

出國報告(出國類別：開會)

參與台美 CCUS 產業推動聯盟(TUCA)參訪
活動與加拿大碳捕捉研討會(Carbon
Capture Canada)
出國人員報告書

服務機關：台灣中油股份有限公司

姓名職稱：黃乙倫研究員、林佩蓉組長

派赴國家：加拿大

出國期間：112年09月10日至112年09月18日

報告日期：112年10月05日

摘要

因應本公司發展 CCS 相關技術與建立 CCS 商業模式之需求，本次參加 TUCA 舉辦之參訪行程與加拿大碳捕捉研討會，藉此透過與 Petroleum Technology Research Center、Endrava、Thermal Design Engineering、Canadian Petroleum Training Institute、Shell Canada、SaskPower 與 Svante 等機構之專家與學者交流，瞭解其對於無碳電力憑證(CFEC)之看法與建議，並掌握關鍵技術、政策法規、商業行為與民眾溝通等不同面向之最新發展情形，

本次出國之成果包含瞭解無碳電力憑證之計算原理與各公司對此概念之看法與建議、與 CCS 相關機構之商務交流與洽詢可能的合作機會、參訪商轉級碳捕捉廠等。其中，各公司對於無碳電力憑證均給予正面評價，並期許此國際標準的建立可促成 CCS 商業模式與增加獲利來源。此外，為發揮此次出國行程的最大價值，後續亦將自加拿大攜回之資料分享予本公司 CCUS 領域相關團隊，以加速本公司既有案場之推動與商業模式之建立。

目次

摘要.....	I
目次.....	II
壹、目的.....	1
貳、過程.....	2
參、具體成效.....	5
肆、心得及建議.....	27

壹、目的

國際能源總署(International Energy Agency, IEA)於 2020 年發布之能源技術展望報告指出，碳捕捉、再利用及封存(Carbon Capture, Utilization and Storage, CCUS)係實現 2050 淨零排放不可或缺之關鍵技術。為落實政府 2050 淨零排放目標，本公司於 2021 年初成立 CCUS 工作小組(現更名為負碳技術小組)，藉由整合煉製、石化與探採等部門之專業與資源，共同推動 CCUS 業務與從事相關技術研發。小組成員之分工如下：煉製研究所、煉製事業部與石化事業部負責碳捕捉與再利用；探採研究所與探採事業部負責碳封存。工作小組成立迄今，為加速相關技術發展與業務合作，積極地與國內外 CCUS 產業相關公司與研究機構進行交流。

為推動我國 CCS 計畫與建立無碳電力憑證(Carbon-Free Energy Certificate, CFEC)國際規範，台美 CCUS 產業推動聯盟(Taiwan-US CCUS Industries Promotion Alliance，下稱 TUCA)於 9 月 10 日至 9 月 18 日組團赴加拿大參訪與參加加拿大碳捕捉研討會(Carbon Capture Canada, CCC)，以拜會當地 CCS 領域相關企業，針對參與 CCS 計畫相關實務經驗與 CFEC 之概念與推動進行交流，藉此連結國際合作資源，期能作為我國後續推動相關計畫之參考。

本公司此行之目的係期望透過與 CCS 相關領域之專家學者交流與研商，瞭解其對於 CFEC 之看法與建議，並掌握關鍵技術、政策法規、商業行為與民眾溝通等不同面向之最新發展情形，以加速本公司既有案場之推動與商業模式之建立。

貳、過程

本次出國行程如表 1 所示。9 月 10 日抵達加拿大後，隔日即飛往卡加利拜會 Entropy 展開第一個商務交流，除由 TUCA 向其說明 CEFC 目前的進展外，Entropy 亦展示了模組化碳捕捉技術之實際案例。

