

出國報告(出國類別：考察)

113 年歐洲淨零、量子科技訪查

出國報告

服務機關：國家科學及技術委員會

姓名職稱：羅夢凡處長、黃冠毓科長

派赴國家：法國、丹麥、芬蘭、瑞典

出國期間：113 年 6 月 16 日至 7 月 3 日

報告日期：113 年 7 月 23 日

目錄

壹、訪查目的.....	3
貳、訪查行程.....	5
參、訪團成員名單.....	8
肆、淨零科技訪查成果.....	10
一、法國原子能與替代能源委員會(CEA)	10
二、法國新能源研究所(IFPEN)	13
三、Dunkirk 工業區減碳計畫(DMX Demonstration in Dunkirk).....	16
四、Energy Modelling Lab 能源系統模型實驗室	20
五、丹麥離岸技術中心 (DTU Offshore).....	23
六、哥本哈根基礎建設基金(CIP)	27
七、丹麥氣候變遷委員會 (Danish Council on Climate Change).....	29
八、TOPSOE	32
九、AW Energy.....	34
十、Stockholm Exergi	36
十一、結論與建議	39
伍、量子科技訪查成果.....	41
一、訪查紀要	41
二、結論與建議	43

壹、訪查目的

一、淨零

為減緩氣候變遷，淨零排放已成為國際共同努力之方向。我國已將 2050 達成淨零排放之長期減量目標明確入法，並由國發會偕同各相關部會公布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」，制定風電/光電、氫能、前瞻能源、碳捕捉利用及封存及公正轉型等「十二項關鍵戰略行動計畫」落實轉型。

扣合賴清德總統推動臺灣第二次能源轉型，發展多元再生能源、氫能、碳捕捉利用及封存(CCUS)、公正轉型之政策方向，本會自然科學及永續研究發展處羅夢凡處長偕淨零科研團隊學研專家前往法國、丹麥、芬蘭及瑞典拜會相關學研機構與產業技術專家，包含法國 Dunkirk 工業區減碳計畫執行單位、丹麥科技大學(DTU)離岸技術中心等產學研協作聯盟；哥本哈根基礎建設基金(CIP)等再生能源基礎設施投資與開發單位及開發氫能技術之 Topsoe、波浪能技術之 AW Energy、生質能源與碳捕捉和儲存(BECCS)技術之 Stockholm Exergi 等企業，交流淨零技術發展與落地推動經驗與展望，並拓展我國與國際淨零科研合作機會。此外，因應我國推動淨零轉型中強化公正轉型與公民參與之政策方向，特別規劃拜訪丹麥能源系統模型實驗室之政策模型專家及丹麥氣候變遷委員會，就政策制定與社會參與及溝通面之經驗進行交流。

本次出訪亦與法國原子能與替代能源委員會(CEA)及新能源研究所(IFPEN)等技術研發補助機關再度會面，基於臺法科學與技術合作協議(STC)及今(2024)年 4 月召開之臺法科學研究會議基礎，進一步研商臺法於淨零技術領域之研發與示範合作機會，期推動法國國家級研究計畫(PEPR SPLEEN)框架下之臺法與臺歐雙邊研究計畫，共同落實淨零轉型目標。

二、量子

應芬蘭駐台商務辦事處邀請，本會由羅夢凡處長率團前往芬蘭，參加由芬蘭舉辦之 IQT Nordics 量子科技國際會議。此國際會議為歐洲重要量子科技產官學會議，超過 50 個產學研單位與會，包含 IBM、Bluefors、IQM、SemiQon、Q-CTRL、是德科技等。我方期能經由參與此會議，促使臺灣團隊與國際產學界進行更深的鏈結與合作，並藉由後續的台芬雙方專家深度交流，來強化臺灣與芬蘭的量子科技合作。

另外，繼今年 4 月的臺法科學研究會議交流討論後，本次也在法方邀請下出訪該國的量子技術研究機構，和拜會其他在光量子計算、量子計算軟體上具有特殊技術的量子科技新創公司，除了解法國在量子科技的發展狀況，亦探詢未來深化臺法量子科研合作的可能。

貳、訪查行程

一、淨零

日期	上午	下午	晚上	宿
6/16 (日)	-		臺灣出發 長榮航空 (BR87)23:30 (TPE)→ 07:55 ⁺¹ (CDG)	機上
6/17 (一)	07:55 抵達巴黎	11:30-13:00 法國原子能與 替代能源委員 會(CEA)	16:00-16:15 會晤駐法代表處吳大使 16:15-17:30 法國新能源研究所(IFPEN)	巴黎
6/18 (二)	交通移動 TGV INOUI no. 7251 06:51 巴黎 →08:52 敦 克爾克	09:30-15:30 • Dunkirk 工業區 CCUS 計畫 • Université du Littoral Côte d'Opale 技術大學	交通移動 TGV INOUI no. 7330 15:51 巴黎 →18:08 敦 克爾克	
6/19 (三)	交通移動 法國→丹麥 法國航空(AF1150) 09:20 (CDG)→11:10 (CPH)		14:00-16:00 Energy Modelling Lab 能源系統模型實驗室	
6/20 (四)	10:00-12:00 丹麥技術大學離岸碳封存研 究中心		14:00-16:00 拜訪駐丹麥代表處	哥本哈根
6/21 (五)	09:00-12:00 CIP 哥本哈根基礎建設基金		13:00-14:00 丹麥氣候變遷委員會 15:00-16:30 TOPSOE	
6/22 (六)	工作會議		深度文化參訪	
6/23 (日)	交通移動 丹麥→芬蘭 芬蘭航空(A954) 13:15 (CPH)→15:45 (HEL)			赫爾

6/24 (一)	工作會議	13:30-15:30 AW Energy 波浪能公司	辛基
		17:00-19:00 IQT Nordics 研討會 welcome reception at Hanasaari	
6/25 (二)	交通移動 芬蘭→瑞典 斯堪地那維亞航空(SK705) 09:15 (HEL)→09:25 (ARN)	14:00-16:00 Stockholm Exergi BECCS 能源公司	斯德哥爾摩
		08:00-20:00 IQT Nordics 研討會	
6/26 (三)	羅處長夢凡瑞典班機前往 芬蘭	淨零參訪團返台	赫爾辛基

二、量子

日期	上午	下午	晚上	宿
6/23 (日)	-		出發	機上
6/24 (一)		量子團抵達 赫爾辛基	17:00-19:00 IQT Nordics 研討會 welcome reception at Hanasaari	赫爾辛基
6/25 (二)	08:00-20:00 IQT Nordics 研討會			
6/26 (三)	08:00-17:45 IQT Nordics 研討會			
6/27 (四)	芬蘭班機前往巴黎		工作會議	巴黎
	9:00-16:30 量子學研團參觀及台芬工作坊			
6/28 (五)	參訪University Paris-Saclay		參訪 Quandela and Pasqal (Massy)	
6/29 (六)	巴黎火車往里昂		工作會議	里昂
6/30 (日)	里昂火車往格勒諾布爾		工作會議	格勒諾布爾
7/1 (一)	09:30-11:30 QuantAlps, Cea-Leti		13:30-16:00 Spintec, Quobly	前往巴黎 巴黎
7/2 (二)	返台			機上

參、訪團成員名單

一、淨零

編號	姓名	單位	職稱	參與行程
1	羅夢凡	自然科學及永續研究發展處	處長	全程
2	黃冠毓	自然科學及永續研究發展處	科長	法國、丹麥、芬蘭及瑞典
3	葉麟	自然科學及永續研究發展處	科技研發管理師	法國、丹麥、芬蘭及瑞典
4	曾重仁	國立中央大學	教授	法國、丹麥、芬蘭及瑞典
5	郭嘉真	國網中心	組長	法國、丹麥、芬蘭及瑞典
6	李明龍	國網中心	副研究員	法國、丹麥、芬蘭及瑞典
7	李明旭	國立中央大學	教授	法國、丹麥
8	蔣國平	國立海洋大學	教授	法國、丹麥
9	劉雅瑄	國立臺灣大學	教授	法國、丹麥、芬蘭及瑞典
10	林若蓁	台灣經濟研究院	副所長	法國、丹麥、芬蘭及瑞典
11	張家榮	台灣經濟研究院	專案經理	法國、丹麥、芬蘭及瑞典
12	黃祉瑄	台灣經濟研究院	專案經理	法國、丹麥、芬蘭及瑞典

