

出國報告（出國類別：開會）

赴日本東京參加 2025 年日本碳捕捉、 封存與再利用（CCUS）峰會及拜訪國 際鑽井服務及設備供應商

服務機關：台灣中油股份有限公司探採事業部鑽探工程處

姓名職稱：蘇晉立組長

葉治宇石油開採工程師

楊東嘉石油開採工程師

派赴國家/地區：日本東京

出國期間：114 年 10 月 13 日至 10 月 17 日

報告日期：114 年 11 月 13 日

摘要

本次出席「2025 年日本 CCUS 峰會」之目的為了解現階段國際對於碳封存議題的產業動態與技術發展。碳封存相較於傳統石油及天然氣產業尚屬發展中的年輕產業，且應用技術大多由石油產業延伸，但其相關商業模式及國際合作機制仍在發展中。由於碳捕捉及灌注設備造價昂貴，獲利關鍵在於各國政府對於碳稅及碳定價的訂定，目前各國大型碳封存專案常採用促進民間參與公共建設（PPP）方式執行，由石油公司支援既有的地質、鑽井、管線及建廠等專業技術，再由政府保證最低碳定價，確保專案可持續獲利進而形成自給自足的產業鏈。為提高民間廠商參與意願，來自政府的財政補助與稅務抵免至關重要（如美國「45Q」稅收抵免規定），亦為本次峰會中與會演講者多次提及，可為借鏡。

碳封存案場要永續經營須取得穩定碳源，因此碳源的取得為本次會議聚焦的議題之一。本議題涉及地面與水下管線、航運（二氧化碳運輸船）及跨國合作等，如挪威 Northern Lights 計畫便由挪威本身及歐洲各國收集後，以液態二氧化碳型態灌注至海底封存；澳洲亦計劃爭取自日本、韓國取得碳源灌注於 Moomba 碳封存案場。由此可知未來碳封存商業模式將朝國際合作方式發展，由擁有已商業運轉碳封存場址之國家替缺少或無類似條件國家灌注二氧化碳，並收取一定費用，以減少產品出口被徵收之碳稅。

碳封存之法規為目前各國發展碳封存計畫之根本，目前以歐盟最為完整並持續修訂中；而監管制度部分目前尚無國際公認監管機構，如何建立透明、適用於各國之監管機構以監督各場域實際二氧化碳灌注量及環境監測將是未來碳封存產業的挑戰。

本次出國除參加日本 CCUS 峰會外，還參訪 HALLIBURTON 公司，研討 Landmark EDT 鑽井軟體、智慧鑽井之應用並參觀其水泥實驗室，以及鑽頭供應商 TIX-TSK Corporation，參觀其鑽頭製造工廠及其生產製程。此外，峰會期間亦有與數間公司商談相關議題，簡述如後：三井物產公司（Mitsui & Co., Ltd），瞭解耐腐蝕套管之材質規範；殼牌公司（SHELL），說明殼牌公司於亞太地區的布局，及了解台灣目前碳封存近期進展及未來規劃；OLI system，介紹套管耐腐蝕模擬軟體(OLI ENGINE)；Technip Energies，介紹馬來西亞地區碳封存地面灌注設備配置； Australian Carbon Vault，瞭解該公司碳捕捉與封存（CCS）及碳移除技術及應用。

目錄

壹、目的.....	(04)
貳、過程.....	(04)
參、心得及建議事項.....	(05)
肆、具體成效.....	(15)

壹、目的

因應全球能源轉型及淨零排放目標，「2025 年日本 CCUS 峰會」於 2025 年 10 月 15 日至 16 日在日本東京舉行，該會議聚焦碳捕捉、封存與再利用（CCUS）技術之最新發展、商業化模式及國際合作機制，並涵蓋技術創新、投資策略與全球夥伴關係，以及關鍵技術專業知識、基礎設施建設及跨國合作議題。為獲取國際 CCUS 最新技術與產業動態，拓展國際合作與交流管道，並作為未來 CCUS 發展、能源轉型及策略規劃的重要參考依據。

本次出國計畫除參加日本 CCUS 峰會外，亦規劃參訪國際鑽井服務商（如 HALLIBURTON，預計洽談鑽井軟體、AI 智慧鑽井等前瞻技術，深入瞭解其在鑽井作業之整合與應用；同時，亦將拜訪鑽井設備供應商（如 TIX-TSK Corporation、Mitsui & Co., Ltd.等），瞭解鑽頭選型、管件材質之關鍵參數，藉以引進國際先進設備與技術，全面優化鑽井作業效率並提升安全性。

貳、過程

本次奉派赴日本東京參加「2025 年日本 CCUS 峰會」，自 114 年 10 月 13 日至 10 月 17 日，包括啟程、返程時間共 5 天。主要行程如下表：

日期	地點	詳細工作內容
114.10.13	桃園-東京	啟程
114.10.14	東京	與國際鑽井服務商 HALLIBURTON 及鑽井設備供應商 TIX-TSK 洽談
114.10.15-16	東京	1.參加 2025 年日本 CCUS 峰會 2.SHELL:簡介本公司目前碳封存進展及未來規劃 3.Mitsui & Co., Ltd: 瞭解耐腐蝕套管之材質規範 4.OLI Systems:討論套管耐腐蝕模擬軟體(OLI Studio) 5.Technip Energies:碳封存地面灌注設備配置 6.Australian Carbon Vault：瞭解該公司碳捕捉與封存（CCS）及碳移除技術及應用
114.10.17	東京-桃園	返程

參、心得及建議事項

一、「2025 年日本 CCUS 峰會」

本次會議於 2025 年 10 月 15 日至 16 日 在日本東京濱松町會議廳舉辦，聚焦於亞太地區，如日本、澳洲及馬來西亞近期碳封存發展及未來計畫，包含日本國內案場及跨國合作等，以及目前碳封存產業所面臨的各項議題（會議議程如圖 1、與會照片如圖 2）。

日本近期目標為 2030 年將二氧化碳年灌注量提升至 6 至 12 百萬噸（預計 2026 年做出最終投資決定），遠期目標為 2040 年達成年灌注量 60 至 120 百萬噸，2050 年達成年灌注量 120 至 240 百萬噸。日本目前除北海道苫小牧外已另於 114 年 9 月 17 日將千葉縣指定為二氧化碳地下儲存區，作為達成 2030 年碳封存目標之場址。