9 月 12 日至 9 月 13 日之加拿大碳捕捉研討會內容涵蓋碳捕捉、運輸、再利用與封存，為加拿大 CCUS 領域之年度盛會，本次參觀者(Visitor)門票係由加拿大駐台北貿易辦事處(Canadian Trade Office in Taipei, CTOT)贊助，除參與其安排的展區導覽外，亦與 Petroleum Technology Research Center(碳封存技術與標準制定)、Endrava(排碳源背景與碳捕捉潛力)、Thermal Design Engineering(碳捕捉及統包工程)、Canadian Petroleum Training Institute(客製化訓練課程)、Shell(QUEST 計畫經營人，碳捕捉與封存)、SaskPower(Boundary Dam 電廠經營人)與 Svante(碳捕捉)等單位進行商務交流外，洽詢可能的合作機會。

9 月 14 日搭機前往 Boundary Dam 電廠所在地薩斯喀徹溫(Saskatchewan)省。

9 月 15 日前往 SaskPower 公司營運之 Boundary Dam 電廠參訪，藉此瞭解百萬噸級碳捕捉與封存場之營運模式與可能遭遇之問題。

表 1、TUCA 加拿大參訪行程

日期	地點	工作內容
112.09.10 (星期日)	桃園-溫哥華	啟程，自桃園機場飛往溫哥華機場
112.09.11 (星期一)	溫哥華-卡加利 -愛德蒙頓	1. 自溫哥華機場飛往卡加利， 2. 與 Entropy Inc. 進行商務交流。 3. 自卡加利機場前往愛德蒙頓機場。
112.09.12 (星期二)	愛德蒙頓	參加加拿大碳捕捉研討會與商務交流。
112.09.13 (星期三)	愛德蒙頓	參加加拿大碳捕捉研討會與商務交流。
112.09.14 (星期四)	愛德蒙頓- 雷吉納	自愛德蒙頓機場飛往雷吉納機場。
112.09.15 (星期五)	雷吉納	1. 參訪 Boundary Dam 電廠。 2. 與 TUCA 共同拜會 SaskPower 總部。
112.09.16-18 (星期六~星期一)	雷吉納-溫哥華 -台北	1. 返程，自雷吉納機場飛往溫哥華機場。 2. 自溫哥華機場飛往桃園機場。

本次TUCA參訪團由台灣經濟研究院左峻德副院長率隊，成員來自台灣經濟研究院、中興工程顧問社、台塑石化與本公司，名單如表2與圖1所示。

表2、TUCA 加拿大參訪團團員名單

序	姓名	單位	職稱
1	左峻德	財團法人台灣經濟研究院	副院長
2	陳映蓉	財團法人台灣經濟研究院	副組長
3	李采嬪	財團法人台灣經濟研究院	助理研究員
4	譚志豪	財團法人中興工程顧問社	再生能源組組長
5	鍾明翰	台塑石化股份有限公司	技術服務高級工程師
6	陳怡安	台塑石化股份有限公司	技術服務高級工程師
7	黃乙倫	台灣中油股份有限公司 探採研究所鑽井採油組	研究員
8	林佩蓉	台灣中油股份有限公司 探採事業部企劃室	組長



圖1、TUCA 團員合影

參、具體成效

TUCA 安排本次出國行程主要期望透過與 CCS 領域專家交流，瞭解其對於無碳電力憑證之看法與建議，並掌握交流單位之技術範疇，以作為評估後續合作機會之參考。茲說明無碳電力憑證與本次出國之具體成效如下：

一、無碳電力憑證簡介

因應國家能源轉型與企業淨零轉型對再生能源之需求，經濟部標準檢驗局於 2017 年建立臺灣再生能源憑證制度(Taiwan Renewable Energy Certificate, T-REC)。T-REC 係代表再生能源發電有利於環境屬性的產權，即企業宣告使用再生能源電力之必要工具，可應用於國家溫室氣體盤查或自願性減碳目標，以抵消範疇二的溫室氣體排放。

有鑑於再生能源憑證實際運作機制，當消費者之電力來源為化石燃料電廠時，電廠若導入碳捕捉與封存(Carbon Capture and Storage, CCS)技術，應可有效去除燃燒化石燃料所造成溫室氣體排放，則其所產生的電力應可視為無碳電力。無碳電力憑證(CFEC)可被視為一種能源屬性憑證，而企業亦可比照 T-REC，將 CFEC 視為宣告使用無碳電力之必要工具。然而，如何制定出合理且可被量測的 CFEC 計算方式，將影響到未來的應用性及是否可獲得國際認可。

