到一個旋轉裝置，該裝置會自動將構件定向到與波浪同向，從而驅動氣缸泵。機組因設計簡單，僅由幾個部件組成，並且易於維護，所以適用於淺水區和深水區。

五、 O&M-降低岸邊制造成本

首先由來自 BiMEP 的 Jon Lekube Garagarza 作為主持人並做開場引言，Jon Lekube Garagarza 是 BiMEP 比斯開海洋能源平臺的項目經理，BiMEP 有兩個測試場，其中之一位於 Armintza 鎮海岸附近，用於浮式海上風電平台測試以及波浪能轉換器測試，測試場配有四根 5MW 電纜接點，這裡平均深度介於 50 到 90 米之間，具備 24-7 監視系統。另一個測試場是 BiMEP 在 2011 年開發採用振盪水柱技術的波浪發電測試場（Mutriku），BiMEP 自 2011 年以來一直在運行，生產了近 3GWh 的電力，也是這個行業的一個里程碑，該站點已運行 4000 天以上，並進行維護，而今天的會議也將著重討論運維的重要。

第一位講者為 Rupert Raymond，是 Tadek 公司的創始人兼董事，Tadek 是一家從事海上專案執行、設備工程支援、系泊和安裝的離岸公司。Rupert 做為專案負責人，會為一系列專案提供複雜的商業、分析和實用解決方案，妥善運用廣泛的資源和利害關係人合作。Tadek 公司成立於 2010 年，目前約有 20 名工程師，其中造船、安裝分析、系泊設計等專業有 12 名工程師，另外 8 名則是項目工程師。Tadek 公司參與了全球約 200 個專案，主要分布在歐洲，也在美國、巴西、奈及利亞和日本有部分專案。自 2010 年以來，Tadek 公司一直參與 EMEC 的潮汐能專案，與創新的波浪和潮汐專案合作在很大程度上是一種挑戰，見證了很多錯誤，也見證了很多成功，並吸取了很多教訓。Rupert 認為雖然一遍又一遍地看到同樣的問題出現，但最終這些經驗的教訓會確實反饋給產業。因此，就 Tadek 公司而言，與浮動系統的開發商及海事承包商合作的專案很多，也曾與各種安裝、保險和保修公司等合作開發程式。舉例來說，Tadek 公司參與了 HydroQuest 潮汐渦輪機的回收，Tadek 公司在工程方面統合整個團隊的工作，在非常短的時間內處理該設備的回收問題，包括計劃所有程序、租用船隻、組織工作及採購所有索具等，在短時間內完成支援工作。

第二位講者為 Steen Thomsen，是 Wavepiston 的首席技術長，Steen 在綜合管理、專案管理、敏捷流程管理和業務分析方面擁有廣泛的專業知識，他管理了超過 15 個專案，幫助公司獲得超過 €1000 萬的公共或私人資本。Steen 介紹該公司的波浪活塞系統，波浪活塞系統是一種線吸收器，可從波浪中收集水平方向的能量，透過來回移動帆並驅動柱狀泵，從而產生加壓海水，再讓加壓的海水通過這裡的管道到岸上或平臺上，Steen 本次會議主要分享平台設備安裝的經驗。

第三位講者為 Jason Schofield，是 Green Marine（以下稱 GM）公司的總經理，Jason 負責協調和管理公司的業務、人員和船舶，這涉及從海上和各種船上進行詳細的規劃和監督操作。Jason 在浮動設備和電纜安裝方面被公認為在海洋能源領域能提供世界級諮詢服務的專家之一，在過去的五年裡 Jason 還曾在蘇格蘭波浪能公司的顧問委員會任職。GM 是一家位於奧克尼群島的蘇格蘭公司，擁有並運營著一支船隊，船隊同時也在其他船隻上工作，這包含一個內部工程團隊及一個小型團隊，GM 也有自己的設備，像電纜繞線機和測量設備，還有專門用於海上風電的船員轉運船，所以 GM 與許多波浪能或潮汐開發商及工程公司有著密切合作，服務範圍很廣，後續 Jason 主要搭配簡報的圖片簡要說明合作過的專案，以及安裝過程的經歷。

第四位講者為 Michael Bullock，是 Renewable Risk Advisers（以下稱 RRA）的經理，擁有 20 年的保險顧問經驗，他撰寫並合著過許多關於浮動式離岸風電和早期海洋能源專案可保性的報告，也為各種各樣的開發商，能源行業的公用事業、技術製造商、輸配電線路和煉油廠運營商等保險顧問客戶提供諮詢。RRA 是一家保險顧問公司，主要的服務是與客戶合作，瞭解客戶的風險，幫助客戶識別和量化風險，從而能夠向保險公司解釋這些風險。從 RRA 的角度來看，運維部分屬於非計劃性的操作和維護情況經常發生，以海上電纜為例，離岸風電是海上再生能源領域相對成熟的技術，目前 95% 的歐洲專案對於電纜索賠都保有至少 500 萬英鎊。對於保險公司來說，需要的是理解當問題發生時你將如何解決這個問題，因此，RRA 嘗試做的是說明思考可能出現的問題以及將如何應對問題，並協助將故事落實到位，以便客戶可以說服這些保險公司取得合作，後續 Michael 說明面對海洋能源很多事情再設計規畫階段尚無法預見後續運轉維護細部執行項目，所以 RRA 的工作不僅包括了解風險，也包括嘗試參與認證的過程，以便隨著時間的推移，可以平衡並解決開發商和保險公司間的需求。