為達成遠期目標，日本共選擇 9 處地區作為碳封存發展地點（如圖 3），其中 5 處作為國內碳封存灌注場址，4 處作為海外灌注暫存點（3 處運往馬來西亞、1 處運往澳洲）。運輸方式為 3 處依靠管線輸送、6 處依靠船舶運輸。不同輸送方式對成本結構有顯著影響，且各自面臨不同的挑戰。管線輸送需要較高的初始資本支出，且因靈活性有限致風險較大，因此須透過在區域範圍內多元化整合二氧化碳排放源，於利用規模經濟的同時分擔風險；船舶運輸則需要提高二氧化碳液化和船舶運輸等營運效率。預期透過整合排放源和液化流程，並建構大規模的樞紐集群式（Hub-and-Cluster）運輸鏈來提升營運效率（如圖 4）。

STRATEGIC SUMMIT OCTOBER 15		STRATEGIC SUMMIT OCTOBER 16	
09:00 - 09:05	Welcome by the Chair Tsunehiro Ito (Hiro), Representative Director - Japan & Korea, Wood Mackenzie	09:00 - 09:05	Welcome by the Chair Charlie Pool, Head of Climate Risk and Resilience, Hovenden
09:05 - 09:15	[Keynote] Japan's Role in Scaling CCUS: Market Mechanisms, Policy Roadmap, and Global Partnerships PRESIDENT: Toshiyuki Sakemura, Board Member, Director, Climate Change & Energy Efficiency Unit, The Institute of Energy Economics, Japan (IEEJ)	09:05 - 09:15	[Panel] Unlocking Investment in Japan's CCUS Market to Scaling Up for Net-Zero MODERATOR: Yasuhiro Morioka, Special Counsel, Anderson Mori & Tomimatsu PANELISTS: Masahiko Kato, Director General, Energy Solutions Finance Department, Japan Bank for International Cooperation; Shigetake Koshi, Chief Operating Officer, DE Acceleration Agency; Chiyoshi Akiyama, Global Lead, CC-Valley Climate Platform, JEC - International Finance Corporation; Haruhiko Shimizu, Director, Energy Transition Consulting, Futuresource; Vipul Shetty, Head of Energy Transition Solutions, Hovenden
09:15 - 09:25	[Keynote] Updates on Japan's Advanced CCUS Program PRESIDENT: Makoto Kurikida, Project Director, Advanced CCS Program, Japan Organization for Metals and Energy Security (JCOMSEC)	09:15 - 09:25	[Keynote] CCUS Challenges toward Carbon Neutrality PRESIDENT: Hiroaki Tanaka, Executive Officer, General Manager, Carbon Neutral Transformation Department, Mitsubishi Estate
09:25 - 09:45	[Global Insight] Key Insights from Global Leading CCUS Markets PRESIDENT: Cynthia Handley, Director General, Office of Energy Research and Development, Natural Resources Canada ("NRC") PANELISTS: Alex McInnes, Director, Carbon Capture Utilization & Storage, UK Department for Energy Security and Net Zero (DESNZ) ("DESNZ")	09:45 - 10:05	[Regional Chapter] Navigating the Regulatory Landscape for Cross-Border CCS Partnerships PRESIDENT: H.E. Eddy Sompura, Deputy Speaker, The People's Consultative Assembly of the Republic of Indonesia PANELISTS: Aerial Ibrahim, Deputy Director, Environmental and Natural Resources Division, Ministry of Economy, Malaysia; Michael McInnes, Director, Energy Regulation, Regulation and Compliance Division, Department for Energy and Mining, South Australia
Morning Coffee & Networking Break		Morning Coffee & Networking Break	
10:35 - 11:25	[C-suite Vision] CCUS 2.0: What is the Future of Carbon Capture? MODERATOR: Helmut Dandl, Lead, Global Forecast & APAC Research, Carbon Management, Wood Mackenzie PANELISTS: Shiroki Kogane, Senior Vice President, Low Carbon Solutions, NIPPON Corporation; Kathy Wu, Regional President Asia-Pacific, Gas & Low Carbon Energy, bp; Zhixian Zhu, Head, General Manager, CCS, APAC, Shell; Andrew Nicholas, General Manager of Carbon Capture & Storage (CCS), Woodside Energy	11:05 - 11:25	[Keynote] Air Liquide's Role in Advancing CCUS in Asia PRESIDENT: Jon Kallman, VP Sales APAC Australia & Managing Director AL ESC Singapore, Air Liquide
11:25 - 11:35	[Keynote] Reserved for PETRONAS PRESIDENT: Mohd Jufri Abdul Wahab, Executive Vice President & CEO Upstream, PETRONAS	11:25 - 12:15	[Panel] Direct Air Capture: Potential Markets of Negative Emissions Technologies MODERATOR: Tishana Hoggan, Head of AFAC, Climevents PANELISTS: Paul Kennedy, Vice President of Carbon Solutions, Politec; Lee Hyungjun Park, VP of Strategic Development, Captured; Mattia Foudra, Founder & CEO, Phas; Hideoaki Fujita (Aida), Strategic Account Senior Manager, GE Vernova Gas Power; Aydin Mollaghi, Managing Tech-based Credit, Carbon Management Dept, Mitsubishi Corporation; Eugene Tan, Associate Director, Catalytic Capital for Climate & Health
