

出國報告（出國類別：考察）

德國及義大利
氫能與燃料電池參訪
出國報告

服務機關：經濟部能源署

姓名職稱：蔡秀芬組長、楊淑端專員

派赴國家：德國、義大利

出國期間：2025 年 9 月 16 日至 2025 年 9 月 24 日

報告日期：2025 年 10 月 30 日

內容摘要

本次參訪行程以拜訪德國氫能與燃料電池技術主要研發機構于利希研究中心(Forschungszentrum Jülich, FZJ)等單位，針對氫能發電及產氫技術進行技術交流與經驗分享，並實地參訪研發實驗室，蒐集歐洲最新氫能技術發展現況。本次行程同時由工研院與于利希研究中心簽署「低碳氫氨能源生產及微電網應用合作備忘錄」(MOU)，加強雙邊技術交流與後續合作，預期可促進臺德於氫能技術、應用示範上的合作契機，提升臺灣綠能研發能見度。另參訪義大利 SolydeEra 燃料電池公司，進行燃料電池製程及相關技術交流，作為我國推動燃料電池技術產業落地之參考建議。

參訪交流技術包含 Fraunhofer IEG 利用地熱技術進行能源系統整合，有效利用地底恆溫環境之條件，運用於場域不同季節的加熱、製冷需求，具節能效益。于利希研究中心於電解產氫、燃料電池(SOFC)之技術研發能量及目前成果，包含從觸媒、電池片、電池堆乃至系統整合之開發與測試，其針對不同技術開發測試需求，與相關業者合作開發專屬實驗設備，相關設計可供國內研發之參考。法蘭克福麗笙飯店導入燃料電池，除運用燃料電池電力，發電效率達 49%，並整合熱利用，提高總效率達 90% 以上。義大利 SolydEra 公司為目前歐洲最大 SOFC 電堆量產工廠，其所開發之 SOFC 電堆已具多年全球運行經驗，累積發電量超過 100 GWh、運轉加總時數超過 9 千萬小時。

此行就氫能推動實務面所面臨議題與做法進行交流，從中汲取氫能推動經驗與知識，作為未來國內政策規劃與技術研發之參考，並推動與德國及義大利之產研單位建立實質性之合作，深化雙邊合作關係。

目錄

壹、 目的及行程紀要	5
一、 目的	5
二、 行程紀要	5
貳、 訪團行程及工作內容	6
一、 參訪行程	6
二、 參訪團成員	6
三、 參訪紀要	9
(一) Fraunhofer IEG 參訪交流	9
(二) 于利希研究中心參訪交流	17
(三) 工研院與于利希簽署「低碳氫氨能源生產及微電網應用合作備忘錄」	29
(四) 法蘭克福麗笙飯店燃料電池應用參訪	35
(五) 義大利 SolydEra 公司參訪	40
參、 心得與建議	44

圖目錄

圖 1、能源署蔡秀芬組長與 IEG 主管贈禮合照	10
圖 2、地熱分配豎井	10
圖 3、地熱分配豎井內部構造	11
圖 4、製冷用地下溫差井口與入口	12
圖 5、地下熱電池案場外圍	13
圖 6、地下熱電池案場注水與監測井	13
圖 7、地下結構剖面及注水溫度變化監測	14
圖 8、協助不同溫度加熱之地表熱泵	14
圖 9、鑽井地質內容剖面圖	15
圖 10、鑽頭與鑽孔技術的模擬機台	16
圖 11、鑽頭與鑽孔技術的模擬機台與測試樣本	16
圖 12、于利希研究中心參訪地圖	17
圖 13、Julich 與西門子能源合作之 MW 級 PEMEC 示範系統	18
圖 14、IMD 主任說明 IMD 角色與研究方法	19
圖 15、IMD 對於不同功能需求研發催化劑與薄膜	20
圖 16、不同薄膜的製造工藝與測試程序	20
圖 17、IMD 實驗室過去成果之展示	21
圖 18、SOFC 技術介紹	21
圖 19、不同薄膜的測試載台(cell)	22
圖 20、單一電池單元高溫測試平台	22
圖 21、多個不同氣體的控制與管制台	23
圖 22、氨氣 SOFC 的因安全因素的獨立測試實驗室	23
圖 23、IET 可即時調換產氫或發電之高溫兩用電解器	24
圖 24、多用途高效 PEM 多單位同步測試平台	24
圖 25、Julich LLEC 園區項目總覽	25
圖 26、PEM 製氫與供熱案場	26
圖 27、液態儲氫載體案場	26

圖 28、歐洲現行最強電腦 JUWELS 搭配熱回收技術	27
圖 29、雙向充放電充電樁	27
圖 30、高功率輸出儲能櫃	28
圖 31、LLEC 電網控制中樞大樓	29
圖 32、會前交流	30
圖 33、于利希研究中心副院長級主管 Dr. Jansens 開場	31
圖 34、于利希研究中心研究領域	31
圖 35、于利希研究中心研究能源與氣候相關領域	32
圖 36、工研院綠能所鄭名山副所長簡介工研院研究領域	32
圖 37、工研院綠能所鄭名山副所長介紹綠能所五大研究領域	32
圖 38、工研院 沙崙院區氢能示範驗證平台介紹	33
圖 39、由 IET-1 所長 Dr.Eichel 代表與鄭副所長完成備忘錄簽署 ..	33
圖 40、簽署合影留念	34
圖 41、臺德雙方主管與觀禮單位主管合照	34
圖 42、臺德雙方主要團員合照	35
圖 43、德國法蘭克福麗笙飯店外觀	36
圖 44、麗笙飯店燃料電池設置場域外觀	37
圖 45、燃料電池場域安全裝置	37
圖 46、燃料電池系統人機主控介面	38
圖 47、燃料電池系統高溫尾氣冷卻裝置	38
圖 48、與 FuelCell Energy 代表合影留念	39
圖 49、SolydEra 量產工廠外觀	40
圖 50、SOFC/SOE 材料	41
圖 51、SOFC/SOE 電池塗層	41
圖 52、SOFC/SOE 電池極板	42
圖 53、10 kW SOFC 電堆模組產品	42
圖 54、與 SolydEra 代表合影留念	43

表目錄

表 1、德國義大利氫能與燃料電池考察團員名單	5
表 2、于利希研究中心參訪交流與會名單.....	5
表 3、參訪麗笙飯店燃料電池案場及 FuelCell Energy 會議議程	36

壹、目的及行程紀要

一、目的

德國為國際氫能發展領先國家，於氫能大型發電機組、燃料電池發電及電解產氫等領域具專利技術，本次參訪行程以拜訪德國氫能與燃料電池技術主要研發機構于利希研究中心(Forschungszentrum Jülich, FZJ)等單位，針對氫能發電及產氫技術進行技術交流與經驗分享，並實地參訪研發實驗室，蒐集歐洲最新氫能技術發展現況，透過技術交流尋求國際合作之機會，作為我國氫能技術研發之重要參考。參訪期間，工研院與德國于利希研究中心簽署「低碳氫氨能源生產及微電網應用合作備忘錄」(MOU)，加強雙邊技術交流與後續合作，預期可促進臺德於氫能技術、應用示範上的合作契機，提升臺灣綠能研發能見度。另因應政策推動之需求，參訪義大利 SolydeEra 燃料電池公司，進行燃料電池製程及相關技術交流，作為我國推動燃料電池技術產業落地之參考建議。

二、行程紀要

主要參訪德國 Fraunhofer IEG 地下恆溫熱能應用案場、于利希研究中心氫/氨能實驗室及低碳能源試驗場域，並與于利希研究中心簽署「低碳氫氨能源生產及微電網應用合作備忘錄」，強化雙方交流與合作。在燃料電池方面，則參訪德國法蘭克福麗笙飯店(Radisson Blu Hotel, Frankfurt)，及義大利 SOFC 開發商 SolydEra 公司，了解歐洲定置型燃料電池應用案例及最新技術發展現況。

貳、訪團行程及工作內容

一、參訪行程

出訪日期為 114 年 9 月 16 日至 9 月 24 日共 9 日。詳細行程安排與參訪重點說明如下：

日期	行程內容摘述
9/16(二)	搭機：臺灣桃園-荷蘭阿姆斯特丹
9/17(三)	Fraunhofer IEG 參訪
9/18(四)	于利希研究中心參訪交流
	工業技術研究院 vs. 于利希研究中心簽署「低碳氫氨能源生產及微電網應用合作備忘錄」
9/19(五)	法蘭克福麗笙飯店燃料電池應用參訪
9/20(六)	搭機：德國法蘭克福-義大利米蘭
9/21(日)	工作小組會議
9/22(一)	義大利 SolydEra 公司參訪
9/23(二)~9/24(三)	搭機：義大利米蘭-臺灣桃園

二、參訪團成員

本次搭配國科會臺灣淨零科技方案推動小組規劃之參訪行程，由能源署蔡秀芬組長及楊淑端技士參加，並與國科會林法正副主委、工研院綠能所鄭名山副所長、台經院陳彥豪副所長等人員共同參訪德國于利希研究中心，並見證 MOU 簽約儀式，參與人員如下表所示。

