

出國報告(出國類別：訪問)

赴歐洲進行「淨零科研實證場域 國際溝通交流」

服務機關：國科會

姓名職稱：林法正副主委、洪樂文處長、

王宇豪助理研究員

派赴國家/地區：德國、荷蘭、英國

出國期間：114月9月15日 至 114年9月28日

報告日期：114月10月28日

目錄

壹、 出差資訊	1
貳、 摘要及參訪目的	3
參、 參訪行程內容	4
一、 參訪Fraunhofer IEG地熱.....	4
(一) 參訪目的.....	4
(二) 交流過程.....	4
二、 參訪於利希研究中心(Jülich).....	8
(一) 參訪目的.....	8
(二) 交流過程.....	8
三、 參訪Eavor GmbH深層地熱德國分公司.....	12
(一) 參訪目的.....	12
(二) 交流過程.....	13
四、 拜訪荷蘭海洋能源中心(DMEC).....	18
(一) 參訪目的.....	18
(二) 交流過程.....	18
五、 參訪CIP討論Zeevonk離岸風電製氫計畫	23
(一) 參訪目的.....	23
(二) 交流過程.....	23
六、 參訪荷蘭海事研究所(MARIN)	27
(一) 參訪目的.....	27
(二) 交流過程.....	27
七、 參訪Sheffiled大學創新能源中心(EIC)	31
(一) 參訪目的.....	31
(二) 交流過程.....	31
八、 參訪Sheffiled大學先進製造中心(AMRC)	37
(一) 參訪目的.....	37
(二) 交流過程.....	37
九、 參訪伊甸園計劃(Eden Project)及United Down地熱供電計畫	42
(一) 參訪目的.....	42
(二) 交流過程.....	42

十、	參訪查塔姆研究所(Chatham House).....	49
(一)	參訪目的.....	49
(二)	交流過程.....	49
肆、	參訪心得建議與結論	52
一、	參訪心得.....	52
二、	二期科技方案啟發與未來合作對象及方向	53
伍、	附件.....	56

壹、出差資訊

- 地點：德國、荷蘭、英國
- 時間：114 年 9 月 15 日至 114 年 9 月 28 日
- 團員名單：

編號	姓名	單位	職稱
1	林法正	國家科學及技術委員會	副主委
2	洪樂文	國家科學及技術委員會 /工程技術研究發展處	處長
3	王宇豪	國家科學及技術委員會 /工程技術研究發展處	助理研究員
4	張佳文	國家科學及技術委員會 /科技辦公室	組主任
5	周素卿	國家實驗研究院 /臺灣淨零科技方案推動小組	首席顧問
6	林耀東	國家實驗研究院 /臺灣淨零科技方案推動小組	主任
7	江茂雄	國家實驗研究院 /臺灣淨零科技方案推動小組	副主任
8	洪緯璿	國家實驗研究院 /臺灣淨零科技方案推動小組	召集人
9	林財富	國家實驗研究院 /臺灣淨零科技方案推動小組	召集人
10	林宜樺	國家實驗研究院 /臺灣淨零科技推動小組	專案副管理師
11	王兆璋	國立中山大學海下科技研究所	教授
12	趙修武	國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系	教授
13	歐昱辰	國家實驗研究院 /國家地震工程研究中心	主任
14	陳彥豪	台灣經濟研究院	所長
15	陳安峻	台灣經濟研究院	助理研究員

■ 行程表：

日期	行程	行程內容
9 月 15 日 (一)	搭機前往德國科隆	由桃園機場搭機前往德國科隆
9 月 16 日 (二)	搭機前往德國科隆	由桃園機場搭機前往德國科隆
9 月 17 日 (三)	參訪德國地熱研究機構 Fraunhofer IEG	交流地質探測、地熱開發與公眾參與議題
9 月 18 日 (四)	參訪德國 Julich 實驗室	交流燃料電池研發、測試實驗室，見證工研院與 Julich 簽署 MOU
9 月 19 日 (五)	參訪 Eavor GmbH 深層地熱公司(德國分公司)	交流深層地熱鑽探技術及合作可行性
9 月 20 日 (六)	交通移動	至荷蘭鹿特丹
9 月 21 日 (日)	工作會議、資料蒐集	討論深層地熱未來合作技術與國際交流議題、複合式海域能源淨零實場域驗證園區國際合作方向
9 月 22 日 (一)	參訪荷蘭海洋能源中心(DMEC)，以及位於阿姆斯特丹之 CiP	交流國際複合式海域能源推動現況，以及該組織協助推動方式。 下午拜訪 CiP 交流討論氫氨工廠建置規劃，以及氫氨供應鏈國際推動情形。
9 月 23 日 (二)	參訪荷蘭海事研究所(MARIN)。下午搭機前往英國 Sheffield	討論海事工程模擬至實場域建置之流程規劃設計，以及離岸封場與地區漁民共存之機制設計。
9 月 24 日 (三)	參訪 Sheffield 大學之 EIC 及 AMRC	討論 SAF 推動策略及淨零實場驗證園區建置規劃，與 SMR 未來推動規劃，探詢未來國際合作方向。
9 月 25 日 (四)	搭機前往 Cornwall，參訪 Eden Project 及 United Down Project	討論地熱政策發展現況及岩漿庫地熱推動規劃，參觀 Eden Project 之植物園區與討論地熱發電、供熱之開發與環境保護議題。
9 月 26 日 (五)	參訪查塔姆研究所(Chatham House)	交流循環經濟與國際合作議題
9 月 27 日 (六)	搭機返臺	由英國希斯洛機場搭機返臺
9 月 28 日 (日)	搭機返臺	由英國希斯洛機場搭機返臺

貳、摘要及參訪目的

配合我國未來淨零科技研究發展，以及六大部門減碳旗艦計畫所規畫發展政策目標，包含永續前瞻能源領域之低碳氫氨供應鏈之建置，地熱裝置容量短中長期目標如2025年20 MW、2030年1.2 GW，離岸風電擴大建置所需海域空間不足，需透過複合式海域能源政策規劃與推動、循環領域之永續航空燃料應用，以及SMR等技術項目，參訪各領域於國際具標竿性之機構與國家推動組織，了解國際最新技術發展趨勢及政策規劃。

目前淨零科技小組正進行2027~2030年淨零科技方案規劃，為了解國際最新淨零科技發展方向、科技趨勢、科研核心實驗設施規劃、實證場域布局、商業發展進程，由國科會林副主委領隊偕同會內科技辦公室、工程處、國研院等前往德國、荷蘭及英國拜會領域科研機構、智庫、研究中心、核心實驗室、實證場域及產業園區，交流我國現階段規劃構想，並就已規劃推動議題尋求潛在合作對象與目標，以期透過國際合作，加速淨零科技研究推進。

參、參訪行程內容

一、參訪Fraunhofer IEG地熱

(一) 參訪目的

弗勞恩霍夫能源基礎設施與岩土技術研究所(IEG)，透過整合能源領域中的技術、自然科學和經濟知識，結合地區產業，積極推動能源轉型。研究主題包含氫能、能源基礎設施和產業鏈結、地熱能開採和儲存、鑽探技術、地質資源及其所需技術組件的開發、能源技術和二氧化碳捕獲等¹。

該研究所於在亞琛市區建立研究基礎設施名為「弗勞恩霍夫萊茵蘭真實世界地熱實驗室」(Fraunhofer Geothermal Real-Lab Rheinland)²，以研究北萊茵-威斯特法倫州深層地熱能的潛力，該實驗室於Weisweiler建立深層地熱測試基地，進行地熱鑽探、地質觀測與儲熱研究，支援區域供熱及政策規劃；鑽探技術創新之GeoDrill計畫，開發新型錘擊式鑽探工具與低成本感測器，以降低鑽探成本與風險。

Fraunhofer IEG亦積極參與EU的國際合作示範項目，例如Global Georesources專案為涵蓋多樣地下資源利用(包含CO₂、氫氣與儲熱空間等)，並與歐洲研究機構、工業界合作推動跨境地熱應用項目。此外，IEG也參加歐盟及區域合作計畫，將其創新技術延伸至不同能源市場與地區。

德國過去深層地熱、地質探測與鑽井技術等有很多先進技術與深層地熱案場開發經驗，期望本次交流可促進雙邊的了解，並且促成台灣的相關單位與德國的研究機構(例如Fraunhofer IEG)跟產業合作，加速地熱資源開發與產業化

(二) 交流過程

1. 交流過程紀要

本次拜訪係於德國波鴻(Bochum)與Fraunhofer IEG團隊進行交流會議，議題包含正式拜訪Fraunhofer IEG之研究內容安排討論，以及針對近期台灣地熱減碳旗艦計畫、淨零科技方案推動小組政策及國內岩漿庫地熱之發展規劃進行交流。

首先由Fraunhofer IEG所長Rolf Bracke教授介紹該組織之研究領域，致力於協助政府與企業推動能源轉型，研究領域主要可劃分為(1)網絡、能源與程序工程：發展高溫熱泵、氫能與先進熱網技術，以推動產業與能源供應部門的低碳轉型；(2)系統整合與自動化運行管理：運用人工智慧與數據驅動的能源監控系統，實現分散式智慧能源管理；(3)基礎設施與社區整合規劃：透過跨部門的電、熱、氣、水素網絡整合，建立城市與地區層級的永續能源規劃；(4)地熱與地質技術：專注於地上與地下能源的開採、儲存與利用，並推動地熱能的商業化應用；(5)鑽探與地層工程：與產業合作開發創新的深層鑽探與地層分析技術，以確保能源開發的安全性與效率；(6)數位地質與資料管理：建立地質資料數位化系統，用於儲層模擬與風險分析。

¹ Fraunhofer IEG. (2025). We design the climate-neutral energy systems of the future. <https://www.ieg.fraunhofer.de/en.html>.

² Fraunhofer IEG. (2025). Field Scale Laboratory for Geothermal Energy Rhineland <https://www.ieg.fraunhofer.de/en/references/laboratory-geothermal-energy-rhineland.html>.



圖1、Rolf Bracke教授介紹研究領域主題

Claudia Finger博士介紹於德國地質探測與地熱開發之法律研究主題，該主題以地熱開發商執照取得議題進行，Fraunhofer IEG所選之試驗場址多為開採後的煤礦遺址，可大量利用地底空間作為能源性儲存空間，且由於德國冬天溫度較低，大部分居民皆有供熱之需求。再者，德國與台灣地質環境條件最大的不同在於，德國地震發生機會較少，地方居民對於因地熱開發而造成地熱的疑慮較少，故對於區域開發地熱較採歡迎的態度。

德國目前取得地熱電廠商業化之執照約6-9個月，且電廠商業化執照可涵蓋探勘及研究執照，故取得商業化執照即可進行地熱案場開發。德國地熱之執照取得，整體申請時間仍較台灣申設時間長(約3個月)，但所需執照較台灣單一(台灣仍須經過環評、電廠執照等)，後續雙方可就地熱開發申設程序，進行意見交流，提供相關資訊，提供台灣地熱電業執照取得之法律研究專案參考。



圖2、Claudia Finger博士德國地熱法律議題介紹

計劃利用聲波探測萊茵蘭地區之地下深處，以探測地底如岩石類型、孔隙度、透水性和天然水源等地質情況，其研究所內設有鑽探設備測試儀器，以試驗不同業者之鑽探設備可進行的地質環境條件，作為後續地熱開發之數據基礎與可用設備之參考。目前正規畫建置名為「萊茵蘭地熱真實世界實驗室」之大型地熱能研究基

礎設施，作為地熱資源和脫碳研究中心。除透過將地下廢棄煤礦進行熱能利用外，亦配合太陽能、氨與丁烷等能資源，並結合朗肯循環(Rankine Cycle)技術將熱能溫度提升後，提高能量的轉換與應用。Fraunhofer IEG於地熱資源開發之場址，都將設置不同的觀測設施如Geo2.0，讓地區民眾能更了解地熱資源的利用與開發情況，提高公民意識，讓地熱看得見。



圖3、地熱供熱設備結合太陽能與儲能之複合設施



圖4、鑽井設備之鑽探測試儀器



圖5、Geo2.0地熱觀測設備

2. 交流過程剪影



圖6、國科會林法正副主委與Rolf Bracke教授合影



圖7、國科會、能源署及工研院參訪Fraunhofer IEG之合影

二、 參訪於利希研究中心(Jülich)

(一) 參訪目的

於利希研究中心(Forschungszentrum Jülich GmbH, FZJ)是歐洲最大型的跨領域研究機構之一，隸屬德國亥姆霍茲協會(Helmholtz Association)。該機構擁有約7,600名員工、涵蓋10個研究所與80多個子研究單位，主要研究領域聚焦在能源轉型、資訊科技與生物經濟³。此外，該中心亦擁有超級運算中心、奈米技術潔淨室、粒子加速器等先進科研設施，並廣泛開放外部使用者進行研究。

FZJ與國家科學及技術委員會(NSTC)合作推動雙邊研發計畫，例如名為MacGyver 的專案，聚焦綠色氫氣的生產、物流與應用三大領域。由FZJ與台灣多所頂尖大學聯合執行，促進了材料科學、電化學到系統工程的跨領域合作。此外，FZJ也與工研院(ITRI)在微電網、能源儲存與智慧園區領域展開Living Lab形式的合作，深化交流與實作經驗。

此次赴德國尤利希研究中心(Forschungszentrum Jülich)的目的之一為見證工業技術研究院(ITRI)與尤利希簽署「低碳氫氨能源生產及微電網應用合作備忘錄」⁴。此合作旨在結合台德雙方於氫能技術、儲能與再生能源領域的專業與研發能量，推動潔淨能源與分散式能源系統的創新應用，並拓展至永續燃料、地熱及先進材料等領域，強化雙邊科研合作，共同加速邁向2050淨零轉型目標。

(二) 交流過程

1. 交流過程紀要

德國亥姆霍茲國家研究中心聯合會(Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren, HGF)為德國最大的科學研究機構，由19個各自獨立的自然科學、工程學、生物學及醫學之研究中心組成，年經費超過50億歐元(1,750億元新台幣)，其中Jülich為其中一座研究中心。此次參訪於Jülich之研究中心為能源材料與設備研究所(IMD)與能源技術研究所(IET)，了解其燃料電池、電化學、能源材料研究設備與類型，展示其技術成果與未來研究方向。

首先參訪於Daiel計畫中建置之1.75 MW的電化學電解槽測試平台，此為於研究室試驗中建置規模最大的研究設備。該計畫研究重點為進行長期測試及模擬不同情境之負載條件，觀察老化效應對電解效率的影響，以推展新一代電解技術發展與商業化，並以擴大氫能經濟的規模為計劃目標。

此研究設施由西門子能源(Siemens Energy)提供堆疊技術，並與研究團隊合作，驗證新一代質子交換膜(Polymer Electrolyte Membrane, PEM)電解槽的性能與壽命。該電解槽以10 bar加壓運行、運作溫度目前為60至80°C，可同時生產氫氣並降低後續壓縮成本。目前電解槽仍採用全氟磺酸(PESA)材料，此類材料雖具有高穩定性與導電效率，但在製造與降解過程中可能釋出有毒化合物，故透過ICP-MS精密分析、嚴格監測進水品質，並以電化學量測與氣體分析評估堆疊效能，且該系統使

³ Forschungszentrum Jülich. (2025). About Us. <https://www.fz-juelich.de/en/about-us>

⁴ 工業技術研究院(2025)。工研院攜手德國于利希研究中心 助力臺灣氫能應用與淨零轉型。
https://www.iti.org.tw/ListStyle.aspx?DisplayStyle=01_content&SiteID=1&MmmID=1036276263153520257&MGID=114092310284079728.