11:35 - 12:25	[Executive Panel] Leveraging CCUS in Hard-to-Abate Industries for a Secure, Low-Carbon Economy MODERATOR: Charles Boen, Managing Associates, Linklaters PANELISTS: Haruhiko Saitoh, Director, Executive Lead, Carbon Solutions Indonesia; Armand Tuck, CCS Director, Asia-Pacific, TotalEnergies; Yusuke (Seungye) Yamashita, Director, CCUS Strategy Department, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.; Kameo Ken, Head of Low Carbon CCUS Research Center, POSCO Holdings; Emory Maham Yusoff, Chief Executive Officer of PETRONAS CCS Ventures, PETRONAS; Joel Fittler, Head of Commercial MHA, APAC & S&A, S&A Capital	12:15 - 12:35	[Keynote] S&P Capital: Delivering Carbon Capture at Scale PRESIDENT: Jon Christopher Knudsen, Chief Commercial Officer, S&P Capital
12:25 - 12:45	[Keynote] CCUS for Japan: Potential, Policy and Profit PRESIDENT: Helmut Dandl, Lead, Global Forecast & APAC Research, Carbon Management, Wood Mackenzie	LUNCH BREAK	
14:20 - 15:10	[Panel] Commercializing CCUS: Moving from Concept to Economic Viability MODERATOR: Mayra Ito, Partner, Mishima & Asahi PANELISTS: Tetsuhide Murakami, Executive Officer, Technology Office, Sustainability Co-Creation Unit, JOC Holdings Corporation; Jeff Alvarez, President, Polaris Energy Services, Inc.; Daniel Fletcher, Head of CCS Business Development, bp; Katsuhiko Nishimura, Director, Carbon Neutral Division, Toyo Engineering Corporation; Steve Tan, VP Business Development, Energy Transition / Services, Argus Media; Jeremy Adamson, CEO & Managing Director, Australian Carbon Unit; Wataru Sato, General Manager, CCS, Sumitomo Corporation	14:20 - 14:30	[Keynote] Technical Risk in CCS Projects: Perception vs. Reality PRESIDENT: Matthew Healey, Managing Director, Pease CCS
15:10 - 15:30	[Keynote] Carbon Capture and Utilization with Fertilizer Production (CCU) PRESIDENT: Koh-Chin Liang, Director, International Business Department, Jiangnan Environmental Protection Group Inc.	14:30 - 15:10	[Panel] Embracing the Circular Carbon Economy: Transforming Carbon into Sustainable Products MODERATOR: David Clark, Partner, Present Massana LLP, LLP PANELISTS: Masahiko Kato, Executive Officer, Division Director of CC Chemicals Division, Mitsubishi Gas Chemical Company; Masahiko Kato, Country Representative for Japan, South Korea and Australia, ThyssenKrupp; Marcus Downes, Chief Executive Officer, MCI Carbon; Charlie Pool, Head of Climate Risk and Resilience, Hovenden; Deepak P.H., Business Development Manager, Green Carbon
Afternoon Coffee & Networking Break		15:10 - 15:30	[Case Sharing] Innovative Approaches in CCU: High-Yield CO2 to CO Conversion PRESIDENT: Yuli Nakamura, Project Head, Green Chemistry Project, Advanced Technology Institute R&D Center, SINOPEC Chemical
16:00 - 16:20	[Keynote] Groundbreaking Carbon Capture Performance and Its Ability to Help Meet the Growing Demand for Clean, Firm Power PRESIDENT: Timothy Vall, Chief Executive Officer, ION Clean Energy	15:30 - 16:20	[Panel] Building Transparent and Trustworthy Carbon Markets: The Role of Accreditation and Measurement in Scaling CCUS MODERATOR: Masahiko Kato, Senior Analyst, Research PANELISTS: Akira Iwata, Head of Supply, Puroearth; Ameliah Zakiyah, Malaysia Country Manager & Principal Reserve Engineer, SPEAR ERCE; Ben Vialatte, President, BTOcean Carbon, Bioconversion Energy Transition; Adam Siphon, Head of CSR Sourcing, DIMEA, Carbonfuture
16:20 - 16:40	[Keynote] Insurance: A Critical Enabler for CCUS PRESIDENT: Andy Cox, Head of Energy Transition, Hovenden	16:20 - 16:25	Closing Address by the Chair
16:40 - 17:30	[Panel] Enhancing Midstream Infrastructure: Meeting the Transportation and Storage Needs of CC2 MODERATOR: Hiroaki Ito, CCUS Lead - APAC, Baker Hughes PANELISTS: Hal O'Brien, Corporate Office, Electricity & Gas Business, Kiewit-Kiewit-Kiewit, Ltd. ("K-K"); Kimihito Sakurai, Vice President, Division Director of Business Development Division, Chiyoda Corporation; Daisuke Fujihashi, General Manager of Carbon Solution Projects, Mitsui O.S.K. Lines; Masaki Oda, General Manager, Offshore Business Group, NKK Line; Katsuhiko Taniguchi, Executive Director, Indonesia CCS Center; Hiroaki Shimizu, Research Manager & Project Lead, Green Fuels, CCUS & Marine Energy Systems, Portbelong	COCKTAIL PARTY & NETWORKING NIGHT	