二、量子

編號	姓名	單位	職稱	參與行程
1	羅夢凡	自然科學及永續研究發展處	處長	全程
2	劉芳君	自然科學及永續研究發展處	科技研發管理師	量子
3	果尚志	國立清華大學	教授 量子系統推動小組召集人	量子
4	張文豪	國立陽明交通大學/中央研究院	教授/研究員 量子系統推動小組執行長	量子
5	王明杰	中央研究院	研究員 量子系統推動小組總工程師	量子
6	高英哲	國立臺灣大學	教授 量子系統推動小組計畫經理	量子
7	許世玄	財團法人工業技術研究院	量子電腦零件組計畫負責人 量子系統推動小組計畫經理	量子 6/23-6/27
8	林永翰	國研院台灣半導體研究中心	量子科技團隊成員	量子 6/23-6/27
9	李峻實	國立臺灣大學	量子電腦低溫電路研發團隊 計畫主持人	量子 6/23-6/27
10	洪士灝	國立臺灣大學	量子電腦軟體團隊計畫 共同主持人	量子 6/23-6/27
11	羅月秀	量子系統推動小組	量子系統推動小組助理	量子

肆、淨零科技訪查成果

一、法國原子能與替代能源委員會(Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, CEA)

(一)時間：6/17 (一) 11:30-13:00

(二)地點：25, rue Leblanc, 75015

(三)與會人員

No	Name	Title
1	Jean-Christophe BONTE	Deputy Director, International Relations
2	Philippe Bossis	Expert, Direction des énergies
3	Julie Mougín	Deputy Director, Hydrogen technologies
4	Fatima OUALI	Manager, International Relations

(四)訪查紀要

法國原子能與替代能源委員會是法國政府資助的能源、國防、安全、資訊及衛生技術領域的研究機構。近年來法國低碳技術專利申請為全球頂尖，根據國際能源總署(IEA)對低碳技術專利之排名統計，CEA 更是位居全球首位。

CEA 持續推動再生能源相關計畫，包含太陽能/聚光太陽能、儲能、智慧電網、生物能源等技術領域以提高能源系統的效率及永續性，並進一步減少對化石燃料的依賴及推動綠色經濟的長遠發展。其轄下有軍事運用研究、能源研究、技術研究及基礎研究4大研究部門，其中技術研究部(Direction de la recherche technologique, DRT)又被稱作創新研究院(CEA Tech)，下設之新能源科技暨奈米材料革新實驗室(CEA-Liten)則針對氫能產、製、運、儲及應用具有多年研究經驗。

本次拜會與 CEA 及 CEA-Liten 專家交流淨零政策推動與技術科研經驗與展望，會中 CEA 向訪團說明，為達成法國政府淨零政策目標，已投入

數項關鍵技術之研發，包含前瞻核能技術與核燃料回收技術、高效太陽能、氫能、智慧儲能系統與電網、循環經濟等領域，並強調建立工業生態系(industrial ecosystem)之重要性，透過價值鏈不同角色之合作有助於加速技術發展與規模化之進程。此外，CEA 亦投入淨零技術及政策配套落地對於法國社會與經濟面影響分析，作為後續淨零轉型決策參考。

CEA-Liten 氫能專家亦與訪團分享，法國政府於 2020 年宣布國家氫能政策，目標成為全球低碳氫重要生產國之一，並投入 70 億歐元研發綠氫相關技術與計畫推動，目標於 2030 年實現大規模電解水產氫，達至少 6.5GW、推動氫能重型(heavy duty)載具使用及創造 5 至 15 萬個就業機會。CEA-Liten 投入之氫能研發項目包含高溫固體氧化物電解槽(SOEC)、陰離子交換膜電解槽(AEMEL)開發、有機氫載體(LOHC)、金屬及複合性儲氫材料及供重型載具應用之質子交換膜燃料電池 (PEMFC)等技術。此外，CEA-Liten 也致力開發利用生物質、碳捕捉或生物源之 CO₂ 及低碳氫等能源產製合成燃料及化學品，以實現碳循環經濟。

我方也向 CEA 說明我國整體能源政策方向，及氫能關鍵戰略與技術發展現況與困境，並與 CEA 討論因應再生能源間歇性與整合氫能生產及應用端之挑戰。雖法國能源轉型政策與我國有所差異，規劃未來能源結構將以核能與再生能源為主，並搭配氫能、電池與智慧電網作為輔助，在氫能應用方面則將以工業及重型載具減碳為首要目標；我國則將以燃氣電廠+CCUS 及再生能源為主，氫能應用部分則設定以電廠混燒發電及工業減碳為大宗，然而，我國與法國地理特性相似，我國四面環海，法國亦擁有全歐洲最長的海岸線，雙方皆將離岸浮動式風力發電機、電解海水產氫與海洋能視為重要發展方向，亦為台法未來合作之關鍵領域。

此外，法國以建立產業生態系推動技術落地之作法亦值得我國參考，建議加速整合我國氫能價值鏈相關單位，建立氫能產業聚落，推動國內氫能示範驗證計畫，朝規模化之電解水及燃料電池分散式電力以穩固電網韌性方向規劃，並結合再生能源與智慧電網發展；配合加氫站設置帶動氫能載具發展，推動同時也應重視在地區民參與，促進社區共榮。



圖 1、與 CEA 及 CEA-Liten 氫能專家會議交流紀實



圖 2、與 CEA 專家合影

二、法國新能源研究所(IFP Energies Nouvelles, IFPEN)

(一)時間：6/17 (一) 16:15-17:30

(二)地點：駐法國台北代表處 (Bureau de Représentation de Taipei en France)

(三)與會人員

No	Name	Title
1	Fabrice LEMOINE	Co-director
2	Florence Delprat-Jannaud	Director
3	Sébastien BIANCHI	International Relations Project Manager

(四)訪查紀要

IFP Energies nouvelles (IFPEN)前身為法國石油研究所(IFP)，於1919年成立，執行石油相關研究，以促進石油工業及應用發展。轉型後成為能源、運輸及環境領域的重要研究及培訓機構。其資金來源除國家預算外，另有約50%由工業夥伴提供，聚焦再生能源、永續交通、石油天然氣製程改善及循環經濟等面向之研究。

IFPEN 於碳捕捉利用與封存、替代燃料、車輛電氣化及浮式風機等皆有相關研究成果；氫能相關研究主要包含蒸氣重組、生質物氣化產氫、PEM 電解材料；抗腐蝕材料/地下儲氫及監測技術；交通方面則是研發燃料電池及替代燃料相關技術，並與法國原子能暨替代能源署(CEA)及法國國家科學研究中心(Centre national de la recherche scientifique, CNRS)進行合作研究。

此外，IFPEN 為法國 2030 國家投資優先研究專案與設備行動計畫(PEPR)中工業減碳(SPLEEN)部分之主導機關，旨在加速 TRL1-4 技術之研發，領域包含氫能、E-fuel、CCUS 價值鏈等。PEPR 為法國 2030 國家投資計畫(France 2030)中支持強化基礎研究之專案，旨在推動法國維持國際科研大國領先優勢，透過增加額外經費投資在刺激法國及歐盟當前關

切之優先領域，並著重於計畫可能的技轉潛力，法國政府預計將投入 30 億歐元(折合新台幣約 1 兆元)經費在此行動。PEPR 支持的研究專案分為兩類，一為符合法國政府發布之「國家加速發展戰略」內訂定優先領域中，已有初步鎖定後續相關產品、服務、使用內容與對象之研究專案，透過政府傾國家之力協助專案內相關計畫加速轉型實現應用。為此，政府將挹注資金 20 億歐元，約新台幣 6,800 億元；二為探索階段專案，即處於研發轉型早期，初步有方向然整體尚未成熟之專案。政府對此等計畫則挹注資金 10 億歐元，約新台幣 3,400 億元。其中，IFPEN 為永續燃料及工業去碳化兩類專案之指導單位。