用去離子水運行，並不直接採用海水電解，以避免對設備造成損害。

此外，該計畫核心目標是「降低電解槽壽命風險(de-risking)」，確保未來商用系統的可可靠性，並可穩定運行50,000至100,000小時，故建立「有效運轉小時」模型，模擬電網波動與可再生能源間歇性供電情境，透過頻繁啟停與負載變化進行加速老化試驗，以加速堆疊耐久性驗證，也致力於探討氫能設備在能源轉型中的實際應用價值。PEM電解槽反應靈敏，可在一秒內完成啟停，特別適合與風能、太陽能等間歇性再生能源整合，用於電網穩定與綠氫生產。雖然其成本與效率尚需持續優化，但相較於高溫電解(SOEC)，PEM技術在動態調控上更具優勢。研究團隊目前亦透過拆解與電腦斷層掃描分析，觀察催化層與膜材料的微觀變化，以確保長期運行的可可靠性。此計畫被視為歐洲推進氫能技術實證與產業鏈建立的重要里程碑，為未來氫能經濟奠定關鍵基礎。

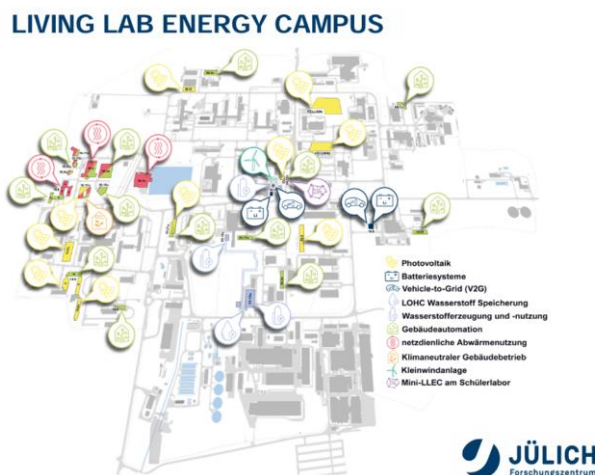


圖8、FZJ電化學電解槽測試平台

再者，參訪於FZJ之生活實驗能源園區(Living Lab Energy Campus, LLEC)計畫各項設施，該計畫自2018至2019年啟動，並由多個研究所共同參與，目標是建置能源實場域驗證園區並多種能源示範系統之研發，例如鋰電池儲能設備、車輛雙向充電系統(Vehicle-to-Grid, V2G)、太陽能光電(PV)設施，以及建築能效感測網路。整個專案的關鍵在於「整合」，也就是所有示範系統最終都將透過智慧控制系統虛擬聯結。這套控制系統採用模型預測控制(Model Predictive Control, MPC)架構，結合氣象模型進行能源調度。例如當天氣晴朗時，太陽能發電量提升，系統會自動為鋰電池充電；當電池已滿電，多餘電力便可導向電解槽產氫儲存，夜間或無光時，再以燃料電池將氫氣轉化為電力供應校園使用，形成封閉的再生能源循環。

在具體設施方面，目前校園擁有1.5 MW的太陽能系統，並嘗試各種應用形式，例如屋頂型、外牆型、步道型、遮棚型與農業型光電(即農作物種植於光電板下方)；而儲能系統部分則有高能量系統(Tesla Megapack，容量2.6 MWh、功率約600 kW)及高功率系統(525 kWh、1,500 kW)等兩種鋰電池設備，具備不斷電供應(UPS)功能，可在停電時立即接手供電，確保建築運作不中斷。此外，亦進行車輛雙向充電技術研究，讓電動車可在電網需電時反向放電，支援電力調節。未來當電解槽產氫技術與LOHC系統全面整合後，氫能將可參與校園能源網的儲存、轉換與供熱。

最後，在建築端的窗戶設置溫度與二氧化碳感測器，並連結使用者行事曆，自動調整辦公室溫度與空調效率；若冬季開窗導致能源浪費，系統會發出提醒信件，期望透過能源生產、儲存、轉換與使用的全鏈整合，打造高效、智慧且可再生的校園能源生態系。



資料來源：Jülich

圖9、生活實驗能源園區(LLEC)之相關基礎設施

最後參加FZJ與工研院簽署「低碳氫氨能源生產及微電網應用合作備忘錄(MoU)」，而雙邊未來合作策略規劃，將聚焦氫(氨)燃料電池發電系統的共同研發，因目前以氨為進料發電之SOFC燃料電池技術，雙方仍為技術研究中，但德國已有對應之電堆發展技術，但尚未有以燃料電池進料的技術，僅進行初步的學術研究，而台灣對於燃料電池的技術組裝已足夠成熟，雙方可就固態燃料電池進行研究合作。



圖10、國科會林法正副主委見證FZJ與工研院簽署MOU

2. 交流過程剪影

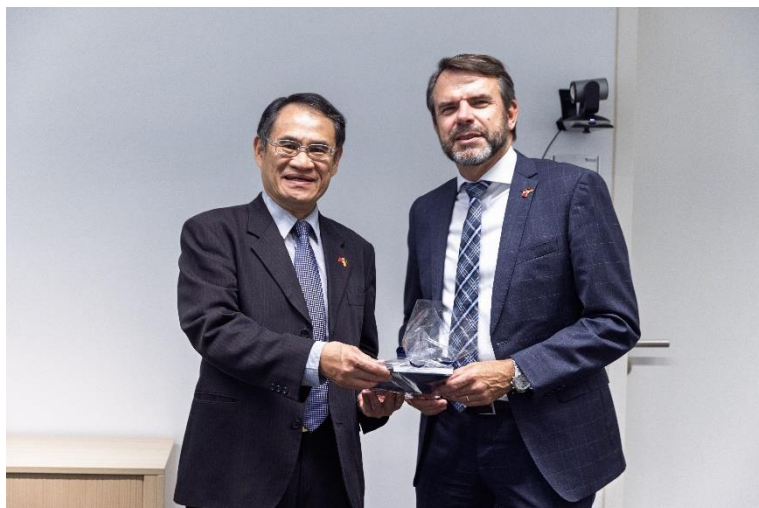


圖11、國科會林法正副主委與科學第二部門董事會成員Ir. Peter Jansens教授



圖12、國科會林法正副主委與能源技術研究所所長Rüdiger-A. Eichel教授合影



圖13、參訪團全員與FZJ、能源署及工研院成員於於利希研究中心(Jülich)

三、 參訪Eavor GmbH深層地熱德國分公司

(一) 參訪目的

Eavor GmbH隸屬於加拿大 Eavor Technologies Inc.，專注於發展創新的地熱發電技術與電廠營運，該公司最為知名的為其「Eavor-Loop™」閉環地熱技術，透過建立地下熱交換迴路，無需依賴傳統地熱所需的高滲透性岩層或大量水資源。

主要研究與技術發展集中於閉環地熱系統設計、鑽井與材料工程，以及熱流體力學模擬，以確保能源輸出的穩定性與高效率，亦積極探索Eavor-Loop™ 在電力生產、區域供暖、工業製程及氫能復合應用上的潛力⁵。Eavor技術的優勢在於可規模化部署，並能在不同地質條件下運作，大幅降低傳統地熱開發的地質風險與可能的環境影響。

Eavor於歐洲各國開發深層地熱示範案場，例如位於德國之Geretsried地熱開發計畫為Eavor在德國的首座商業型Eavor-Loop™項目、法國與荷蘭等地規劃建置Eavor-Loop™示範場域，且國際合作之利害關係人包含能源企業、研究機構、銀行機構與政府單位，以加速推動國際閉環地熱技術、深層地熱示範計畫與商業化應用，並期望Eavor所擁有之深層地熱技術，可成為全球能源轉型之基載能源供應解決方案。

此次參訪德國Eavor GmbH旨在了解其母公司加拿大 Eavor Technologies Inc.所開發之創新閉環地熱技術「Eavor-Loop™」的研發與應用現況。該技術透過地下封閉式熱交換迴路進行能量轉換，可在多樣地質條件下運作，具高穩定性與低環境風險。此行重點在探討該技術於台灣深層地熱開發之可行性，評估其於電力生產與產業供熱的應用潛力，並尋求未來技術合作與示範場域開發的可能方向。



資料來源：Eavor GmbH

圖14、Eavor公司於德國Geretsried地熱發電示範場域

⁵ Eavor GmbH. (2025). Functionality and technology of the Eavor-Loop™. <https://eavor.de/en/technology/>.

(二) 交流過程

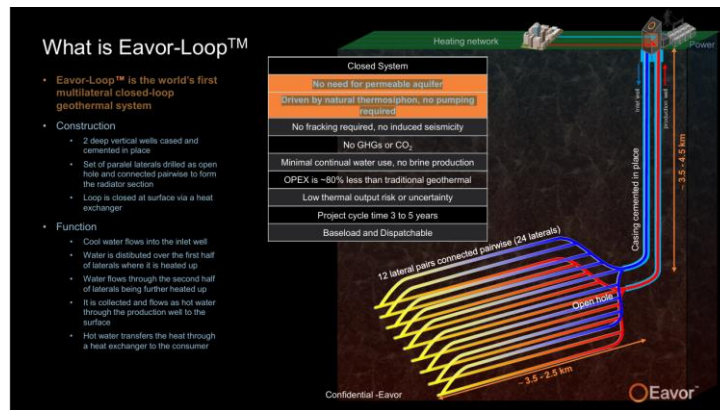
1. 交流過程紀要

本次參訪加拿大Eavor GmbH之德國分公司，係就深層地熱技術開發、未來發展規劃、案場開發情況及未來可合作方向等層面之參訪目標，首先由國震中心歐昱辰主任介紹我國地熱潛能、政策規劃目標、案場開發現況與未來規劃等議題，著重於我國未來發展岩漿庫地熱之可行性，並期望藉此次交流，獲取於深層地熱開發之技術建議與探詢未來合作方向。



圖15、國震中心歐昱辰主任介紹我國地熱發展現況

再者由Eavor公司之臨時副總Neil Ethier介紹該公司及其所研發之AGS深層地熱技術，該公司所研發之Eavor-Loop是全球首創的多分支封閉式地熱系統(multilateral closed-loop geothermal system)，其最大特色是不需依賴滲透性含水層，並以自然熱虹吸(thermosiphon)原理驅動，無需使用抽水設備。系統藉由鑽設兩口深層垂直井，並以套管固定與水泥密封，再鑽出多條平行的橫向井道(laterals)，這些井道成對連接形成「散熱器」結構，最終在地表以熱交換器封閉迴路，構成完整的循環系統。運作過程中，冷水由注入井流入，經過前半段橫向井道時逐漸吸收地熱升溫，再通過後半段井道進一步加熱，最後以熱水形式經由生產井返回地表，透過熱交換器將熱能輸送至使用端，整個系統完全封閉、無流體外洩風險，可在無裂隙岩層中穩定運作。



資料來源：Eavor GmbH

圖16、Eavor-Loop深層地熱技術介紹

此外，而Eavor-Loop™ 之深層地熱技術細項包含：

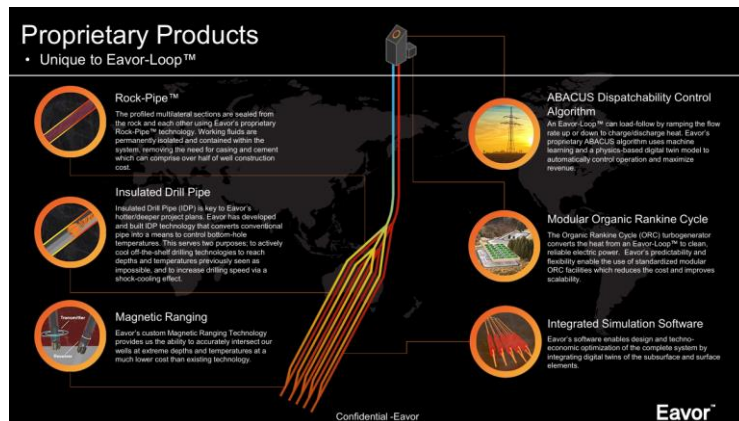
(1)Rock-Pipe™ 岩層管技術：用於密封多分支井段，使其與岩層及彼此之間完全隔離。工作流體被永久封閉於系統內，不與地層接觸，因而不需使用傳統的套管與水泥，可節省超過一半的井筒建造成本。

(2)ABACUS 調度控制演算法：可藉由調整流體流量實現負載追蹤(load-following)，達到熱能的充放功能，以及ABACUS演算法，結合AI學習與基於物理的數位孿生(digital twin)模型，以自動控制系統運行並最大化收益。

(3)隔熱鑽井管(Insulated Drill Pipe, IDP)：為深井與高溫鑽探計畫的核心技術。Eavor 開發的IDP技術可將傳統鑽井管轉化為控制井底溫度的工具，具備主動冷卻標準鑽井設備，使其能達到過去被視為無法實現的深度與高溫條件，以及「衝擊冷卻效應(shock-cooling effect)」提升鑽井速度等兩大功能。

(4)模組化有機朗肯循環系統(Modular Organic Rankine Cycle, ORC)：ORC 渦輪發電機可將 Eavor-Loop™ 產生的熱能轉換為穩定且潔淨的電力。由於 Eavor 系統具高度可預測性與靈活性，可採用標準化模組化 ORC 設施，以降低成本並提升擴充性。

(5)定向磁力探測技術(Magnetic Ranging Technology)：自主開發的磁測定向技術能在極深與高溫環境下，以遠低於現有技術的成本，精確對接井洞(intersect wells)，確保封閉迴路系統的完整連接。



資料來源：Eavor GmbH

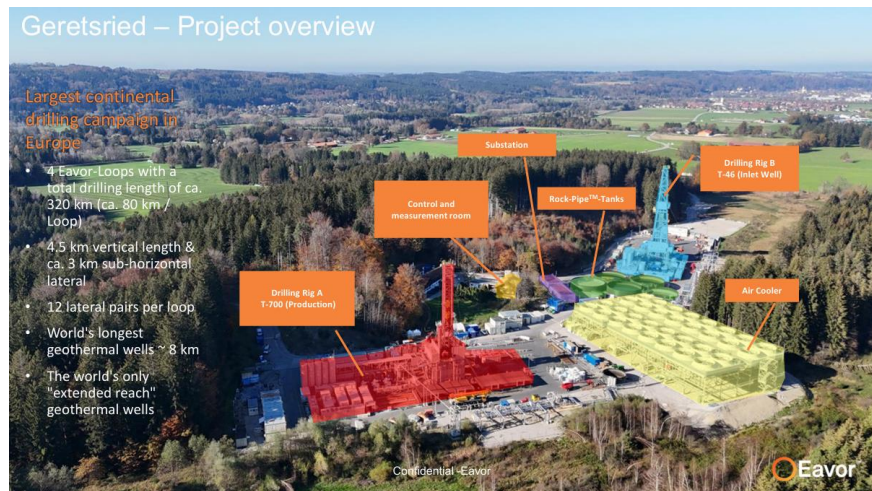
圖17、Eavor-Loop™深層地熱技術細項介紹



圖18、Eavor公司Neil Ethier臨時副總介紹深層地熱之學習曲線

目前於德國的進行之地熱示範實場域，為位於德國巴伐利亞州(Bavaria)的Geretsried專案，為歐洲大陸最大規模的深層地熱鑽探工程之一，且是全球唯一的「超長延伸(extended reach)」地熱井設計，規劃興建4個Eavor-Loop系統，總鑽井深度約320 km(每個地下迴路系統約80 km)。每個迴路系統包含4.5 km深的垂直井與約3 km的平行橫向井段，並設12對橫向分支井。該專案預計分階段開發，第一階段可達8 MW電力與64 MWth熱能輸出，第二階段目標將擴展至200 MW。首批發電容量2 MW預計於2025年併網(於2025年8月第一次測試併網發電)，整體全面運作則預計於2027年。該計畫由歐盟創新基金(EU Innovation Fund)提供補助約9,160萬歐元(約32.5億元新台幣)，股權結構以中部電力公司(CHUBU Electric Power)持有41.25%、Enex持有2.5%，其餘則由Eavor與其他合作夥伴共同持有⁶。

⁶ Eavor GmbH. (2024). € 130 Million of New Funding to Propel Eavor-Loop™ Power Plant at Geretsried. <https://eavor.com/blog/e130-million-of-new-funding-to-propel-eavor-loop-power-plant-at-geretsried/>.