六、 避開 NEMO-環境監測創新技術

首先由來自 EWA 的 Peter Scheijgrond 作為主持人並做開場引言。第一位講者為 Luana Clementino，是 WavEC 的海洋生態聲波研究人員，Luana Clementino 於本次會議中主要介紹海洋能源設備的聲學監測工具和方法。隨著船舶交通、地震勘測、海上再生能源等人類活動的快速增長，活動伴隨產生的聲波影響正在發生變化，有可能影響海洋動物。正如大多人所理解，聲音在水中的傳播速度比在空氣中傳播得更快、更遠，而在水下時，視力則容易受到嚴重損害。海洋生物則已經適應這些，它們往往會依靠聲音來實現生物學上的重要功能，例如覓食、定位、族群互動和躲避捕食者等。因此，隨著人類活動的增長，再生能源於海洋中的的監測水下噪音勢在必行，須確保這些開發活動無損於海洋生物的生態系統。被動聲學監測是一種廣泛用於聲學監測的工具。以目前來說，現有水下雜訊監測設備相關的一些難題仍然存在，如波浪和潮汐發展的監測區域通常屬於高能海洋環境，該區域的特點是潮汐流快或波作用強，這將極大地影響所用系統的檢測效率，並且很難將標的聲源與流動雜訊的聲源作出區隔，在某些特殊的情況下，也很難去區分雜訊。另一方面，監測海洋能源設備往往需要較大的空間覆蓋程度及一定的時間範圍，且並非所有系統都具有足夠的電力來支援如此長的時間進行水下監測，因為這會生成大量數據，要處理這麼大量的數據非常困難。因此，解析和評測這些設備對水下雜訊的回應是件很有挑戰性的事情。Luana Clementino 也分享她參與過的案例研究，這些案例研究著重在波浪和潮汐裝置的聲學監測以及如何深入瞭解對海洋動物的潛在影響。

第二位講者為 Oslan Roberts，是 Menter Môn（以下稱 MM）的 Morlais 計畫的商業經理，Oslan Roberts 本次會議主要說明 MM 的副專案 MCRP，也就是海洋特徵研究計畫。這是一個由 600 萬英鎊資助的 ERDF 專案，用於建立監測環境所需的工具，在談論 MCRP 之前，需要先知道一些背景知識，Morlais 是世界上最大的 240MW 潮汐流示範場之一，在 10 月上旬左右整個基礎設施已經開始運行。Oslan Roberts 在會議中的簡報展示了一些監測設備及措施，以保證開發前能透過實施這些系統減少對海洋環境造成損害的

風險。他也直言，從他作為一個商人的角度來看，雖然並非所有技術都是 100%有效的，但他們正在盡最大努力使用最好的技術來執行以盡可能降低環境風險。而他們所收集的數據，未來將充分地以公開形式傳播以加速海洋行業的發展，這也將使潮汐流開發人員更有機會實現商業目標。Oslan Roberts 接著說明 MM 未來將大量使用人工智慧，希望透過將圖片上傳到 MM 的資料庫，透過人工智慧以便它可以在檢測發電站周圍的物種方面發揮作用。除了前述的部分，MM 也在地表、地下和地表紅外線、無人機調查、鳥類標記和被動聲學監測方面擁有基於攝影的資料收集系統。

第三位講者為 Brendan Cahill，是 ORPC 的發展部門主管，Brendan 在海洋能源方面有豐富豐富的經歷，在獲得博士學位後，曾在愛爾蘭能源署的政策部門工作了相當長一段時間，現在則是正在為美國開發商 ORPC 開發發電機。ORPC 的總部設在美國緬因州波特蘭市，ORPC 在加拿大、智利和愛爾蘭都有團隊，目前公司的重心放在關注偏遠的沿海社區，開發基於專利研究出的錯流發電機技術專案。希望透過微電網解決方案，為這些社區帶來綠電，同時也與這些社區及其他利益相關者密切合作，以開發永續環境的專案。ORPC 在北美的河流和潮汐專案上參與過很多活動，並獲得了大量的運營經驗，在過去的 10 年裡，ORPC 可能已經部署了 17 處，但未來還會有更多。而本次會議，Brendan Cahill 主要說明 ORPC 的 RivGen 系統，裡面的環境監測元件是 ORPC 工程設計的關鍵部分，也是產品結構的核心組成部分。該系統用在 ORPC 與 Igiugig 村委會合作的 Igiugig 專案。Igiugig 是一個約 70 人的美洲原住民社區，距離阿拉斯加安克雷奇約 400 公里左右。Igiugig 座位於基瓦克河上，地點非常偏僻只能透過乘坐駁船或輕型飛機進入，那裏沒有公路連接也沒有相連電網，完全依賴柴油發電所以電力成本非常高。