本次訪團延續今(2024)年 4 月 29 日第一屆台法科學會議，拜會 IFPEN 討論如何加深綠色產業能源減碳領域之雙邊合作，其中包含生質物轉換為高值化學品及能源、二氧化碳捕獲、封存與再利用價值鏈、永續航空燃料(SAF)等項目。會談中 IFPEN 向訪團分享 CCUS 技術研發成果，目前捕捉效率可達 90%，並經過吸附脫離後產生純度達 99%之 CO₂，後續規劃進行地底封存及結合氫能生產再生合成燃料兩條路徑。IFPEN 捕捉技術應用於 Dunkirk 工業區煉鋼廠，為全法國首項 CCUS 價值鏈驗證計畫。

此外，雙邊亦就淨零技術關鍵材料之供應鏈與回收再利用等議題進行交流，因應全球關鍵原物料資源下降及過度集中單一國家之趨勢，如何確保關鍵材料之供應及回收再利用技術為達成淨零轉型之重要挑戰。我方也向 IFPEN 說明我國整體能源政策方向，以及 CCUS、氫能等技術發展現況與困境，雙方於本次會議中已明確雙邊在各研究領域之聯繫窗口，並談及後續可藉辦理雙邊會議、與 PEPR SPLEEN 管理委員會簡報合作規劃、與 PEPR 綠氫計畫負責人聯繫交流等方式，持續推動臺法技術合作。



圖 3、與 IFPEN 會議交流紀實



圖 4、與 IFPEN 於駐法國台北代表處合影

三、Dunkirk 工業區減碳計畫(DMX Demonstration in Dunkirk)

(一)時間：6/18 (二) 09:30-15:30

(二)地點：ISCID-CO hall, 91 Place du Général de Gaulle

(三)與會人員

No	Name	Title
1	Hassane SADOK	Président ULCO
2	Pierre Gugliermana	CCI – Collectif CO2
3	Raphael Ponce	DGA CUD
4	Henri-Pierre Orsoni	Euraénergie
5	Christophe Poupin	UCEIV-ULCO
6	Pierre Yves Hurea	GRDF
7	Sébastien Royer	Ulille
8	Benoît Gaurier	IFREMER
9	Hervé Delbarre	LPCA-ULCO
10	François Schmitt	LOG-CNRS
11	Hervé Flanquart	TVES-ULCO
12	Xavier HARLAY	IFREMER - Directeur du Centre Manche - Mer du Nord
13	Denis POSTEL	VP recherche UPJV
14	Eric Monflier	VP recherche U ARTOIS
15	Francis Leroux	CCI Littoral Hauts-de-France
16	Calvin Hsieh	VP Prologium, Directeur usine Dunkerque
17	Hervé Weytens	DRH Prologium-Dunkerque
18	Falk Wagenhausen	Directeur du Département Economie Gestion ULCO

19	Rachid AMARA	VP RI ULCO
20	Carl VETTERS	VP communication ULCO
21	Arnaud CUISSET	VP Grands Projets ULCO
22	Edmond ABI-AAD	VP recherche ULCO

(四)訪查紀要

敦克爾克(Dunkirk)工業區為法國最大工業發展地區及港口之一，亦為法國工業碳排之來源大宗，已設定 2030 年減碳 30%目標，並於 2050 年達到碳中和，其中 75%將透過零碳技術減碳，其餘 25%則利用 CCUS 等方式達成。法國中央及 Dunkirk 地方政府已投入 30 億歐元助該地區減碳，主要關鍵戰略包含提升能源使用效率、循環經濟、製程直接電氣化、氫能與生質氣體及 CCUS 等。

法國首項商業規模 CCUS 驗證 3D 計畫即在 Dunkirk 工業區執行，為全球第一大鋼鐵公司安賽樂米塔爾(ArcelorMittal)於 Dunkirk 之製造廠碳捕捉試驗計畫，使用技術為法國新能源研究所(IFPEN)與 Axens 公司合作開發之 DMX 溶劑，相較現行化學吸收劑可減少 30%能耗，該案場於 2020 年啟動，年捕捉量為 4,000 噸，捕捉率達 90%以上。3D 計畫目標建立 CCUS 價值鏈，目前共有 12 家廠商加入該計畫，包含 ArcelorMittal 碳捕捉鋼鐵廠，Gassco 與 Brevik engineering 公司將負責二氧化碳運輸，TotalEnergies 則評估將捕捉後之 CO₂ 儲存至挪威 Northern Lights 計畫北海封存場址；該計畫亦包含社會科學與人文、生命週期碳排與成本之研析。除 CCUS 外氫能亦將扮演重要角色，其中包含大規模產氫計畫(H2V59)，第一階段將裝置 200MW 電解槽，部分綠氫將供 ArcelorMittal 煉鋼廠使用，另將結合該煉鋼廠捕捉之 CO₂ 與綠氫生產再生合成燃料。

本次與會單位包含 Dunkirk 工業減碳計畫平台重要推手濱海-珍珠海岸大學(University of the Littoral Opal Coast, ULCO)。ULCO 成立於 1991 年，設有多個研究中心及實驗室，針對海洋與沿岸、技術變遷與環境、人文與社會科學等領域投入多項研究。主要研究議題包含海洋地質、生物多

樣性、海洋動力、海事安全及海岸空間利用等，也參與法國北部城市 Boulogne-sur-Mer 海區波浪能及海流能技術驗證計畫；針對環境、永續發展和能源也投入包含降低工業污染排放解決方案、空氣污染物(CO、CO₂、PAH、VOC 等)純化、CO₂轉化甲烷、重組產氫等基礎及應用研究。

本次訪團前往法國 Dunkirk，了解該地區工業區減碳計畫，並就 CCUS、氫能、海洋能與公正轉型等議題進行交流。在技術方面，會中談及如何有效整合各項技術資源發展零碳能源系統之重要性；更深入討論台法雙邊可共同開發之關鍵技術，包含離岸浮動式風力發電機、電解海水產氫、二氧化碳再利用與海洋能等，未來可就整體近岸及外海區域之環境研究、模擬與技術發展等方面進行合作。此外，Dunkirk 計畫將捕獲之 CO₂ 結合綠氫轉化為再生甲烷並注入既有天然氣管線，我國淨零能源轉型戰略中燃氣將持續扮演相當角色，此作法可做為我國參考，同時亦可降低對於天然氣進口之依賴，提升我國能源自主率。

在推動模式方面，因應國家淨零政策，該地區大型企業結合大學等學研機構協力成立減碳計畫推動平台，建立淨零產業發展生態系，並獲得地方及法國中央政府支持。針對訪團詢問 ULCO 關於此推動平台之成立緣起，ULCO 表示歐盟及法國已訂定明確階段減碳目標 - 2030 年減碳 55%，2040 年 90%與 2050 年達氣候中和；加上政府對於淨零技術之大力補貼及逐步提升碳費等相關配套政策，促使高碳排企業主導減碳計畫推動平台之建立，透過產學聯盟與產業生態系的力量，加上地方與中央政府的支持，公私協力推動 Dunkirk 地區淨零轉型。

除了技術落地方面，Dunkirk 減碳計畫亦注重社會面的影響，特別是在勞工轉型的部分，並成立子計畫 C-Décidé，建立淨零產業技能發展中心，獲得政府約 8 百萬歐元補助。該子計畫為 ULCO 大學主導，結合在地院校建立符合 Dunkirk 減碳計畫技術需求之相關學程，使學生在畢業後可進入當地企業工作，強化計畫推動能量。我國固態電池廠商輝能 (ProLogium) 在 2023 年獲得歐盟補助在 Dunkirk 地區設立生產基地，亦參與此項計畫，預計將由當地技術型高中開始導入專業課程，培養未來所

需人才，同時亦針對既有勞工設計專屬在職訓練，預計在六個月至一年間可以完成技能轉型。

Dunkirk 工業減碳計畫平台值得我國參考，透過明確淨零轉型目標與相關配套政策引導，並支持產業與學研單位成立減碳推動平台，以公私協作之方式加速淨零轉型目標之落地。未來可評估如何整合我國淨零技術產學研各項資源，支持成立技術推動平台，同時推動人才培育並強調知識轉譯，加速我國淨零技術發展與政策落地之進程。