表 1、德國義大利氫能與燃料電池考察團員名單

機構/單位		姓名	職稱
1	能源署 Energy Administration, Ministry of Economic Affairs, R.O.C.	蔡秀芬 Hsiu-Fen Tsai	組長 Director
2		楊淑端 Shu-Tuan Yang	技士 Associate Technical Specialist
3	工研院 綠能所 Green Energy & Environment Research Laboratories(GEL) ITRI.	張文昇 Wen-Sheng Chang	組長 Division Director
4		張勳承 Shing-Cheng Chang	副理 Deputy Manager

表 2、于利希研究中心參訪交流與會名單

機構/單位		姓名	職稱
1	國家科學及技術委員會 National Science and Technology Council	林法正 Faa-Jeng Lin	副主委 Deputy Minister
2	國家科學及技術委員會 工程技術研究發展處 Department of Engineering and Technology Research and Development	洪樂文 Yao-Win Hong	處長 Director
3		王宇豪 Yu-Hao Wang	助理研究員 Program manager
4	國家科學及技術委員會 科技辦公室/產業創新組 Office of Science and Technology Policy	張佳文 Chia-Wen Chang	組主任 Director
	工研院 綠能所 Green Energy & Environment Research Laboratories(GEL) ITRI.	鄭名山 Ming-shan Jeng	副所長 Deputy General Director
		王憲章 Jonathan Wang	副管理師 Associate Administrator
5	國家實驗研究院 臺灣淨零科技方案推動小組 Taiwan Science and Technology Office for Net-zero Emission (T-STONE)	周素卿 Sue-Ching Jou	首席顧問 Chief Advisor
6		林耀東 Yao-Tung Lin	主任 Executive Director
7		江茂雄 Mao-Hsiung Chiang	副主任 Deputy Executive Director

機構/單位		姓名	職稱
8		洪緯璿 Wei-Hsuan Hung	召集人 Chair
9		林宜樺 Yi-Hua Lin	專案副管理師 Associate Administrator
10	國家實驗研究院 國家地震工程研究中心 National Center for Research on Earthquake Engineering (NCREE), NIAR	歐昱辰 Yu-Chen Ou	主任 Director General
11	台灣經濟研究院 Taiwan Institute of Economic Research	陳彥豪 Yen-Haw Chen	所長 Director
12		陳安峻 An-Chun Chen	助理研究員 Assistant Research Fellow
13	國立臺灣大學 工程科學及海洋工程學系 Department of Engineering Science and Ocean Engineering, National Taiwan University	趙修武 Shiu-Wu Chau	教授 Professor
14	駐德國台北代表處 Taipeh Vertretung in der Bundesrepublik Deutschland, Wissenschaftsabt.; NSTC Taiwan, Germany Office	郭秋怡 Chiu-Yi Kuo	秘書 Secretary
15		TBC	Local employee

三、 參訪紀要

(一) Fraunhofer IEG 參訪交流

Fraunhofer IEG 為德國能源轉型的智庫機構，位於 Brainergy Park Jülich（位於 Am Brainergy Park 1, 52428 Jülich, Germany）為一以能源轉型為核心的 52 公頃園區，其獲得德國永續建築委員會（DGNB）金級預認證。此項認證彰顯園區在建築業永續發展方面的高度成就，亦確認該園區對環境友善原則的堅持與實踐。園區設立背景係源於德國於煤炭產業轉型過程中的結構性變革需求，由于利希市、尼德齊爾市、蒂茨市以及杜倫縣政府共同建立，作為跨區域商業園區，以可持續發展原則為基礎，致力於在能源、數位化與生物技術領域實現創新發展模式。該園區的獨特之處在於其實現 94%二氧化碳中立的再生能源供應目標，透過整合光伏發電系統、智慧建築技術以及先進能源管理系統，成為德國能源轉型的重要示範基地。

Fraunhofer IEG 為德國弗勞恩霍夫學會轄下之能源基礎設施與地熱技術研究機構，致力推動能源轉型，透過整合能源基礎設施、地熱能和部門耦合領域的研究，開發創新想法、技術與策略。旨在為政治、經濟、法規和社會提供引導，特別著重於有效地利用地熱能系統、儲存能源以及整合熱能、電力和交通等能源部門的市場。其融合了技術、自然科學和經濟學的專業知識，並持續發展先進的科學方法和實驗基礎設施，以應對氫能、熱採礦與儲存、地質資源開發以及二氧化碳捕獲等核心主題。

Fraunhofer IEG 擅長於能源系統整合、地熱技術與能源基礎建設，涵蓋多媒介耦合網絡（電力、氣體、熱力）、地熱鑽探與地熱技術，以及能源經濟等領域。Fraunhofer IEG 正打造名大型地熱研究平台，目前已獲得約 5,200 萬歐元資金，由聯邦與北萊茵 威斯特法倫州共同補助，涵蓋地球物理測量、探勘鑽井與技術中心建設。IEG 重點鎖定萊茵煤礦區地下特定地層（如含熱水砂岩），並計畫建立供區域暖氣、工業蒸汽、甚至發電的深地熱能源系統，預期可於 2029 年起提供亞琛地區再生熱源。



圖 1、能源署蔡秀芬組長與IEG主管贈禮合照

本次參訪重點為觀摩Fraunhofer IEG 正式啟用了其創新的 GeoStar 2.0 地熱供暖和冷卻系統，該系統已成功整合了可進入的地熱分配豎井。此系統利用傾斜鑽探技術，將 12個星形排列的探測器深入地下 150 米，高效且永續地為波鴻應用科學大學的Audimax 大禮堂提供能源。這種設計策略最大限度地利用了地下的大片土壤空間，同時將地表佔用面積降到最低，使其能夠在現有建築物之間狹窄的空間中運作。透過這個可進入的分配結構，GeoStar 2.0 的先進地熱技術得以展示，讓訪客能夠觀察其運作原理，並作為未來商業化應用的重要研究基礎。



圖 2、地熱分配豎井



圖 3、地熱分配豎井內部構造

Fraunhofer IEG參訪主要以透過地下溫差資源進行房屋冷卻、地下熱電池儲能與鑽探技術地上驗證與鑽孔觀察等三個案場所組成。

1. 地下溫差資源進行房屋冷卻

地下溫差資源是IEG透過地下十數公尺，採用星型分散的方式鑽探，將建築物的夏天製冷與冬天供暖整合至地下鑽探技術，結合多個熱交換器、熱幫浦、抽水馬達，可用一度電達成37kw的被動式製冷效果。根據估計，其效益為傳統空調製冷三倍。

此技術著重於先期案場設計規劃，針對製冷需求，可在未來新型社區大樓、商業辦公室、資料中心等案場進行推廣或測試此運用鑽探技術之被動式冷卻方法。惟此技術需有先期的規劃與大量的土地資源方可達成案場應用。對於高密度、高地價、高技術門檻的臺灣都市地帶仍需考量成本與實際施工條件。

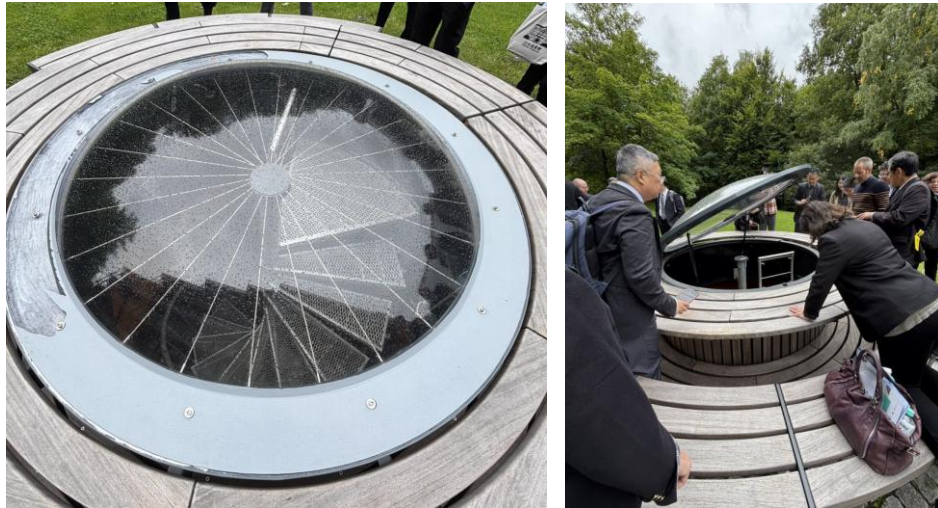


圖 4、製冷用地下溫差井口與入口

2. 地下熱電池儲能供暖

此案場運用IEG坐落在一個60年前短暫開採過的煤礦場。透過煤礦高度隔絕溫度的特性，進行鑽探、設置觀測儀器並紀錄各項參數，將此案場注水來形成一個熱電池的儲能測試案場，並且注水後持續監測周邊地勢是否有因注水造成地表隆起、沖蝕塌陷或水源流失等情況。透過在地表設置的聚焦型太陽熱能裝置將高溫透過泵浦與熱泵，注入至這個由煤礦隔熱、密封的地下熱能電池中。透過此技術驗證可確認在社區夏天儲能、冬季供暖的應用可行性。對於德國這類溫帶大陸氣候，此類地源熱泵應用能顯著降低住宅溫度調控的能耗，同時可以雙向運轉，在較為溫和的夏季吸熱降溫，在冬季釋放熱能供暖。