資料來源：Eavor GmbH

圖19、Eavor於德國之Geretsried專案

Eavor作為深層地熱開發技術的領先提供者，具備協助台灣推動地熱開發的潛力。然而，其是否進入特定國家市場，主要取決於市場機會、潛在採購者、開發法規以及產業供應鏈等因素。因此，必須先評估國內地熱供應鏈現況與市場潛力，作為未來合作開發地熱資源的基礎。Eavor目前所研發的封閉式深層地熱技術主要應用於非酸性循環水環境，在台灣的潛在應用區域以中央山脈以西的地熱場址為主。由於台灣缺乏油氣資源，尚未形成成熟的油氣產業基礎，地熱開發多以引進國際先進技術為主。因此，導入並建立先進地熱技術的本地化評估與應用能力，將是加速台灣地熱資源開發的關鍵。建議由台灣研究機構與 Eavor 共同推動技術應用評估合作計畫，從技術可行性、經濟成本、風險管理與法規環境等面向進行綜合性研究，以作為推動台灣地熱產業升級與永續發展的重要基礎。

2. 交流過程剪影



圖20、國科會林法正副主委與Eavor公司之臨時副總Neil Ethier合影



圖21、參訪團全員與Eavor GmbH公司團隊合影。

四、 拜訪荷蘭海洋能源中心(DMEC)

(一) 參訪目的

荷蘭海洋能源中心(Dutch Marine Energy Centre, DMEC)是一個專注於促進海洋能源技術開發和應用的業務支援組織。該中心致力於在荷蘭境內和國際上推動海洋能源的發展，並提供資金支持和測試服務，以促進海洋能源技術的商業化和市場應用。荷蘭海洋能源中心的任務包括測試和驗證海洋能源技術的效能和可行性、提供技術支援和諮詢服務、推動產業發展和政策制定等。

該中心主要擔任國際海域再生能源推動計畫之負責人或合夥人，其中最為知名的國際海域能源推動計畫EU-SCORES計畫，選定歐洲兩個已發展海域能源且具有影響力的示範案場，分別為比利時的Blue Accelerator測試場域及葡萄牙的WindFloat Atlantic浮式離岸風場。目前已於2023年開始海域能源設施之部署，如波浪能陣列及離岸光電系統設備之建造，並在部署階段完成電力整合之測試與應用，預計於2025年擴大設施建置規模⁷。

該中心業務為協助不同再生能源計畫尋找合適之測試場域、提供研發經費補助，以及與地區組織或國際組織溝通協調海上再生能源設備之建置，因此無營運相關實體測試場域。此中心利用技術經濟模型MultiORE和GROWTH模型計算海上再生能源系統建置相關建置成本與經濟效益評估，以及此類複合式海域能源園區與海域能源之商業化規劃建議、市場規模及供應鏈評估，並以此制定相關建置與評估標準，作為後續各國建置複合式海域能源示範案場之參考依據⁸。

DMEC為國際多源海域能源示範專區(EU-SCORES)的先驅，期望於示範場域選址評估、營運模式的建立，以及國際合作的模式，期望藉此訪問未來可促成與國內產學機構之交流，促進未來雙邊之合作，加速海域能源開發。

(二) 交流過程

1. 交流過程紀要

本次參訪位於荷蘭海牙之荷蘭海洋能源中心(DMEC)，係就複合式海域能源相關系統特色技術、案場建置案例及該機構推動現況等層面為參訪討論目標，該場會議由淨零科技方案推動小組之江茂雄副主任及台經院陳彥豪所長報告，首先介紹我國綠色成長願景與2050年裝置容量目標，以及淨零推動小組職能與未來科技方案方向與規劃，並期望藉由建置淨零實場域驗證園區及樞紐，加速科技計畫成果落地與擴散至國內各特色地區形成樞紐。再者，由江茂雄副主任介紹我國離岸風電裝置容量現況、離岸風電區塊開發規劃與進程、減碳旗艦計畫及複合式海域能源淨零實場域驗證園區與樞紐之規劃與潛在場址，重點著重於離岸風電之裝置容量目標與面臨之挑戰，期望透過產官學研等各利害關係人之協作，建立複合式海域能源示範驗證實場域。

⁷ EU-SCORES. (2025). European Scalable Offshore Renewable Energy Sources. <https://euscores.eu/>.

⁸ DMEC. (2025). Research. <https://dmecc.eu/about-dmcc/research>.



圖22、台經院陳彥豪所長報告淨零科技方案推動規劃



圖23、江茂雄副主任報告複合式海域能源推動策略及淨零實場域驗證園區(Net-Zero Campus)之規劃

由DMEC之執行長Benjamin Lehner博士介紹該機構於複合式海域能源之推動角色、案場建置情況與目標。面對能源與糧食安全、氣候及生物多樣性等國際議題，需透過規劃建置多源海域能源園區以提高海域能源發電穩定性與自主性、加速海域能源建置及減少環境影響，而可複合的海域能源為離岸風電、太陽光電及波浪能，並將具有提升離岸氫能的商業可行性之潛力，且可與離岸儲存技術結合。此外，DMEC 亦提供環境監測策略、影響評估、技術標準化與認證等專業支援。

DMEC於複合式海域能源示範專案中，主要作為評估離岸場域與整體系統的技术與財務關鍵績效指標之角色，執行內容包含從能源資源與設備輸出分析到整體功率計算，並針對特定功能設計儲能量，評估於各別海域能源技術於示範場域中的角色與整合之可行方式。同時，進行整體系統之全生命週期成本評估，藉由分析自案場建置、運行至退役的總體成本，以評估複合式海域能源系統在運行期間的經濟效益與投資回報，作為整體技術與財務可行性的依據。而DMEC開發多項計算模型與研究工具，用於支持海域能源(Offshore Renewable Energy, ORE)及相關技術的評估與決策，所開發之模型為以下：

- **multiORE**模型：是一套針對公用規模能源園區的技術－經濟與財務模型，能整合多種海域能源與Power-to-X技術。
- **PriceModel**模型：用於特定國家的電價預測，根據政策措施與歷史數據進行分析；**LCA** 模型則用於評估不同設計條件下海洋再生能源與儲能技術的生命週期排放與環境影響。
- **GROWTH**模型：可預測各類海洋再生能源技術的市場成長與成本下降趨勢，作為產業發展與政策制定的重要依據。
- **OceanScope**：為離岸再生能源與永續性空間決策支援系統，可協助進行場址規劃與可持續發展評估。

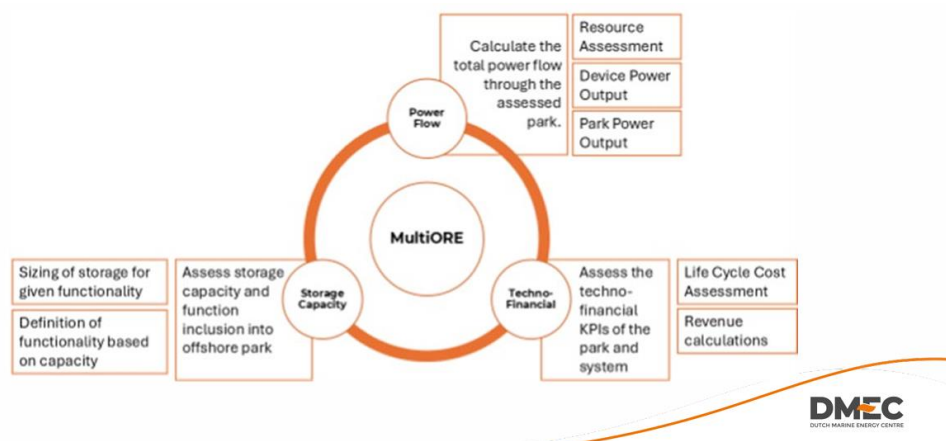


圖24、DMEC之multiORE經濟模擬模型

DMEC經濟模擬模型廣泛應用於多元化的離岸再生能源場域與市場情境中，支持從技術設計到經濟可行性分析的整體決策。其模型可用於模擬多能源整合的綜合型能源園區，並透過自主監測與人工智慧(AI)進行營運優化；同時，也能評估兼顧生態共融設計的離岸能源園區效益，推動自然友善型開發。此外，模型亦適用於小型電網供電、能源樞紐與離岸能源島建置，以及現有離岸平台的電氣化與再利用方案，為能源轉型與海域綜合利用提供具體的技術與經濟決策支援。

Market Use Cases

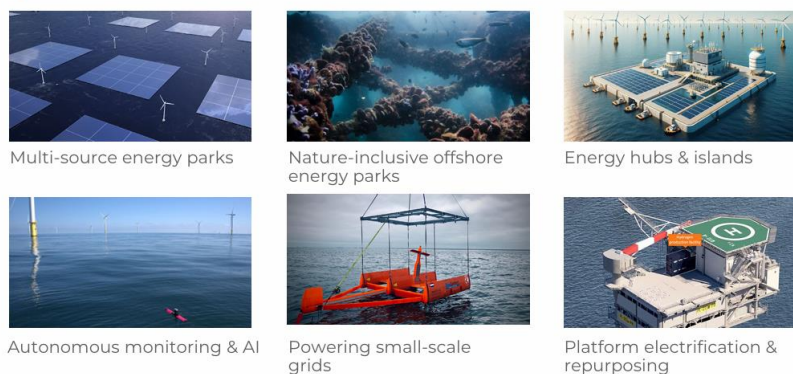


圖25、DMEC之經濟模擬模型於市場應用案例

此外，由於北海海域空間資源與地理位置特性，更需透過國際合作之方式，共同合作推動複合式海域能源示範實場域及專案進展，故DMEC的合作夥伴包含技術開發業者、市場需求端、研究機構與政府，期望以DMEC作為溝通橋梁，建立跨國性之利害關係人協作機制，共同推動於北海的多元空間利用之複合式海域能源政策與技術發展，並將北海成功之複合式海域能源示範案例與經驗推廣至全球，加速全球於海域能源技術發展程度與淨零碳排之目標。



圖26、DMEC於全球之合作夥伴關係介紹

2. 交流過程剪影



圖27、國科會林法正副主委與DMECDMEC執行長Benjamin Lehner博士合影



圖28、參訪團員與DMEC團隊合影

五、 參訪CiP討論Zeevonk離岸風電製氫計畫

(一) 參訪目的

哥本哈根基礎建設基金(Copenhagen Infrastructure Partners P/S, CiP)為丹麥的一家基礎建設投資公司，成立於2012年，專注於綠地可再生能源投資，尤其是在海上與陸上風電領域，是全球最大的專注於綠色基礎設施的投資管理機構之一⁹。目前管理約320億歐元資金，項目涵蓋海上與陸上風電、太陽能、電網傳輸、儲能及Power-to-X等領域。

Zeevonk計畫為CiP與Vattenfall於荷蘭合作的示範專案，該計畫內容為建設2 GW離岸風電風電、50 MW海上型光電，以及設置大型電解槽裝置於鹿特丹港區內，以生產綠氫並預計將部分電力供應給予Google，預計於2029年正式運轉，Zeevonk期望成為整合離岸海域能源與氫能產出之複合式示範項目¹⁰。

CiP自2017年於台灣成立辦公室，並積極與台灣在地供應鏈合作，合作項目包含水下基礎、陸上變電站、風機零組件及海事工程。未來亦將參與離岸風電第三階段區塊開發，目前規劃6處離岸風場開發計畫，分別為位於新竹、苗栗、台中及彰化海域的颶汎、颶成、颶利、颶妙、颶佑及福芳等場址，合併裝置容量將達6.3 GW，以協助達成2050年淨零碳排的目標。

荷蘭鹿特丹港正積極打造歐洲氫能樞紐。為實現此目標，港口已推動多項相關計畫。期盼透過此次交流，能加深雙邊理解，並進一步促成台灣相關單位能與荷蘭的研究機構與產業(如CiP)之合作，共同加速氫能資源的開發與產業化

(二) 交流過程

1. 交流過程紀要

本次係拜訪於阿姆斯特丹之CiP辦公室，討論議題包含氫能政策規劃與淨零實場域驗證園區之規劃、CiP於鹿特丹之Zeevonk計畫現況，以及於台灣推動氫能供應鏈之規劃建議。行程由CiP之Zeevonk計畫執行長(CEO)Dennis Sanou、於海運燃料之副總(Vice President)Jens Jødal Andersen及CiP台灣區徐正穎財務長接待，並就Zeevonk計畫與氫能進口議題進行交流討論。

交流會議首先由台經院陳彥豪所長首先介紹台灣綠色成長願景與2050年裝置容量目標，以及淨零推動小組職能與未來科技方案方向與規劃，並期望藉由建置淨零實場域驗證園區及樞紐，加速科技計畫成果落地與擴散至國內各特色地區形成樞紐。再者，由永續及前瞻能源領域洪緯璿召集人介紹台灣氫能供應鏈之政策規劃與發展現況、淨零科技方案推動小組於永續低碳氫能之規劃策略、技術發展路徑，以及永續低碳氫能於淨零實場域驗證園區與樞紐之規劃與潛在場址，報告重點著重於低碳氫(氨)需求端挑戰與建議，期望透過產官學研等各利害關係人之協作，加速我氫能供應鏈之建置。

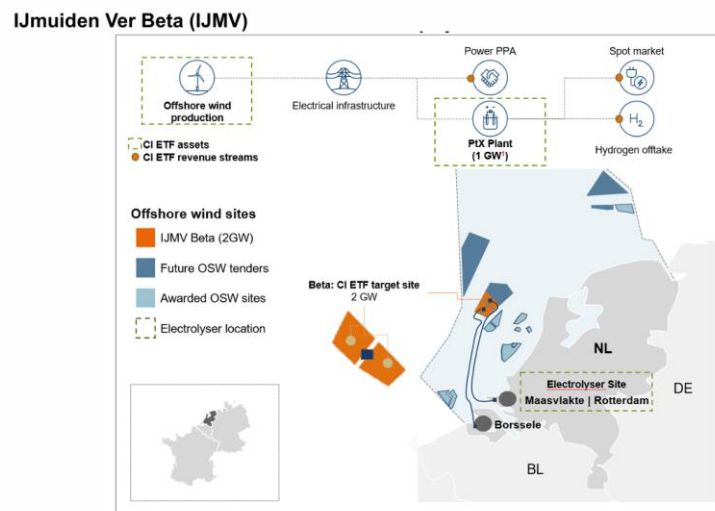
⁹ Copenhagen Infrastructure Partners P/S. (2025). Building value that matters. <https://www.cip.com/>.

¹⁰ Copenhagen Offshore Partners A/S. (2024). Zeevonk Secures Power Purchase Agreement in the Netherlands. <https://cop.dk/zeevonk-secures-power-purchase-agreement-in-the-netherlands/>.



圖29、淨零小組洪瑋璿召集人介紹氫氨能政策與淨零實場域驗證園區規劃

哥本哈根基礎建設基金(Copenhagen Infrastructure Partners, CiP)於荷蘭鹿特丹已規劃開發位於北海的Ijmuiden Ver Beta離岸風電場，裝置容量為2 GW，運營年限為35年，技術方面採用固定式離岸風電，平均水深30 m，距岸約62至82 km，場址已取得專屬使用權和許可，其電力傳輸系統包含離岸變電站、離岸輸電電纜及與電網的連接等系統，由荷蘭輸電系統營運商TenneT提供，且可使用鹿特丹港專用之多元電力轉換(Power-to-X, PtX) (PtX)開發場域。而於在氫氣與電力銷售方面，其1 GW裝置容量已簽屬CPPA，透過地方電力市場銷售，另1 GW作為多元電力轉換(Power-to-X, PtX)之電解槽產製綠氫的電力來源。



資料來源：CiP Zeenvonk Project

圖30、Ijmuiden Ver Beta離岸風場基本資訊介紹

再者介紹荷蘭與德國之市場與基礎設施建置規劃，荷蘭氫氣需求集中在鹿特丹，並可進一步出口至德國和比利時。預計到2030年總氫氣需求將達130萬噸/年，

其中約30至40萬噸為綠氫，最大的潛在買家預計為煉油廠和化工企業，這些買家亦為出價金額最高的客戶(約6-7歐元/公斤)。氫氣需求最高的區域集中在鹿特丹(歐洲最大港口，靠近煉油買家)及Zeeland(靠近氨和煉油買家)。預計到2027-2030年，荷蘭境內之管道基礎設施將建設完成，使生產商可接觸國內不同地區的買家，並進行跨境交易。

德國預計將占歐洲氫氣總需求的20%。到2030年，德國總氫氣需求預計達200萬噸/年，其中約100萬噸為綠氫，但風險調整後的綠氫產量僅約30萬噸/年。這一龐大缺口為 CI ETF II 提供了有吸引力的商業機會，可利用鹿特丹港的管道基礎設施向德國買家銷售綠氫。最大的潛在買家包括煉油廠、鋼鐵及化工企業。德國的氫氣需求預計集中在五個區域(約占全國需求80%)，其中主要需求地區為萊茵-魯爾地區，因該地區將設置氫氣管道基礎設施與鹿特丹港相連。

綠氫專案推動及電解槽設置，需配合德國陸上氫氣基礎設施開發，然岸上氫能配送基礎設施投資未如預期實施，故鹿特丹港之氫氣工廠建置時程，將依德國政府氫能基礎設施的推進情況進行調整與對接。再者，綠氫專案開發屬於跨領域、高整合度之價值鏈體系，涉及眾多利害關係人與上下游投資。因各項投資環節相互依存，需有橫向整合與統籌協調者，以確保所有最終投資決定(FiD)可以同步落實，使整體氫能專案如期順利開發。