圖 1 「2025 年日本 CCUS 峰會」會議議程

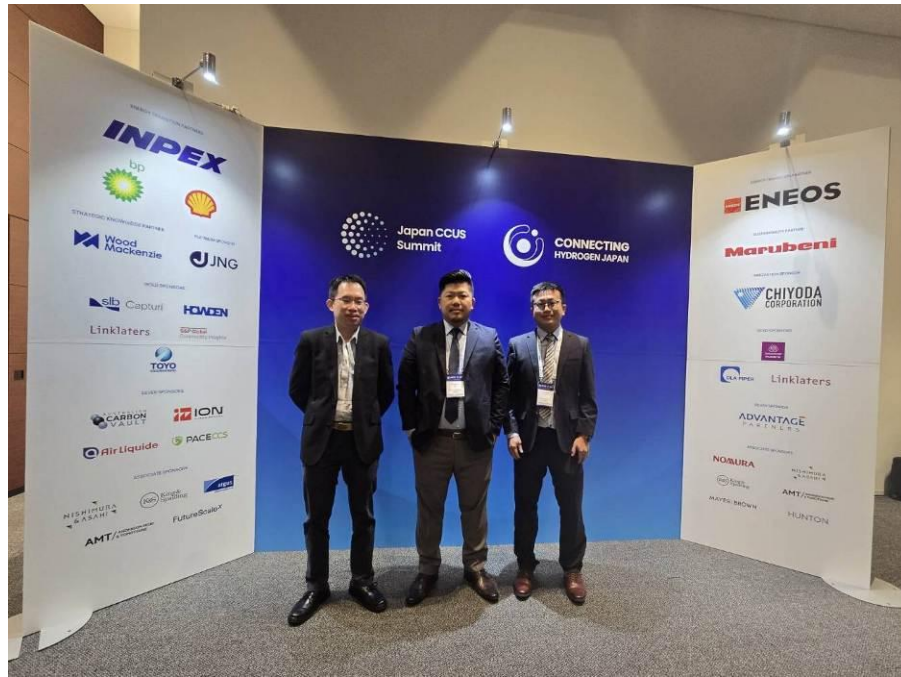


圖 2 「2025 年日本 CCUS 峰會」與會照片

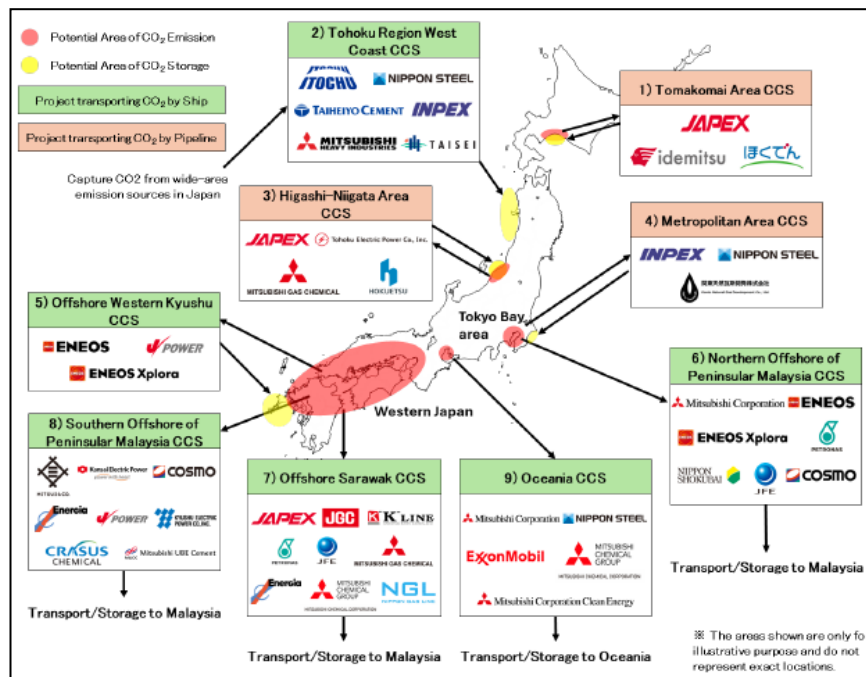


圖 3 日本碳封存發展地點 (Progress of Advanced CCS Projects in Japan , Japan Organization for Metals and Energy Security)

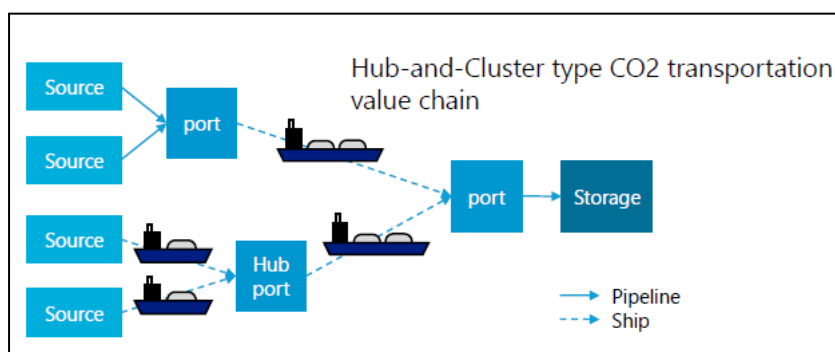


圖 4 樞紐集群式運輸鏈 (Progress of Advanced CCS Projects in Japan, Japan Organization for Metals and Energy Security)

日本政府為推動減碳目標，於 2023 年實施綠色轉型排放交易制度（Green Transformation Emissions Trading Scheme，縮寫 GX ETS ），作為日本國內執行碳定價的機制。GX ETS 分為三階段，第一階段（2023 年 4 月至 2026 年 3 月）為模擬市場交易，讓企業自願進行配額交換與交易，藉此建立企業內部的碳會計與管理能力；自 2026 年起為第二階段，轉變為實際的排放交易制度（ETS），強制大型排放者（二氧化碳年平均排放量超過 10 萬公噸）參與，要求其量化、驗證並交易碳排放量；第三階段（目標自 2033 財政年度起），發電業者將逐步引入有價拍賣制度，以加速能源部門的減碳進程。為協助企業減碳轉型，日本政府更將透過發行規模達 20 兆日圓的「GX 經濟轉型債」，於未來 10 年內用於支援能源脫碳化與產業結構轉型等方面的先期投資，其重點包括特別針對低碳能源技術和相關產業轉型之創新技術研發與設備投資。日本的策略重點項目發展值得本公司未來長期關注及借鏡。

為應對未來碳封存儲運將大量依賴海運，日本設計由傳統 LNG 裝運船改裝的液化二氧化碳專用裝運船，並對裝運船、液化二氧化碳成份需求、液化二氧化碳裝卸站進行規格標準化研擬，以降低建置成本費用，此外尚有以海運進行跨國碳捕捉與封存的法規協調等，以期完成亞太地區雙邊及多邊合作的碳封存網路。

澳洲目前已運轉的大型碳封存計畫有 Gorgon 及 Moomba，其中 Gorgon 設計每年二氧化碳灌注量為 4 百萬噸，Moomba 設計每年灌注量為 1.7 百萬噸，兩者碳源均來自鄰近天然氣田生產時的伴產氣體，Moomba 計畫於未來分三階段擴大灌注量。第一階段建立至斯潘塞灣的陸地管線，第二階段開始接收由裝運船載運之境外碳源（日本、韓國等），並由陸地管線輸送至 Moomba 灌注，第三階段進一步納入 Gladstone/Chinchilla 與 Greater Sydney 區域的工業區碳源並由陸地管線輸送至 Moomba 地區灌注，預計未來年灌注量目標為 20 百萬噸，並將嘗試直接自大氣中捕獲二氧化碳（Direct Air Capture）。除 Gorgon 與 Moomba 兩處運轉中案場外，尚有數處碳封存計畫進行中，如北澳的 CS store、Bayu Undan、Bonaparte，西澳的 Reindeer、Cliff Head