圖 5、與 Dunkirk 工業區減碳計畫及 ULCO 學研專家會議交流紀實



圖 6、與 Dunkirk 工業區減碳計畫及 ULCO 學研專家合影

四、Energy Modelling Lab 能源系統模型實驗室

(一)時間：6/19 (三) 14:00-16:00

(二)地點：Refshalevej 163A, 1432 København, Denmark

(三)與會人員

No	Name	Title
1	KARLSSON, KENNETH	Director, partner
2	GRAESTED JENSEN, IDA	Partner
3	STEEN ANDERSEN, KRISTOFFER	Consultant
4	BEN BRAHIM, TILL	Consultant
5	BRAMMING, PERNILLE	Consultant

(四)訪查紀要

Energy Modeling Lab 是從事能源系統建模和分析的顧問公司。針對能源、綠色轉型和氣候變遷等領域提供諮詢服務並參與科學研究。其專長是針對能源系統、能源供需及市場發展建立模型與分析、評估新技術及政策潛在影響以及宏觀經濟回饋等，提供策略建議參考。

Energy Modeling Lab 目前有多項專案正在進行中，本次拜訪，該公司與訪團分享其開發之 TIMES 能源系統模型，可模擬不同減碳目標與能源技術，評估具體政策和法規、新興技術和環境限制的影響，協助各國制定永續能源系統轉型路徑及優先投資項目，其中 TIMES-DK 被應用於評估丹麥綠色轉型的健康影響及氣候政策，考量各部門能源供需動態，並納入 CCUS、PtX 等新興技術，並考量技術效率提升及使用年限等因素，以協助決策者了解低碳轉型所帶來的挑戰及評估不同能源政策的影響。近期也依越南能源使用情況、當地消費習慣等社會因素開發該地適用之 TIMES 模型，協助其制定實現 2050 淨零排放之能源策略。

該公司也分享其對能源市場之觀察與預測，預估綠氫需求在 2040 後會

快速增長，其中德國、荷蘭及比利時等國將有大量進口需求。此外，丹麥將藉由 PtX 設施的擴建生產綠氫出口，而該公司也將藉由模型協助評估 PtX 設施最佳設置位置。

此外，會中雙方亦針對模型準確性、跨領域模型整合、知識轉譯、臺灣模型建立等議題進行經驗交流。針對路徑預測未來不確定性，該單位說明數據資訊蒐集之重要性，根據數據資料之更新與資料庫規模，可協助路徑預測更加符合淨零情境，此外，亦強調能源模型與經濟、社會等領域之對話與討論，整合跨領域模型預測情境，尋找出最符合該地區技術、社會與經濟效益之路徑，並滾動式測試模型預測結果及調整方向。

另針對人才培育及社會溝通之作法，該公司除協助大學院校等針對具備能源基礎知識之專業人士辦理相關學程，也重視與社會大眾之對話，參與由公民、當地產業代表和決策者共同組成的 Danish Board of Technology 組織，透過與當地企業領導與民眾對話，傳遞淨零技術資訊與應用情境，增進民眾對於淨零轉各項技術及可能帶來之改變的認知與理解，以提升在地民眾對於淨零轉型與技術落地之支持。



圖 7、與 Energy Modeling Lab 會議交流紀實



圖 8、與 Energy Modeling Lab 專家合影

五、丹麥離岸技術中心 (Danish Offshore Technology Centre, DTU Offshore)

(一)時間：6/20 (四) 10:00-12:00

(二)地點：Elektrovej, Building 375, 2800 Kgs. Lyngby

(三)與會人員：

No	Name	Title
1	Elena Pachkova	Centre Director
2	Malene Rod Vest	Programme Director
3	Charlotte N. Larsen	Programme Manager
4	Birgitte Larsen	Geoscience Advisor
5	Hans Horikx	Reservoir Engineering Advisor

(四)訪查紀要

丹麥離岸技術中心成立於 2014 年，是由丹麥技術大學(Danmarks Tekniske Universitet, DTU)、哥本哈根大學(Københavns Universitet)、奧爾胡斯大學(Aarhus Universitet)、奧爾堡大學(Aalborg Universitet)和丹麥和格陵蘭地質調查研究所(Geological Survey of Denmark and Greenland, GEUS)公私合作組成之夥伴關係，並與 TotalEnergies、BlueNord 及 Nordsøfonden 等企業密切合作，基於研究開發離岸能源轉型解決方案，主要領域包含離岸能源、碳封存、系統整合與儲能、廢水處理技術及能源轉型對海洋生物之影響等。

本次拜訪雙方主要針對碳封存技術開發現況與推動方式等議題進行討論，其中，Bifrost 係由丹麥能源署能源技術開發和示範計劃 (EUDP)資助之兩年期計畫，旨在驗證丹麥北海 Harald Gas field 西區(砂岩)和東岸(白堊岩)之枯竭油田之封存潛能，利用既有石油和天然氣運營相關基礎設施運輸及封存二氧化碳，並評估其環境風險，此外，該計畫也投入 CCS 之公眾接受度與社會經濟影響研究。

在技術方面，DTU Offshore 藉由實驗模擬、電腦斷層(CT)掃描觀察內部結構及其他分析、建模等方式，研究不同環境條件下二氧化碳、其他流體與岩石的相互作用，及對注入速率、儲存率及容量之影響；開發可於水下監測 CO₂、甲烷等氣體洩漏之技術，將以實場測試為目標逐步放大規模；也因應既有油氣設施轉型利用之需求，投入開發封井材料、覆蓋層滲透率、封井前環境基線調查及監測技術；另調查歐洲 CCS 自排放源、運輸至封存之產業鏈網絡，建立資料庫，以評估捕獲至封存方案可行性。除以會議方式分享研究成果外，訪團也藉本次機會前往碳封存相關實驗室與研究人員交流經驗。

在推動策略方面，雙方也討論到公私合作與產學研整合對加速 CCS 技術開發與落地應用之重要性。DTU Offshore 集結官方及學、研機構及在地產業能量，以合作夥伴關係模式共同推進丹麥能源轉型，如前述計畫即與實際運營海上油田、管道設施之產業合作進行技術研究，由政府出資支持該中心投入實驗室測試、數值模擬及創新監測技術開發，確保科研方向符合產業並能應用於實際場域，也藉社會經濟研究探索創新產業價值、創造就業機會，亦具有人才培育效益。此作法值得我國參考，以政策引導及支持產、學、研結盟，公私協力整合資源投入我國淨零轉型所需關鍵技術開發，並加速各項技術於產業實際應用與示範驗證，協助產業轉型，並同步推動人才培育及提升民眾認知與支持度等相關工作。