ORPC 在 Igiugig 的項目設計是由兩台 RivGen 渦輪機組成，已於今年 9 月安裝。這屬於智慧微電網的一部分，結合施耐德電氣的智慧控制和儲能系統，ORPC 評估全面投入運營后，將使社區的柴油發電量減少 60%至 90%。該發電專案已獲得聯邦能源監管委員會（FERC）的許可，這部分是由 Igiugig 村委會申請，而不是 ORPC 申請，所以 Igiugig 是專案擁有者，但 ORPC 將與 Igiugig 密切合作，依 FERC 許可證交付專案。根據前述許可證要求，需要對河裡的各種鮭魚進行監測，因此 ORPC 制定了非常縝密的魚類監測計劃，該計劃由適應性管理團隊提供資訊並告知決策，該團隊包括專案利益關係人和相關的聯邦、州能源機構。接著 Brendan Cahill 開始分享 ORPC 在計畫中的一些努力。特別是視頻監控部分，ORPC 在 RivGen 系統上安裝兩台設備、四台攝像機，並在鮭魚洄遊期間監測了大約 42 天，每天每小時實時監測 10 分鐘的數據，總共持續了 42 天，監測 10 分鐘的魚類數據需要花超過 10 分鐘的時間，因此在人員時間和數據傳輸方面負擔相當大。有鑑於此，ORPC 也開始與太平洋西北國家實驗室合作，研究新技術來減輕這種負擔，最初研究的是一個名為 ICEE 的系統，這是一個自動魚類檢測系統，但對於 ORPC 需要根據租約進行的監控類型來說，這可能不夠強大，所以後面有再研發了其他形式的監控，使用側視水聲聲納監控，並開發相遇概率模型，研究小鮭魚與發電機相互作用的可能性，這可以更輕易地觀察鮭魚的運動，也便於在更渾濁的水域中操作。ORPC 也在研究前面演講者提及的人工智慧與機器學習，ORPC 與華盛頓大學研究技術的關聯公司合作，研究一種自動檢測軟體系統，以自動獲取視頻監測輸出並對其進行分析，透過自動

化方式檢測魚類的運動以及與機組的交互作用成果，可大幅度減輕人工負擔。除此之外，ORPC 也做了許多視覺性監控，讓 Igiugig 村委會和阿拉斯加政府單位都能在現場檢查並進行目視監控。

因此，ORPC 透過 Igiugig 人民的當地知識和他們對鮭魚種群的瞭解，利用這些數據來確認這些知識，並確定一年中 ORPC 真正需要關注運營的特定地點，通過這些協助，很明顯有助於環境監測中更加專注和更有針對性。在過去的四年裡，ORPC 已經有超過 1 億條小鮭魚和超過 1000 萬條成年鮭魚通過測試機組。由這些測試成果，能夠確定與小鮭魚交互作用的次數非常少，它們會傾向於避開機組，在數百小時的視頻監測和觀察中，沒有任何情況表明對物種產生負面影響。

第四位講者為 Alan Berry，是 Marine Institute 的基礎設施研究部門經理，Marine Institute 負責海洋研究、技術、開發及創新，並在漁業和海洋環境監測方面為政府部門提供科學建議，機構大約有 200 名漁業和環境監測工作人員，其有一個小團隊，大約有 15 人左右致力於海洋能源。在會議中 Alan Berry 主要介紹在愛爾蘭西海岸戈爾韋灣的 Smart Bay 測試現場，說明 Marine Institute 在那裡進行的環境監測，以及所擁有的不同技術。Smart Bay 測試場為波浪能設備的規模測試場。雖然 Marine Institute 擁有並運營該地方，但開展運營的大部分資金則是由愛爾蘭能源管理局提供，因此該試驗場自 2006 年以來仍保持著運營，在 2015 年，Marine Institute 從愛爾蘭政府獲得資金，安裝了一個海底電纜天文臺，並與岸上的光纖連接，該地點位於離岸 1.5 公里處。多年來，Marine Institute 進行了環境監測、船隻調查、海洋哺乳動物觀察等，並研究了物種、豐富度及分佈的差異，繪製相關地圖，識別相關物種等作業。在天文臺本身，配有高清電視攝影機，水下監聽儀器，所有儀器收集的數據都是公開的，並以最高頻率進行 24-7 全天候實時監控。這樣做的原因是未來的研究人員可以回過頭來看看什麼是最合適的監測方法，這樣他們就可以對數據進行下採樣，看看他們是否仍然能看到他們在不同時間段內尋找到需要的信號。因此，Marine Institute 一般會以一秒的頻率對其進行採樣，隨著時間的推移，就需要存儲大量數據。Marine Institute 也開發了一種聲學陣列，用於對測試現場、海底外殼和分佈在電纜周圍的六個設備上的聲景進行辨識，目前已經測試完成並正在運行，相機部分則在過去五年中一年 365 天、24-7 全天候直播到網站上，這龐大的數據，僅靠人力是難以目視檢查所有這些數據和物種的，因此 Marine Institute 已經轉向人工智慧，不僅僅是物體檢測、物體識別，在資料庫上訓練機器學習模型，以識別攝影機鏡頭中拍到的所有不同物種，然後使用該資料庫，在攝影機拍攝時同步實時運行以識別所有物種，藉此消除人力需求，並且可以自動化更新資料庫。但有時候，當攝影機看不見，人工智慧將無法運行辨識功能，所以 Marine Institute 正在研究聲學攝像機朝聲納創新技術方向邁進。