圖31、鹿特丹港氫能基礎設施及氫氣路徑規劃

配合國際海事組織(International Maritime Organization, IMO)減碳規範，新加坡已開始提供永續海運燃料(Sustainable Marine Fuel, SMF)，以吸引國際船舶於新加坡加注永續燃料。而台灣於國際航運路徑中亦具有地理優勢，可借鏡新加坡模式，建立永續海運燃料供應體系，以推動台灣海運成為國際海運關鍵樞紐地位。

目前CiP已規劃於澳洲以再生能源進行電解製備綠氫，並與國內潛在使用者(如台肥、長榮海運等)進行協商。然而，由於國內尚無建立綠氫及綠氨的定價機制，雙方無法簽訂採購契約支持投資。實務上，國內氨主要歸類為化工原料而非能源用途，若未來明確納入燃料體系，需同步完善相關法規配套、推動單位之協作及滾動式調整機制。國內正推動綠氫來源證明制度，建議CiP可利用澳洲案場參加綠氫來源證明的示範計畫，促進雙邊制度互認與對接，確保CiP規劃未來從澳洲進口的綠氫或綠氨，能符合台灣低碳氫氨來源證明標準。未來國內推動綠色氫氨產業發展，

仍需完善低碳氫氨基礎設施、商業模式、補貼機制等市場成型要素，促進綠色氫氨採購及商業合約簽訂。

2. 交流過程剪影



圖32、參訪團全員與CiP執行長(CEO)Dennis Sanou及團隊合影

六、 參訪荷蘭海事研究所(MARIN)

(一) 參訪目的

荷蘭海事研究院(Maritime Research Institute Netherlands, MARIN)成立於1932年，總部位於瓦赫寧恩(Wageningen)，是全球領先的獨立水動力與海事研究機構之一。MARIN的核心研究領域涵蓋船舶設計與性能優化、離岸再生能源系統、浮式風力與海上太陽能平台、波浪與洋流互動，以及海事應用的數位雙生技術開發。

因MARIN著重於淨零永續發展，故亦聚焦於低排放船舶推進、自主航運，以及離岸能源轉型解決方案，例如浮式風電、氫能與複合式海域能源系統，憑藉其大型試驗水槽、模擬器與其流體力學之專業能力，MARIN在推動海事與離岸產業創新方面發揮著關鍵作用。MARIN與全球各地的政府、產業及研究機構保持緊密合作，積極參與歐盟「地平線歐洲」(Horizon Europe)等研究計畫，並與國際夥伴攜手推動離岸再生能源與海事創新的落實。透過聯合專案、知識分享平台與雙邊研究合作，MARIN已成為我國推動全球海事安全、效率與能源轉型的重要合作夥伴。

MARIN為國際海域能源設備測試與模擬的先驅，期望於示範場域選址評估、營運模式的建立，以及國際合作的模式，期望未來可促成與國內產學機構之交流，促進未來雙邊之合作，加速海域能源開發。

(二) 交流過程

1. 交流過程紀要

本次參訪MARIN位於瓦赫寧根(Wageningen)的總部，由其經理Mr. Frédéric Jaouën及資深專案經理Dr. Erik-Jan de Ridder接待與介紹MARIN之研究領域、市場及國際合作方向。該場會議由淨零科技方案推動小組之江茂雄副主任及台經院陳彥豪所長報告，首先介紹台灣綠色成長願景與2050年裝置容量目標，以及淨零推動小組職能與未來科技方案方向與規劃，並期望藉由建置淨零實場域驗證園區及樞紐，加速科技計畫成果落地與擴散至國內各特色地區形成樞紐。再者，由江茂雄副主任介紹台灣離岸風電裝置容量現況、離岸風電區塊開發規劃與進程、減碳旗艦計畫及複合式海域能源淨零實場域驗證園區與樞紐之規劃與潛在場址，重點著重於離岸風電之裝置容量目標與面臨之挑戰，期望透過產官學研等各利害關係人協作，建立複合式海域能源示範驗證實場域。



圖33、台經院陳彥豪所長報告淨零科技方案推動規劃

MARIN成立於1932年，擁有超過90年的豐富經驗，並在產業與政府領域積極合作，業務遍及39個國家，主要辦公與研究據點包含瓦赫寧根(Wageningen)、埃德(Ede)、休士頓(Houston)及切薩皮克(Chesapeake)。主要研究領域業務涵蓋石油與天然氣、運輸與航運、國防、海域再生能源、船舶設計與製造及海上基礎設施，擁有超過450名員工，營業額達6,000萬歐元，其中70%為商業收入，30%為政府計畫支持，並透過聯合產業計畫(JIPs)推動海事工程相關技術創新。

為縮減海事工程設計模擬至實際運營間之技術落差，MARIN透過海域能源整合研究、實驗室模擬、實海域技術驗證、運營與維運及專業人才培訓等研究主題，形成從離岸再生能源設備之設計到退役全生命週期的技術支援體系。其研究不僅促進離岸風電技術的成熟與安全，亦推動多元海域能源的永續發展

於技術驗證與模擬研究方面，MARIN憑藉其先進的實驗設施與工程能力，為全球浮動風電專案供獨立顧問與模型測試服務。由於離岸風電開發時程緊湊，MARIN透過高階模型實驗與既有專案經驗，協助開發商快速優化設計。同時，他們也針對實場域建置的浮動式風電案場進行全尺寸監測，並將所得數據回饋至模擬模型中，形成「設計—測試—驗證」的閉環研發體系。

於浮式風電與風力渦輪機研究領域，MARIN著重於大型渦輪機的動態與疲勞分析，特別針對15 MW至22 MW等超大型風機進行研究。由於這些高聳風機的運動頻率與振幅對結構疲勞壽命影響巨大，MARIN利用大型運動模擬平台研究浮台結構(如TLP、Spar與半潛式平台)的運動特性，以提升設計可靠度與安全性。

於運營與維護(O&M)之海上施工安全方面，MARIN運用其大型運動模擬器模擬安裝與維護船舶在惡劣海況下的動態，用於培訓複雜安裝任務(如多艘船協同作業)的操作人員，研究領域包含運維人員之暈動病影響、海上維護作業之可行性與安全性，以及潛在碰撞風險分析(如油輪撞擊風機基礎的模擬)，並透過研究船舶動力定位(DP)與運動補償系統的應用，推動零排放維修船舶技術發展。

在多用途能源整合與未來概念研究方面，MARIN積極探索離岸風電、海上型太陽光電與儲能的綜合應用，透過升級觀測試驗水槽以測試海上行浮式太陽光電模型，並利用加強場域內測試風洞設備模擬高風速(實際風速約40 m/s)條件下之結構狀態，亦同時研究離岸風電與海上儲能系統之關係，並擬定離岸風場於低電價或

負電價環境下之運行策略，MARIN指出若為維持離岸風電於市場之售電價格，而停止離岸風場運行以維持電價並減少風機運行損壞風險，但於海洋環境條件下，該浮台結構仍會因波浪與潮流影響持續晃動，故維持離岸風機之運轉反而可減晃動與造成結構疲勞損耗。

於國際合作與知識轉移上，MARIN長期參與全球及台灣的離岸風電專案，並與各開發商(如Jan De Nul、Seaway及Boskalis)密切合作，推動離岸風電技術研發與優化專案建置流程。同時，亦積極透過知識與專業知識轉移協助各國建立海事工程測試與培訓專業人才，例如協助我國財團法人金屬工業研究發展中心(Metal Industries Research & Development Centre, MRDC)於海洋科技產業創新專區(Maritime Technology Innovation Center, MTIC)建置海事工程與離岸風電測試深水槽等相關設備。



圖34、離岸經理Mr. Frédéric Jaouën介紹MARIN研究與規劃



資料來源：MARIN

圖35、MARIN動態模擬實驗室與水槽試驗實驗室

未來台灣發展複合式海域能源之Net-Zero Campus(規劃中)，除需更多資金挹注完善基礎設施，完備整體模擬至實場域測試流程，並鑒於過往於離岸風電的海事工程經驗，建立複合式海域能源工程試驗設計之流程。

目前離岸風場無法讓漁民進入作業，透過海事工程試驗流程及動態模擬實驗室，模擬漁民進入離岸風場作業時，可能會發生事故的潛在因素，以協助政府設立相關漁民進入離岸風場作業規範與標準。未來有望由台灣學研機構與MARIN共同

檢視與研擬漁民於離岸風場內作業之相關監測技術與規範，推動地區漁民與離岸風場共存共榮之規劃，為後續推動複合式海域能源(含養殖漁業)提供借鏡。

2. 交流過程剪影



圖36、參訪團全員與MARIN經理Mr. Frédéric Jaouën及團隊合影

七、 參訪Sheffield大學創新能源中心(EIC)

(一) 參訪目的

Sheffield大學創新能源中心(Energy Innovation Centre, EIC)由該校能源研究所(Energy Institute)成立¹¹，透過會員制度讓產業合作夥伴能使用該校卓越的實驗資源與試驗設備。其目標是加速實驗室成果的應用，促進低碳與淨零技術的規模化與商業化。其中EIC設有兩大核心設施：(1)Translational Energy Research Centre(TERC)：為歐洲具備試點規模與完整系統架構的低碳研發機構，涵蓋氫能、生質能、碳捕捉與再利用、可再生能源與智慧電網等。(2)Sustainable Aviation Fuels Innovation Centre(SAF-IC)：英國首創的永續航空燃料一站式研發與測試平台，可於同一地點進行綠氫製備、燃料合成、測試認證流程等一系列流程¹²。

EIC成立目的旨在支援產學界開發淨零技術(如BECCUS)，例如與Drax建立合作，在TERC使用燒碳床生質鍋爐與熔融碳酸鹽燃料電池進行實證測試；SAF-IC營運中心致力於綠氫與永續航空燃料的開發、測試與認證¹³，以及透過TERC擁有的氫能測試設施支持氫能與電網整合研究，例如電解槽、燃料電池、氫燃燒研究裝置、熱解與氣化系統等。

此次參訪雪菲爾大學創新能源中心(EIC)，旨在深化對英國於永續航空燃料(SAF)研發與產業化策略的理解，並探討雙方在前瞻能源技術領域的合作可能。EIC結合研發、示範與驗證能量，成功串聯產學合作與示範應用，為台灣推動SAF產業提供重要借鏡。台灣目前正積極推動SAF發展，但仍面臨料源不足、成本偏高與法規驗證尚未完備等挑戰。透過本次交流，希望學習英國在技術路線、示範場域規劃及國際驗證制度的經驗，並探討雙方於新興料源開發、合成製程及檢測能量建置的合作方向，促進於淨零轉型與永續燃料領域的長期夥伴關係。

(二) 交流過程

1. 交流過程紀要

本次循環領域主要參訪University Sheffield的TERC(Translational Energy Research Center)及其永續航空用油創新中心(Sustainable Aviation Fuels Innovation Centre, SAF-IC)，由中心主任Mohamed Pourkashanian教授及業務發展經理Mazen Musaeed接待。本場交流會議由淨零科技方案推動小組之林財富召集人及台經院陳彥豪所長報告，首先介紹我國綠色成長願景與2050年裝置容量目標，以及淨零推動小組職能與未來科技方案方向與規劃，並期望藉由建置淨零實場域驗證園區及樞紐，加速科技計畫成果落地與擴散至國內各特色地區形成樞紐。

¹¹ The University of Sheffield. (2025). The Energy Institute at the University of Sheffield is finding low-carbon solutions to the world's biggest energy challenges. <https://sheffield.ac.uk/energy>.

¹² Translational Energy Research Centre. (2025). Translational Energy Research Centre. <https://terc.ac.uk/>.

¹³ The University of Sheffield. (2024). University of Sheffield Energy Innovation Centre, with Boeing as a founding member, opened by Lord Callanan. <https://sheffield.ac.uk/news/university-sheffield-energy-innovation-centre-boeing-founding-member-opened-lord-callanan>



圖37、淨推小組林財富召集人與台經院陳彥豪所長介紹循環領域之政策與淨零實場域驗證園區規劃

TERC專注於與工業界合作、測試與發展促進綠色能源的研究，研究領域包含氫能，生質能，碳捕捉、利用與儲存(CCUS)、SAF及多項再生能源的研究，是歐洲最具規模的能源研究中心之一，與循環最相關是SAF的量產、性能及品質驗證與測試，其中並包括生物質原料對於SAF其生產及品質影響。該中心得到歐盟及英國能源與淨零部的支持，亦有勞斯萊斯、波音等多家大中小型公司資助，擁有超過16億台幣的先進儀器與模擬大型測試設備，非常適合工業級實場應用前的研發。

與該中心交流內容包含(1)Sheffield大學參與2023年全世界第一次使用100%SAF的飛越大西洋飛航測試，由Virgin航空公司以波因787型客機飛行倫敦紐約航線，由Sheffield大學負責測試、分析測試燃油成分，Pourkashanian教授並參與飛行。(2)SAF-IC為英國第一個永續航空燃料的測試中心，且該校並且擁有世界唯二的協助產業界發展及驗證永續航空燃料的SAF Clear House，對於SAF的生產、驗證、及驗證，居世界領先地位。(3)完成多項世界創新去碳模廠等級測試，包括空氣捕捉、天然氣燃燒直接減碳等(此項與CCUS較相關)。



圖38、EIC中心主任Mohamed Pourkashanian教授介紹該中心過往參與案例與推動經驗

並於會後參訪EIC內相關實驗室與測試設施，Sheffield大學EIC透過學界與產業合作，建置永續航空燃料生產試驗流程及提供品質檢驗服務，其核心發展技術為生物質精煉與合成燃料製程，將生物質氣化後所產生的合成氣，化學轉化製成生質柴油等化學品，再透過碳捕捉設施捕獲CO₂與氫反應，製成碳鏈長度為C7~C16的航空燃油，並提供業者既有設施之測試與安全試驗，例如一般燃氣渦輪機組之氫氣混燒試驗、爆炸與燃燒氣體實驗以評估燃料對材料與結構的影響，以及輔助發電機以傳統燃料與SAF進行測試比較，確保SAF不會對環境造成不良影響。此SAF實驗室總經費約4,500萬英鎊(約新台幣18億元)，約2成的經費來源為政府資助，剩餘8成為業界提供，顯示英國SAF發展以公私協力為核心推動模式。



資料來源：Sustainable Aviation Fuels Innovation Centre

圖39、於EIC之國際認證SAF料源測試實驗室



圖40、一般燃氣輪機組之氫氣混燒試驗



圖41、利用輔助發電機進行傳統燃料與SAF比較測試



圖42、生物質精煉及碳捕獲複合設施

英國推廣永續航空燃料(SAF)面臨的主要挑戰為農地有限且與糧食安全競爭，

政策規範在不影響糧食作物收益前提下，於農閒時種植能源作物，可確保糧食作物價格不受到能源作物的影響。此外，英國為加強生物質燃料的投資，提供為期14年的差價補貼機制，確保供應商能在相對穩定的收益環境下進行長期投資，可有效降低風險、提高市場信心、形成健全的投資生態。

未來可與該中心建立合作夥伴關係，作為我國SAF研發及測試園區的標竿，並與國際認證與研發組織接軌。同時，建議邀請Pourkashanian教授擔任SAF研發及測試園區計畫顧問，提供專業規劃建議，並派遣國內專家或學生至該中心研習，學習SAF發展技術、測試方法與認證規範，作為國內推動參考。雙方亦可定期召開研討會，交流最新技術與應用成果。此外，未來SAF推展可與EIC合作，聘請其專家學者擔任顧問，協助建立我國SAF試驗與分析量能，取得國際實驗室驗證認可，並推動設立具國際認證資格之SAF實驗室。建議由國研院或國內大學與雪菲爾大學簽署合作備忘錄(MOU)，共同推動SAF技術試驗、標準驗證及實質研究合作，以強化在永續航空燃料領域的國際合作與技術自主能力。

2. 交流過程剪影



圖43、國科會林法正副主委與EIC中心主任Mohamed Pourkashanian教授及事業開發經理Mazen Musaeed合影



圖44、參訪團全員與EIC中心主任Mohamed Pourkashanian教授及團隊合影

八、 參訪Sheffield大學先進製造中心(AMRC)

(一) 參訪目的

先進製造中心(Advanced Manufacturing Research Centre, AMRC)成立於2001年，由Sheffield大學與波音公司(Boeing)共同創立。該中心致力於協助各規模產業提升生產力、降低成本與能源消耗，以及協助將學界研究成果轉化為產業的實際應用，其主要研究領域涵蓋自動化與機器人技術、鑄造、複合材料、設計與原型開發、數位製造、結構與材料測試、減材製造、專業人才培訓等。此外，為促進跨領域合作與產業對接，中心設有多位產業領域負責人，作為各產業洽詢的主要聯絡窗口，並協助統籌相關合作及後續推動工作¹⁴。