CFEC 的概念源自台灣經濟院，透過該院同仁詳細的說明，初步瞭解其運作原理：首先，需量測或計算化石燃料電廠(燃煤或燃氣)，在生產 1 度電的過程中所排放的二氧化碳量。若其能夠完全被捕捉、運輸和封存，該度電將可被視為無碳電力，並可被認證為 1 度無碳電力憑證。然而，考量捕捉效率、管道殘留和自然逸失等因素，二氧化碳在被捕捉、運輸和儲存的過程中，仍會有額外的碳排放，故實際能獲得認證的無碳電力量會小於 1 度。

為釐清 1 度電最終能生成多少度的無碳電力憑證，在捕捉、運輸及封存的各關鍵節點上，須設置有智慧流量計，量測捕捉二氧化碳之流量、佇留在管線中之二氧化碳管存量與實際灌注至地層中的二氧化碳流量，以及整個過程中之耗能，以便把 1 度電扣除耗能量數，再乘上二氧化碳總封存量 and 產生量的比值，求得之數值方可視為無碳電力度數(圖 2)。

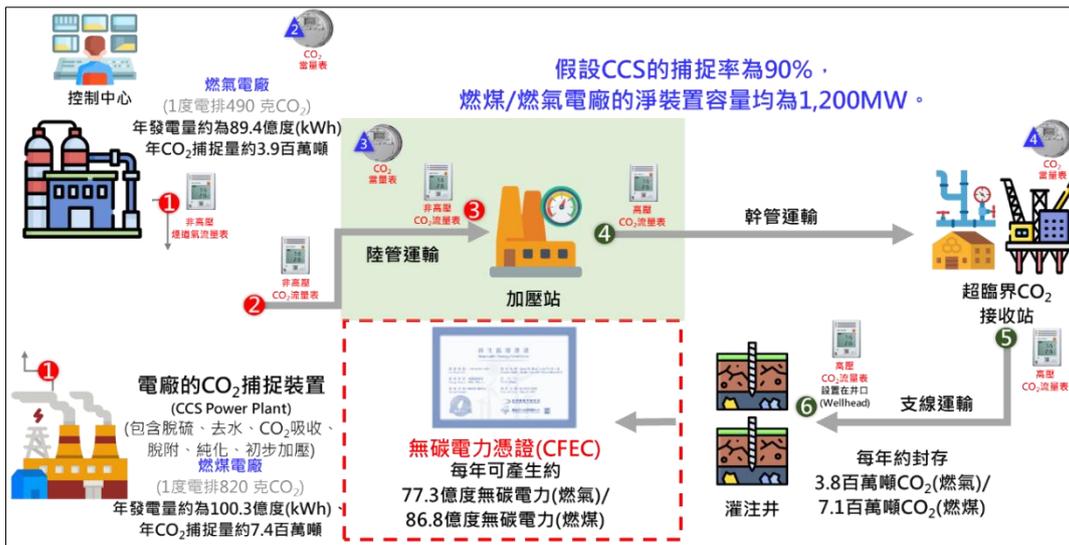


圖 2、無碳電力憑證(CFEC)示意圖

資料來源：台灣經濟研究院

若 CFEC 順利建立國際認可之規範，則未來可能之商業模式為：欲實現碳中和之企業向有能力於化石燃料電廠建置 CCS 設施的供應商，簽訂無碳電力憑證長期購買契約，供應商以該長期購買契約去向銀行融資取得經費後，對化石燃料電廠建置 CCS 相關設施。此外，政府若欲鼓勵相關技術發展以達成國家減碳目標，亦可對補助投資 CCS 技術的供應商，待 CCS 設施建置成功並順利運轉後，由政府之標準局認證並核放無碳電力憑證，最終交付予欲實現碳中和之企業(圖 3)。