圖 5、地下熱電池案場外圍



圖 6、地下熱電池案場注水與監測井

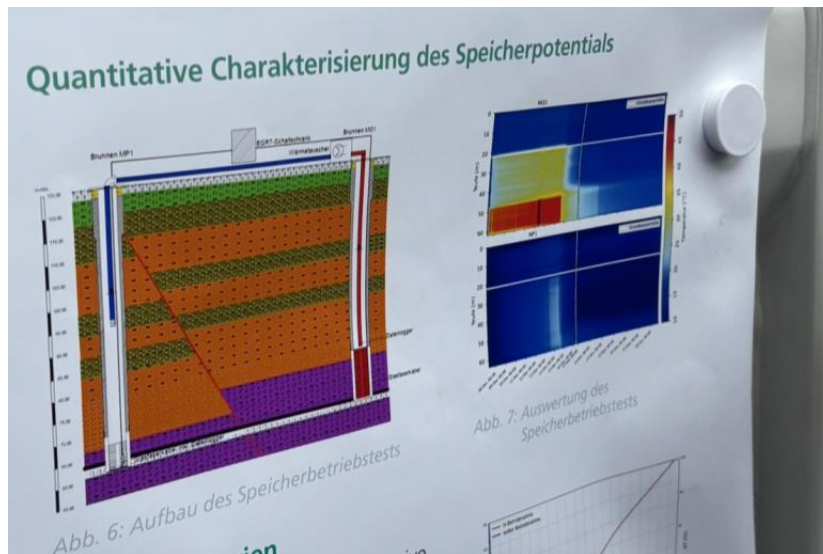


圖 7、地下結構剖面及注水溫度變化監測

藉由此案場之實測數據參考，未來以此技術將能為德國社區冬季供暖提供相當龐大的能耗削減，而夏天依然能為鄰近大學與IEG提供熱水與實驗室供暖等需求。對於德國此類高緯度的溫帶國家與村鎮型態的人口分布模式，此類案場相當符合他們居民、工業的供暖需求。雖然此技術受限於原先煤礦的全通隧道構造限制，而不能達到最佳效率，但是收集的數據與鑽探技術的提升為未來的地下儲能熱電池技術提供極佳的測試案場。未來儲能案場會著重將冷水與熱地下水儲放槽分開，確保儲能效率的最佳化。



圖 8、協助不同溫度加熱之地表熱泵

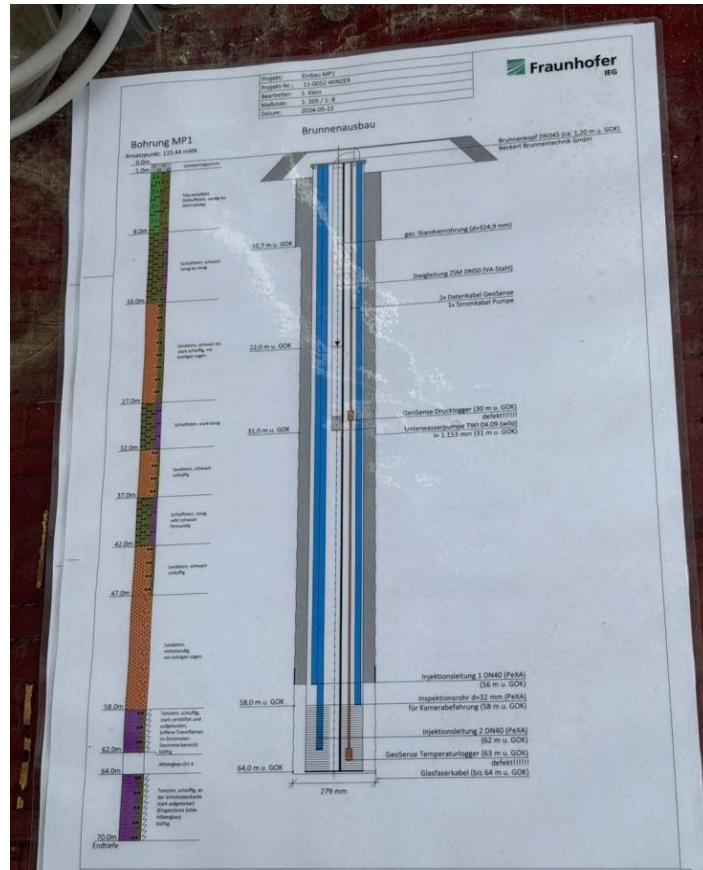


圖 9、鑽井地質內容剖面圖

3. 鑽探技術地上驗證與鑽孔觀察

透過對可能遭遇之礦物進行極高壓與高溫的模擬，使鑽探頭不需透過實際鑽探至地下5公里來進行測試與鑽探結果收集。這個模擬結果使得測試的成本降至原先地下實地測驗的20分之一，對於加速鑽探技術開發技術與顯著降低成本有極大的助益。除了鑽探頭之外，對於鑽孔也能模擬地下5公里之高壓與高溫。這樣的設計能夠使鑽探業者能夠事先知道鑽孔受力與模擬狀況。鑽孔也能透過注水的方式使鑽孔與被注入之注水時承受地下5公里之高壓與高溫，可以模擬此情況對於鑽孔的侵蝕與水中之礦物內容。對於鑽孔管道的模擬能使業者事先防範可能遭遇的風險、技術上的先期布局與營運收益進行地表上的推估。

此案場是IEG對於加速鑽探技術的一個創新案場。同時，這也是他們接受民間與其他單位委托之營收項目之一，展現Fraunhofer機構與德國、歐洲民間業者技術提升的商業願景。



圖 10、鑽頭與鑽孔技術的模擬機台



圖 11、鑽頭與鑽孔技術的模擬機台與測試樣本

德國 Fraunhofer IEG 在能源轉型與淨零碳排的研發與實證領域扮演關鍵角色，Fraunhofer IEG具備深厚的地熱能、氫能應用、智慧能源系統整合等研究基礎，未來可評估共同議題之合作機會，如地熱與氫能的低碳應用、多場域智慧微電網解決方案。

(二) 于利希研究中心參訪交流

于利希研究中心是德國亥姆霍茲聯合會下屬的研究機構之一，成立於 1956 年，中心底下有 14 個研究院，研究領域集中在能源與環境、資訊科技、腦科學研究，現有超過 5,000 名研究人員，是歐洲最大的研究機構之一。于利希研究中心在氫能方面的研究主要為化學儲氫、液態有機氫載體合成有關，重點技術包含反應觸媒、合成材料、電化學處理工程等。主要研究活動集中在四個研究所，分別為 IET (Institute of Energy Technologies)、INW (Institute for a Sustainable Hydrogen Economy)、IMD (Institute of Energy Materials and Devices) 與 ITE (Institute of Technology and Engineering)。

本次參訪于利希研究中心，除了能源署及工研院外，同時也跟國科會共同參觀其實驗室及相關研究設備。場區整體平面圖如下，紅色箭頭為入口區域，紅色圈選處為本次主要導覽實驗室區域，藍色圈選處為簡報會議地點及後續MOU簽署場地。