及南澳 CarbonNet、Sea CCS 等；藉由澳洲本身龐大的陸上和近海地質儲存潛力與多年來油氣探勘開發所累積的地質數據，為探勘和評估潛在二氧化碳儲存場址提供基礎。龐大的液化天然氣及天然氣產業為建立大規模碳捕捉與封存設施提供機會，其專業知識、勞動力和基礎設施可同時用於碳捕捉與封存。且澳洲的地理位置靠近亞太市場，可降低運輸時間與成本。澳洲的目標除達成本身淨零碳排目標外，亦將嘗試證明碳捕捉與封存技術發展為對海外排放來源提供服務的產業模式具有可行性。

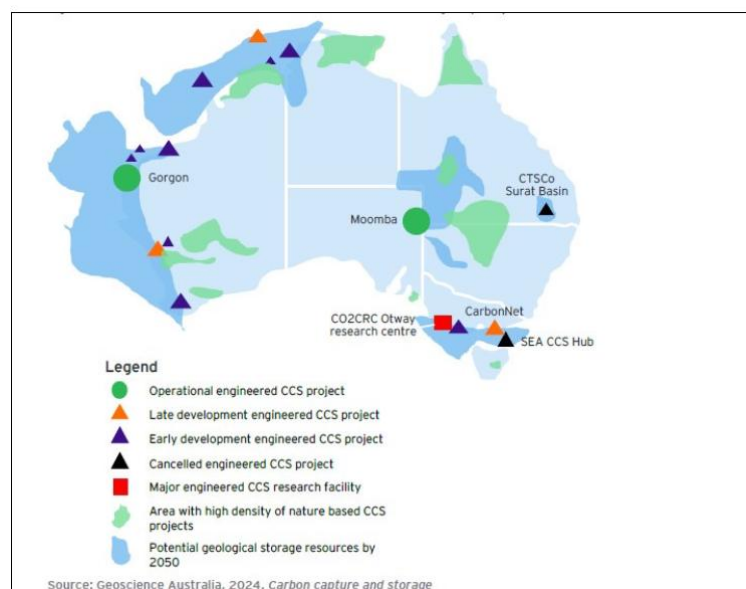


圖 5 澳洲碳封存計畫 (Geoscience Australia,2024,carbon capture and storage)

馬來西亞現階段的碳封存計畫尚處於開發階段，主要為 Kasawari 計畫、Lang Lebah 計畫與半島馬來西亞（Peninsular Malaysia）計畫。

Kasawari 計畫與 Lang Lebah 計畫均位於砂勞越州近海，前者預計於 2025 年底至 2026 年開始灌注，年灌注量為 3.3 百萬噸，碳源為天然氣伴產二氧化碳，為馬來西亞第一個商業化碳封存計畫，Lang Lebah 計畫尚處於設計階段，預期年灌注量為 2 百萬噸，碳源同為天然氣伴產二氧化碳，惟其伴產氣包含硫化氫，具有較高的技術挑戰。半島馬來西亞計畫為規劃於馬來西亞南北兩端及砂勞越州建立碳封存中心，預計 2030 年開始灌注，年灌注量為 15 百萬噸，其碳源為馬來西亞本國工業區及國外碳源。相較於澳洲，馬來西亞的啟動較慢，Kasawari 計畫於 2022 年啟動，其餘尚在規劃中。馬來西亞預期於 2050 年達成年灌注量 40~80 百萬噸目標，並希望藉由地理位置、擁有多個可作為灌注層的已開採或接近枯竭的天然氣／石油油田地下儲層，以及國營石油公司(PETRONAS)多年豐富的海上鑽井、封存、油田技術經驗，進而成為亞太區域碳封存樞紐及服務供應者的目標。本公司近年亦開始啟動相關計畫，應可借鏡澳洲及馬來西亞經驗，規畫加入並成為亞太區碳封存樞紐及服務供應者之一員。

本次會議提及政府補助對碳封存產業發展的重要性，主因為「捕捉」的成本太

高，目前碳封存主要支出來自捕捉（60%-70%）、儲存（10%-20%）、脫水與氣體壓縮（10%-15%）、運輸（5%-15%）。分析「捕捉」之方法及成本，捕捉可分為點源捕捉(Point Source Capture)及直接空氣捕捉(Direct Air Capture)，其中點源捕捉又有化學吸收法、物理吸附法及薄膜分離法；化學吸收法使用胺類溶液（如 MEA）吸收煙氣中的二氧化碳，相關技術成熟並已商業化應用，成本約為 40 – 120 美元/噸；物理吸附法使用沸石、活性炭等材料吸附二氧化碳，適合高濃度二氧化碳的工業氣體，成本約為 30 – 90 美元/噸；薄膜分離法利用選擇性透析薄膜進行分離，成本約為 50 – 100 美元/噸。直接空氣捕捉以化學吸收或固體吸附方式直接捕捉大氣中的二氧化碳，成本約為 200 – 600 美元/噸。然而 2025 年 10 月 22 日歐盟排放配額(EUA)價格為 78 歐元/噸（約 90 美元/噸），加之碳封存地面設備建置成本高昂（澳洲 Moomba 計畫第一期成本約為 1.65 億美元、Gorgon 計畫成本約為 32 億美元），比較上述捕捉的成本，現階段仍需仰賴政府財政補助才能渡過初期開發、建廠階段至開始營運。目前美國以 2022 降低通膨法案(IRA)45Q 給予稅收抵減，加拿大以 2021 碳封存投資稅抵免(ITC)給予稅收抵減，歐盟提供創新基金(EU Innovation Fund)，挪威以 Longship support scheme 提供直接財務支援，澳洲則有 Emissions Reduction Fund 及 Carbon Innovation Grants Program 提供財務支援及碳信用單位 (Australian Carbon Credit Unit) 作為補助，馬來西亞亦提供所得稅及關稅減免，目前我國尚未有類似的具體補助方案，參考各國執行現況，國內碳封存如需加大開發規模及範圍仍需有政府支持方能提升民間廠商意願。

目前英國、歐盟、澳洲已有完整對於碳封存產業之法規，澳洲於 2006 年透過《Offshore Petroleum and Greenhouse Gas Storage Act 2006》，以該法及其配套法條對環境、安全、行政加以規範。英國有《Energy Act 2023》對二氧化碳的運輸與儲存網絡進行許可制度規定。歐盟則透過《Directive 2009/31/EC》（地質儲存指令）建立成員國在二氧化碳地質儲存的基本法規架構。日本於2024年通過《CCS 事業法》，該法規涵蓋從捕捉、運輸到儲存環節，並提出監測、運營後責任等要求。馬來西亞於 2025 年 3 月通過《碳捕捉、利用與封存法案》（Carbon Capture, Utilisation and Storage Bill，CCUS Bill）擬定專責機構監管碳封存活動，並製定碳運輸與進口許可制度。