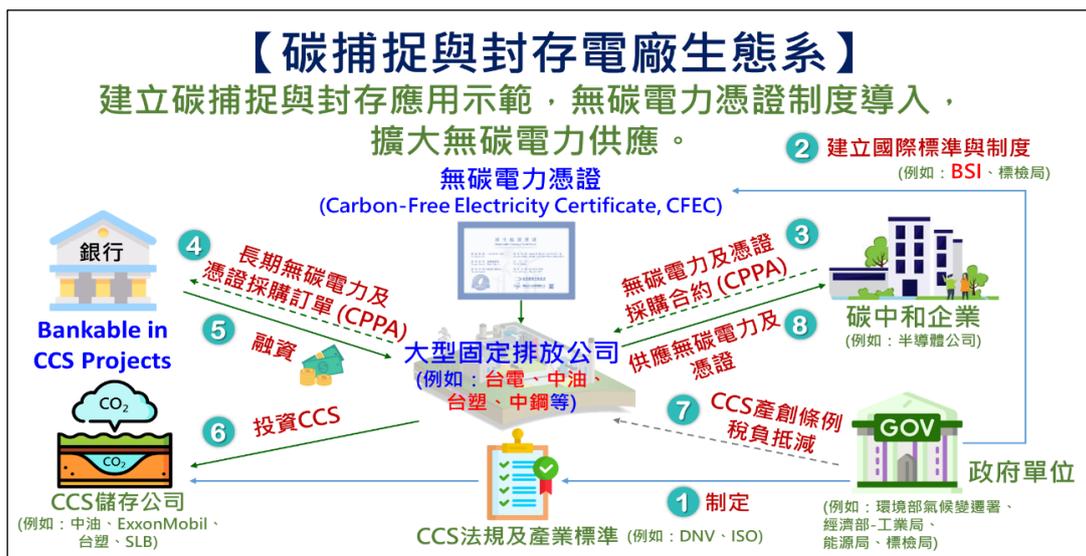


圖 3、無碳電力憑證(CFEC)未來商業模式示意圖

資料來源：台灣經濟研究院

TUCA 於本次出國行程中分別向 Petroleum Technology Research Center、Endrava、Thermal Design Engineering、Shell、SaskPower、Svante 與 GE 等公司介紹無碳電力憑證設計概念，同時亦邀請其參與國際標準之建置作業，上述公司皆對此設計概念表達正面評價，並期待透過此憑證能使 CCS 事業發展成可獲利之商業模式。



二、加拿大碳捕捉研討會及商務交流(B2B)

加拿大碳捕捉大會係該國 CCUS 領域之年度盛會，內容涵蓋捕捉、運輸、再利用與封存，展區分為展覽與研討會會場等兩部分(圖 4)。參加此會議之目的係與 CCS 相關廠商進行商務交流，故主要活動範圍均在展覽區內，特別感謝加拿大貿易專員服務局(Canadian Trade Commissioner Service)提供的會議空間，讓本團可與廠商進行研討。



圖 4、展區配置圖

本次會議採用 Deal Room 系統幫助廠商間媒合與約定研討時間。首次登入系統時，系統會要求提供公司背景資訊，包含簡介、可提供的產品或服務(Offering)、尋找的產品或服務(Seeking)等，供廠商間可快速地找尋到潛在的合作對象。資訊描述越完整，越能吸引廠商主動聯繫。以本公司為例，填報的資訊如下圖 5 所示，即吸引到了 Endrava(排碳源背景與碳捕捉潛力)、Thermal Design Engineering(碳捕捉及統包工程)與 Canadian Petroleum Training Institute(客製化訓練課程)等公司主動與本公司聯繫。

OFFERING
CPC Corporation Taiwan is the only state-owned company in Taiwan that engages in various businesses, including exploration and production, refining, petrochemicals, LNG, and gas stations. The company is firmly committed to achieving its Net Zero by 2050 objective and diligently works to develop CCS, geothermal, and hydrogen businesses.