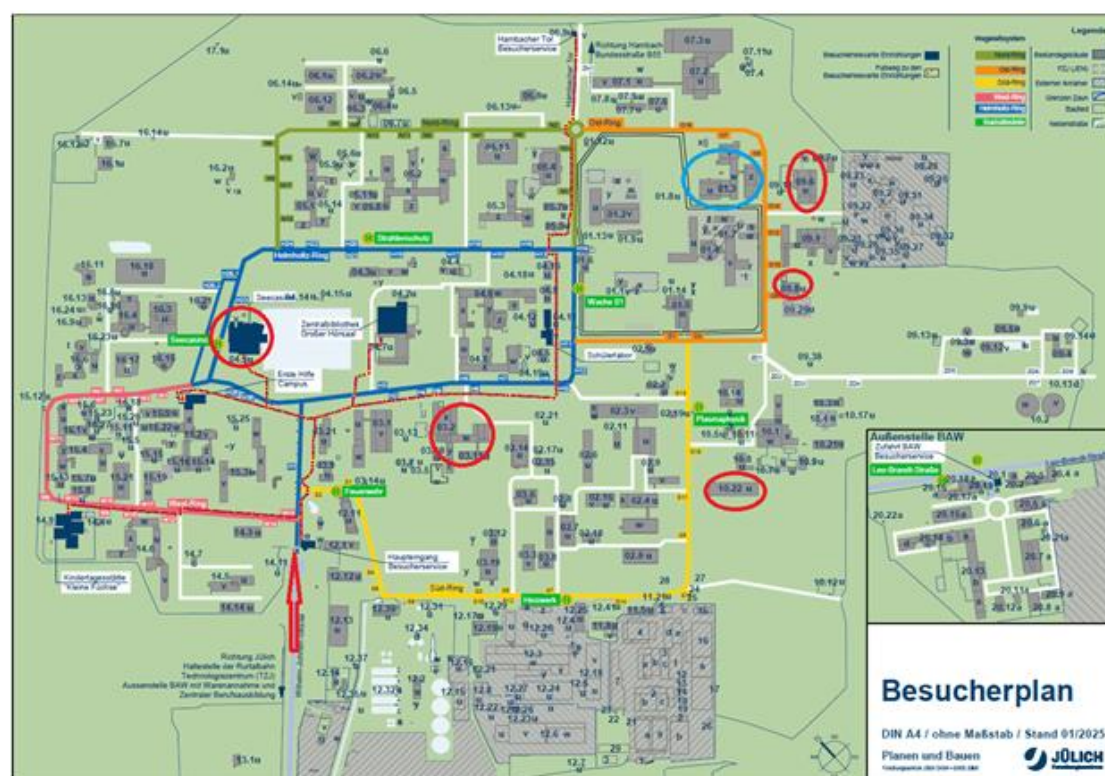


圖 12、于利希研究中心參訪地圖

圖13為IET PEM電解製氫裝置重點項目，屬於德國聯邦教育與研究部（BMBF）之氢能旗艦計畫 H2Giga氢能推廣計畫的一部分，合作單位包含學術界及西門子能源（Siemens Energy），此裝置容量達1.75 MW，是目前已知世界上最大的PEM電解製氫裝置。此裝置的運作參數，為相對低溫（攝氏60度）、低壓的情況運作，測試時間長達5萬小時。操作人員透過模擬間歇式再生能源的負載條件進行快速的降載與升載，可符合光電與風電等再生能源相對間歇式供電的情況，應用於此裝置來模擬高再生能源的德國電網的供電情境，透過收集數據和分析，同時了解此裝置在這樣的操作模式下的性能與衰退情況。



圖 13、Julich與西門子能源合作之MW級PEMEC示範系統

運轉測試過程，定期將運作達到數千小時的測試電解器送往鄰近的西門子設施進行拆解，並將拆解後的電解電堆送回分析。透過收集催化劑在此電堆運作長時間運作後的劣化現象，進行數據與劣化情況分析，以作為未來開發的重點。此案場因其極高功率的實驗場景，對人員安全有極高的要求，於未允許的人員侵入時系統會自動關閉，以避免其高壓電對人員造成傷亡。另外因牽涉到當地建設法規與工安、消防安全要求等條件，電解過程中產生的氫氣並沒有作為燃料電池發電用途或是送至儲氫槽中儲存，而是排放至大氣中。

在IMD研究所實驗室參訪，其專長為陶瓷材料的開放與應用，於實驗室內自行製造所需的粉體與材料，包含固態電池、氣體合成或分類薄膜、氫氣燃料電池、氨燃料電池等應用場景，著重於協助新型材料的開發、燃料電池的技術驗證與數據收集。透過其對新型粉體的開發與配套的高溫製造手法，能夠配合電解器的生產，並不斷地精進電解器的效率。

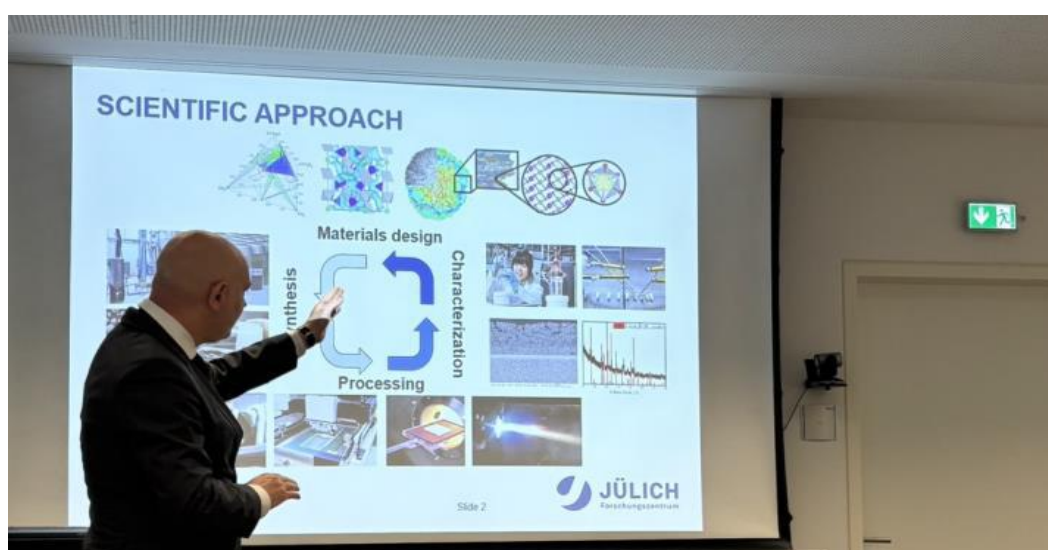


圖 14、IMD主任說明IMD角色與研究方法



圖 17、IMD實驗室過去成果之展示

IET實驗室主要工作為對於IMD與其他實驗室生產的原型裝置與材料進行測試，其測試應對不同燃料，如氨氣、天然氣、氫氣，測試不同材質的發電效率。同時這些測試平台由實驗人員自行設計構思，結合市面上商售設備進行改裝，以符合實驗的需求。這些平台能夠同時進行多起實驗與數據的調整，為加速燃料電池開發提升了極大的效率與降低了實驗成本。

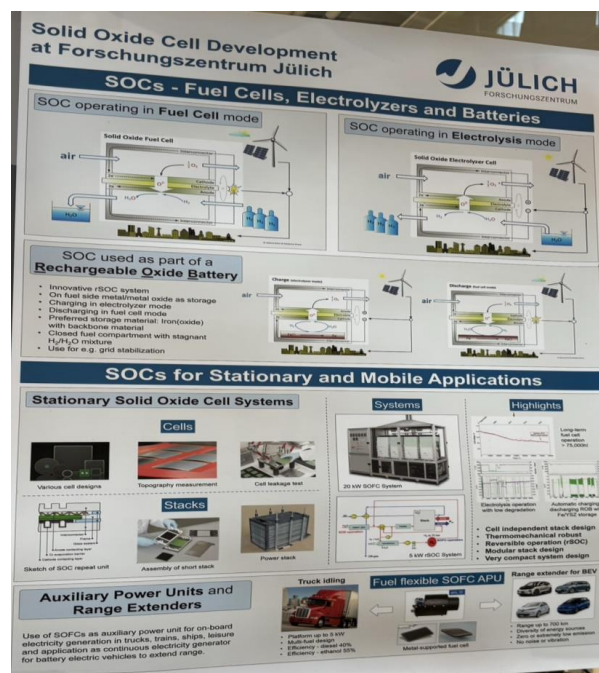


圖 18、SOFC技術介紹



圖 19、不同薄膜的測試載台(cell)