目前國際尚未有透明、具公信力的碳封存監管機構，碳封存產業因各國地質及地理特性不同而各有區別，因此仍由各國中央及地方政府監管，隨著碳封存業務逐漸邁向跨國合作，缺少碳封存能力或儲量的國家將轉由具相關能力及設備者協助封存二氧化碳以因應碳稅衝擊，當碳稅問題成為國際貿易與關稅考量點時，如何公正的計量各國實際二氧化碳封存量將考驗各封存場址營運者公信力，故建立一個跨國監管機構以透明、即時、公正的計算二氧化碳灌注量並監控灌注區域周遭環境影響將是日益壯大的碳封存產業將面臨的挑戰。

二、廠商洽談

(一) TIX-TSK (參觀製造廠)

1. 因台灣地質條件與日本相近，且東部地區地熱鑽井多為變質砂岩地層，與日本北海道地區地熱鑽井之地質環境條件相似，故積極尋找日本鑽頭供應商，同時委請國內代理商代尋優質且信譽良好的供應商。TIX-TSK 公司為日本國產鑽井用鑽頭製造商，具備從研發到生產組裝鑽頭之能力，目前生產主力以三錐鑽頭為主，PDC 鑽頭則依客戶需求生產，另有生產隧道鑽掘機 (TBM) 之鑽齒及石油業用閥門。藉本次公務出國機會至 TIX-TSK 公司參觀其鑽頭製造工廠並座談，實際了解該公司供應之鑽頭於地熱鑽井使用情況，其客戶主要使用 IADC 537 型鑽頭鑽鑿變質岩段，如鑽進率不佳或鑽遇火成岩則改採 IADC 617 型鑽頭鑽進，鑽頭使用方式與本處相似。
2. 該公司鑽頭年產量約 2,000 多顆，約一半提供日本國內鑽井需求，目前多用於日本地熱鑽井，其餘供應中東及其他地區客戶，近期完成鑽頭軸承密封 (HNBR 材質) 於攝氏 200 度環境運作 80 小時耐溫測試，可符合本公司鑽鑿地熱井需求。
3. TIX-TSK 工廠內具 CNC 銑床以磨銑鑽頭本體、鑽錐及 API 標準絲扣，並採用機械手臂進行鑽頭本體組合焊接作業 (註：因製造過程屬廠商機密，故未放入工廠內照片)，符合多項國際認證標準。
4. 本處已採購並交貨少量該公司之大尺寸 26" 及 17-1/2" 鑽頭，其中 26" 鑽頭已用於員山 1 號井及冬山 1 號井，使用狀況良好，惟 26" 鑽頭主要適用表層地層，使用時機相對有限，尚不足以充分評估其耐磨性與鑽進效率，故暫無法判定其與 SMITH 或 BAKER HUGHES 公司產品之優劣，須待後續 17-1/2" 鑽頭鑽進更深井孔時方能比對。

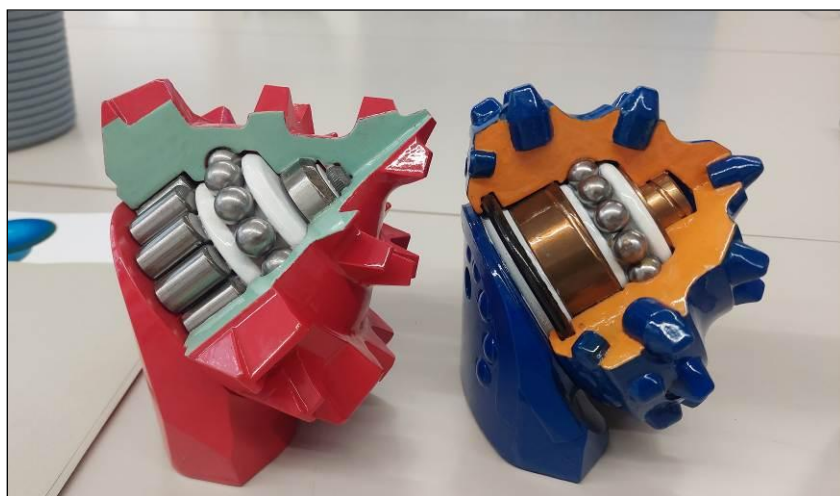


圖 6 TIX-TSK 公司三錐鑽頭軸承模型

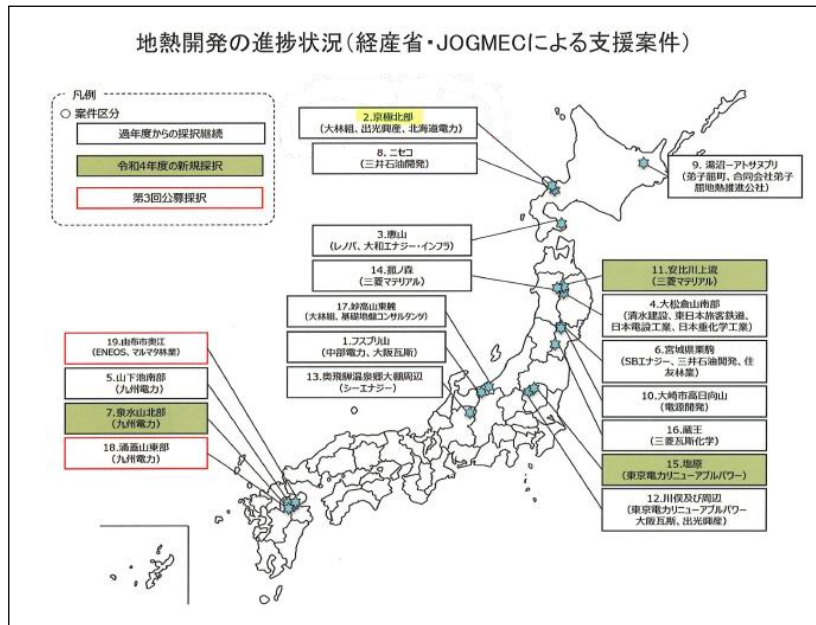


圖 7 TIX-TSK 公司鑽頭於日本國內使用區域

(二)SHELL（會場商談）

1. 殼牌近年積極參與國際碳封存發展，利用其石油產業技術協助拓展碳封存產業，其中澳洲 Gorgon、挪威 Northern Lights、加拿大 Quest 等專案計畫已執行二氧化碳灌注工程。
2. 殼牌目前正與日本、新加坡、馬來西亞等地商談碳封存合作，期望可建立東亞地區碳封存產業鏈。
3. 殼牌目前於台灣業務主要為液化天然氣及潤滑油，該公司有興趣了解目前國內碳封存計畫及展望，並希望能藉由分享在其他國家已完成及正在執行之碳封存專案經驗協助本公司轉型及發展減碳業務。