SEEKING
We are seeking the following cooperation opportunities:

1. CCS value chain analysis
2. CCS hub design
3. CO2 geological storage potential evaluation
4. Geomechanics for CO2 geological storage
6. CCS FEED
7. CCS EPCI
8. Compressed air energy storage (CAES)

Subsectors
CCUS

圖 5、Deal Room 系統之本公司簡介

在展覽區的四個角落則有 Worley、Enbridge、Pathways Alliance 與 Capital Power 等四家公司主辦的知識吧(Knowledge Bar)，活動方式類似小型研討會，每個小時會有不同公司發表 CCS 相關各式主題，議程如表 3 所示，內容包含法規與政策、CCUS 價值鏈、CCUS 技術、商業模式、公眾溝通與風險分析等。惟美中不足之處在於此行商務交流行程滿檔，未能參與所有感興趣的議題。

表 3、知識吧議程

主辦公司	議程
	<p>9/12</p> <ul style="list-style-type: none"> • Best Practices for Successfully Developing a Capture Technology from Theory to Practice. (Worley) • The Alberta Carbon Grid - An Industry Solution. (TC Energy / GHD) • SaskPower's Boundary Dam Unit 3 and the Future of CCUS in Saskatchewan. (SaskPower) • Developing a CCUS Projects Data Base - The Modern Way. (Endrava) • Operational Carbon Management - A Data First Strategy. (Spartan Controls) • Cost Effective Emission Reduction Measure using OASE Blue Technology. (BASF) <p>9/13</p> <ul style="list-style-type: none"> • Carbon Capture in the Cement Industry. (Worley) • How Savates' s Solid Sorbent-based Carbon Capture & Removal Solutions Work in the Field. (Svante) • High Fidelity CO₂ Monitoring across the CCUS Value Chain to Enable Social Licenses to Operate. (Project Canary) • Update on MHI' s Advanced KM CDR Process™ and Testing Campaign. (Mitsubishi Heavy Industries) • Continuous, Long-term DAS Microseismic Monitoring Trial in the Shell QUEST CCS Site in Alberta, Canada. (Silixa)
	<p>9/12</p> <ul style="list-style-type: none"> • Enabling CCS in Ontario. (Enbridge) • Considerations when Converting from Air-firing to Oxy-firing for Carbon Capture and Storage. (Babcock & Wilcox) • Scale up of Post-combustion CCUS and Performance of Technical Advancements. (Entropy) • The Overlooked Challenge in Post Combustion Carbon Capture. (Fluor Canada) • CCUS - Unlocking a Sustainable Future. (McDaniel & Associates) • Carbon Capture Digitalization - A Tool to Automate the Design and Costing of Carbon Capture Facilities. (Aker Solutions) <p>9/13</p> <ul style="list-style-type: none"> • Promoting the Public' s Understanding of the CCUS Value Chain. (Carbon Management Canada / Enbridge) • CO₂ Blowdown - More Complex than it First Seems. (Wood) • A Structured Approach for Process Electrification Journey. (Schneider Electric) • Carbon Capture Pipeline and Injection Materials Considerations. (Tenaris)