圖 20、單一電池單元高溫測試平台

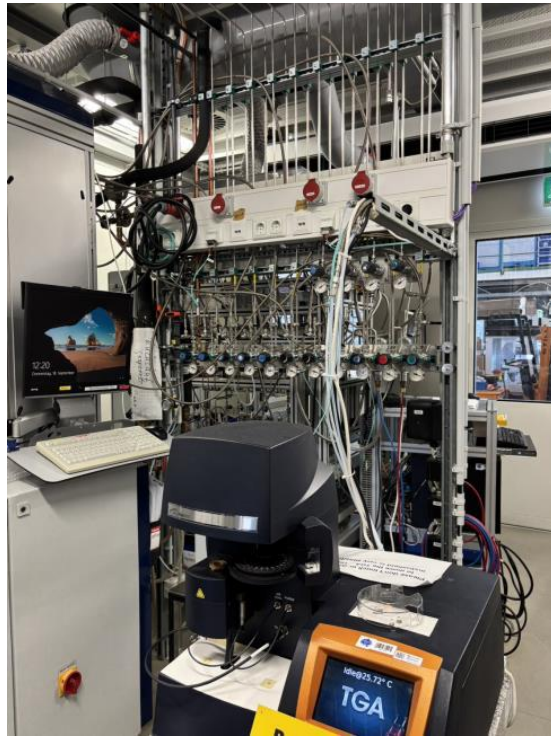


圖 21、多個不同氣體的控制與管制台



圖 22、氨氣SOFC的因安全因素的獨立測試實驗室



圖 23、IET 可即時調換產氫或發電之高溫兩用電解器

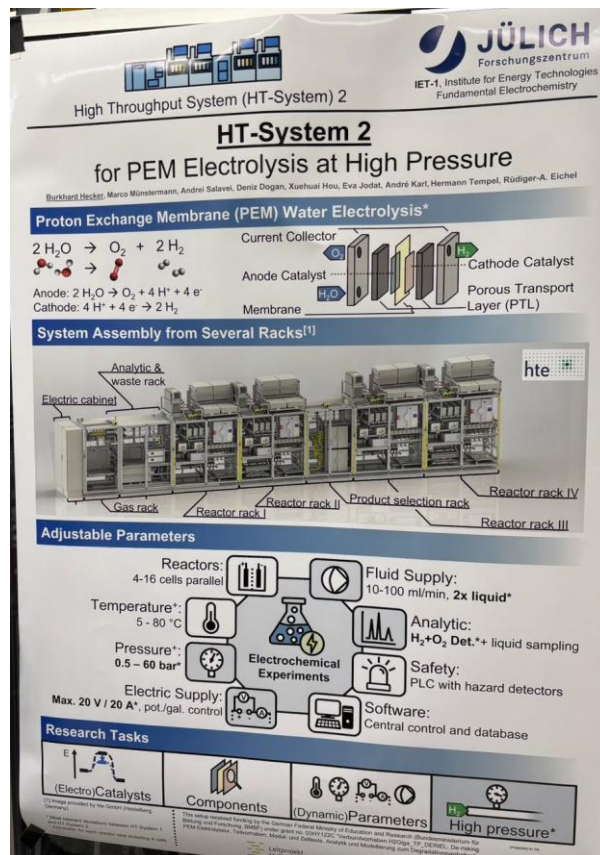


圖 24、多用途高效PEM多單位同步測試平台

Jülich Living Lab Energy Campus (LLEC) 是德國于利希研究中心 (Forschungszentrum Jülich) 所建立的一個科學與技術實驗平台，其核心目標是測試與發展高度整合的能源供應系統。該專案不僅聚焦於電力與熱能，也涵蓋氫能、化學儲能以及電動車移動性等領域，並透過智慧化、預測性的控制策略，探索如何在永續發展、經濟效益與使用者舒適之間達成平衡。

在具體示範項目上，LLEC 部署了多種先進能源解決方案，包括太陽光電系統、鋰電池儲能設備、高效率電解製氫設施以及有機液體氫載體 (LOHC) 示範平台。此外，園區內設有電動車充電基礎建設，並進行「車輛與電網雙向互動」 (Vehicle-to-Grid, V2G) 的研究，以探討電動車如何在未來成為能源網路的一部分。所有這些分散式能源與儲能系統，皆透過智慧控制平台進行整合與優化，模擬未來能源社會的實際運作方式。