於小型模組化反應爐(Small Modular Reactor, SMR)領域方面，勞斯萊斯(Rolls Royce, RR)與AMRC合作建置「模組開發設施(Module Development Facility)」用於生產與測試SMR的原型模組，降低部署風險、提升製造效能，並共同研發可量產化、成本可控且符合核能安全標準的SMR製造流程，以及提供專業技術人才培訓，支援RR在SMR生產與維護的技術需求，最後透過AMRC與其他學術及工業夥伴的合作，協助建立英國SMR產業供應鏈及推動創新SMR製造技術。

RR於2021年獲英國政府資助發展Rolls Royce -SMR，2022年向核能管制機構(Office of Nuclear Regulation，簡稱ONR)提出法規審查，Rolls-Royce SMR所研發之470 MWe整合型壓水式反應器順利通過英國核工業獨立監管機構的評估，領先歐洲任何其他SMR的監管評估。2023年4月ONR完成第一階段通用設計核准(General Design Approval, GDA)審查，2024年3月完成第二階段通用設計核准審查，目前正在進行第三階段通用設計核准審查¹⁵。

英國已經設定2050年核電裝置容量達到24 GW的目標，預計可滿足四分之一電力需求。本此考察希望可以借鏡英國經驗，研商台灣先進核能推動相關的法規、技術、人才、選址、與核廢料問題，尋求台灣達成跨域多元科技佈局，促進能源系統低碳化的目前的能源政策方向的解方。

(二) 交流過程

1. 交流過程紀要

本次SMR領域議題參訪位於Sheffield大學之先進製造中心(AMRC)，由其基礎設施與能源領域之Cameron Christie經理負責接待與介紹AMRC與Rolls Royce SMR的發展現況與規劃。本次交流會議由台經院陳彥豪所長介紹台灣綠色成長願景與2050年裝置容量目標，以及淨零推動小組職能與未來科技方案方向與規劃，並期望藉由建置淨零實場域驗證園區及樞紐，加速科技計畫成果落地與擴散至各特色地區形成樞紐。再者介紹台灣用電需求與再生能源發電缺口，以及SMR技術發展規劃與技術項目，與AMRC交流我國後續發展挑戰與面臨之議題，期望藉此次交流討論未來與AMRC或Rolls Royce-SMR合作方向。

¹⁴ Advanced Manufacturing Research Centre. (2025). Nuclear at the AMRC. <https://www.amrc.co.uk/>.

¹⁵ Rolls Royce SMR. (2025). Our progress. <https://www.rolls-royce-smr.com/our-progress>.

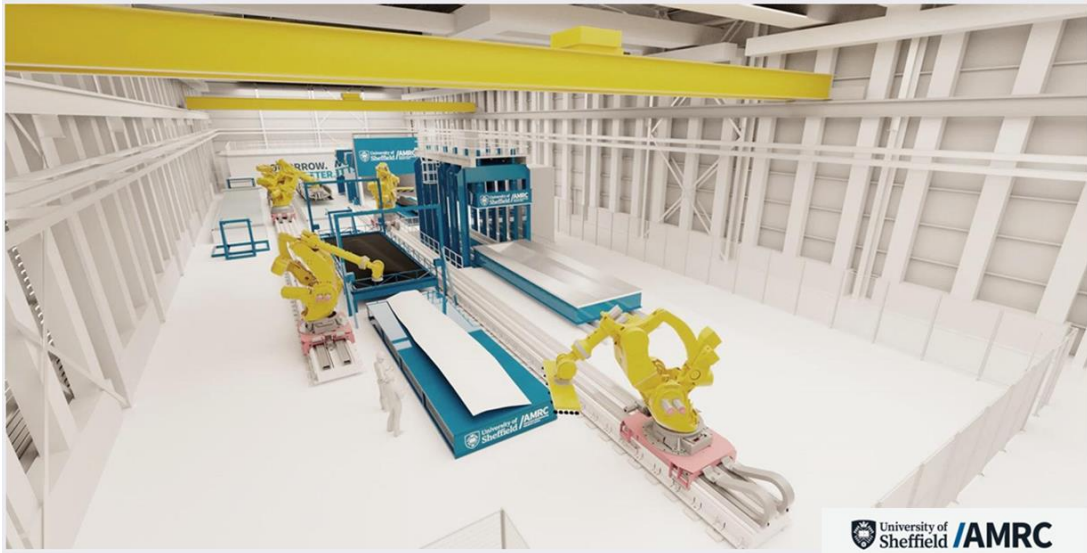


圖45、台經院陳彥豪所長介紹我國綠色成長願景與SMR規劃發展項目

先進製造研究中心(Advanced Manufacturing Research Centre, AMRC)是英國雪菲爾大學(University of Sheffield)與波音公司(Boeing)於2001年共同創立，採取創新的合作與資金模式，確保研究方向與業界需求緊密結合。該中心建立了夥伴關係機制，吸引包括波音(Boeing)、空中巴士(Airbus)及其供應鏈企業共同出資與參與研究，並透過年度協作計畫共同決定研究主題，亦為英國「高價值製造促進中心」(High Value Manufacturing Catapult)的一部分，獲得政府每年約1500萬英鎊的資金支持，用於設備升級及推動重點研究專案，特別聚焦於綠色製造與永續創新。

於技術應用層面，AMRC將其專業與技術標準成功拓展至多個產業，推動製造流程的數位化與高效率化。例如將應用於航太產業的高精度生產流程支援Rolls-Royce SMR模組化反應爐項目，將航太製造的微米級技術應用於核能模組製造，以降低施工不確定性，以及AMRC中心內之Factory 2050整合產品生命週期管理(PLM)與製造執行系統(MES)，確保製造過程能夠精準反映設計意圖，並運用沉浸式技術(immersive technologies)進行虛擬組裝模擬，協助操作員與工程師共同設計出最安全、高效且符合人體工學的作業流程。

於製造效率方面，除開發智慧穿戴系統並導入電子束焊接等尖端技術，將壓力容器焊接時間從一週縮短至十分鐘，以提升操作員通訊及生產效率。此外，AMRC亦將自動化與複合材料技術應用於飛機零組件製造，成功將機翼穩定器的製程時間從40小時降至4小時，以協助波音與空中巴士應對大量訂單需求。並透過其設立的培訓中心(Training Centre)提供符合產業技術需求之技能訓練，確保產業發展能與人才培育並行。



資料來源：Rolls Royce SMR

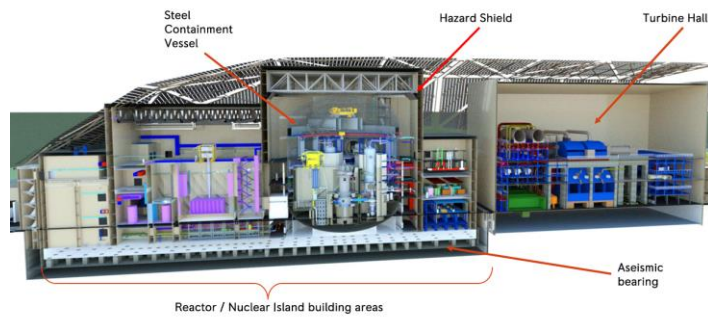
圖46、波音計畫建置之AMRC創新設施

Rolls-Royce小型模組化反應爐(Rolls-Royce SMR)是由英國Rolls-Royce公司主導開發的新一代核能技術，旨在以模組化與工廠製造方式，提供更具成本競爭力與部署彈性的低碳能源解決方案。該反應爐採用成熟的壓水式反應器(Pressurised Water Reactor, PWR)技術，熱功率輸出達1,358 MWt，電功率約為470 MWe，並具備多層次安全防護、冗餘與備援設計，以確保高可靠性與運轉安全。其模組化設計使約90%的組件可在工廠預製並完成測試，現場僅需模組化組裝，以顯著縮短建設週期、降低風險與成本，並提升品質一致性與可重複性。

Rolls-Royce以其在航太與高精密製造領域的深厚技術為基礎，結合AMRC的工程研發能力，推動英國SMR模組化製造與供應鏈本地化。英國為達成2050年核能之裝置容量目標24 GW，預計採用傳統大型核電廠與SMR技術，為此，英國核能協會(Great British Nuclear)進行SMR技術招商程序，參與選商之開發業者為GE Hitachi(美國通用電氣(GE)和日本日立(Hitachi)成立的合資企業)、美國Holtec核能公司、英國Rolls-Royce SMR與西屋電器(Westinghouse)等四家，於2025年6月英國核能協會選擇RR-SMR作為開發SMR的首選合作夥伴，預計於2029年完成最後投資決定(FiD)，2030年完成併網發電。

後續可與Rolls-Royce SMR進行線上交流會議，探討台灣在SMR發展策略與技術合作方向；同時建議與 AMRC 持續討論潛在合作機會，結合機器人、感測與數據分析技術，開發可應用於台灣半導體、離岸風電與航太產業的客製化解決方案。

ROLLS-ROYCE SMR – plant layout



資料來源：Rolls Royce SMR

圖47、RR-SMR內部結構建置規劃示意圖

2. 交流過程剪影



圖48、國科會林法正副主委與AMRC基礎設施與能源領域經理Cameron Christie合影

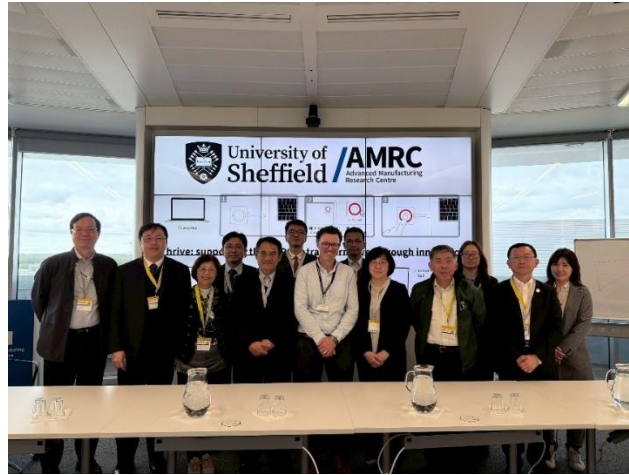


圖49、參訪團全員與AMRC基礎設施與能源領域經理Cameron Christie合影

九、 參訪伊甸園計劃(Eden Project)及United Downs地熱供電計畫

(一) 參訪目的

伊甸園計畫為英國康沃爾郡著名的生態園，與Eden Geothermal Ltd共同合作推動深層地熱供暖專案，並取得Cornwall Council的大力支持。在資金方面，該專案由歐盟地區發展基金(European Regional Development Fund, ERDF)與Gravis Capital Management提供資金支持，旨在為Eden生態園內特色生物溫室群(Biomes)、育苗溫室及其他設施建立穩定的深層地熱供暖系統，以逐步脫離天然氣並減少溫室氣體排放。於2023年該系統正式投入運轉，成為英國自1986年以來首個營運的深層地熱供暖專案¹⁶。

United Downs 深層地熱發電計畫為英國首個深層地熱發電專案，由Geothermal Engineering Ltd.(GEL)開發，旨在利用地下熱能生產電力與熱能，並探索地熱鹵水中的鋰資源。專案採用雙井系統涵蓋一口深達2.5 km的注入井與深5.1 km的生產井，利用康沃爾花崗岩地層的高溫熱源，預計生產井底溫度可達190°C，地面出水溫度約175°C，可提供1~3 MW的電力與10 MW的熱能，專案於2024年底完成建置，2025年初開始向電網供電，為康沃爾及英國的再生能源轉型提供示範與經驗，也為全球地熱能開發提供寶貴參考¹⁷。

本次參訪英國康沃爾的伊甸園計畫(Eden Project)與地熱能源公司(Geothermal Engineering Ltd, GEL)，旨在了解英國地熱能源於供熱與發電領域的實際應用與發展模式。期望學習英方在地熱開發、法規制度、公眾參與與示範場域建置的經驗，作為我國推動地熱旗艦計畫與淨零園區規劃的重要參考。

(二) 交流過程

1. 交流過程紀要

(1) 伊甸園計畫

本次參訪位於康沃爾之伊甸園計畫(Eden Project)，由該計畫團隊之執行長Ms. Augusta Grand與Iain Stewart教授接待，係就深層地熱技術開發、未來發展規劃、社區溝通與地方參與、地熱開發與環境保育結合及未來可合作方向等層面進行交流，首先由台經院陳彥豪所長介紹台灣綠色成長願景及再生能源發展目標，淨零科技方案推動小組於再生政策規劃中的角色與未來規劃，並提出淨零實場域驗證園區及樞紐之構想，期望藉此驗證實場域加速科技計畫之落地，以達成技術項目創新與2050淨零目標。再者，由國震中心歐昱辰主任介紹我國地熱潛能、政策規劃目標、案場開發現況與未來規劃等議題，著重於台灣未來發展岩漿庫地熱之可行性，並期望藉此交流，獲取於深層地熱開發之技術建議與探詢未來合作方向。

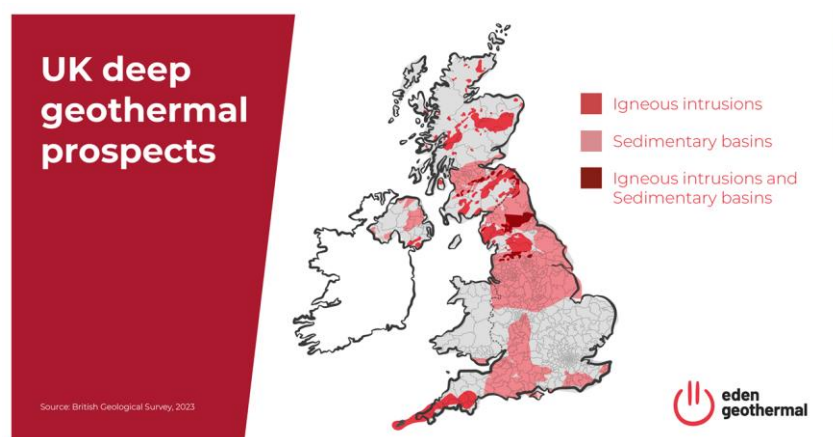
¹⁶ Eden Geothermal. (2025). The Eden Geothermal Project. <https://www.edengeothermal.com/the-project/>.

¹⁷ Geothermal Engineering Ltd. (2025). United Downs. <https://gel.energy/about/united-downs/>.