	<ul style="list-style-type: none"> • Social License, Collaboration, Indigenous Participation and CCUS: Lessons from Responsible Natural Gas Certification. (Equitable Origin)
	<p>9/12</p> <ul style="list-style-type: none"> • CCS Containment. (Pathways Alliance / Canadian Natural) • Assessing Post-Combustion Carbon Capture and if it Should Be Part of Your Company' s Decarbonization Program. (Kiewit) • Flipping the Equation of Carbon Capture From Cost to Revenue. (Carbon Corp.) • Moving Forward Together (Policy/Regulatory Update). (Pathways Alliance) • Operational Considerations for Drilling and Testing CCS Wells. (Carbon Alpha) • Development of Novel CO₂ Capture Systems. (Carbon Cantonne Inc.) <p>9/13</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tailpipe Emissions Capture. (Innotech Alberta) • Modularization: the Key to Unlocking the Potential of CCUS. (Enerflex Ltd.) • Jackfish 1 Carbon Capture Plant FEED Study. (Delta CleanTech Inc.) • Moving Forward Together (Policy / Regulatory Update) (Pathways Alliance) • Subsurface Uncertainty in CCS Investment Decisions. (NSAI)
	<p>9/12</p> <ul style="list-style-type: none"> • Genesee Generating Station - The Heart of Alberta's Decarbonized Future. (Capital Power) • A Path to Optimizing Fit-for-Risk, Cost-effective, Monitoring Measurement And Verification (MMV) Plans for CCS Storage Projects. (SLB New Energy (SNE)) • Flexible Steel Pipe Helps Solve Five Challenges of CO₂ Transportation. (FlexSteel Pipeline Technologies Ltd.) • Learnings from a National Cross-sectoral Industry Collaboration on Carbon Capture. (Carbon Management Canada) • Heidelberg Materials Edmonton CCUS - Project Update. (Heidelberg Materials) • Intermodal Liquid CO₂ Transport Without Chilling. (CanaGas Incorporated) <p>9/13</p> <ul style="list-style-type: none"> • Surface Risks: From Public Perception to Project Approval. (Stantec) • Life-cycle Carbon Intensity Importance in CCUS Applications. (S&P Global Commodity Insights) • Geomechanical and Economic Study of Caprock Integrity and Pressure Management for Risk Mitigation and Added

	<p>Economic Benefit in CCS Projects. (GLJ Ltd.)</p> <ul style="list-style-type: none">• The Impact of Modeling Depositional Environments on Above-ground Considerations for CCS Projects. (Battelle Carbon Services)
--	--

資料來源：整理自加拿大碳捕捉研討會手冊

(一) Entropy Inc. 

Entropy Inc. 係一家位於亞伯達(Alberta)省的 CCS 專責公司，其致力於透過整合型 CCS 方案減少碳排放，其模組化碳捕捉與封存(Modular Carbon Capture and Storage, MCCS)技術及專利溶劑 Entropy23™(圖 6)可應用於多樣的點排放源(Point-Source)。該公司在冰川燃氣電廠(Glacier Gas Plant)建置之燃燒後碳捕捉設施，2022 年(第一階段)捕捉量為 47,000 噸/年，單位能耗為 2.4GJ/噸，優於一般乙醇胺(Monoethanolamine, MEA)之 4~5GJ/噸，並預計至 2025 年逐步調升至 200,000 噸/年。此外，其碳捕捉資本效率(Capital Efficiency)為 660\$/TPA，亦優於其他兩座位於北美之燃煤電廠碳捕捉計畫(圖 7)。

MODULAR CARBON CAPTURE AND STORAGE (MCCS) TECHNOLOGY
Energy-efficient integration of multiple technologies to provide full-cycle solution from carbon capture to permanent sequestration



	<p>Modular Carbon Capture™ (MCC™) Scalable · Versatile · Retrofit</p> <ul style="list-style-type: none"> • Culmination of decades of experience with modular design and industrial facilities optimization • Scalable implementation enabling retrofit carbon capture technology for emitters as low as 8,000 tpa • Less than 2 years from final investment decision to on-stream 		<p>Entropy Heat Capture™ Energy Efficient · Reduced Costs</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entropy is a leader in industrial waste heat recovery ("WHR"), with several projects completed by partners to date • Revenue streams for WHR include reduced fuel costs, reduced process costs and eliminated carbon costs • Economics for Entropy WHR projects have been demonstrated to be short payout and low risk
	<p>Integrated Carbon Capture and Storage™ (iCCS™) Built-In · Patent Pending</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entropy and an OEM (Original Equipment Manufacturer) partner have designed a fully integrated CCS prototype • By integrating with new equipment, technology is on-track to deliver 20-25% capital cost savings vs CCS retrofit • Prototype unit to be installed and tested at the Glacier Gas Plant by Q4 2023 		<p>Reverse Entropy Storage™ (RES™) Operational Excellence · Subsurface · Permanent Storage</p> <ul style="list-style-type: none"> • Decades of experience with acid-gas / CO₂ sequestration and thorough understanding of geology • Generated ~500,000 tonnes of CO₂e offsets and ~90,000 tonnes of Emission Performance Credits associated with operations at Advantage's Glacier Gas Plant • "Right of access" to an existing sequestration facility allowing Entropy to complete first full-scale commercial CCS project
<p>E23</p> 	<p>High Performance Solvent: Entropy 23™ Solvent Technology · Reduced Costs · University of Regina</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capture process enhanced by Entropy23™ solvent • Developed patent-pending processes and superior chemistry for commercial deployment, including: <ul style="list-style-type: none"> - Lower heat duty reducing energy input costs and operating costs - Greater absorption rate and cyclic capacity reducing the height and diameter of columns required 	<p>EIQ</p> 	<p>EntropyIQ™ Digital Twin · Auditable · Flexible · Measurement & Verification</p> <ul style="list-style-type: none"> • Complete system design that monitors, tracks, and quantifies carbon abatement for the generation of emissions credits • Proprietary algorithms generating GHG abatement performance indicators at the click of a button • Customizable design allows for seamless integration with existing facilities • Fully auditable system designed for third-party verification