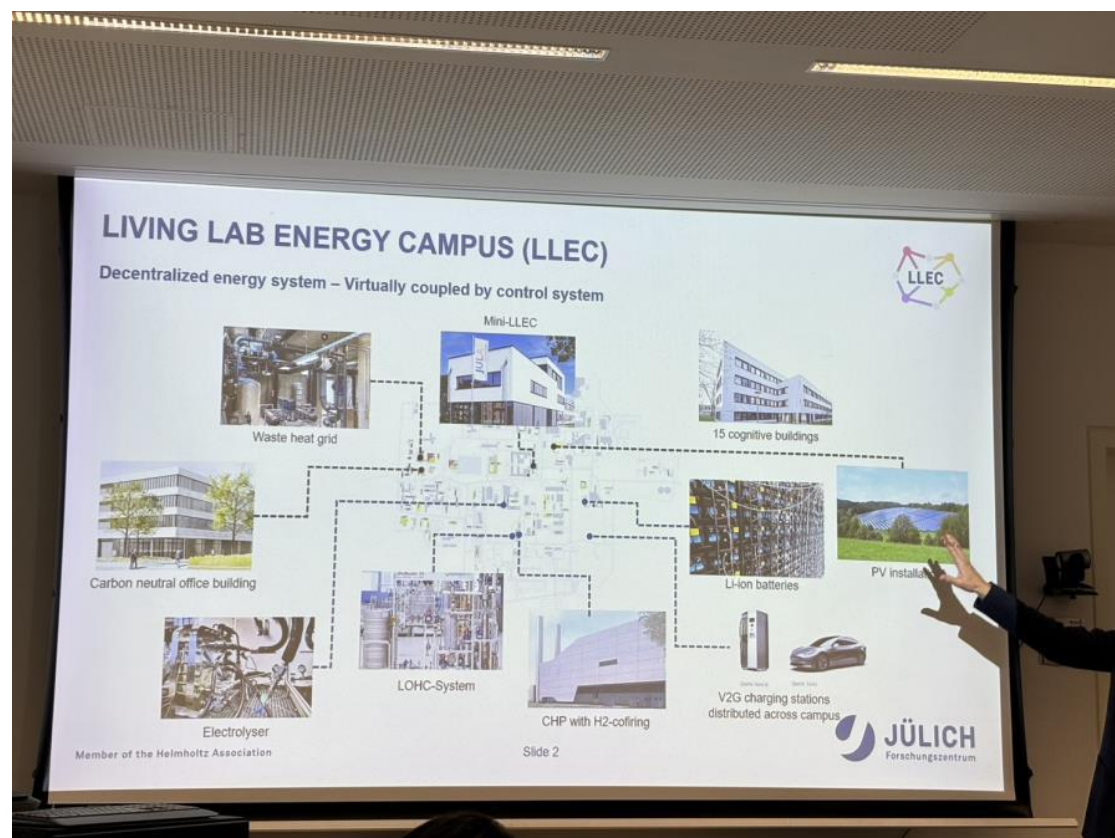


圖 25、Jülich LLEC 園區項目總覽

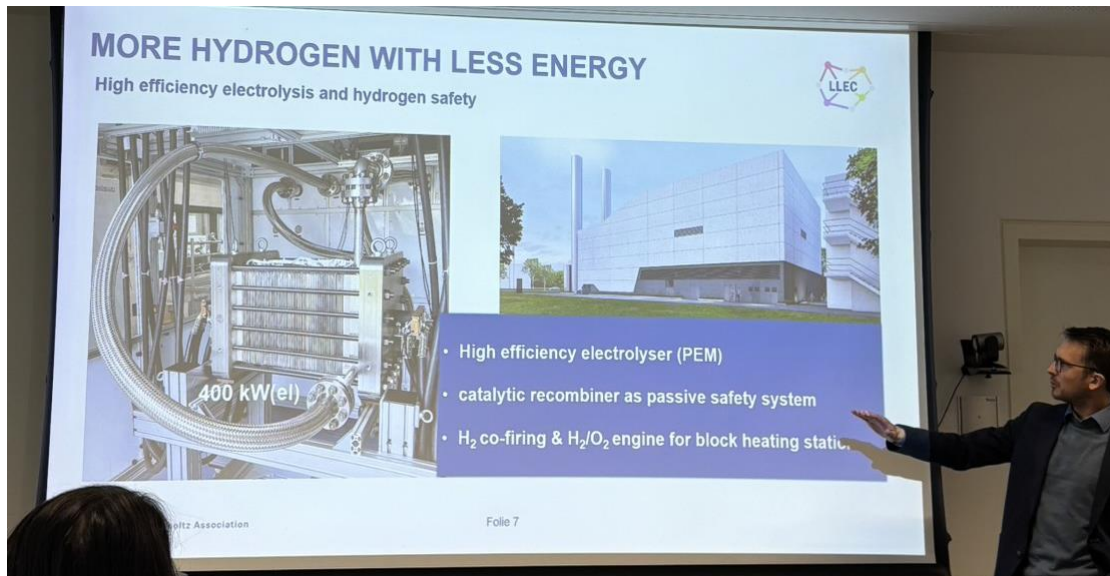


圖 26、PEM製氫與供熱案場

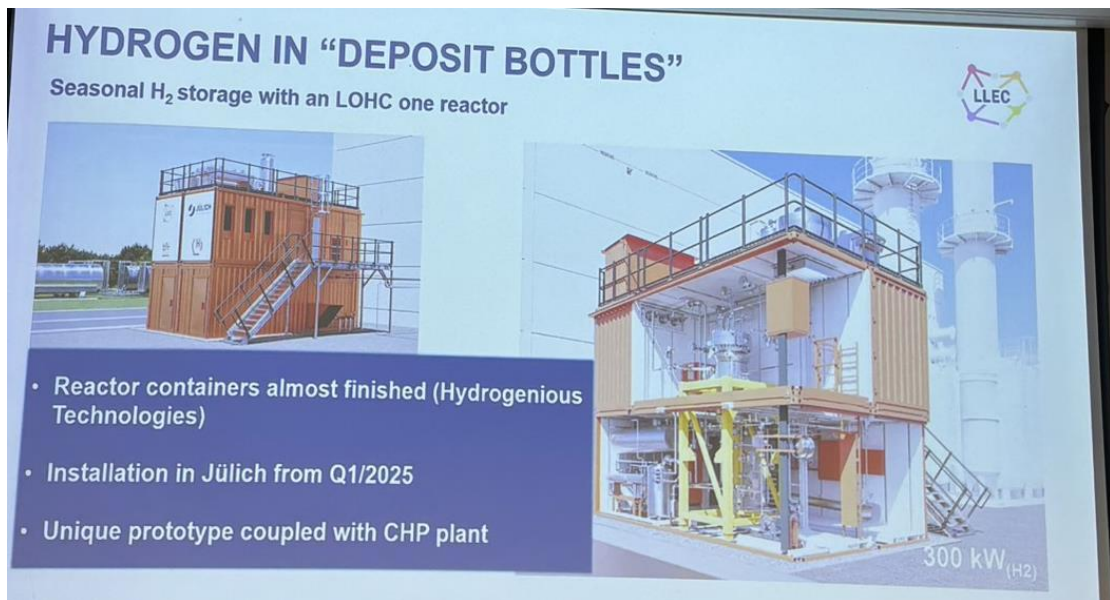


圖 27、液態儲氫載體案場

• 1,2MWp / 43/33°C

• Going into operation soon

圖 28、歐洲現行最強電腦 JUWELS 搭配熱回收技術



圖 29、雙向充放電充電樁



圖 30、高功率輸出儲能櫃

LLEC 最大的特色在於它是一個「真實實驗場域」(real lab)，並非僅止於模擬。所有能源設施皆安裝並運行於于利希校園中，成為研究人員測試跨領域能源耦合(sector coupling)的實際案例。該實驗室同時強調使用者參與與知識傳遞，認為社會接受度、法律政策配套以及行為改變，與技術研發本身同樣重要。未來，LLEC 預期可為再生能源與智慧電網的應用提供可複製的示範模式，並進一步推廣至都市社區、校園、甚至跨國合作場域。透過在電、熱、氫與移動性之間的高度整合，LLEC 不僅能提升能源效率與供應穩定性，也將成為歐洲能源轉型的重要參考案例。

另一項關鍵在於智慧控制平台的開發。LLEC 強調預測性控制與人工智慧驅動的能源調度，能根據天氣預報、負載需求與能源市場價格，動態分配電力、氫能與儲能資源。這不僅有助於平衡再生能源的間歇性問題，也為未來的「能源即服務」(Energy-as-a-Service)商業模式提供測試基礎。同時，LLEC 還重視人因與社會科學面向，例如使用者行為模式、法規制定、與地方社區的互動，確保技術發展能真正被接受並推廣。

從科學研究價值來看，LLEC 不僅是能源技術驗證場域，也是跨學科合作的溫床。它匯聚物理、化學、工程、資訊科學與社會科學的專家，共同研究能源轉型的技術與制度挑戰。此外，它也作為歐洲科研聯盟的重要節點，能與其他 Fraunhofer 研究所、大學與產業夥伴合作，共同申請歐盟框架計畫或跨國示範專案。LLEC 的研究成果有望推廣至更大規模的都市能源社區與工業園區。其示範模式能協助城市規劃者設計智慧微電網、支持能源共享平台，甚至建立再生能源與氫能的跨境交易系統。對德國而言，LLEC 是「碳中和」目標的重要推手；對國際社會而言，它則是一個展示歐洲如何結合科研、政策與產業力量推動能源轉型的具體案例。

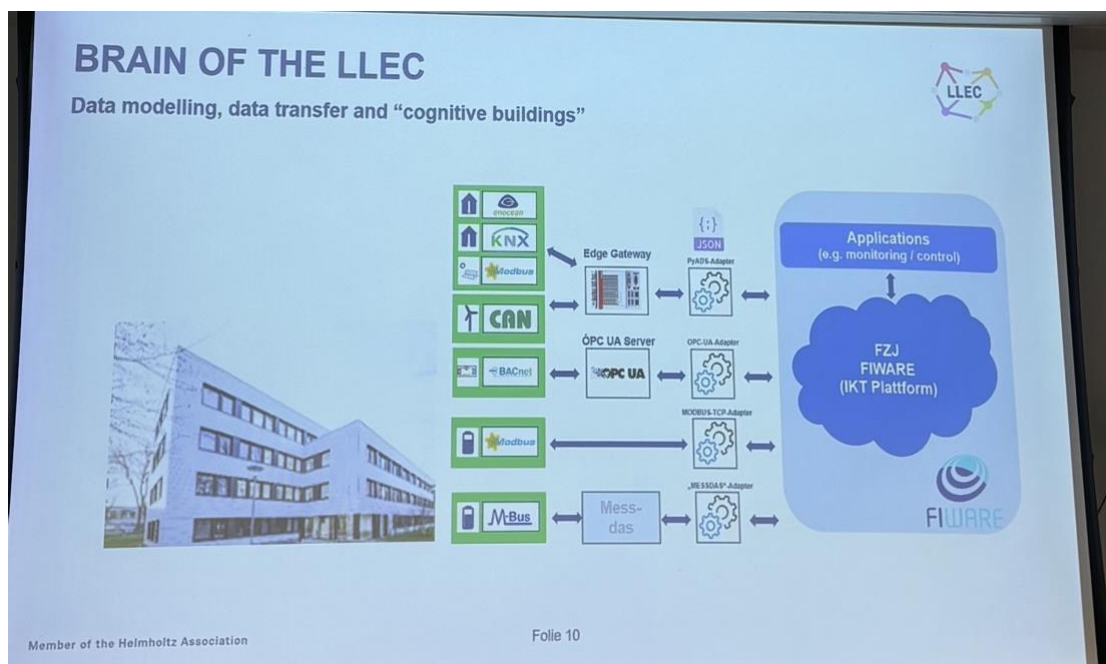


圖 31、LLEC電網控制中樞大樓

(三) 工研院與于利希研究中心簽署「低碳氫氨能源生產及微電網應用合作備忘錄」

本次工研院綠能所與于利希研究中心簽定合作備忘錄，簽署代表人分別為綠能所鄭名山副所長暨技術長（Deputy General Director and Chief Technology Officer, GEL, ITRI）及能源技術研究所-第一研究所所長 Prof. Rüdiger-A. Eichel（Scientific Director, IET-1, FZJ）。雙方未來將針對氫能及以氨為基礎的低碳能源生產解決方案、微電網應用探索後續可能合作機會。

于利希研究中心的簽約代表單位有四個研究單位，分別為 IET-1（強調電化學儲能、能源轉換技術），IMD-2（強調材料合成與加工）和 INW-4（著重氫能轉換單元與應用設備系統整合，包含儲氫/供氫系統）與 ITE（強調領先的製造技術與新研究設備、儀器與專用裝置的先期製造）。

1. 能源技術研究所 (IET)致力於開發和研究再生能源產生的電能之轉換與儲存技術，IET 還包含了數個研究部門，各自專注於基礎電化學、再生能源材料與製程、能源材料的理論計算以及電化學製程工程等面向。
2. 永續氫能經濟研究所 (INW) 的研究重點為化學儲氫技術，特別是利用液態或易液化的氫載體，例如甲醇、醇類或氨，以及液態有機氫載體 (LOHC) 技術。

3. 能源材料與元件研究所（IMD）致力於研究與開發先進材料、元件與技術，以應用於能源領域，旗下設有四個主要部門，分別專精於材料的結構與功能、材料合成與加工、太陽能光電技術，以及儲能領域的離子學研究。
4. 技術與工程研究所（ITE）為一個多領域整合型機構，具備世界級的專業能力、先進實驗室與領先的製造技術。我們的目標是開發創新研究設備、儀器與專用裝置，並以獨特產品與示範設施的形式呈現，推動技術極限，為現行技術無法涵蓋之領域提供全新解決方案。

本次MOU簽署儀式，雙方參與人員超過60位(如表6)，會議開始前，雙方先簡短介紹各自研究領域、研究主題、單位介紹。後續將台灣工研院與德國于利希研究中心雙方的研究架構與後續的技術合作，進行了廣泛的討論。後續的合作方案，包含採用大南方計劃、台德計劃、與歐盟內部的科技資助計劃等資助方案，皆為可評估之方案，同時也不排除，歐盟或是台灣未來會有嶄新的資金來源協助氫、氨、電解器或微電網等技術進行開發。