圖 9、與 DTU Offshore 會議交流紀實

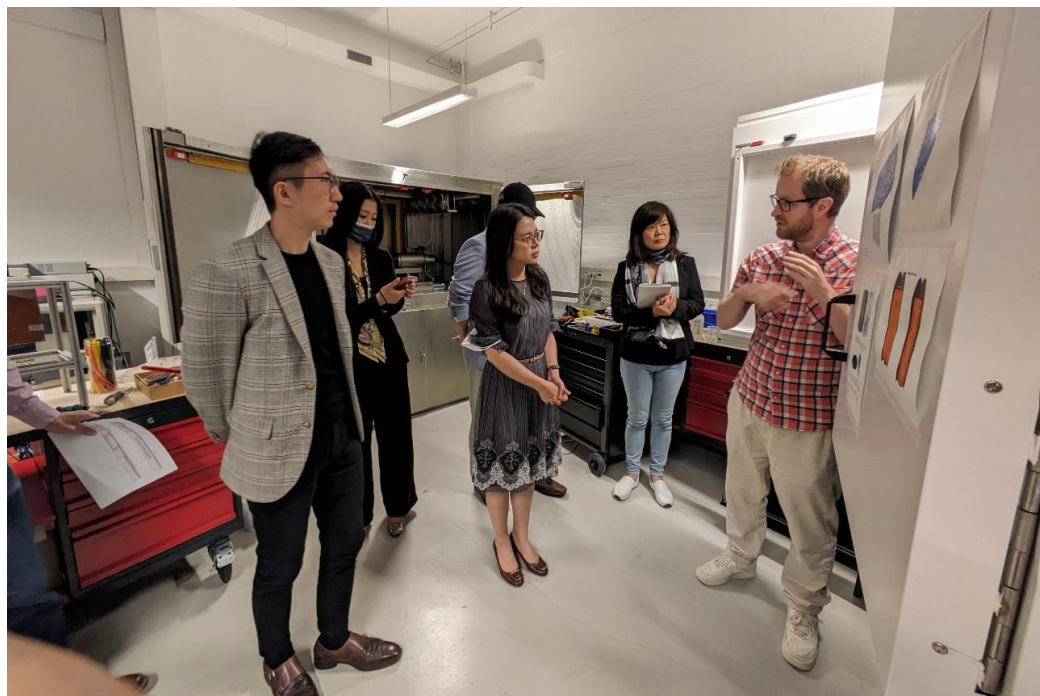


圖 10、參訪 DTU Offshore 實驗室，與研究人員交流研究經驗

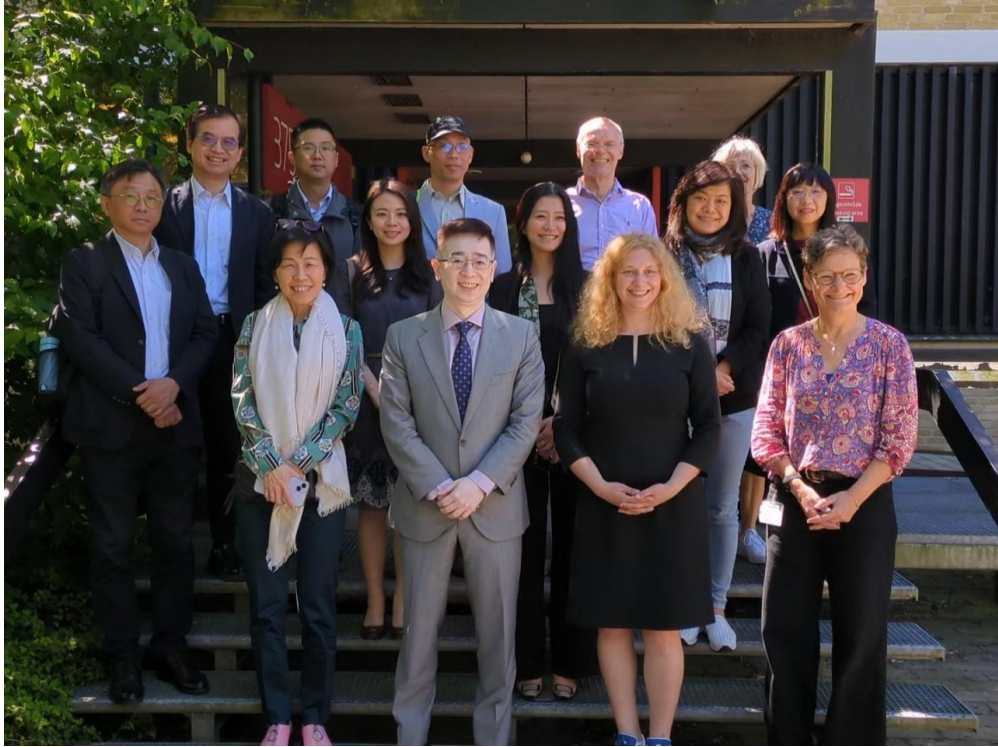


圖 11、與 DTU Offshore 專家於實驗室前合影

六、哥本哈根基礎建設基金(Copenhagen Infrastructure Partners P/S, CIP)

(一)時間：6/21 (一) 09:30-11:00

(二)地點：Gdanskgade 18, DK-2150 Nordhavn, Denmark

(三)與會人員

No	Name	Title
1	Marina Hsu	Regional Managing Director
2	Einar Jensen	Head of Global Public Affairs
3	Jens Jødal Adersen	Vice President, ETF Competence Center
4	Claus Christiansen	Senior Director, ETF Competence Center
5	Christine Chen	CIP TW

(四)訪查紀要

CIP 成立於 2012 年，總部位於丹麥哥本哈根，為一家基礎設施投資公司，致力於能源和公共設施領域的投資與管理。該公司共管理 12 支基金，迄今已從 160 多家國際機構投資者籌集了約 280 億歐元，在全球範圍投資建立超過 40 個再生能源及相關基礎設施，主要投資項目包含陸域及離岸風電、太陽能、生質能及儲能等，總計裝置容量達 16GW。臺灣彰芳暨西島(ChangFang&Xidao)及中能(Zone 29)離岸風電亦為其投資標的之一，CIP 於 2017 年 10 月正式在台成立辦公室，目前團隊超過 150 人，投入風場建設並推動在地供應鏈發展及周邊社區共榮。

本次會議主要針對 CIP 未來投資重點關注面向及臺灣再生能源及新能源相關基礎設施發展展開討論。其中，CIP 成立之能源轉型基金 CI Energy Transition Fund I (CIETF I) 主要投資 Power-to-X、生物燃料及 CCUS 等技術、解決方案開發及基礎建設，如澳洲西部的 Murchison Renewable Hydrogen Project，與 Hydrogen Renewables Australia Pty Ltd 合作，將利用風電及太陽光電電解水產綠氫或氨出口，預計開發規模達 6GW。CIP 也

與訪團分享其對綠氫、綠氨及綠色甲醇市場未來展望，預估 2030 年後此類綠色燃料需求將大幅增長，以因應船運、航空、重型載具運輸及發電應用等需求，其也表示正在評估擴大投資臺灣再生能源如離岸風電結合 PtX、氫能等創新技術之機會，並將與長榮海運、台灣肥料合作開發低碳氨、低碳甲醇等航運燃料生產及應用。

會中雙方也談及我國雖具有綠氫等多項淨零科技發展潛能及本土研發量能，但相關法規及推動策略不甚明確，可考量藉產學研合作建立大型先導示範案場，促進技術研發落地及供應鏈建立，並蒐集運行相關研試數據及場域資訊，提供有關單位參考調整政策及法規配套，由下而上推動綠能產業發展環境健全，加速淨零技術發展及應用進程。



圖 12、與 CIP 會議交流紀實



圖 13、與 CIP 臺灣區董事總經理許乃文及當地專家合影

七、丹麥氣候變遷委員會 (Danish Council on Climate Change)

(一)時間：6/21 (五) 13:00-14:00

(二)地點：Nikolaj Plads 26, 2. Sal, 1067 Copenhagen K

(三)與會人員

No	Name	Title
1	Jacob Krog Søbygaard	Head of Secretariat
2	Frederik Silbye	Head of Analysis
3	Jeppe Wohler	Chief Analyst
4	Asker Voldsgaard	Consultant Analyst

(四)訪查紀要

丹麥氣候變遷委員會為政府出資成立之獨立機構，負責提供具有成本效益的氣候政策解決方案建議，為建立溫室氣體排放極低的社會鋪路，同時維持福利和發展。委員會成員由具有廣泛專業知識之專家組成，以應對涵蓋能源、建築、交通、農業、環境、自然、經濟、行為科學等氣候相關領域議題。

該委員會於會中與訪團分享，丹麥政府已訂定 2050 氣候中和之長期目標，及 2025 降低 50-54%、2030 降低 70% 之階段性溫室氣體減量目標(相較 1990 水準)，而該委員會將持續檢視政府各項淨零工作，藉由推動成效分析，提供客觀之政策建議，並公開資訊作為公眾溝通及討論之基礎，蒐集利害關係人及民眾意見，以強化政府與公眾之對話。該委員會提到，該組織成立除了依據丹麥氣候變遷法案外，亦歸因於大眾對氣候政策與行動的關注，推動國家採取更為積極的氣候行動，更強化委員會在公民參與及對話的功能性。目前委員會其中一個重要工作即是與利害關係方就氣候變遷議題進行對話，定期辦理氣候論壇，以及時傳遞與蒐集有關氣候變遷發展的最新知識與意見，並確保委員會的工作建立在了解該領