(三)HALLIBURTON（參訪分公司）

1. HALLIBURTON 公司為世界上最大的油田服務公司之一，本次受邀參訪其分公司之水泥實驗室（如圖 8），及套管水泥封固技術及案例分享（如圖 9），並瞭解有關 LANDMARK Engineer's Desktop（EDT）鑽井軟體及 LOGIX 智慧鑽井平台等應用技術分享（如圖 10）。
2. 本次參訪之水泥實驗室負責支援日本地區水泥作業，該實驗室具備模擬高溫、高壓及二氧化碳環境之設備，除一般油氣井外亦可模擬實驗地熱井與碳封存井情境，以協助 HALLIBURTON 的客戶確認水泥配方是否適用於井下環境，HALLIBURTON 人員同時分享日本地熱井於下套管水泥封固後的案例，套管之間的套管水泥封固後，間隙如有被水泥封閉的含水區間，其被地熱井產出的高溫加熱後成為水蒸氣，因被水泥所困而無法釋壓，最終壓力過高而導致套管變形受損迸裂或頹毀，雖國內尚無偵測到類似案例，但可供本處未來設計套管及水泥計畫

時參考。

3. LANDMARK Engineer's Desktop (EDT) 為市面上多數鑽井承包商使用之鑽井設計軟體，可模擬鑽井管串設計、套管於目標層環境下之應力及變形情況、定向井程設計及控制等，於計畫階段就將相關作業參數及配置考慮在內。此軟體可計算管串應力集中位置及扭力值，設計鑽進鑽重、轉速、泥漿流量等鑽井參數、配置管串如穩定器及鑽鉞等位置，提升鑽井效率；可規劃套管設計，計算套管管身及絲扣強度及應力分析，確保套管不發生迸裂或頹毀情況；模擬套管水泥設計，減少下水泥時發生漏泥及套管水泥空管情況，及設計套管找中器放置位置等；可模擬計算定向井程，計算鄰井間地下井程之距離避免定向鑽進時發生碰撞。此軟體滿足於鑽井工程設計規劃及作業時之各項需求。
4. 在智慧鑽井部分，HALLIBURTON 公司推薦 LOGIX 智能鑽井平台，整合 Automated Geosteering (自動地質導向)、Drilling Performance Optimizer (鑽井效能優化) 與 Collision Alert (防碰撞警示) 等模組，建構完整智慧鑽井解決方案。該平台運用 AI 學習與即時資料分析，依地層變化自動優化鑽井參數與更新井程軌跡，有效提升 ROP、延長 BHA 壽命減少非生產時間 (NPT)，同時具備防碰撞監控功能，確保井間安全距離。



圖 8 參觀 HALLIBURTON 公司水泥實驗室



圖 9 討論套管水泥封固問題



圖 10 瞭解鑽井軟體及智慧鑽井技術應用

(四)OLI Systems（會場商談）

1. 該公司提供 OLI Studio 模擬軟體，具備流體分析、油氣生產過程中的結垢情況模擬及腐蝕模擬，其中腐蝕模擬與本處業務關聯性較高，碳封存井地質環境如含有地層水，於灌注後二氧化碳與其他雜質（如硫化物）將溶入地層水形成碳酸或硫酸根，產生酸性環境，從而腐蝕套管，影響套管結構完整性；其他若地熱井本身為酸性環境（如大屯山地區），亦將腐蝕套管及地面管線，干擾地層流體返回至地表流量，影響發電效率，本軟體可模擬套管材質於選定環境下全面腐蝕與局部腐蝕之速率，亦能分析流體速度對腐蝕的影響，可作為耐腐蝕套管材質選定時的評估依據。
2. 本公司探採研究所已採購本套模擬軟體，該軟體預計 11 月交貨，本處已聯絡探研所承辦人，待驗收後擇期前往了解其採購內容，並探討後續如有模擬套管腐蝕速率需求雙方合作方式。



圖 11 與 OLI Systems 討論 OLI Studio 軟體功能

(五) Mitsui & Co., Ltd (拜訪商談)

1. 三井物產公司與本處業務主要以提供油氣井用 API 無縫套管為主，本次會面主要瞭解套管耐腐蝕材質規範。近期套管需求以用於地熱井為主，輔以少量地質探勘井，故仍以碳鋼套管為主體，含鉻耐腐蝕套管需待後續碳封存井或大屯山酸性地質地熱井排程後再行確認。
2. 三井物產公司提供日本製鐵公司之 13CR、22CR、25CR 及鎳基套管與進階絲扣 (Premium connection)，並可依現地資料提供推薦套管材質，上述套管用於日本國內及國外陸域、海域鑽井使用。後續如有採購需求擬藉 OLI Studio 軟體模擬結果，或材料實驗結合材質推薦以評估適合之套管材質。

(六) Technip Energies (會場商談)

1. Technip Energies 為能源轉型、技術與工程承包公司，專注於液化天然氣、氫能、碳捕捉封存等領域，亞洲地區碳封存相關業務主要有：馬來西亞 Kasawari 碳封存計畫中做為前端工程設計廠商，與 deep C Store、Mitsui O.S.K. Lines 共同執行 CStore1 計畫，發展浮式二氧化碳儲存與注入樞紐，並提供其離岸灌注設施 (Offshore C-Hub) 服務。
2. 針對馬來西亞 Kasawari 碳封存計畫之前端設計，提到灌注廠及其前處理設施於設計階段須先行評估可能之碳源及其成分，並以此設計處理程序以降低液態二氧化碳中的雜質，方案包含直接規範工廠/客戶端限制其液態二氧化碳成分，可降低灌注廠處理成本，惟亦將限制客戶數量及碳源來源，或以較寬鬆之範圍訂定成分，利用後端彙整多方碳源方式來稀釋液態二氧化碳中的不良成分（如水分、硫化氫、二氧化硫等），並統一由處理設施脫除。優點為客戶數量及碳源來源較多元，缺點為後處理設施較複雜昂貴，且須密切注意各方液態二氧化碳成分比例，避免特定不良成分比例過多等因素。