圖 32、會前交流



圖 33、于利希研究中心副院長級主管 Dr. Jansens開場

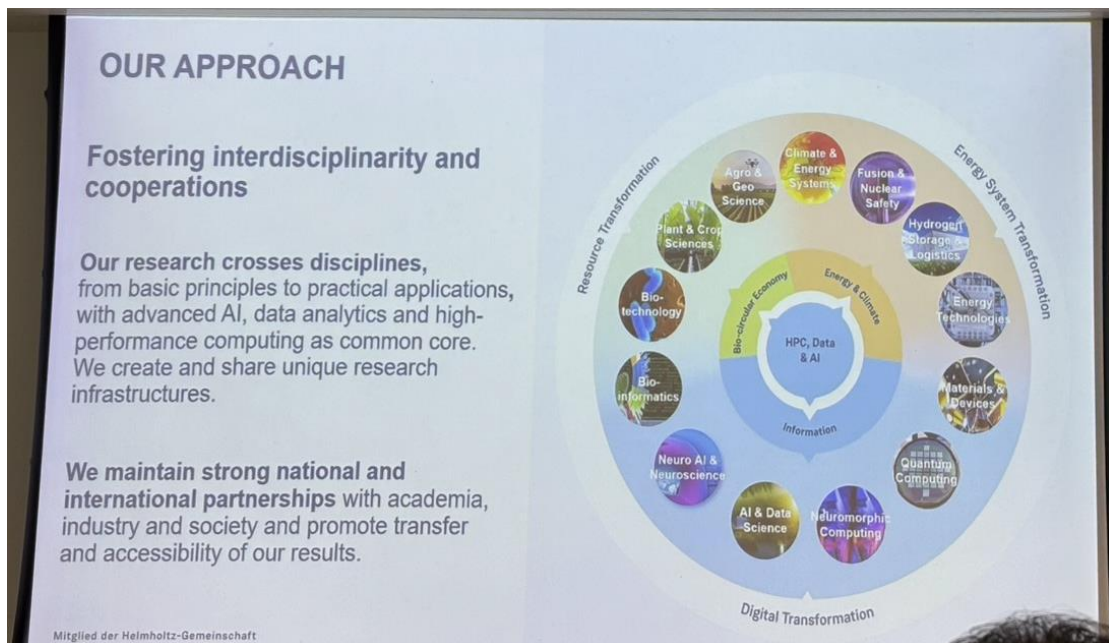


圖 34、于利希研究中心研究領域



圖 35、于利希研究中心研究能源與氣候相關領域



圖 36、工研院綠能所鄭名山副所長簡介工研院研究領域



圖 37、工研院綠能所鄭名山副所長介紹綠能所五大研究領域

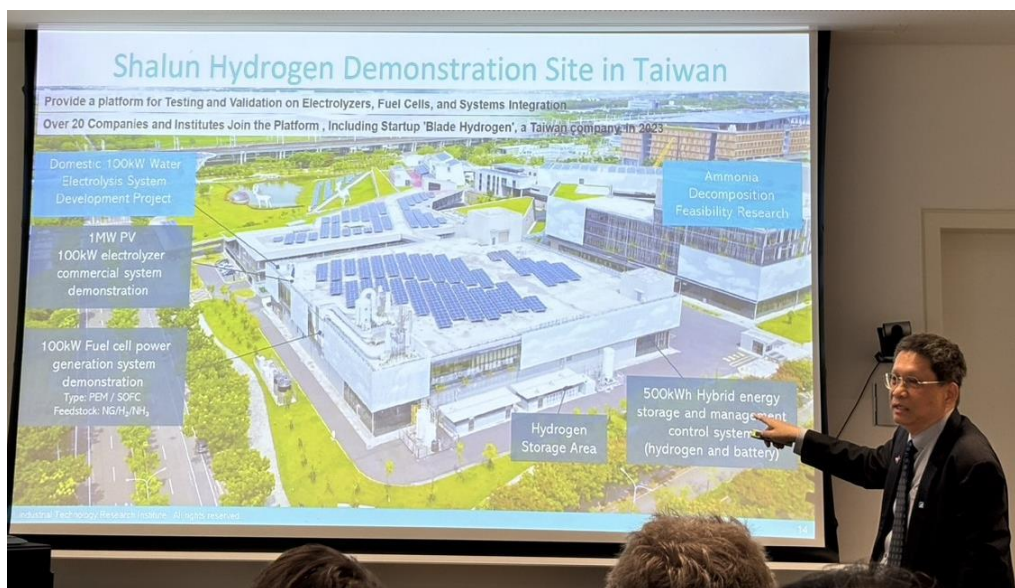


圖 38、工研院 沙崙院區氫能示範驗證平台介紹



圖 39、由IET-1所長 Dr.Eichel代表與鄭副所長完成備忘錄簽署



圖 40、簽署合影留念



圖 41、臺德雙方主管與觀禮單位主管合照



圖 42、臺德雙方主要團員合照

(四) 法蘭克福麗笙飯店燃料電池應用參訪

法蘭克福為德國重要的金融、工業與物流中心，亦是歐洲的交通樞紐。該市配合德國政府氢能戰略，積極發展氢能，以替代化石燃料、降低產業碳足跡，提升能源永續性。受惠於天然氣管線改造及氫氣進口策略的調整，法蘭克福在城市及周邊地區推動氢能列車與巴士等應用，逐步建立完整的氢能城市生態系統，使其成為德國乃至歐洲的氢能創新樞紐，促進當地經濟與綠色產業的發展。

2006 年起德國政府透過「國家氢能和燃料電池技術創新計畫」（National Innovation Programme on Hydrogen and Fuel Cell Technology, NIP）累計投入約 14 億歐元（約臺幣 499.16 億元）經費，致力於建構氢能基礎設施、研發先進燃料電池技術並推廣其市場化應用。德國法蘭克福麗笙飯店（Radisson Hotel）(圖 43)即藉由德國政府「國家氢能和燃料電池技術創新計畫」(NIP)經費支持，與意昂集團（E.ON）合作，於 2017 年安裝了 400kW 的 MCFC 燃料電池系統，建置業者為 FuelCell Energy，為歐洲首批採用該技術的飯店之一。

法蘭克福麗笙飯店共擁有 434 間客房及相關公共設施，因此對於穩定且高效率的能源供應具有相當高的需求。意昂集團在此項合作中扮演技術提供者與合作夥伴角色，負責燃料電池系統的設計、安裝與後續維護服務。麗笙酒店集團作為國際知名酒店品牌，透過導入先進燃料電池技術展現其在環境永續與創新技术應用方面的領導地位。

法蘭克福麗笙飯店設置燃料電池發電系統，產生的電能和熱能透過電纜和管道輸送至飯店內部的配電網路。其燃料電池系統年可供約 3GWh 的電力和 2GWh 的熱能，供飯店 50~60% 能源需求，年可減約 600 噸二氧化碳排放量。

本次參訪由系統建置廠商 FuelCell Energy 資深專案經理 Johann Huber 接待(議程如表 7)，首先進行 FuelCell 公司發展介紹，後續至飯店旁的燃料電池系統設置案場實地參訪。麗笙飯店燃料電池設置場域外觀如圖 44，設置於飯店週邊二樓區域，為確保燃料電池場域安全，除了系統設有緊急停機裝置外，場域週邊亦備有吹掃用氫氣鋼瓶(圖 45)，可於系統異常發生時，進行管路氫氣吹掃，避免氫氣蓄積造成危害。

表 3、參訪麗笙飯店燃料電池案場及 FuelCell Energy 會議議程

時間	議程
13:30 - 13:45	Welcome and introduction FCE
13:45 - 14:00	Introduction Energy Administration and Industrial Technology Research Institute
14:00 - 15:15	Tour Fuel Cell Plant
15:15 - 15:30	Discussion and wrap up



圖 43、德國法蘭克福麗笙飯店外觀(資料來源：麗笙飯店官網)



圖 44、麗笙飯店燃料電池設置場域外觀



圖 45、燃料電池場域安全裝置(吹掃用氮氣鋼瓶、緊急停機裝置)

圖46為燃料電池系統人機主控介面，其進料以天然氣為料源，透過甲烷蒸氣重組技術(SMR)於系統內部重組產氫，供給燃料電池發電利用，然其系統內部並未將水回收再利用，故運轉過程需額外補給純水供天然氣重組使用。該系統電堆操作溫度約600~670℃，發電效率達49%，排氣溫度最高可達447℃，系統高溫尾氣冷卻裝置如圖47，可整合熱利用，提高總效率達90%以上。如採用綠氫發電，其效率可更提高到50%以上，為長期轉換低碳氫氣發電之可行方案。以此系統為基礎，可擴展到MW級系統(4組併接)，安裝時程約僅需6個月。

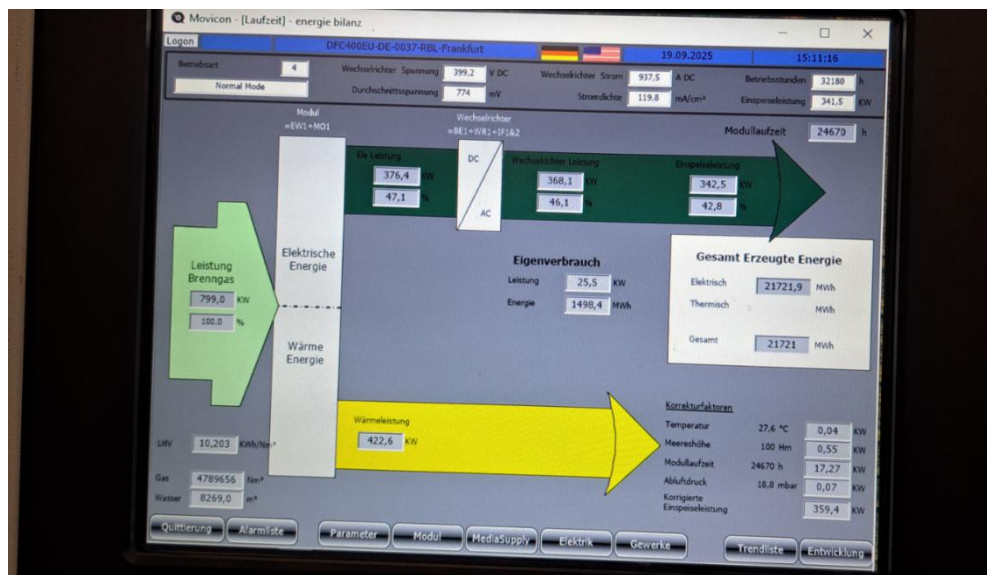


圖 46、燃料電池系統人機主控介面



圖 47、燃料電池系統高溫尾氣冷卻裝置

該燃料電池系統可提供客房與設施所需的清潔能源，減少碳排放並提高能源使用效率，展現氫能技術在飯店產業的應用潛力，特別是在降低營運成本及提升環保形象方面發揮重要作用。其系統運轉具相當高之穩定性，壽命可達 20 年，平均一年約僅需停機一天，每三個月定期檢查一次(無須停機)，電堆則約每七年更換一次。