域之利害關係方所面臨的現實處境。

會談中針對訪團詢問該委員會主要運作來自政府資金支持，如何確保委員會建議之中立及獨立性，以及如所提建議與政府政策方向相左時之因應機制與經驗等問題，該委員會表示，其運作完全獨立於政府機關，發表相關建議書或報告時亦無需提前向政府彙報或取得政府許可。也分享丹麥政府曾考慮終止委員會運作，但因丹麥民眾氣候意識及對於整體氣候政策之關注提升，並認為該委員會之獨立公正性對於丹麥淨零轉型有其必要性，得以持續獲得支持，扮演政府與民眾之溝通橋梁。

此外，除了國內氣候政策外，丹麥氣候變遷委員會亦積極參與國際事務，向訪團分享國際氣候委員會網絡組織(International Climate Councils Network, ICCN)，該組織成立於 2021 年，成員為各國獨立氣候委員會，目前已有 23 國加入，包含英國、法國、韓國、丹麥、菲律賓、南非、瑞典與加拿大等，旨在促進各國經驗分享、針對共同挑戰討論並在關鍵議題上進行合作。

我國或可參考此機制，成立相關獨立氣候組織，提供淨零政策落實之建議與回饋，並在淨零政策及技術落地推動過程中，落實公民參與及社會溝通，確保淨零轉型與社會之兼容衡平。此外，亦可尋求參與國際組織如 ICCN 之機會，推動我國淨零政策與其他國家之交流與合作。



圖 14、與丹麥氣候變遷委員會交流紀實



圖 15、與丹麥氣候變遷委員會專家合影

八、TOPSOE

(一)時間：6/21 (五) 15:00-16:00

(二)地點：Haldor Topsøes Allé 1, Kgs. Lyngby, 2800, DK

(三)與會人員

No	Name	Title
1	Bo Hartvigsen	Senior Business Development Director
2	Mikhail Shkirev	Licensing Manager

(四)訪查紀要

Topsoe 公司成立於 1940 年，公司總部位於丹麥哥本哈根，為一能源技術開發和供應商，致力於開發生產能源轉型所需燃料及化學品相關技術，為難以減排的產業提供解決方案，領域涵蓋催化劑、製程改善、設備開發、先導試驗及規模化等，擁有 600 多項專利，是全球公認的碳減技術領導者。

本次拜訪該公司主要針對燃料電池電解產氫、氫氨轉換及甲醇生產等技術進行討論，據其預估，2050 年綠氫將可供應全球能源需求的 25%，氫氣需求量達近 2 億噸；氨作為氫載體及低碳燃料等應用，預估需求量更高達 7 億噸；甲烷需求量也預期將提高至 5 億噸。該公司開發固體氧化物電解槽(SOEC)技術相較其他電解技術具較低耗電量與成本優勢，下游可再將綠氫加工成氨或甲醇等，作為能量儲存、燃料或其他化學應用。其獲得歐盟 9,400 萬歐元補助，將於丹麥 Herning 設置歐洲最大綠氫工廠，利用離岸風電等綠色能源電解產氫，預計今(2024)年底完工，初始產能為每年 500 MW，並可擴充至每年 5 GW。

此外，該公司也分享其多樣化之藍氫生產技術，其中 SynCOR™、eREACT™ 主要利用常見之蒸氣重組法，開發優化轉換效率、減少設備尺寸、以電氣化驅動等技術，以有效降低成本及佔地面積，並結合碳捕捉技術，使此兩項技術相較傳統 SMR 可減少 99% 碳排，適合結合既有碳氫化合物基礎設施應用，落實低碳轉型。

訪團於會議中提到，除氫之外，臺灣也將氨視為重要能源選項，積極開發氫、氨相關技術並探詢國際合作機會。該公司亦說明其將約 10 % 收入投資於研發工作，在亞洲地區如馬來西亞等地設有分公司，並與全球超過 40 所大學及研究機構皆有科學合作，對國際合作持開放態度。期未來可藉產學或產業間之國際合作，加速我國相關技術研發及應用進程。

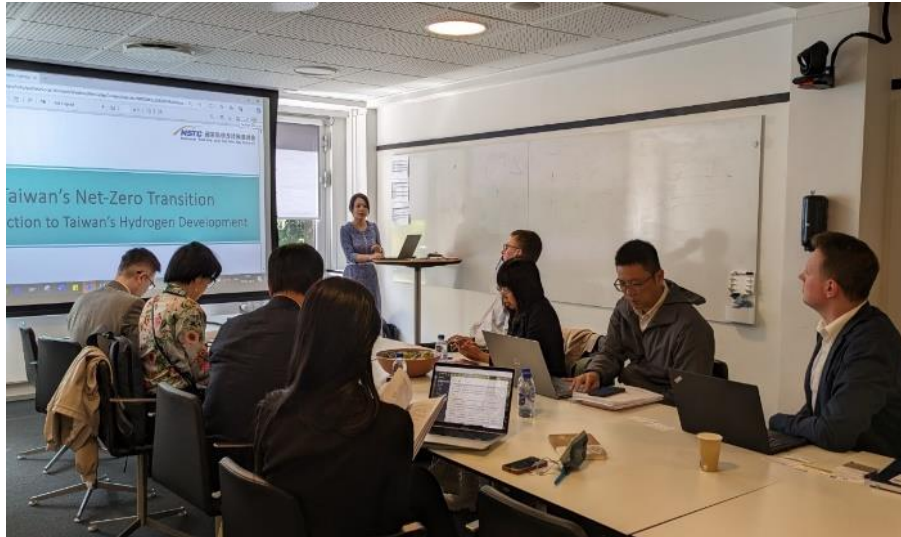


圖 16、與 TOPSOE 會議交流紀實



圖 17、與 TOPSOE 氫能專家合影

九、AW Energy

(一)時間：6/24 (一) 13:30-15:30

(二)地點：Tikkurilantie 10, FI-01380 Vantaa, Finland

(三)與會人員

No	Name	Title
1	Christopher Ridgewell	CEO
2	Sami Pasanen	Technical Manager (Electrotech) and Test Facility Manager

(四)訪查紀要

AW Energy 為芬蘭波浪能技術開發科技公司，其開發之 WaveRoller® 技術係一種水下波浪能量轉換器，設置場域為近岸地區，海水深度約 8-20 公尺之海床，藉波浪水平運動推動水下面板前後擺盪，利用液壓傳動將機械能轉換為電能，並以海底電纜傳輸上岸。

AW Energy 分享，其自 1999 年啟動該技術模型概念驗證，2012 年獲歐盟資助設置並啟動示範機組測試，此後逐步推進 WaveRoller 原型機測試及規模放大，目前設備單一模組可達 350-1,000kW，轉換效率則依海域差異大致落在 25-50%之間。其也藉歐盟研發計畫補助，於 2021 年起於葡萄牙外海進行為期 3 年的實場測試，建立 24 座 WaveRoller 設備(15MW)，為全世界第一座 MW 級波浪能案場(Wavefarm)。訪團也藉本次會議，與該公司說明我國海洋能技術研發現況與困境，並就關鍵技術開發經驗與該公司討論，AW Energy 與訪團說明，其設備因浸沒於海底，受強風影響較小，設備生命週期達 20 年以上，另結合其開發之電力輸出平滑化系統，能提供穩定電力。

訪團亦實地訪視 AW Energy 於芬蘭設置之世界獨有的乾地試驗設施(dry-land test facility)，利用造波機模擬波浪條件，使其可在廠內針對能源擷取系統(Power take-off, PTO)、平滑化技術及後端儲能等進行測試及微調，大幅降低海洋測試所需之成本及時間。

此外，AW Energy 也因應訪團提問，針對技術落地應用之環境及社會

面挑戰，談及其與當地溝通、設置前後環境影響調查等經驗作法，該公司也依政府要求定期出具相關環境調查報告，並分享其海底波浪能設備應用上尚無觀察到負面環境影響，反而因提供生物遮蔽處，吸引海洋生物使漁獲量提升，並因此受到漁民支持。

海洋能開發對海洋生態及漁業等經濟活動影響為社會關注重要議題，參考該公司之經驗，我國研發團隊於執行短期海測階段即可啟動環境調查，評估各面項可能影響及解決方案，並可作為社會溝通之基礎，及早與居民、漁民等利害關係人展開對話。