(七) Australian Carbon Vault (會場商談)

1. Australian Carbon Vault (ACV) 為澳洲專注於碳捕捉與封存 (CCS) 及碳移除技術的公司，致力發展可長期驗證的地質封存解決方案。其主要開發計畫位於南澳 Arckaringa 盆地，面積約 18,221 平方公里，為全球最大陸域碳封存潛能區之一，預估可永久封存約 16 億噸二氧化碳。該公司整合地質封存（例如鹽水層、煤層封存），以及點源捕捉 (Point Source Capture) 與直接空氣捕捉 (Direct Air Capture) 等技術，期打造永久且經科學驗證的碳移除體系，支援澳洲及亞太地區長期減碳與淨零排放目標。
2. 該公司積極與本公司聯絡，計畫於 11 月時安排雙方線上會議。

三、建議事項

因應碳稅議題，各國未來對碳封存需求將倍增，碳封存產業進入蓬勃發展階段，除灌注規模已逐漸擴大外，碳捕捉、運輸及灌注等技術亦高速發展，而未來的趨勢將朝向跨國合作發展，即自境外取得碳源並收取灌注費等服務費用，且為擴大灌注規模，目前亦有將灌注設備自陸地轉移至海上的專案 (CStore1) 進行中。目前碳封存採用的鑽井相關技術多沿用油氣井鑽井技術，僅部分設備材料須因應灌注碳源化性而需要特殊設計製作，在碳封存產業中反而算是較簡單的部分，其他如場址選定、設計、社會溝通等均會影響最終花費成本，因此前期探勘階段包含地質調查、建模、選定灌注層、決定灌注場使用年限及規範灌注碳源成分等，中期鑽井施工，後期建廠階段等，每個階段都須事前做好詳細規劃，避免投入龐大資源卻無法達到預期效益。目前國內尚無如同「地熱發展協會」之類的民間團體會舉辦固定的研討會或活動，僅能參與國外舉辦之相關會議，像本次日本峰會全球各大能源公司及服務商均有派代表參加，建議未來類似會議可由事業部主導選派各相關業務部門同仁與會，了解目前國際碳封存產業現況及對未來發展願景，加速推展國內碳封存業務，並拓展接軌國際的機會。

肆、具體成效

(一) 本次「2025 年日本 CCUS 峰會」聚焦於日本、馬來西亞與澳洲的碳捕捉、封存與再利用技術的最新發展及其在實現碳中和目標中的應用，另有部分談及歐洲地區如英國、歐盟與挪威等國的近期及未來展望，參會者涵蓋政府部門、學術界及產業界的專家學者與企業代表，會議內容包括技術創新、產業實踐、政策支援及國際合作等多個方面。會中各國分享的對碳封存政策支持模式中，政策框架、法規的訂定和經濟激勵措施對碳封存推廣具有重要作用，政府的政策及財政協助為關鍵點，同時強調跨企業及國際間合作 (G2G) 的重要性，此舉有助於技術轉移和經驗共享，挪威 Northern Lights 及澳洲 Gorgon 即為此模式的最佳範例。而碳捕捉技術部分，ION Clean Energy、出光興產、Air Liquide、SLB Capturi、積水化學於會議中分別介紹新型與發展中的二氧化碳吸收材料及捕碳方案，展示化學工業於減碳方面的技術轉移潛力，航運業亦嘗試建造更大更高效的液態二氧化碳運輸船，以滿足即將展開的跨國碳封存航運需求。

總而言之，碳封存產業因涉及能源、化工、環保及金融等多領域，非常重視跨領域整合的重要性，相關技術、政策與商業模式需協同推進，由政府出資、合資或補助，再由民間企業開發及營運方式分工合作，提高民間參與公共建設 (PPP) 意願應為未來主要執行方向，否則缺乏可行永續的商業模式，將難以實現大規模開發目標。目前日本和澳洲的實績經驗對我國碳封存產業發展極具有參

考價值，但須考慮地質條件、政策環境、人口分布及民情等因素，調整修訂適合的本土化執行方案。

- (二) 本次於日本參訪 TIX-TSK 鑽頭製造商，了解三錐鑽頭完整生產流程，本次參訪經驗將可用於未來評估廠商製造技術及品管能力之參考。TIX-TSK 所提供於日本北海道地區客戶的使用經驗，可作為本處類似器材使用參考，藉以提升鑽頭品質。
- (三) 三井物產公司所提供日本製鐵公司之含鉻及鎳基套管與進階絲扣技術資料，將做為後續評估碳封存井與強腐蝕性地熱井所使用套管材質之參考資料，並可搭配 OLI Systems 公司的腐蝕模擬軟體，作為未來套管規劃的分析依據，提升效益。
- (四) HALLIBURTON 公司的 LANDMARK Engineer's Desktop (EDT) 為高度整合的鑽井工程設計軟體，具備模組化與可擴充特性，整合井程設計、防碰撞分析與套管設計等多項專業工具，並透過統一的資料架構與標準化流程，建立系統化的鑽井設計與集中式資料管理體系，可有效提升鑽井設計準確度、防噴安全性與工程品質，並促進跨部門技術資料的一致性與共享性。另外，LOGIX 智慧鑽井平台結合 AI 與機器學習技術，能依據即時井下資料分析並優化鑽井參數，透過自動地質導向、防碰撞監測及鑽井效能優化等模組，有效降低非生產時間 (NPT)，延長鑽具壽命並提升井孔穩定性。整體而言，HALLIBURTON 公司的鑽井設計軟體與智慧鑽井平台，對本公司推動鑽井工程之數位化與智慧化轉型，具高度應用潛力與發展價值。本處已於 11 月底邀請 LANDMARK 技術人員來台教學並試用 EDT 軟體，視實際使用情形再評估引進。