FuelCell Energy 公司透過此設置案例，驗證氫能技術在商業建築領域的可行性，未來可望推廣至更多酒店與休閒設施，促進旅遊業的永續發展。該公司也有開發 SOFC 技術，目前尚未有商業化產品，未來發展規劃包含電堆販售、系統整合方案建置等，皆為可能的選項，並投入碳捕捉再利用之整合技術開發，效率可達 50~55%。FuelCell Energy 之營運模式包含電堆販售、及系統產品建置，平均系統成本約美金 3,500 元/kW。未來可與臺灣產業在系統整合、運轉服務等方面合作，擴展亞洲市場。



圖 48、與FuelCell Energy代表合影留念

(五) 義大利 SolydEra 公司參訪

SolydEra 公司的 SOFC 技術研發源起於 2006 - 2008 年間，並在 2015 年併購德國 CFC Ceramic Fuel Cells GmbH，擴展技術與經營版圖。SolydEra 擁有歐洲最大規模燃料電池堆生產能力，其推出的電堆具備燃料電池（SOFC）與高溫電解槽（SOE）雙模式運行能力，電解時效率高達 85% 以上(39 kWh/kg H₂)，燃料電池模式效率則超過 60%。其產品應用領域包含資料中心、交通、工業，以及商用熱電共生系統（CHP），已成功部署於多國與不同使用場域中，並與 Convion（芬蘭）建立全球性策略合作，擴大燃料電池與氫產業布局；並與 Bosal Energy（比利時）與 VDL（荷蘭）共同推動電解槽工業化，提升產能並降低成本。

本次參訪 SolydEra 公司位於義大利的 SOFC 電堆生產工廠(圖 49、圖 50)，為目前歐洲最大的 SOFC 電堆量產工廠，電堆(Stacks)年產量規模可達 25 MW SOFC，或 75 MW 電解電堆（SOE）。其 SOFC 電堆技術採用陽極支撐型技術，可降低固態氧化物電解質厚度達 10 μm 以下，而陽極塗層厚度也達 mm level 水準，其電池材料、塗層及電極板如圖 51~53 所示。



圖 49、SolydEra量產工廠外觀



圖 50、SOFC/SOE材料



圖 51、SOFC/SOE電池塗層



圖 52、SOFC/SOE電池極板

SolydEra 所開發之 SOFC 電堆已具多年全球運行經驗，累積發電量超過 100 GWh、運轉加總時數超過 9 千萬小時，每千小時衰退率 $< 0.16\%$ ，約為國際大廠 Bloom Energy 之 1/3，其使用耐久性更具競爭力。SolydEra 既有產品為 1.5kW 家用型熱電共生系統(Bluegen 型號)，及其戶外應用擴大版 9 kW 系統。而最新開發產品為 10 kW 電堆(型號 PM-X)，如圖 54 所示，並以此電堆模組為基礎，發展單套發電功率 45 kW 之系統模組(20 呎貨櫃型式)，可針對 AI 數據中心需求進行擴大並聯達 MW 級系統。



圖 53、10 kW SOFC電堆模組產品

SolydEra 公司亦投入以 SOE 電堆進行共電解產生合成氣(syngas)之技術開發，能源效率可達 40%~65%，並在結合氨裂解發電、碳捕捉再利用(陽極尾氣捕碳技術)、以及熱電製冷應用方面，具多元化應用之發展佈局。在國際合作方面，SolydEra 公司持開放態度，對於未來與臺灣相關產業進行熱箱組件/模組、冷箱整合、電力轉換裝置等方面，皆為可合作開發之項目，以期藉由國際合作，強化各自優勢，以共同降低系統建置成本、擴展全球市場為目標。

本次參訪亦針對我國目前產業現況及燃料電池推動現況，與其進行資訊交流，SolydEra 公司之全球布局規畫具相當大的國際合作空間，可供國內產業參考，藉由國內在熱箱技術、系統整合、及電力轉換等產業能力之優勢，未來可望與 SolydEra 公司共同打造更具市場競爭力之優質產品。



圖 54、與SolydEra代表合影留念

參、心得與建議

本次國外參訪與德國 FZJ 及 Fraunhofer IEG 研究單位，進行技術交流，了解德國前瞻低碳能源技術發展情形，並與于利希研究中心針對氫能及低碳能源領域簽訂合作備忘錄，促進雙方未來在氫裂解技術之合作發展。透過實地參訪德國、義大利燃料電池應用場域及製造工廠，針對氫能燃料電池商業化發展、工業化製造之運營策略及未來發展規劃進行交流，做為我國推動氫能燃料電池產業及計畫技術研發方向及產業落地之重要參考依據。本次參訪主要行程之心得與建議如下：

(一) Fraunhofer IEG

Fraunhofer IEG 利用地熱技術進行能源系統整合，有效利用地底恆溫環境之條件，運用於場域不同季節的加熱、製冷需求，具節能效益。Fraunhofer IEG 的技術屬於淺層地熱應用，與國內目前積極投入的深層地熱發電有所不同，其應用也以熱應用為主。臺灣地理條件和氣候與德國不同，然對於淺層地熱恆溫利用技術之整合，可應用於特定需要恆溫之場域應用，例如再生能源案場整合、溫室需求、工業冷熱能運用等，以 Fraunhofer IEG 目前取得之實場驗證經驗，進行國內導入之可行性評估，以達節能減碳之功效。

(二) 于利希研究中心

于利希研究中心於電解產氫、燃料電池(SOFC)之技術研發能量及目前成果，包含從觸媒、電池片、電池堆乃至系統整合之開發與測試，其針對不同技術開發測試需求，與相關業者合作開發專屬實驗設備，相關設計可供國內研發之參考。現階段于利希研究中心在 SOFC 電堆的開發成果，已具備 10 kW 級的電堆模組能力，並著手投入採氨料源的 SOFC 發電研究。本次工研院與于利希研究中心簽署低碳氫氨能技術合作備忘錄，後續可朝氨直接發電之技術合作研究，以我國高效觸媒技術、熱箱組件模組化技術、及高溫發電系統整合技術，結合于利希研究中心電池材料及高功率堆化技術，加速前瞻高功率氨 SOFC 發電系統產品之開發，並帶動臺灣產業鏈投入，布局亞洲市場供應鏈。

(三) 法蘭克福麗笙飯店燃料電池應用參訪

臺灣燃料電池於國家政策推動之下，近年來國內業者已具商業規模建置量能與應用案例，惟應用情境仍以產業基載電力為主，法蘭克福麗笙飯店導入燃料電池，除運用燃料電池電力，發電效率達 49%，共整合熱利用，提高總效率達 90%以上。我國具熱電需求之旅館、醫院及游泳池等約 900 多個場域，未來可參考法蘭克福麗笙飯店導入燃料電池之應用方式，且燃料電池發電系統運轉噪音水準遠低於傳統發電設備，廢氣排放與污染物產生量大幅減少，不僅改善週邊社區的環境品質，亦提升旅館、醫院及游泳池的永續價值與社會形象，更可達到節能減碳雙重效益。

(四) 義大利 SolydEra 公司參訪

臺灣定置型燃料電池相關組件供應鏈已近趨完整，從原料供應、零組件製造到成品販售的上、中、下游完整產業鏈，且部分業者已打入國際供應鏈，年產值約 40 億，然受限市場處於初步發展階段，本土電堆、系統產品量產規模尚待建立，成本不易降低。義大利 SolydEra 公司為目前歐洲最大 SOFC 電堆量產工廠，電堆(Stacks)年產量規模可達 25 MW SOFC，或 75 MW 電解電堆(SOE)，其所開發之 SOFC 電堆已具多年全球運行經驗，累積發電量超過 100 GWh、運轉加總時數超過 9 千萬小時，SolydEra 公司之全球布局規畫，可供國內產業參考。未來臺灣可藉由國內熱箱技術、系統整合、及電力轉換等產業能力之優勢，結合 SolydEra 公司之電堆技術，打造更具市場競爭力之優質產品，並共同於臺灣建立自主量產量能，進一步布局全球定置型燃料電池發電系統市場。