圖 18、與 AW Energy 會議交流紀實



圖 19、實地參訪 AW Energy 波浪能試驗設備，並與專家於試驗設備前合影

十、Stockholm Exergi

(一)時間：6/25 (二) 14:00-16:00

(二)地點：Jägmästargatan 2, 115 42 Stockholm

(三)與會人員：

No	Name	Title
1	Fabian Levihn	Head of R&D
2	Samuel Scott	Coordinator

(四)訪查紀要

Stockholm Exergi 是瑞典斯德哥爾摩的能源供應商。利用資源節約型解決方案，確保快速發展的斯德哥爾摩地區能夠獲穩定電力、暖氣、冷氣和廢棄物處理服務。其藉由設備更新與數位化提高用戶能源效率；導入循環經濟優化製程、強化廢棄物分類回收以提高資源使用效率；並開發生物燃料熱電聯產技術降低化石燃料使用並結合碳捕捉技術，提供負碳能源，推動斯德哥爾摩成為更加永續的城市。

區域供熱為瑞典主要能源需求之一，Stockholm Exergi 利用熱電聯產技術，藉燃燒廢棄物、木材等生質能產熱及電，並將供熱系統中的水加熱，再以大型塑膠管道取代金屬輸送以減少熱量損耗，僅保留少量化石燃料作為備用能源。針對生質燃料來源及其穩定性，該公司與訪團分享，瑞典森林資源豐富，木材為重要生質燃料來源，依法規規定森林業主須在伐木後重新植樹，而該公司也相當重視森林生質料源之永續性，只採用符合森林管理委員會(Forest Stewardship Council, FSC™) 認證之管控木材(FSC Controlled Wood)，其亦為歐洲首個獲得產銷監管鏈(Chain of Custody, CoC)驗證之能源公司。

此外，為提供負碳能源，Stockholm Exergi 正在進行之 Beccs Stockholm 計畫將在其位於斯德哥爾摩現有的生物質熱電發電廠內創建世界首座生物能源碳捕捉和儲存(BECCS)設施，該計畫已於今(2024)年 3 月取得環境許可證，預計 2025 年開始建造。本次拜訪，該公司亦邀請訪團

實地訪視該計畫應用之碳捕捉技術試驗設備，係採用熱碳酸鉀吸收法，捕捉效率可維持 90%以上，Stockholm Exergi 表示，熱碳酸鉀吸收法雖非創新捕捉技術，但在生質能熱電共生廠運作機制下能達到非常佳的捕捉效率，預計在商業規模設備可提升到至少 98% CO₂ 捕獲，而捕獲之 CO₂ 則規劃送往挪威及丹麥境內之北海地質封存，投入運作後該工廠每年約能自大氣中移除 80 萬噸生物源的 CO₂ 排放量。

瑞典擁有廣大森林面積及長期林業發展，為發展 BECCS 重要基礎，生質能一直為瑞典重要能源資源，2022 年占總能源供給之 29%，更占瑞典國內自產能源之 35%。Stockholm Exergi 向訪團分享，估計瑞典境內森林碳移除潛力可達每年 3,000 萬噸，未來利用 BECCS 技術不僅能滿足瑞典國內碳移除量需求，亦將在歐盟及國際碳市場上扮演重要角色，為瑞典在淨零轉型下開創新契機。事實上，Stockholm Exergi 已於今年 5 月與 Microsoft 簽訂合作協議，將從 2028 年起，透過此計畫提供 Microsoft 公司 10 年 BECCS 永久移除共 333 萬噸的碳權(Carbon Removal Certificate)，未來亦將持續依循此商業模式，開創與國際夥伴合作機會。我國林業資源雖不及瑞典豐沛，森林永續經營為全球永續發展共同課題，農委會近年來積極推廣國產材利用，可參考瑞典經驗結合生質能 BECCS 發展，將林業餘料作為生質能料源應用，推動低碳能源發展同時確保我國森林永續經營，並創造我國淨零轉型下之新發展契機。



圖 20、與 Stockholm Exergi 會議交流紀實



圖 21、實地參訪 Stockholm Exergi 碳捕捉技術設備，並與專家於設備前合影

十一、結論與建議

扣合賴清德總統推動臺灣第二次能源轉型，發展多元再生能源、氫能、碳捕捉利用及封存(CCUS)、公正轉型之政策方向，本次出訪由自然處羅夢凡處長率相關領域科研團隊專家前往法國、丹麥、芬蘭及瑞典，拜會學研機構與產業技術專家，蒐集國際淨零科技趨勢、交流各國淨零技術發展及推動策略，期藉國際經驗加速我國技術發展與政策落地，強化人才培育並提升民眾對於淨零技術政策與技術發展之認知與認同。

產官學策略結盟，扣合政府減碳策略，推動技術發展與政策落地

為了解國際淨零政策實踐與區域落地經驗，訪團拜會法國 Dunkirk 工業區減碳計畫辦公室與 ULCO 之產官學聯盟，刻正於法國投資設廠之固態電池大廠輝能亦共同與會。因應國家淨零政策，該區之學研機構結合在地企業共同成立技術落地推動平台，建立淨零區域發展生態系，其務實之策略獲得地方及中央政府大力支持。另參訪丹麥科技大學離岸技術中心及其 CCUS 技術開發實驗室，該中心為丹麥科技大學與其他 5 所學研機構、丹麥官方與在地產業所成立之策略發展聯盟，協力推進丹麥能源轉型。

本次參訪觀察國際多透過公私協力與學研策略結盟，整合資源推動淨零技術與政策落地，我國可參考學習，評估整合我國淨零技術產學研各項資源之方式，支持技術推動平台成立與運作，串聯產學研量能推動我國淨零技術發展與政策落地。

國際策略結盟與合作，加速落實淨零技術與減碳進程

延續臺法簽署之科學與技術合作協議，及本會於今(2024)年4月召開之臺法科學研究會議，本次進一步與 IFPEN 研商臺法於淨零技術領域之研發與示範合作，以及法國國家級研究計畫(PEPR SPLEEN)框架下之雙邊研究計畫相關可行推動方式。此外，訪團亦拜訪各國先進技術落地企業，如哥本哈根基礎建設基金、Topsoe 公司；於芬蘭拜會波浪能公司 AW Energy 等，特別針對臺灣與歐洲在淨零科技之產學合作、技術研發與落地計畫等方向進行討論，以利

淨零科技方案之擘劃與推動，其中離岸浮動式風力發電機、電解海水產氫、二氧化碳再利用與海洋能等技術為本次參訪討論重點，亦為我國與本次拜訪歐洲相關單位可加深合作之關鍵技術領域。

此外，負碳技術為達成淨零排放之最後一哩路，本次拜會瑞典能源供應商 Stockholm Exergi，了解瑞典發展生質能 BECCS 之技術經驗，同時以法規配套及企業永續責任等方式確保森林生質料源之永續性。我國可參考瑞典作法，結合林業餘料與生質能 BECCS 發展，推動低碳能源發展同時確保我國森林永續經營，並創造我國淨零轉型下之新發展契機。

擴大社會溝通，以包容態度落實淨零轉型策略

淨零轉型推動的過程中，公正轉型、社會溝通與民眾科普為重中之重，本次特別拜訪丹麥能源系統模型實驗室之政策模型專家及丹麥氣候變遷委員會，就各國面對民眾的第一線經驗進行交流。丹麥能源系統模型實驗室藉由其模型預測情境與成果，參與由公民、當地產業代表和決策者共同組成的 Danish Board of Technology 組織，透過與當地企業領導與民眾對話，傳遞淨零技術資訊與應用情境，增進民眾對於淨零轉各項技術及可能帶來之改變的認知與理解，以提升在地民眾對於淨零轉型與技術落地之支持

而丹麥氣候變遷委員會則藉由淨零推動之成效分析，提供獨立性之政策建議，並公開資訊作為公眾溝通及討論之基礎，以此強化政府與公眾之對話，該作法廣獲在地民眾支持。唯有擴大社會溝通，以包容回應的態度面對民眾，以適當政策減緩社會衝擊，才能加速落實淨零轉型目標。