第五位講者為 Naomi Wood，是 EMEC 的海洋能源商業發展協調人員，會議中主要介紹 EMEC 所做的環境監測，EMEC 成立於 2003 年，是一家海洋能源測試機構，目前有四個不同的測試網站，其中兩個是潮汐測試網站，兩個是波浪測試網站。今年是 EMEC 成立 20 周年，在過去的 20 年裡，EMEC 一直在收集所有測試領域裡的許多環境數據。EMEC 剛成立時，一直在做野生動物觀察專案，收集數百小時的數據，並參與特定於海洋能源技術的不同專案，以瞭解它們對環境的影響。就 EMEC 目前一直在探索的監控技

術而言，有三個是 EMEC 在測試場上執行的主要技術。第一個是在安裝在設備上和海床上的攝影機，這讓 EMEC 可以直觀地瞭解了海上部署周圍存在的情況。另一個是在聲學方面，EMEC 也和前面講者一樣透過使用水下監聽設備進行被動聲學監測。最後是 EMEC 也有主動聲學，透過設備發出聲音脈衝，音波會從海底、海洋哺乳動物等物體上反彈，並記錄它，也可以更加了解專案中魚類的存在。前面所提就是 EMEC 探索的監控技術，Naomi Wood 表示本次會議將重點放在介紹聲學，這是目前 EMEC 工作的關鍵部分，可以了解設備的聲學特徵以及海洋哺乳動物的存在。在 EMEC 的專案以及其他專案中都發現，海洋能源轉換器介於 10 赫茲到 1000 赫茲間，這是許多海洋哺乳動物可以聽到的範圍內。因此對於海洋哺乳動物來說，這是一個很好的提醒功能，可以藉此避開這些設備，這就是 EMEC 使用聲學的目的。最後，EMEC 未來有一個將要部署的 ADCP，主要用於海洋數據收集，它是主動聲學監測，所以可以在上面同時安裝一種叫做回聲測深儀的軟體，相信這將使 EMEC 對項目周圍海洋哺乳動物的存在更加瞭解。

七、 工業革命-規模化波浪/潮汐機組製造

首先由荷蘭海洋能源中心 (DMEC) 的 Yuki Esser 作為主持人並做開場引言，在前面幾個會議中已經看到了很多創新發展，從製造單個設備，到將它們放入水中運轉，都是技術上的突破，未來海洋能必須擴大規模，並轉向陣列，雖然在本次會議看到了一些非常好的例子，但未來還有很多挑戰需要解決。DMEC 正在努力加速海上再生能源解決方案，主要體現在三大構面上，創新、市場和公共事務，也就是需要正確的技術，產品與市場的契合度，以及制定海洋能的發展政策。Yuki Esser 認為這三件實際上對於擴大波浪能和潮汐能的製造是必要的，今天的會議專家將實際利用他們的專業知識，講述他們對這些主題的認知，以及如何擴大波浪能和潮汐能。

第一位講者為 Henry Jeffrey，是 Edinburgh of University 政策與創新小組的主席，Henry Jeffrey 同時擔任歐洲能源研究聯盟、海洋能源聯合計劃的主席，並擔任 IEA-OES 的主席，是業內的知名人士，Henry Jeffrey 表示今天的會議他將以 IEA-OES 英國代表的身份來與大家交流。IEA 上個月發佈了 2050 年全球淨零排放路線圖，Henry Jeffrey 給我們預覽了 IEA-OES 的補充路徑圖，展示海洋能為全球所提供的機會，報告預定在下個月的 COP28 之前發佈。該路徑圖在 IEA-OES 內進行了分析，IEA-OES 研究表示，海洋能源有機會在 2050 年之前安裝和部署 300GW，這 300 GW 同時可衍生超過 680,000 個相關的工作崗位，因此這是一個相當可觀的數字，另外全球經濟效益將超過 3400 億美元，最後是最重要的原因，這些部署將節省超過五億噸的碳排放。

Henry Jeffrey 認為這對海洋能已經感興趣的國家很重要，對後面想參與進來的國家也很重要，因為這是一個全球性的機會，IEA-OES 也非常清楚，如果沒有世界各國的政策干預和直接政策支援，這一切都不會發生。市場和電價是任何想要積極發展海洋能部署的國家所需的基礎，也需要有強大的創新技術推動機制來支援這個市場，並確保未來能有效地降低海洋能的成本。因此，Henry Jeffrey 將著重介紹一下這些領域中的情景分析，看看技術和電價的最佳平衡是什麼，這也是海洋能所需的長期信號，再加上技術推動機制，來確保公司能獲得他們所需正確的和有針對性的創新支援，為了確保能夠加速降低