圖50、國震中心歐主任介紹我國地熱潛能與未來發展規劃

英國約有三分之一的地區具備良好的地熱潛力，約50%的地方政府轄區都有可利用資源。地圖上深紅色區域代表有花崗岩，適合發展地熱發電；淺粉紅區域則適合提供熱能。熱能在英國能源結構中占約40%，對能源經濟極為重要，若要妥適利用英國地熱潛能，可以淺層使用地源熱泵，也可開發廢棄礦坑的殘餘熱能(約25至40°C)，目前在英國各城市之地下礦坑正評估地熱可開發潛能。而為滿足歐洲地熱供熱需求，透過鑽入熱沉積含水層(Hot Sedimentary Aquifers)技術以取得更高的熱源與裝置容量，此技術在歐洲已非常成熟，例如巴黎已有約70個專案，提供全市15%的供熱，德國目標在2050年達25%的地熱供熱，而荷蘭則預期達23%。也有人嘗試重新利用枯竭的油氣井，但以目前技術看成效有限。



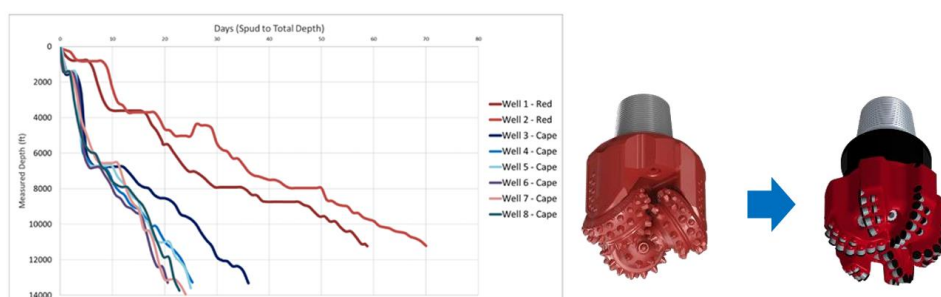
資料來源：Eden Geothermal

圖51、英國地熱開發潛勢圖

此外，國際地熱技術正在快速推展，過去僅有火山或斷層區才能進行地熱發電

之開發利用，然隨著鑽井技術持續進步，已可於不同地質情況與深度情境下，應用不同鑽井技術以開發地熱，包含從傳統油氣鑽頭改用人造金剛石鑽投，使鑽探效率提升數倍，使地熱案場之鑽井時間與成本皆大幅下降，預估至2027年地熱發電的資本成本將降至4,500美元/kW。除了鑽井技術進步外，地熱系統亦從「客製化案場」轉向「模組化與規模化案場」，以降低風險並共享基礎設施，如變壓器與輸電系統，提升經濟效益，再者受惠於石油與天然氣產業每年在全球鑽2至3萬口井，相關工程能力可迅速轉移至地熱開發，以Eden Geothermal專案為例，與Eden合作的承包商共有25家，其中23家來自油氣產業，顯示地熱技術的擴大利用與市場開發潛力。

- Latest performance in granite with Polycrystalline Diamond Compact bits, FERVO, Utah
- 4200 m drilled at Eden Project in 2021, 110 days, took 21 days in Utah in 2024
- USA, enhanced geothermal is expected to achieve plant capital costs (US\$4,500/kW) and a levelized cost of electricity (US\$80/MWh) competitive with market electricity prices by 2027¹



Total Depth drilling times for the 8 wells at the Cape Station site in Utah (Fervo, 2024)

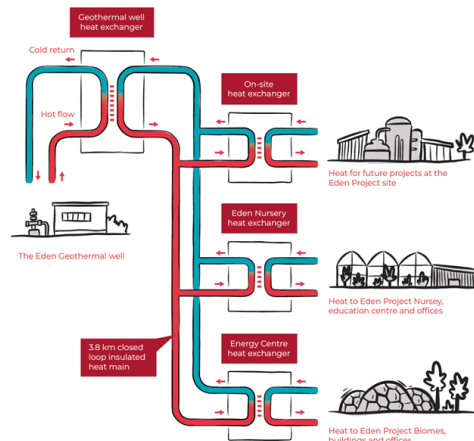
資料來源：Eden Geothermal

圖52、地熱鑽井技術演進及發電成本大幅降低示意圖

伊甸園計劃的場址於2023年起正式營運，是自1986年以來英國首個開發完成的地熱電廠，鑽井深度達5,277 m，是全英最長的地熱井。現階段系統為封閉式同軸環路，水溫約75°C，可為伊甸園區與商業溫室提供熱能。未來以規劃將鑽設第二口井，預計逐步擴建至八口井，產能達20 MW電力，同時計畫開發地熱溫泉、蘭姆酒蒸餾廠與食品加工設施，並與學界合作推動培訓與研發，延續伊甸園計畫「以環境教育為核心」的理念。此外，目前英國地熱市場以供熱應用為主，特別是在醫院、住宅與食品加工等領域，根據英國地質調查局資料，全國109所大型醫院下方皆有可開發的地熱資源，Eden計畫團隊正競標兩個醫院地熱供熱專案，期望藉由過往從廢棄礦坑建成世界知名地熱植物園區之經驗與精神，為英國地熱供熱盡一份心力。

Eden Geothermal Coaxial System

- A working demonstration of geothermal cascading heat use in the UK.
- Heating the world-famous Eden Biomes.
- Providing warmth to the Eden Project Nursery and commercial greenhouses.
- Planning permission granted for future distillery, with a demonstration unit already under construction.



資料來源：Eden Geothermal

圖53、伊甸園計劃之供熱規劃與園區設施

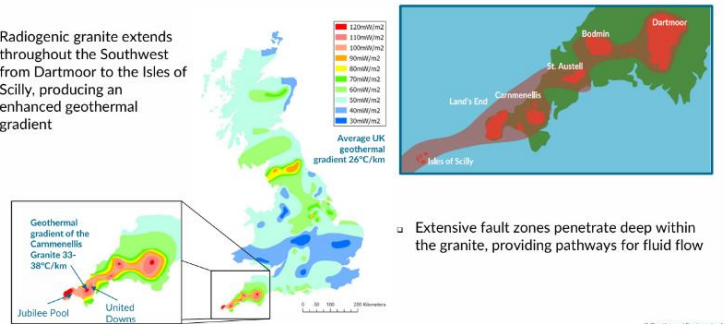
(2) United Down地熱發電計畫

GEL(Geothermal Engineering Ltd, GEL)公司聚焦於推動英國及歐洲在「能源與關鍵礦物獨立」方面的發展，主要業務包含地熱發電廠、鋰萃取專案，以及地熱場址的勘探與開發等項目，目前重點開發設施為United Downs地熱發電場及鋰萃取示範計畫之核心基地，並持續於康沃爾及英國其他地區尋找具相似地質條件的潛在地熱區。

康沃爾地區擁有大型花崗岩岩體，花崗岩內部存在多條深部斷層，提供熱流體的流通通道，產生相對高的地溫梯度與熱流，也利於地熱井開發，是英國地熱能最具潛力的區域。此外，康沃爾地區已有豐富的採礦歷史，特別是18至19世紀錫與銅礦的繁榮，使該區被稱為「地球上最富有的一平方英里」。這些礦脈均與熱液作用有關，具地熱開發所需之天然條件與經驗基礎。

Why Cornwall?

- Radiogenic granite extends throughout the Southwest from Dartmoor to the Isles of Scilly, producing an enhanced geothermal gradient



資料來源：Geothermal Engineering Ltd

圖54、康沃爾地區地熱發電潛力

英國在1970年代石油危機後，曾於康沃爾啟動「熱乾岩計畫(Hot Dry Rocks

Project)」，目標是利用人工方式在未破裂的花崗岩中建立裂隙，注入冷水並加熱回收發電，雖然該計畫於1990年代初期因資金轉向歐洲而中止，但仍為日後英國地熱技術研發奠定基礎。於2008年麻省理工學院(MIT)報告指出增強型地熱系統(EGS)的潛力，再度喚起英國對地熱的重視，並促成GEL的成立。GEL的開發理念為利用花崗岩內既有天然滲透構造與熱液流體，而非完全人工造裂，以提高系統穩定性與設備及建置地點之模組化可行性。

此位於United Downs之地發電專案，所鑽設的兩口地熱井分別為深度約5,000 m的生產井與較淺深度約2,300 m的回注井，且該地熱電廠採用3 MW的有機朗肯循環(ORC)系統，全年可穩定提供基載電力以形成熱循環系統。鑽井與測試結果顯示，井底溫度超過180°C，並具天然滲透性，無須透過人工刺激即可達成熱循環流動。此外，為增加地區居民於地熱之開發意願，GEL亦建立嚴格的微地震監測與地熱開發作業中止機制，確保開發地層之穩定與周邊社區安全。而該項目為英國首座成功納入政府「差價合約制度(Contracts for Difference, CfD)」的地熱發電廠，確保15年電價收入。

Power Plant Design and Construction

GEL

- Plant sized on results of testing.
- 3 MWe gross capacity binary cycle ORC plant supplied by Exergy SRL.
- ESP rated for high temperatures.
- Clean H&S Record – no incidents.
- Constructed through 2024.
- First UK planning permission for a deep geothermal electricity project.
- First geothermal Contracts-for-Difference.



資料來源：Geothermal Engineering Ltd

圖55、United Downs地熱發電計畫之地熱發電系統

在鋰回收方面，United Downs地熱鹵水中含有全球具代表性的高濃度鋰離子，且鹽度低，利於直接吸附法(Direct Lithium Extraction, DLE)萃取。GEL目前已完成政府資助的可行性研究，並在現場建置年產100 噸碳酸鋰的示範型萃取裝置。此系統可與地熱發電並行運作，利用發電後的熱鹵水進行鋰分離，幾乎不影響發電效率，且整體碳排放顯著低於傳統採礦與鹽湖蒸發方式未來GEL計畫在康沃爾其他地區開發更多類似場址，並推進鋰與其他關鍵礦物的萃取研究。

Why the UK needs DLE

GEL



UK Supply of Lithium Carbonate

- Vast array of jobs in multiple sectors
- Provenance of supply to Giga Factories
- Helping the UK meet Net-Zero targets
- R&D collaboration to enhance European-wide industries

CRM geothermal

資料來源：Geothermal Engineering Ltd

圖56、英國鋰關鍵礦物萃取之必要性

2. 交流過程剪影



圖57、國科會林法正副主委與伊甸園計劃執行長Augusta Grand合影



圖58、參訪團全員與伊甸園計劃成員合影



圖59、參訪團全員與GEL地熱團隊於United Downs地熱發電廠合影

十、 參訪查塔姆研究所(Chatham House)

(一) 參訪目的

查塔姆研究所(Chatham House)其正式名稱為皇家國際事務研究所(The Royal Institute of International Affairs)，是全球最具影響力的國際事務智庫之一，成立於1920年，總部位於英國倫敦。致力於促進各國政府、私部門、民間社會及其成員參與國際事務的討論。該研究所每年在倫敦及世界各地與合作夥伴舉辦300多場私人 and 公共活動，包括會議、研討會和圓桌會議。社會轉型為查塔姆研究所研究的重點，包含發展循環經濟，以及改善水資源、林業、木材和化石燃料等自然資源的可持續管理，預計核能、再生能源和天然氣將成為主要能源。

查塔姆研究所(The Royal Institute of International Affairs, Chatham House)的研究主題涵蓋多元而全面的國際議題。其重點包含國際安全與防務(International Security and Defence)，聚焦於戰爭與衝突、核政策、網路安全及新興科技帶來的安全挑戰；地緣政治與地區研究(Regional Studies)，涵蓋歐洲、亞太、中東與北非、撒哈拉以南非洲，以及俄羅斯與歐亞地區的發展；全球經濟與貿易(Global Economy and Trade)，探討國際經濟治理、貿易政策、金融體系及全球化的未來走向；能源、環境與資源(Energy, Environment and Resources)，專注於能源轉型、氣候變遷、糧食與自然資源安全，以及永續發展；國際秩序與多邊治理(Global Order and Multilateral Governance)，關注國際法、多邊合作、全球治理架構，以及民主與人權議題；科技與未來社會(Technology and Society)，則研究數位化、人工智慧(AI)與新興科技對國際事務與治理的深遠影響¹⁸。

本次參訪英國查塔姆研究所(Chatham House)，旨在了解其於能源轉型、循環經濟及永續治理領域的最新研究與政策建議。該機構為全球具影響力的國際智庫之一，長期關注氣候變遷、能源安全及社會轉型等議題，並推動跨國政策對話。此次交流期望藉由討論台灣在高化石燃料依賴下推動2050淨零目標的挑戰與作法，學習英方於公眾溝通、國際合作及資源治理的經驗，作為我方淨零政策推動與社會參與機制設計之參考。

(二) 交流過程

1. 交流過程紀要

英國皇家國際事務研究所(Chatham House)旗下的「環境與社會計畫中心」(Environment and Society Programme)主要從事氣候轉型、地緣政治與自然資源管理交叉領域的研究，關注土地、水資源、關鍵礦物與生物質等四大核心議題，並以循環經濟為重要延伸主題。該中心的研究特色在於將學術成果轉化為政策建議，並透過閉門圓桌會議促進政策對話與知識交流，其主要對象為各國政府決策者與國際政策圈。中心同時推動「Sustain Accelerator」計畫，作為政策加速與實驗平台，目標是縮短從政策理念到落實實施的時間落差，並透過前瞻研究探討全球發展趨勢與驅動因素，將未來情境導入當前政策討論。

¹⁸ Chatham House. (2025). Topic themes. <https://www.chathamhouse.org/topics>.

在氣候與能源領域，該中心的研究聚焦於氣候變遷與低碳能源轉型對地緣政治的影響，分析氣候衝擊、化石燃料市場波動及低碳技術貿易的政治意涵，並探討能源轉型過程中各國間的矛盾與合作契機。Chatham House期望透過此類研究促進技術、政策與科學層面的國際合作，協助各國共同因應能源系統轉型與氣候挑戰。在自然資源與循環經濟方面，該研究團隊長期與歐洲委員會及聯合國工業發展組織(UNIDO)合作，研究《歐洲循環經濟行動計畫》及即將通過的《循環經濟法案》，並建立全球循環經濟政策資料庫，目前已涵蓋超過九十個國家(含台灣)，提供各國循環經濟策略的比較與追蹤分析。團隊也關注關鍵礦物的全球治理缺口，主張應建立新的國際資料共享與政策協調機制，並於G20、聯合國環境大會及巴黎和平論壇推動相關倡議。

然台灣已針對戰略性及關鍵性原物料進行供應鏈與依賴性調查，分析進口來源、自給率及再生利用潛力，並以跨部會協作方式推動政策，目標在於掌握全球產業鏈關鍵材料分布，提升供應韌性。此外，台灣科研預算相對有限，因此採取系統整合的策略，透過跨部門、跨產業及國際合作最大化研究資源效益，現階段台灣已與德國建立穩定的氫能、氨燃料及電池技術合作平台，未來亦期望與英國在浮式海洋能源與地熱技術領域展開合作，其中於參訪謝菲爾德大學後，深感「整合式創新系統」對中小型國家極為關鍵，未來將持續透過國際科研網絡與實證導向政策推動國內淨零轉型。

於區域循環經濟合作與能源轉型的挑戰，因台灣市場規模有限，部分再生金屬如銅需送往日本精煉後再進口，期望能建立區域性循環體系。Chatham House表示目前全球尚無任何國家能獨自建立完整的循環經濟體系，必須透過國際夥伴關係，建立跨國價值鏈與政策協調機制。雙方並以此為背景，深入探討台灣在高度依賴化石燃料的情況下仍設定 2050 年淨零排放目標的挑戰與決心。英方對我方在能源轉型上的努力表達肯定，認為此舉展現了其在全球能源轉型中的積極角色與政策承諾。討論中指出，台灣的淨零轉型策略不僅聚焦於減碳，更被視為推動產業結構升級與經濟成長的新契機。離岸風電的發展已成功帶動本地供應鏈與就業機會，而未來重點將放在浮式風電與再生能源服務化的推動，藉由建立綠色供應鏈與數位追蹤治理機制，確保產業減碳行動的透明性與公信力。

此外，雙方亦交流在康沃爾之伊甸園計劃的參訪心得，表示該地熱場重視社區溝通與教育推廣，透過植物園及解說中心等設施提升民眾對地熱能源的認識，此模式被視為推動永續能源與社會溝通的成功案例。台灣目前亦規劃於北部火山區建置地熱示範場址，結合環境教育、觀光與地方經濟發展，同時建立火山活動與生態監測系統，以確保環境安全與社會接受度。討論中也提及政策推動需兼顧社會溝通與公眾參與的重要性。英方指出，歐洲同樣面臨民眾對綠能轉型產生懷疑與抗拒的「綠色反彈」(greenlash)現象，而台灣的政策方向則朝向以科學證據為基礎的決策模式，藉由公民實驗與社區實踐逐步強化社會支持。整體而言，雙方一致認為能源轉型與資源治理的挑戰具有跨國性與系統性，需透過持續對話與合作來推動政策整合與技術創新，進而共同實現全球淨零與永續發展目標。



圖60、雙方分別介紹各自於區域循環經濟之看法

2. 交流過程剪影



圖61、國科會林法正副主委與查塔姆研究所之環境與社會中心主任Ana Yang博士合影



圖62、參訪團全員與查塔姆研究所成員合影

肆、參訪心得建議與結論

一、參訪心得

(一) 地熱領域

此次地熱領域交流對象為德國Fraunhofer IEG、Eavor GmbH及英國Eden Project與United Downs Project等機構與專家，以交流地熱技術國際發展趨勢、未來發展規劃與各單位特有之發展技術與規劃。

Fraunhofer IEG以地熱開發法規與技術並進的模式，展現德國推動地熱產業的成熟經驗，其商業化執照制度整合探勘與研究階段，簡化行政流程，並以廢棄煤礦空間作為地熱與儲能應用場址，兼顧資源再利用與能源轉型。此外，透過聲波探勘與Geo2.0觀測設施，提升地質數據精度與公民參與透明度，展現地熱科技與社會溝通並重的特色。此模式對台灣地熱開發程序與社會溝通策略均具參考價值。而Eavor以封閉式熱交換通道網為核心技術，透過注入井與出水井結合地下定位鑽井與岩石化學嵌縫技術，實現高效率地熱能提取。其系統可在高達400度環境下運作，具備高穩定性與可控性。未來Eavor計畫發展垂直式通道網以提升取熱效率。此技術若導入台灣，可應用於中央山脈以西的潛在地熱區。