本次拜會歐洲 4 國等產官學單位，其公私合力、學研策略結盟及成立第三方委員會等靈活作法有助落實淨零目標，未來本會將持續加強產學平台策略結盟、人才培育、社會溝通以加速淨零技術發展與政策落地，並透過國際合作，積極參與國際淨零組織以促進科研共同發展，推動創新突破，達成 2050 年淨零目標。

伍、量子科技訪查成果

一、訪查紀要

本次出國參訪同行者包含量子系統推動小組、國研院台灣半導體中心及工業研究院等單位與團隊的專家學者等。於 IQT 會議的國際量子科技生態圈論壇中，我國由量子系統推動小組執行長張文豪作為代表上台與其他國家的代表共同對話，並說明我國執行策略—由產官學研共同協力形成量子技術開發生態系。張執行長亦強調臺灣憑藉半導體製程與人才之優勢，將在未來全球量子科技產業中扮演不可或缺的角色。會議後芬蘭亦舉行臺芬量子科技工作坊，藉由雙方專家深度交流，強化臺灣與芬蘭的量子科技合作。



圖 22、IQT Nordics 量子科技國際會議，我國由量子系統推動小組執行長張文豪(右 1)作為代表，於會議論壇中說明國家量子計畫的執行策略。左起為主持人—全球量子情報公司首席分析師 David Shaw、德國思愛普(SAP)公司研究計畫總監 Laure Le Bars、美國 IBM Quantum 歐洲、中東和非洲、亞太和日本地區經理 Adam Hammond、荷蘭 Quantum Delta NL 策略合作夥伴關係主管 Ulrich Mans、加拿大 Nord Quantique 公司製造團隊負責人 Matthew Hamer、英國國家量子計算中心超導硬體開發經理 Vivek Chidambaram 及我國量子系統推動小組執行長張文豪。

本次出訪亦拜會法國量子技術研究機構如在巴黎的薩克雷大學和達利思(Thales)研發中心等重要學研單位，後至格勒諾布爾，參訪格勒諾布爾-阿爾卑斯

大學(Université Grenoble Alpes, 簡稱 UGA), 該校校長 Prof. Yassine Lakhnech、法國原子能暨替代能源署及法國國家科學研究中心等機構的主任均熱情出席雙方互動活動, 以進行深入交流。除學研界之外, 本次也參訪多家在光量子、中性原子量子電腦及半導體量子電腦等具有特殊技術的量子科技新創公司, 如 Quandela、Pasqal、INRIA、Quobly 等。這些參訪過程, 除使訪團對於法國在量子科技的發展狀況有深刻的了解外, 亦延續臺法科學研究會議之討論, 並共同研商臺法未來在量子科研合作的可能議題。



圖 23、國科會羅夢凡處長(右 10)、臺灣駐法科技組林靜怡組長(左 3)與臺灣量子科技訪團與格勒諾布爾-阿爾卑斯大學(Université Grenoble Alpes, UGA)校長 Prof. Yassine Lakhnech(左 8)、法國原子能暨替代能源署及法國國家科學研究中心等機構的主任們會面交流。

二、結論與建議

此次除在芬蘭 IQT Nordics 會議與眾多國際產業交流外，對於法國公私協力與學研策略結盟共同建構資金與設備友善之新創生態系印象非常深刻。因法國有這樣的適宜環境，故當其學研單位的量子技術發展至一定成熟度後，便容易導入資金，且能在良好的環境順利落地，並孕育成熟，後進而育成新創公司，此種做法非常值得臺灣借鏡。

而目前提供讓學研界使用及測試的雲端量子計算平台，並未包含此次於法國看到的技術成熟的光量子及中性原子量子電腦，目前既然在硬體技術上已有相當成熟度，後續建議積極關注此兩種量子電腦的計算應用，並在有可能性時，接觸及合作，讓我國量子科技軟體技術的專家學者能及早使用。另外，目前芬方產業如 QuantrolOX 和 Bluefors，及學研界如 VTT 均表達有意與臺灣合作。法方部分，建議我方像與芬蘭合作一樣，持續深化接觸，並與我方團隊共同確認適合且可能合作的項目。

下面列出行程補充細節：

芬蘭部分：在 IQT Nordics 量子科技國際會議有許多量子電腦廠商參與，其中的 QuantrolOx 對臺灣量子團隊表達了合作興趣。此廠商為軟體公司，產品為 Quantum Edge Software，此軟體藉由快速的控制硬體，來控制與讀取 1 Qubit。QuantrolOx 的 CEO Vishal Chatrath 表示希望能跟臺灣的硬體團隊合作，如 CryoCMOS 電路及 Qubits，並做出商用量測的測試系統。此外，BlueFors 的 CEO Jonas Geust 提到樂意跟臺灣進行量子相關技術的合作。而我方團隊提出如共同研發驗證其冷卻腔體的雜訊環境、建模與對 Cryo-CMOS 電路的影響等題目，將待 BlueFors 內部討論後，再交流討論是否有機會合作。

法國部分：此行除參訪學研機構外，也參觀下面單位及公司(包含新創公司)。

1. Thales Research and Technology (TRT) 是提供新創和知識共享的平台，並吸引有才華的理科畢業生再繼續發展其專業。Thales R&T 在量子技術方面有相當多的計畫，尤其是在 Sensing 方面。這些計畫主要是與大學和法國國家科學研究中心(CNRS)的研究人員密切合作開發的。於此次行程

中，我們與大學國際事務辦公室先進行討論，然後在聽完 Thales 的介紹後，參觀不少研發實驗室，包括進行 spintronics 開發的 Albert Fert 實驗室。

2. 此行亦參觀新創公司 Quandela，其主要提供模組化、可擴展、節能且可在雲端和本地存取的光子量子電腦，研發項目包括各種量子應用開發軟體和硬體解決方案，也開發單光子源。累積已獲得超過 5000 萬歐元的融資(2023 年新聞)。其投資者包括法國政府支持的”法國 2030 計畫”。並於 2024 年五月宣告推出雲端光量子電腦 2.0 供大家開發光量子電腦應用。
3. 新創公司 PASQAL 係開發以中性原子陣列為基礎之量子電腦，由 2022 年諾貝爾物理獎得主 Alain Aspect 與執行長 Georges-Olivier Reymond 聯合創辦，於 2023 年順利多募得 1 億歐元。該公司亦與法國國營輸電網公司(Réseau de Transport d'Électricité, RTE)合作試行消費配電之最優化，同時亦與 BASF、BMW、Siemens、Airbus、LG Electronics、Johnson & Johnson 及 Thales 等全球集團企業合作。此外，近日 PASQAL 與全世界最大石油生產公司「沙烏地阿美」簽署協議，將由該公司於沙烏地阿拉伯安裝 200 量子位元的量子電腦，預計自 2025 下半年開始使用，且率先用於能源領域，希望帶動中東地區量子技術發展。其中性原子量子電腦發展成熟之狀況，令人相當驚艷。
4. 新創公司 Quobly 是從法國原子能和替代能源委員會(CEA)和法國國家科學研究中心(CNRS) 衍生出來的公司，主要開發矽量子位元。自 2022 年 11 月成立以來，進行了 1,900 萬歐元的初始融資，以加速其工業化進程。Dr. Maud Vinet (Co-founder and CEO of Quobly) 先前來訪，並在臺灣會議上演講。該公司先前公布了其科學技術委員會，針對矽自旋量子位元量子處理器在工業化上的去風險邁出一大步。成員包含如下：梭意科 (Soitec) 資深研究員阮璧嚴 (Bich-Yen Nguyen)、瑞士巴賽爾大學理論物理學教授丹尼爾·洛斯 (Daniel Loss)、鴻海 (Foxconn) 研究院量子計算研究所長謝明修 (Min-Hsiu Hsieh)、傑出物理學家樽茶清悟 (Seigo Tarucha)、牛津大學量子資訊博士亞瑟·奧馬爾 (Yasser Omar)。

此行接觸的這些公司大多友善的安排本訪團參觀其研發實驗室，雙方並有稍微探詢及討論未來合作的可能性。後續規劃將會邀請此行中有接觸的專家學者或公司執行長等，於 10 月至臺灣參加由我方主辦的量子系統國際會議，並促使國內團隊與國際優秀團隊與公司的交流與合作。