成本，因此 IEA-OES 在部署這項技術時希望能夠最有效地利用公共資金，他們研究了一系列關於成本下降的速度以及全球整體國際市場池機制的成本的一系列情況。（詳細內容可參考 IEA-OES 於今（2022）年 11 月底發布到 2050 年開發 300GW 海洋能的國際路線圖報告）Henry Jeffrey 最後的總結是市場非常重要，需要長期保持一致，再加上公司降低成本的創新，對港口及供應鏈採取積極主動的方法，以確保未來沒有瓶頸。

第二位講者為 Pauline Caumont，是歐盟委員會海事及漁業總局（以下稱 DGM）永續藍色經濟部門的主管，她是在海事領域擁有豐富經驗的人之一，Pauline Caumont 協辦過歐洲藍色論壇和許多海上再生能源主題，本次會議將從 DGM 的角度提出觀點來交流。有關歐盟正在採取哪些措施來支援可從《歐洲淨零工業法案》得知，但對目前所有人來說在意的應該是想了解歐盟的資金資助什麼？歐盟如何為其提供資金？需要什麼條件？未來會是什麼樣子？歐盟正在做些什麼來支援這場工業革命？

Pauline Caumont 認為這將是關鍵之一，接著說明歐洲到 2050 年發展無碳電力和再生能源的承諾，歐盟設定了這些非常高的目標，對於海洋能源而言到 2027 年應該可以實現 100MW 的目標。今天在座的一些人可能會比較感興趣的一點是歐盟的資金運用，歐盟有目標、戰略及計劃，但歐盟具體做了什麼來達成實施這些目標呢？對於那些不瞭解海上能源可用資金來源的人來說，Pauline Caumont 也提供了一個清單

（https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/financing/eu-funding-offshore-renewables_en），到 2027 年有 € 151 億的資助，這是相當大的數額。另外預定在今年 11 月將有新的創新基金徵集提案，預算為 € 40 億，將用於小型、中型、大型專案。

第三位講者為 Michael Baumann，是 SKF 全球應用帳戶部門的經理，SKF 的專注於新興的海洋能源行業，在旋轉設備領域處於全球領先地位。SKF 涉及 40 個客戶行業、129 個國家／地區、77 個製造單位及在全球擁有 40,000 多名員工，基本上可以在世界各地獲得 SKF 的產品和解決方案，並擁有超過 17,000 家分銷商，SKF 去年的淨銷售額為 € 83 億元。SKF 專注於兩個核心價值主張，第一個是產品價值主張，產品需滿足客戶的特定應用要求，例如在海洋中，基於負載、疲勞、水壓、耐腐蝕性和發電量等參數，提供適合相應應用的解決方案；另一個性能價值主張則是一種商業關係，根據客戶要求提供 SKF 產品，並收取費用，客戶可以使用這筆費用從 SKF 這裏獲得穩定的產品和供應服務，固定費用部分可以按月或按季度支付，費用將取決於與客戶最相關的 KPI，有可能是大量的生產、正常運行時間、能源使用或與其運營相關的任何其他關鍵和相關的 KPI，因此，SKF 賺錢不是靠銷售的產品數量，而是靠與客戶的運營結果，換句話說，如果客戶的關鍵機器性能良好，我們也會獲益，如果目標沒有實現，SKF 也要分擔後果，這樣一來，雙方就不會再有利益衝突，與任何真正的合作夥伴關係一樣，既要分擔風險，同時也分擔回報。

接著 Michael Baumann 分享 SKF 為海洋能提供的具體產品，SKF 同時支援波浪能和潮流能專案。在潮流能專案中，SKF 為任何旋轉擺動應用提供軸承、密封件、潤滑和狀態監測技術，如轉子軸、齒輪箱、發電機、變槳和偏航應用，一般這些內含程式設計和計算等相關服務，在過去的 8 年裡，SKF 提供的完全整合方案也演變成一個焦點服務，從主軸單元、變槳和偏航系統解決方案到完全集成的動力總成解決方案，這些也越來越

貼近客戶的需求，這也是先進和潮汐原始設備製造商十多年來一直依賴 SKF 的原因之一。SKF 的產品和解決方案從早期原型階段就在現場測試了高達 10,000 個操作小時，並持續以這種方式穩步改進和優化來適應最惡劣的海水條件，也為商業規模做好準備。

此外，SKF 現在還為陸上和離岸風電行業提供大型主軸機組維修和大修服務，在同一工廠中，我們還擁有多個船軸部件的生產管道，如轉子軸密封件、唇形密封系統、單工型密封以及機械式密封等，Michael Baumann 想表達的是，SKF 具有擴大工業和製造業規模以及開發適合用途的產品的能力。