英國伊甸園地熱計畫(Eden Project)為該國首座深層地熱供熱專案，提供園區生物館與商業設施穩定熱源，並採用花崗岩層同軸真空隔熱管技術，提高熱效率並降低損耗。Eden團隊正推動英國版FORGE計畫，規劃20 MW地熱發電並結合觀光與教育功能。此模式兼顧環境保育與社會參與，對台灣未來地熱示範場域及岩漿庫地熱開發具重要參考價值。而United Down深層地熱供電計畫由英國GEL公司開發，為英國首座深層地熱發電廠，且由英國政府提供再生能源補貼機制。該電廠採雙循環有機朗肯系統與高溫電潛泵，成功開發逾5,000 m深裂隙型地熱儲層，井底溫度達180°C，並結合地熱發電、供熱及地區特有關鍵礦產資源(如鋰、銅)回收，推動能源轉型與關鍵礦物自主供應，展現地熱能多元利用及經濟潛力。

(二) 複合式海域能源領域

參訪荷蘭海洋能源中心(DMEC)與海事研究所(MARIN)等單位，分別交流於複合式海域能資源整合及經濟效益評估，以及於實驗模擬至實場域試驗之技術、經驗等方面，借重各國國際標竿機構之專業領域與國際經驗，協助檢視與推動我複合式海域能源技術與政策發展。

荷蘭海洋能源中心(DMEC)致力推動複合式海域能源發展，整合浮式風電、海上光電與波浪能等多元技術，並兼顧生態復育與海洋永續。其自建經濟效益模型能精準評估場址裝置容量與投資成本，為政府與產業決策提供量化依據。DMEC亦結合金融機構進行融資與風險評估，提升專案投資可行性。目前主導的測試場區包括葡萄牙的WindFloat Atlantic與北海的Parkwind示範案，預計於2026年完成可行性評估、2027年建立複合式海域能源測試標準。整體而言，DMEC為具備跨技術與領域整合能力之國際標竿機構，並以公私協力模式推動能源創新，為台灣未來海洋能源園區規劃及投資機制提供重要參考。

荷蘭海事研究所(MARIN)以其完整的海事工程技術與實驗設施，展現於離岸風電與複合式海域能源領域之推動經驗與技術。該機構具備從模型模擬、水槽試驗到實海域測試等流程的執行能力，並在浮式風機設計、數位孿生及結構健康監測等

領域具國際領先地位，並以促進風場與漁業共榮為研究重點，現已與我方金工中心合作完成離岸工程試驗基地之深水槽，未來亦可持續合作於離岸風場作業相關模擬，以及漁民於離岸風場作業規範與標準擬訂。

(三) 永續低碳氫氨能領域

於德國於利希研究中心(Jülich)與工研院簽署的「低碳氫氨能源生產及微電網應用合作備忘錄」，顯示雙方對於氫能與氨能應用的高度重視。Jülich具備完善的能源材料與電化學研究設備，展示燃料電池、電解槽及能源轉換技術之最新發展，並以整合性研究模式連結材料、系統與應用。

CiP分享於鹿特丹港規劃的風電製氫計畫，並藉由國際合作完成綠氫運輸之基礎設施建置，突顯氫能價值鏈對跨國政策與基礎設施的高度依賴性，以及於澳洲綠氨產氫與進出口之亞洲市場供應規劃，探討結合台灣地理優勢發展氫氨補給樞紐，並透過綠氫來源證明制度與國際互認機制，確保低碳燃料供應的可追溯性與市場信任度，以完善我方綠氫氨產業發展的制度與市場基礎。

(四) 永續航空燃料(SAF)領域

Sheffield大學創新能源中心(EIC)以學研整合與產業合作為核心，建置永續航空燃料(SAF)生產與檢測試驗平台，技術重點在於以生質氣化與化學轉化製程將生物質合成為可直接替代傳統燃料的航空燃油，並結合碳捕捉與氫反應生成碳中和燃料。英國在推動SAF發展時，因農地資源有限而採取兼顧糧食安全的策略，鼓勵農民於農閒期種植能源作物，以避免糧食與能源生產的衝突。同時，政府提供長達14年的差價補貼機制，穩定投資報酬並吸引企業長期投入，使SAF市場形成完善的公私協力模式。EIC亦提供各類燃燒與材料測試服務，確保新燃料的安全性與環境相容性，其實驗室約八成經費由產業投入，顯示市場對該領域的高度信任與需求。整體而言，EIC的運作展現英國在SAF推動上從技術研發、政策誘因到產業合作的完整鏈結。

二、二期科技方案啟發與未來合作對象及方向

(一) 二期科技方案啟發與借鏡

藉由與各國在淨零科技領域具代表性的國際標竿機構交流，深入探討各領域技術發展趨勢與政策規劃現況，同時分享台灣淨零科技推動成果，包括第二期科技方案之重點領域、淨零園區的規劃作法及面臨的挑戰與課題。各國機構皆肯定我方現行規劃與關鍵技術方向，認為整體政策與國際發展趨勢具一致性，並表達未來持續合作與交流的意願。

然而，淨零科技方案的推展除仰賴國內政策的積極推動外，仍需借鏡國際成功經驗與資源投入，以加速技術研發、供應鏈建構及各利害關係人的參與。各領域可持續與具豐富經驗的國際標竿機構合作，透過前期計畫參與、定期舉辦技術與政策交流會議，並邀請國際專家學者擔任顧問，共同研擬技術挑戰與社會溝通議題，確保第二期相關工作順利推進。

未來基於台灣地理位置與既有國際合作成果，可考慮與歐盟及東北亞國家共同建立跨國淨零科技推動聯盟，以深化我方在全球淨零技術發展體系中的鏈結與影響力

(二) 各領域未來國際合作對象與方向

1. 地熱領域

台灣目前估計深層地熱(深度3~6公里)可開發潛能約8 GW，地熱具備穩定基載能源特性，政府已設定具挑戰性的開發目標，規劃於2025年達成20 MW、2030年達1.2 GW、2035年達1.7 GW。為此，政府正推動地熱減碳旗艦計畫，由中油、台電及民間企業共同執行，並引進國際深層地熱鑽探技術，加速開發進程。

為實現上述目標，建議在技術導入上與Eavor公司合作，研發深層地熱地下閉合迴路技術，並評估其於台灣西部地區的應用可行性及地質適用性。同時，針對超高溫(超過250°C)或火山型地熱開發，可與具相關經驗的國際團隊(如冰島或Eden計畫成員)合作。

於公眾參與與教育推廣方面，建議與Eden Project之執行團隊建立正式合作關係，共同規劃結合地熱開發與環境教育的示範場域(Net-Zero Campus)，借鏡其公民參與與社會溝通經驗，發展兼具環境永續與地方經濟價值的地熱示範基地。

2. 複合式海域能源領域

台灣四面環海，擁有豐富海域能源資源，包括36處潛力離岸風場，總裝置容量約23 GW，以及黑潮帶來的洋流能與漁業資源，具備發展複合式海域能源的天然條件。政府已推動離岸風電減碳旗艦計畫，設定2030年裝置容量10.9 GW、2035年18.4 GW之目標，並將複合式海域能源納入下一階段重點項目，期望藉技術研發與實場域建置，解決海域空間競合並提升發電效益。

借鏡國際經驗，複合式海域能源開發不僅是技術整合，更關乎環境、社會與經濟的平衡。建議台灣在推動離岸風電第三階段及複合式海域能源示範時，與荷蘭DMEC合作建立經濟效益與生態共生評估模式，並與MARIN合作導入模擬試驗與公眾參與機制，以提升政策決策的科學性與公信力。

3. 永續低碳氫氨能領域

台灣能資源有限，透過發展多元綠源(含進口與自產)有利於我國能源安全，並強化可調度之無碳電力。故政府規劃氫能(含氨)供應鏈減碳旗艦行動計畫，以氫能供給、基礎設施、氫能應用三大主軸，以及政府支持與國際合作兩大配套，加上低碳氫氨能區域中心的示範場域，加速氫能技術發展與落地使用。

未來建議台灣可借鏡德國與荷蘭綠氫基礎設施的建置經驗，建立跨部門協作平台，推動綠氫與氨能製程技術發展，同時完善「綠氫來源證明制度」，以確保國際供應鏈的透明與永續。並可與哥本哈根基礎建設基金(CiP)等具大型再生能源與氫能專案開發經驗的國際企業合作，參與綠氫示範計畫與來源證明互認，促進我國氫能產業鏈的國際接軌與市場形成。此外，CiP亦分享於各國建廠經驗，港口適合作為離岸風電與氫氨能PtX的示範場域，可作為我國未來進行氫氨沙盒驗證場域之借鏡，加速氫能(含氨)供應鏈減碳旗艦行動計畫相關供應鏈落地。

4. 永續航空燃料領域

為達成2050淨零排放之核心發展目標，永續航空燃料為實現運輸部門減碳、維繫國際競爭力的關鍵策略，且於台灣發展SAF初期階段，需透過整合產官學研資源，共同研擬於SAF成本與料源、技術路線、法規及驗證機制等關鍵議題之解決方案。

目前已成立SAF工作平台，透過跨部會合作推動SAF產業發展，以落實國際民航公約、CORSIA等國際機制之法源化，並完備航空器添加SAF配套措施，滾動式制修訂國家標準及相關檢驗規定，以支持SAF國內供應，建立產業支持。故未來可考慮與EIC建立正式合作夥伴關係，邀請Pourkashanian教授擔任台灣SAF研發及測試園區顧問，協助建立從技術研發、燃料驗證到產業推動的系統化架構，以及建置具國際認證之SAF實驗室，並可藉此發展在地自主SAF驗證能量，鏈結航空公司與煉油業者，形成永續航空燃料生態系，以支撐淨零航空轉型目標。

伍、附件

Fraunhofer IEG 與 NSTC、T-STONE 之地熱議題交流會議紀錄

一、時間：民國 114 年 9 月 17 日 上午 10:00-14:00

二、地點：Fraunhofer IEG

三、出席單位：Fraunhofer IEG、NSTC、T-STONE & TIER

四、討論內容及事項

- (一) 依照德國研究專案經驗，法律研究主題以地熱開發商執照取得議題進行，德國目前取得地熱電廠商業化之執照約 6-9 個月，且電廠商業化執照可涵蓋探勘及研究執照，故取得商業化執照即可進行地熱案場開發。
- (二) 德國地熱之執照取得，整體申請時間仍較台灣申設時間長(約 3 個月)，但所需執照較台灣單一(台灣仍須經過環評、電廠執照等)，後續雙方可就地熱開發申設程序，進行意見交流，提供相關資訊，提供台灣地熱電業執照取得之法律研究專案參考。
- (三) Fraunhofer IEG 所選的之試驗場址多為開採後的煤礦遺址，可大量利用地底空間作為能源性儲存空間，且由於德國冬天溫度較低，故地熱能利用多為提供熱能需求，大部分居民皆有供熱之需求，故對於區域開發地熱較採歡迎的態度。
- (四) Fraunhofer IEG 計劃利用聲波探測萊茵蘭地區之地下深處，以探測地底如岩石類型、孔隙度、透水性和天然水源等地質情況，作為後續地熱開發之數據基礎。目前正規畫建置名為「萊茵蘭地熱真實世界實驗室」之大型地熱能研究基礎設施，作為地熱資源和脫碳研究中心。
- (五) Fraunhofer IEG 除透過將地下廢棄煤礦進行熱能利用外，亦配合太陽能、氨與丁烷等能資源，並結合朗肯循環(Rankine Cycle)技術將熱能溫度提升後，提高能量的轉換與應用。
- (六) Fraunhofer IEG 於地熱資源開發之場址，都將設置不同的觀測設施如 Geo2.0，讓地區民眾能更了解地熱資源的利用與開發情況，提高公民意識，讓地熱看得見。

Julich 與 NSTC、T-STONE 案場參訪與 MOU 簽約見證之會議紀錄

一、時間：民國 114 年 9 月 18 日 上午 9:20-16:30

二、地點：Julich

三、出席單位：Julich、NSTC、T-STONE & TIER、ITRI、MOEA

四、討論內容及事項

- (一) Julich 長期投入燃料電池的開發與技術研究，內部研究設施類型包含材料、電化學、電堆與模組開發，該機構之目標為支持科學與產業的開發研究。藉此次交流與參訪，台灣應持續加強對於研究基礎設施之投資規劃，以支持學術研究與發展。
- (二) 德國亥姆霍茲國家研究中心聯合會(Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren, HGF)為德國最大的科學研究機構，由 19 個各自獨立的自然科學、工程學、生物學及醫學之研究中心組成，員工總數有約 42,000 人，年經費超過 50 億歐元(1,750 億元新台幣)，其中 Juelich 為其中一座研究中心。
- (三) 此次參訪之研究中心為能源材料與設備研究所(IMD)與能源技術研究所(IET)，了解其燃料電池、電化學、能源材料研究設備與類型，展示其技術成果與未來研究方向。
- (四) 其燃料電池實驗場，為與西門子能源合作以完成與實驗商轉型燃料電池的 panel，期望達到 50 千小時的商業化運轉，該實驗總經費約 700 萬歐元(約 2.5 億元新台幣)，經費來源包含聯邦政府支持 200 萬歐元(約 7,100 萬元新台幣)，以及西門子能源提供 400 萬歐元(約 1.42 億元新台幣)的資金支持。
- (五) Julich 與我方之雙邊合作目標，因目前以氨為進料發電之 SOFC 燃料電池技術，雙方仍為技術研究中，但德國已有對應之電堆發展技術，但尚未有以燃料電池進料的技術，僅進行初步的學術研究，而台灣對於燃料電池的技術組裝已足夠成熟，雙方可就固態燃料電池進行研究合作。
- (六) 本次 Julich 與工研院之合作架構與未來合作方向，將由 Julich 提供電堆設計，工研院進行系統組裝，中央大學進行效能評估，並將依照此

次簽訂的「低碳氫氨能源生產及微電網應用合作備忘錄」，以提出雙邊的合作構想書，確認可持續未來合作內容與條件。

Eavor GmbH 與 NSTC、T-STONE 之地熱議題交流會議紀錄

一、時間：民國 114 年 9 月 19 日 上午 10:00-12:00

二、地點：Eavor GmbH

三、出席單位：Eavor、NSTC、T-STONE & TIER

四、討論內容及事項

- (一) Eavor 的地熱開發概念主要是利用一組注入井和出水井，配合其地下定位鑽井技術與岩石表面化學嵌縫技術，於地下構建網狀封閉式熱交換通道，進行冷水地下熱交換加熱。
- (二) 目前技術主要是以水平封閉式熱交換通道網為主，未來為提升單位面積的熱交換效率，目前正在發展垂直式閉式熱交換通道網。如果未來有機會可以提升單位面積的取熱效率，增加地熱發電容量。
- (三) 目前 Eavor 的地熱開發技術已經可以在地下 200 度以上環境進行鑽井作業，400 度環境也可以進行。
- (四) Eavor 作為地熱開發技術的提供者也可以透過全部或部分地熱的授權與台灣合作，協助進行地熱開發。
- (五) Eavor 是否進入特定國家市場主要考量包含市場機會、採購者、開發規範、產業供應鏈。
- (六) Eavor 所開發之深層地熱開發技術目前傾向利用於非酸性循環水開發。於台灣潛在的應用場域主要是中央山脈以西的地熱案場開發。
- (七) 台灣由於沒有油氣資源，故尚未有油氣產業的發展。台灣地熱開主要是以先進技術的需求者出發，因此應用國際較成熟之先進技術於台灣的特殊環境，為未來發展方向。
- (八) 因此建立先進地熱開發技術於台灣應用可行性評估能力，為加速台灣地熱資源開發的重要課題。建立台灣研究機構可與 Eavor 進行技術應用評估的合作計畫，從技術、成本、風險、法規，共同進行可行性研究。