第四位講者為 Audrey Maclver，是 Highland and Islands Enterprise（以下稱 HIE）能源與低碳部門的主管，她在 HIE 工作了 30 年，她花了一半以上的時間，專注於確保可再生能源，特別是海洋能源的經濟效益。HIE 是蘇格蘭北半部的經濟和社區發展機構，包括近 100 個有人居住的島嶼。蘇格蘭的海岸線具非常有利的風、波浪和潮汐狀況，使得 HIE 非常重視海上再生能源。HIE 最近發佈了新的五年戰略，願景是使高地和島嶼成為一個領先的淨零排放地區，擁有充滿活力的福祉經濟、不斷增長的人口，並為整個蘇格蘭經濟做出有價值的貢獻，在實施該戰略時，HIE 也盤點出九個區域轉型機會。對於 HIE 來說，海洋能一直是長期的優先事項，因為這是這裡特殊的資源，因為 HIE 非常重視海洋能產生的經濟利益，特別是可以為沿海和偏遠社區帶來的經濟利益。迄今，HIE 在奧克尼參與建立 EMEC 也參與建立蘇格蘭波浪能公司，這證明了 HIE 對海洋行業的支援。自 EMEC 成立以來，已經有 20 年，現在擁有超過 75 名員工，EMEC 不僅是奧克尼的主要僱主，而且是蘇格蘭綠色能源領域真正重要的支柱。通過邊做邊學和研究多達 30 種以上的海洋能源技術，EMEC 顯著提高了全球對波浪能和潮汐能效能的理解。而蘇格蘭波浪能公司，它成立於 2014 年，主要用意在於真正幫助蘇格蘭保持其作為波浪能領域全球領導者的地位，確保迄今為止已經發展的知識、智慧財產權和專業知識，與 18 個國家的 300 多個組織合作，交付了 132 份合同並投資了超過 5,000 萬英鎊。

就海上專案而言，HIE 非常重視海洋能源機會，Audrey Maclver 透過簡報說明在蘇格蘭水域周圍正在部署或計劃部署的海上風能、波浪能和潮汐能等重大海洋專案，除了運營和在建專案外，還有可能再開發 33 個離岸風電專案，使那裡的總容量超過 45GW，-而波浪和潮汐的部分，現在則有 13 份租賃協定。Audrey Maclver 認為關鍵點在於海上開發專案的數量和綜合規模，以及它們為 HIE 以及整個蘇格蘭帶來的轉型機會，雖然各種供應鏈競爭因素最終將限制這些項目的建設，但顯然合作將是當下最重要的事情。就在上周，蘇格蘭的首席部長承諾投資高達 5 億美元，為港口提供基礎設施，以提供蘇格蘭風能使用。Audrey Maclver 認為海洋能源部門可以尋求與離岸風電部門合作，以確保港口基礎設施的發展能夠同步擴大海洋能發展的機會。最後，是 HIE 對可再生能源的堅定承諾，Audrey Maclver 認為 HIE 在公眾對可再生能源的接受程度方面有更廣泛的優勢，在圍繞海洋能源機會創造的機會，仍有改進的餘地，所以他們需要在這個領域做更多事情，但廣義上來說，HIE 已經具備了所有條件與要素，可以攜手打造令人驚歎的海洋能源產業。

肆、 參訪單位說明

一、 Symphony Wave Power (波浪能發電)

第一間參訪的公司為 Symphony Wave Power (以下簡稱 SWP)，這次的參訪是直接到位於 Den Helder (北荷蘭半島的最北端城市) 的 MultiMetaal，這裡是建造 SWP 機組組件的工廠，所以可以對準備組裝的組件進行近距離講解導覽，進入公司後由 SWP 創辦人 Fred Gardner 為我們講解 SWP 機組的運作原理，再帶我們到工廠以及戶外解說各組件核心功能，技術部分由 Fred 說明 (圖 1)，而製造組件的部分則由 MultiMetaal 的執行長 Pim Hulsebos 補充說明 (圖 2)，他同時也是 SWP 的投資者之一。



圖 1



圖 2

SWP 屬於點吸收式波浪機組，該技術主要是利用波浪週期性的作動所產生的能量帶動在彈簧室中的水去壓縮水輪機，水輪機再驅動發電機產生電力。SWP 組件的結構可分為中間的核心管體以及外面受波浪能量作動的殼體 (圖 3)，為了使機組運作達到最高效率，Fred 設計透過改變系統中的彈簧室，使設備調整到與波浪同週期以產生共振，另外也開發專為 SWP 機組用的雙向渦輪機 (圖 4)，並取得專利技術。

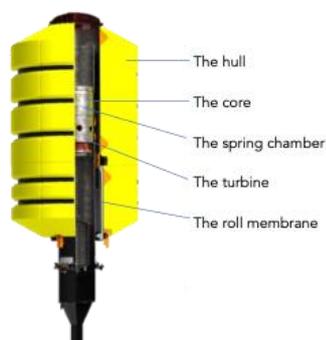


圖 3



圖 4

二、 Slow mill Sustainable Power (波浪能發電)

第二間參訪的公司為 Slow mill Sustainable Power，這次的參訪是直接到 Den Helder 港，那裡有一部安裝在 Texel 島 (Den Helder 港北邊的島嶼) 全尺寸的示範機組，待檢測調整後將重新下水安裝。因此也讓我們可以就近觀察，在共同創辦人 Erwin Meijboom 使用等比例縮小尺規的模型 (圖 5) 講解後，我們就開始參觀示範機組的鋼製浮體結構以及停泊在旁邊的安裝船。



圖 5



圖 6

「The Slow Mill - 40」是採波浪能發電的機組，由一個長 20m，直徑 2.5m 的浮體組成 (圖 6)，主要利用波浪上下和前後運動來運作，整個裝置遵循圓形或橢圓形的波路徑，但移動速度稍慢於波，因此取名為 Slow Mill。波浪將浮體向上推，葉片遠離錨，當波浪退去時，它將機組帶回其起始位置，在此期間，絞車會自動捲起將發電機組固定在錨上的電纜，為下一波波浪做好準備，另外其共振葉片可達水面下約 3m，藉此捕捉較大波浪能 (圖 7)。

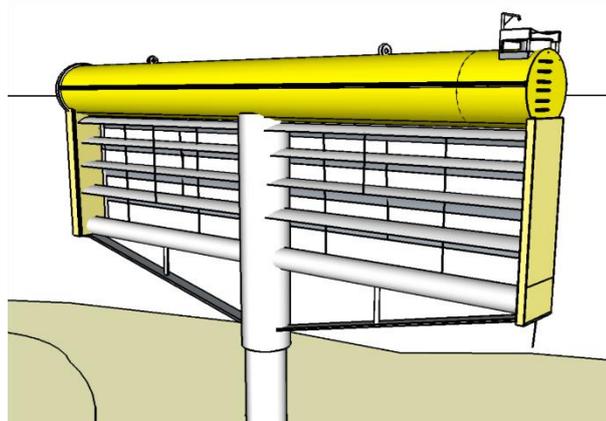


圖 7

三、 REDstack (鹽差能發電)

第三間參訪的公司為 REDstack，剛抵達時最先映入眼簾的是旁邊 Ijsselmeer 湖中矗立的離岸風場 (圖 8)，該風場由 89 部西門子歌美颯 4.3MW 的風機組成，合計 382.7MW，進入 REDstack 公司後由業務經理簡要的介紹該地理位置的特性以及鹽差能運作的原理 (圖 9)。



圖 8



圖 9

荷蘭的 Ijsselmeer 湖原本是 Wadden 海的一部分，1932 年全長達 32 公里的 Afsluitdijk 堤防建造後把 Wadden 海靠荷蘭陸地內側部分阻隔形成 Ijsselmeer 湖，既有的海水也隨時間演變成鹽度極低的淡水，因此成為發展鹽差能發電的理想環境。此地為該公司的試驗工廠，主要是透過逆電析法 (Reverse Electro Dialysis, RED) 原理，把鹽度低的 Ijssel 湖水和鹽度高的 Wadden 海水透過管道引入試驗工廠 (圖 10)，接



圖 10

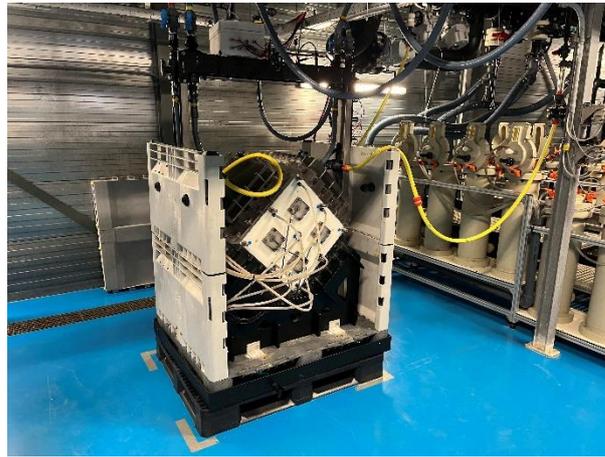


圖 11

著分別注入狹窄且分離的通道中，再緊密地堆積在一起 (圖 11)，使其中的離子在鹽度梯度驅動下通過半透薄膜產生電位差，再利用累積之電位差來發電。而鹽差能還有另一項優點是借助鹽度梯度功能，可以實現全年 365 天 24 小時進行生產。該試驗工廠現有的裝置容量為 50kW，業務經理表示經過荷蘭 Wetsus 機構和 KEMA 公司驗證該技術成熟度已進入 TRL 7 階段 (實際運行環境下的系統原型示範)，該公司目

前已獲得 Wadden 基金出資支持，將在 Afsluitdijk 堤防再建造新的鹽差能發電廠。

四、 Fish Flow Innovations（潮流能發電）

最後參訪的公司為位於歷史名鎮 Medemblik 外的工業區的 FishFlow Innovations，進入公司後由執行長 Gerard Manshanden 介紹該公司在潮流能發電方面的發展，並於介紹後，帶領我們到後方製造組件的工廠參觀及講解（圖 12）。

Gerard 曾是 IJssel 湖的一位漁民，在某次研討會和魚類生物學家談到在計劃期間發現泵浦附近出現大量魚類死亡現象，Gerard 便萌生設計能最大限度地減少對魚類影響的泵浦的想法，並將自己過去當漁民的經驗融入他對創新的熱情中。迄今，FishFlow Innovations 發展成為全球領先的魚類友善產品（魚類可安全通過）的新創公司之一，該公司現在擁有 8 項專利且產品遍佈 5 個國家。