DMEC 與 NSTC、T-STONE 於複合式海域能源議題之交流會議紀錄

一、時間：民國 114 年 9 月 22 日 上午 10:30-12:00

二、地點：DMEC

三、出席單位：DMEC、NSTC、T-STONE & TIER

四、討論內容及事項

- (一) 荷蘭海洋能源中心(Dutch Marine Energy Centre, DMEC)為獨立機構，主要透過 Horzion Europe 資助，協助各國政府及產業制定海域能源發展政策、支援示範驗證場址測試與生態復育，並應用自建經濟效益評估模型，分析場域最適裝置容量與 CAPEX，提供產業及政府決策參考依據。
- (二) 該機構規劃之複合式海域能源園區(Multi-source Energy Parks)，為整合浮式風電、海上型太陽光電(代表廠商 Solar Duck & Oceans of Energy)、波浪能(代表廠商 CorPower)及養殖漁業，園區設計亦透過將海底電纜上鋪設特殊環保材料，以復育海底藻礁與維護海洋資源生態系。
- (三) 由於各海域能源技術於設計標準、環境影響範圍、建置成本及所需海域空間等方面均有所差異，DMEC 為提高該計畫的可融資性，透過與英國銀行機構合作，針對保險與進行盡職調查項目進行共同評估，更精確估算場址開發所需之成本。
- (四) 目前 DMEC 主導設置與測試之複合式海域能源測試案場為(1)浮動式風場：WindFloat Atlantic 的 25 MW 離岸風電及 CorPower Ocean 的 1.2 MW 波浪能陣列複合；(2)固定式風場：Parkwind 的 1 GW 離岸風場及 Oceans of Energy 的 3 MW(North Sea 3)海上型光電複合，各發電系統經由海上變電站匯流，以將電能由 DC 轉 AC 後輸送回陸上變電站，以減少功率損耗。
- (五) 各項測試設備之水中清潔與相關維護措施，須由各技術廠商自有之水下機器人執行，DMEC 不進行設備維護之工作。
- (六) 上述兩個測試場址與設置情況正如期進行，期望於 2026 年完成可行性評估與推展至商業化規模，並於 2027 年能建置複合式海域能源測試驗證標準，以推動複合式海域能源之系統化設置。

CiP 與 NSTC、T-STONE 於永續氫氨能議題之交流會議紀錄

一、時間：民國 114 年 9 月 22 日 下午 14:00-16:00

二、地點：CiP Amsterdam

三、出席單位：CiP、NSTC、T-STONE & TIER

四、討論內容及事項

- (一) 哥本哈根基礎建設基金(Copenhagen Infrastructure Partners, CiP)於荷蘭鹿特丹已規劃開發的離岸風場裝置容量為 2 GW，其 1 GW 裝置容量已簽屬 CPPA，透過地方電力市場銷售，另 1 GW 作為多元電力轉換(Power-to-X, PtX)之電解槽產製綠氫的電力來源。
- (二) 由於綠氫專案推動及電解槽設置，需配合德國陸上氫氨基礎設施開發，然岸上氫能配送基礎設施投資未如預期實施，故鹿特丹港之氫氨工廠建置時程，將依德國政府氫能基礎設施的推進情況進行調整與對接。
- (三) 綠氫專案開發屬於跨領域、高整合度之價值鏈體系，涉及眾多利害關係人與上下游投資。因各項投資環節相互依存，需有橫向整合與統籌協調者，以確保所有最終投資決定(FiD)可以同步落實，使整體氫能專案如期順利開發。
- (四) 配合國際海事組織(International Maritime Organization, IMO)減碳規範，新加坡已開始提供永續海運燃料(Sustainable Marine Fuel, SMF)，以吸引國際船舶於新加坡加注永續燃料。而台灣於國際航運路徑中亦具有地理優勢，可借鏡新加坡模式，建立永續海運燃料供應體系，以推動台灣海運成為國際海運關鍵樞紐地位。
- (五) 目前 CiP 已規劃於澳洲以再生能源進行電解製備綠氫，並與國內潛在使用者(如台肥、長榮海運等)進行協商。然而，由於國內尚無建立綠氫及綠氨的定價機制，雙方無法簽訂採購契約支持投資。實務上，國內氨主要歸類為化工原料而非能源用途，若未來明確納入燃料體系，需同步完善相關法規配套、推動單位之協作及滾動式調整機制。
- (六) 台灣正推動綠氫來源證明制度，建議 CiP 可利用澳洲案場參加綠氫來源證明的示範計畫，促進雙邊制度互認與對接，確保 CiP 規劃未來從澳

洲進口的綠氫或綠氨，能符合台灣低碳氫氨來源證明標準。

- (七) 未來國內推動綠色氫氨產業發展，仍需完善低碳氫氨基礎設施、商業模式、補貼機制等市場成型要素，促進綠色氫氨採購及商業合約簽訂。

MARIN 與 NSTC、T-STONE 於複合式海域能源議題之交流會議紀錄

一、時間：民國 114 年 9 月 23 日 上午 10:00-12:00

二、地點：MARIN

三、出席單位：MARIN、NSTC、T-STONE & TIER

四、討論內容及事項

- (一) MARIN 擁有海域能源技術相關模型模擬、水槽試驗實驗室、動態模擬及實海域試驗等測試與試驗設備，具有完整海事工程解決方案運作的技術與經驗。
- (二) MARIN 於離岸風電研究領域，主要為固定式與浮動式風機設計、安裝與運維技術、多元海域利用、數位孿生(Digital Twin)與結構健康監測、錨泊系統與併網電纜設計。
- (三) 未來台灣發展複合式海域能源之 Net-Zero Campus，除需更多資金挹注完善基礎設施，完備整體模擬至實場域測試流程，並鑒於過往於離岸風電的海事工程經驗，建立複合式海域能源工程試驗設計之流程。
- (四) 目前離岸風場無法讓漁民進入作業，透過海事工程試驗流程及動態模擬實驗室，模擬漁民進入離岸風場作業時，可能會發生事故的潛在因素，以協助政府設立相關漁民進入離岸風場作業規範與標準。
- (五) MARIN 提供顧問服務金工中心完成深水試驗槽建置，未來可基於過去合作經驗，協助金工中心建置複合式海域能源實場域。
- (六) 未來有望由國內學研機構與 MARIN 共同檢視與研擬漁民於離岸風場內作業之相關監測技術與規範，推動地區漁民與離岸風場共存共榮之規劃，為後續推動複合式海域能源(含養殖漁業)提供借鏡。

EIC 與 NSTC、T-STONE 於永續航空燃料議題之交流會議紀錄

一、時間：民國 114 年 9 月 24 日上午 10:30-12:30

二、地點：英國 Sheffield 大學創新能源中心(Energy Innovation Centre, EIC)

三、出席單位：EIC、NSTC、T-STONE & TIER

四、討論內容及事項

- (一) Sheffield 大學 EIC 透過學界與產業界合作，建置永續航空燃料生產試驗流程及提供品質檢驗服務，其核心發展技術為生物質精煉與合成燃料製程，將生物質氣化後所產生的合成氣，化學轉化製成生質柴油等化學品，再透過碳捕捉設施捕獲 CO₂ 與氫反應，製成碳鏈長度為 C₇~C₁₆ 的航空燃油。
- (二) 英國推廣永續航空燃料(SAF)面臨的主要挑戰為農地有限且與糧食安全競爭，政策規範在不影響糧食作物收益前提下，於農閒時種植能源作物，可確保糧食作物價格不受到能源作物的影響。
- (三) 英國為加強生物質燃料的投資，提供為期 14 年的差價補貼機制，確保供應商能在相對穩定的收益環境下進行長期投資，可有效降低風險、提高市場信心、形成健全的投資生態。
- (四) EIC 提供業者既有設施之測試與安全試驗，例如一般燃氣渦輪機組之氫氣混燒試驗，燃燒氣體實驗以評估燃料對材料與結構的影響，以及輔助發電機以傳統燃料與 SAF 進行測試比較，確保 SAF 不會對環境造成不良影響。該 SAF 實驗室總經費約 4,500 萬英鎊(約新台幣 18 億元)，約 2 成的經費來源為政府資助，剩餘 8 成為業界提供，顯示英國 SAF 發展以公私協力為核心推動模式。
- (五) 未來台灣 SAF 推展可與 EIC 共同合作，聘請其專家學者作為顧問，協助建立 SAF 試驗與分析量能，取得國際實驗室驗證認可，並推動設立國際認證之 SAF 實驗室。
- (六) 建議未來可由國研院或國內大學合作與 Sheffield 大學簽屬合作備忘錄(MOU)，共同推動 SAF 技術試驗、標準驗證與實質研究合作。

AMRC 與 NSTC、T-STONE 於 SMR 議題之交流會議紀錄

一、時間：民國 114 年 9 月 24 日上午 14:00-16:00

二、地點：英國先進製造研究中心(Advanced Manufacturing Research Centre, AMRC)

三、出席單位：AMRC、NSTC、T-STONE & TIER

四、討論內容及事項

- (一) AMRC 成立目的為促進學術研發成果落實於產業應用，英國具備長期學術研發能量，然部分研究成果未能有效轉化為產業技術。為縮短學研落差，AMRC 由多家企業共同投資設立，協助學術界研究成果與業界需求接軌。
- (二) 該研究中心設有多項專業製造實驗室，包含複合材料、數位化、鑄件及核子等製造項目，並透過機器人與自動化技術加速整體組裝、拆卸、高精度加工、數據分析及工業控制系統等工業作業流程。
- (三) AMRC 與 Rolls Royce(RR)合作研發小型模組化反應爐(Small Modular Reactor, SMR)—RR-SMR，其採用壓水式反應器(Pressurised Water Reactor, PWR)為核心技術，熱功率輸出達 1,358 MWt。核電廠整體設計具備多層次的安全防護、冗餘與備援系統，確保高可靠性與運轉安全。
- (四) 英國政府正進行 SMR 選商作業，目前候選的業者 Rolls Royce SMR、GE Vernova Hitachi 等兩家，小型核廢料處置尚未有明確的標準。GE 承諾未來若成為英國 SMR 製造業者，將會建置三座生產工廠，促進英國在地就業機會。Rolls Royce 以先進核能製造技術，推動模組化設計以降低開發成本，並協助英國建立 SMR 產業供應鏈體系。
- (五) 後續可與 Rolls-Royce SMR 辦理線上交流會議，討論於 SMR 之未來發展策略與規劃方向，以及可合作推動之 SMR 技術項目。
- (六) 建議後續與 AMRC 共同討論後續合作方向，結合機器人與感測、數據分析技術，發展可應用於台灣在半導體、離岸風電、航太產業等之客製化解決方案。

Eden 與 NSTC、T-STONE 於地熱議題之交流會議紀錄

一、時間：民國 114 年 9 月 25 日下午 12:30-14:30

二、地點：Eden

三、出席單位：Eden、NSTC、T-STONE & TIER

四、討論內容及事項

- (一) 英國康沃爾的伊甸園計畫(Eden Project)地熱場址於 2023 年 6 月正式投入營運，為英國首座營運的深層地熱供熱專案，出水溫度約 75°C，年供熱量約 6 至 7 GWh。現已取得第二口井及發電廠的開發許可，並完成 2030 年電網併聯的相關規劃，而場址及基礎設施皆已建置完成，故具備隨時進行鑽井作業的條件。
- (二) 該計畫採用於花崗岩層中鑽設之同軸真空隔熱管(Vacuum Insulated Tubing, VIT)地熱供熱系統，藉由減少熱損耗，提高熱交換效率，為園區內多項設施(如世界知名的伊甸園生物館(Eden Biomes)、伊甸園育苗中心與商業溫室)提供穩定、低碳熱能供應。
- (三) Eden 團隊規劃建立英國版「FORGE (Frontier Observatory for Research in Geothermal Energy)」計畫，投資額 1.25 億英鎊(新台幣 50 億元)，規劃建置 8 口井、20 MW 發電容量，並結合多元商業開發，包含伊甸園溫泉(Garden of Eden Spa)、攝氏蘭姆酒酒廠(Celsius rum distillery)及地熱培訓與教育計畫(Training & Education)。
- (四) 國震中心歐昱辰主任分享台灣地熱潛能及未來岩漿庫地熱的開發規劃。Eden 團隊中亦有成員參與過冰島及美國奧勒岡地熱開發計畫，後續雙方可持續交流於岩漿庫地熱開發經驗，與未來台灣於岩漿庫地熱開發之合作方式。
- (五) 伊甸園地熱計畫為結合環境保育、再生能源應用及相關科普教育活動之國際典範，未來國震中心亦可於規劃國內地熱實證場域時，與該團隊交流地熱開發與環境共融、地方參與機制設計之經驗，提高社會接受度及公眾參與意願。

Geothermal Engineering limited (GEL)與 NSTC、T-STONE 於地熱議題之交流會 議紀錄

一、時間：民國 114 年 9 月 25 日下午 12:30-14:30

二、地點：United Downs

三、出席單位：GEL、NSTC、T-STONE & TIER

四、討論內容及事項

(一) GEL 是一家英國的深層地熱開發營運商，該團隊於地區深層裂隙型地熱儲層的開發上擁有豐富的專業知識與實務執行經驗，最著名的開發專案為位於英國康沃爾(Cornwall)的 United Downs 深層地熱發電廠。該公司願景為透過推動地熱發電、供熱及地熱鹵水中關鍵礦產回收等計畫，成為引領能源轉型並促進歐洲關鍵礦產自主生產。

(二) 選定於康沃爾開發深層地熱發電計畫之原因，包含有放射性花崗岩分布於英格蘭西南部地區，而其中最高的地溫梯度就位於康沃爾地區；再者，該地區於銅錫等礦物生產擁有多年的歷史，不論於地熱開發或礦物鑽探都具有豐富的經驗，為最適宜開發地熱能的地點。

(三) 於 2018 年 11 月至 2019 年 6 月期間，GEL 完成深度為 5,275 m 的生產井(UD1)及深度 2,373 m 的注入井(UD2)鑽井作業，測試成功並確認深部裂隙滲透性、流體循環性、深部水力刺激的可行性、井底溫度超過 180 °C 等。

(四) United Downs 計畫主要地熱發電設備，由 Exergy SRL 提供裝置容量 3 MW 雙循環式有機朗肯循環(Organic Rankin Cycle, ORC)發電系統及利用電潛泵(Electric Submersible Pump, ESP)以適用於高溫環境。此為英國第一座地熱發電廠，並亦同步規劃開發額外場址推動地熱發電與提煉關鍵礦產。

(五) 該電廠於 2024 年完成建設，為英國首個獲准規劃並完成建置的深層地熱發電專案，且亦為首個取得地熱差價合約(Contracts-for-Difference, CfD)的地熱計畫，象徵地熱正式納入英國再生能源補貼機制。

- (六) 現場有 100 噸/年(tpa)的直接鋰萃取(Direct Lithium Extraction, DLE)試驗設施，由 GEL 與多家材料與化工夥伴合作，展示地熱流體回收鋰與其他金屬的結合潛力，顯示未來地熱發電可與戰略性礦產開採整合，創造發電、供熱與關鍵礦產開採之多重效益。
- (七) 未來台灣深層地熱開發可考慮與 GEL 合作，進行地熱鹵水用於關鍵礦產的可行性研究，推動地熱能與關鍵礦產整合開發之跨域示範。

Chatham House 與 NSTC、T-STONE 於社會溝通與循環經濟議題 之交流會議紀錄

一、時間：民國 114 年 9 月 26 日下午 14:30-16:30

二、地點：Chatham House

三、出席單位：Chatham House、NSTC、T-STONE & TIER

四、討論內容及事項

- (一) 由淨推小組、台經院與查塔姆研究所分享台灣淨零發展目標與現況，涵蓋地熱、離岸風電等重點領域發展現況與未來規劃，並討論如何透過社區驅動，由下而上的方式擴大基層社群參與淨零行動，透過公平的利益分配機制，實現淨零社會轉型。
- (二) Chatham House 長期關注社會與體制轉型，包含發展循環經濟及水資源、林業、木材和化石燃料等自然資源治理之改善，並分析各國能源轉型路徑，預期核能、再生能源和天然氣將成為主要能源。然現今再生能源占比雖逐年增長，但未來可能會受各國體制、運營規劃和政治經濟因素影響而減緩。
- (三) 針對台灣 2050 淨零排放目標，Chatham House 建議可透過國際合作的方式回應機會與挑戰，把握服務業轉型、綠色供應鏈等新商機，並同步強化技術與社會治理。於能源轉型和關鍵礦物全球治理上，建議深化與日本、歐盟等夥伴之合作關係。
- (四) 循環經濟本質上跨境、跨產業，單一國家難以建立完整封閉循環系統，因此需要策略性合作夥伴共同建立循環價值鏈(標準、品級、追溯、回收與再生料跨境流通)，例如推動與日本與韓國的合作聯盟。
- (五) 循環經濟發展需具備一定規模門檻才可達成經濟效益，然台灣單一市場規模受限，致使循環材料難以達標投資條件。建議研議與日、韓循環經濟聯盟，採小型多邊/功能型合作模式(如 APEC)，以發展具經濟規模的再利用體系，將有助於循環經濟的發展。