FishFlow Innovations 在潮汐能發電方面主要為參與印尼的 Larantuka TidalBridge 計畫，Larantuka 海峽位於印尼，寬長約一公里，是印尼潮流潛能最大的海峽之一，最大流速在 4.5 至 5.0 m/s 間。該計畫預計使用 32 台 FishFlow 潮汐渦輪機（圖 13），葉輪採用類似螺桿的設計並安裝在管道中，以提高水流速度，目前該計畫尚於前端工程和設計階段。



圖 12



圖 13

伍、 心得及建議

一、 心得

本次前往荷蘭的波浪發電及相關新興能源開發技術研習不僅多方收集現階段國際上海洋能開發現況，也對於海洋能測試平台、申設程序及環評水下技術等有更進一步的了解。在會議中提前得知國際上具權威性的海洋能源組織 IEA-OES 於今（2023）年 11 月發布的「到 2050 年開發 300GW 海洋能的國際路線圖」的目標，概述波浪和潮流發電技術如何協助全球邁向淨零轉型的潛力以及所能創造的價值。雖然在國際上海洋能技術發展方面，目前除潮汐能達成成熟商業電場規模（TRL 8~9）外，其餘海洋能類型大多仍處於研發/示範階段（TRL 3~7），但在本次會議中可以發現，在歐洲各國大力推動海洋能的情下，在海洋能發電方面已有多項計畫取得建造資金，並朝示範機組階段或甚至是離商業化運營的程度不遠了。借鑒歐洲推動的步伐，可以發現大多取得建造資金的開發商，會在政府部門成立的潮汐或波浪測試場域取得驗證，證明示範機組具有發電成本效益後，再透過政府機關的政策推動或募資進行下一步。

如英國所推動的差價合約（Contracts for Difference），在離岸風電部分於 2015 年進行第一次競標，後續競標的模式成功支持英國朝低碳發電產業邁進，並大幅降低了發電成本，相比於 2022 年的競標，每 MWh 價格下降近 70%。而在差價合約第四輪推動加速低碳能源的部分更納入潮流發電並於去（2022）年 7 月公布結果，有 4 件潮流發電競標成功，合計 40.82MW；而第五輪推動加速低碳能源的部分則於今年 9 月公布結果，有 11 件潮流發電競標成功，合計 53.04MW，可以預見英國或想複製離岸風電成功的經驗，搶佔未來下一階段的藍色經濟。

本次前往荷蘭的研習也開闊了我們對海洋能的見解，在前往荷蘭參加本次由歐洲海洋能源協會在海牙舉辦的「2023 歐洲海洋能源年會」及荷蘭水能源協會安排拜訪坐落於荷蘭北部的四家海洋能尖端技術開發商的實地考察前，我們對於海洋能發展的印象仍停留在西班牙的防波堤式波浪發電廠 Mutriku（296kW）、法國的潮汐能發電廠 Rance（240MW）及工研院研發的點吸收式波浪發電機組（20kW）等。在參加完本次的研習後，與歐洲各國的學者、政府部門及開發商交流後，了解到目前國內於海洋能方面的制度和整體發展相對是落後於歐洲的，仍有許多值得學習和借鑑的地方，而本次赴海洋能發展先進國家進行交流並學習，期能將國際海洋能發展現況、電廠開發經驗回饋本公司現階段執行的海洋能研究及建置等相關計畫。

二、 建議

政府目前已宣示 2050 年再生能源發電占比達 60~70% 之目標，並規劃短期透過優先佈建成熟光電、風電等技術增加自產再生能源；中長期則規劃持續擴大光電及風電設置場域、扶植前瞻地熱、海洋能等新興能源技術及建構基載型綠電以極大化自產再生能源。近年在政府積極推廣再生能源下，光電及風力發電已逐步邁入軌道穩定成長，在中期規劃部分亦有逐漸飽和的趨勢，而新興再生能源如海洋能將成為下階段的開發選項之

一。台灣四面環海，擁有豐富的海洋資源亦具有發展海洋能的潛力，國內的政府部門及開發商也正陸續為未來布局，政府部門如國海院發展黑潮發電，透過與民間合作，已完成 20kW 浮游式洋流發電機組之研發，並預定 2024-2027 啟動 200kW 示範電廠計畫；開發商如台泥集團與海管專業廠商合作，計畫催生全球首座 MW 級 OTEC，並預定 2026 年併聯，另外同時也與 Minesto 合作，計畫在台灣發展潮流發電；本公司現階段也預定在綠島進行波浪發電試驗評估，期透過防波堤式波浪發電機組研發試驗後，進一步辦理示範電廠計畫，擴大海洋能的參與。

目前我國海洋能的發展目標為 2030 達成建置 1MW，建議可以先建立測試場域的機組驗證機制以及在申請程序方面針對相關法制進行優化，測試場域的部分，目前國立臺灣海洋大學有實海域測試場，可測試潮流能機組和波浪能機組，未來我國依海洋能技術成熟度可能採自行開發或與先進國家進行合作開發，建議透過加強驗證的機制來加速海洋能的發展；申請程序優化的部分，歐盟及各國亦陸續調整或更新海洋能政策，朝加速及擴大的方向前進，這部份則建議可研究並借鑑蘇格蘭海事局及美國聯邦管理委員會的制度，因為前述機關已具有實際執行經驗。

陸、 附錄