圖 6、MCCS 簡介

資料來源：Entropy Inc.簡報

NORTH AMERICAN POST-COMBUSTION CAPTURE PROJECTS

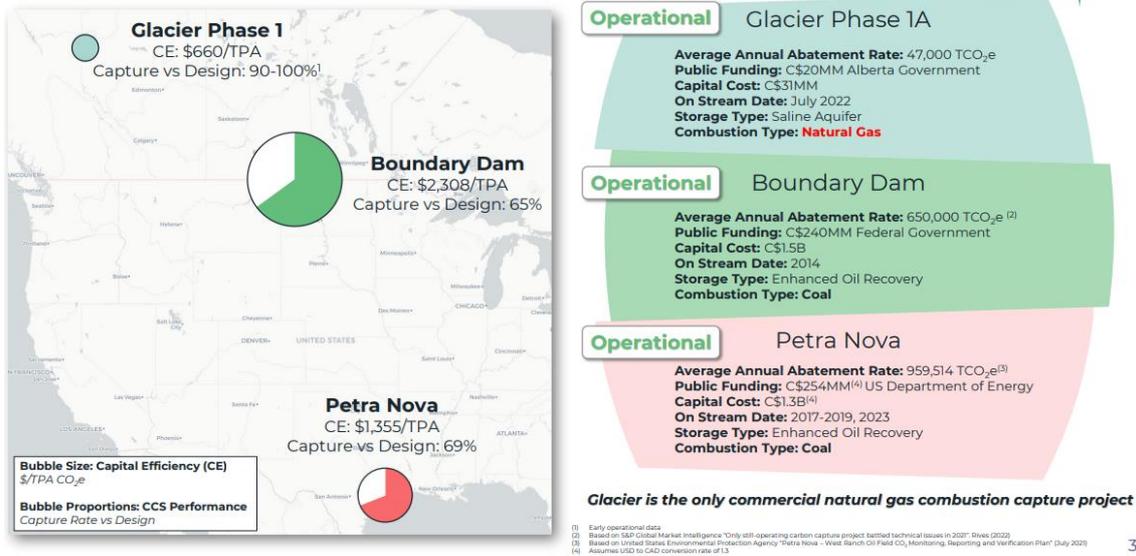


圖 7、發電廠資本效率比較

資料來源：Entropy Inc.簡報

Entropy Inc. 提供的商業合作模式分為開發、持有與營運 (Develop、Own、Operate) 及授權與支持 (Licence and Support) 等兩類 (圖 8)，可視計畫經營人需求進一步洽詢適合的合作模式。

ENTROPY BUSINESS MODELS – DEVELOP, OWN, OPERATE OR LICENCE

- Comprehensive CCS solution with highly competitive costs driven by Entropy23™ and process optimization
 - Entropy provides end-to-end, fully integrated and comprehensive CCS solutions
 - Initial focus has been "develop own operate" model to maintain and control pace of growth
 - Entropy now offering "license and support" model (capital light, where emitters choose to finance their CCS project independently) which provides incremental growth without the need for external financing
 - Joint capital funding and other arrangements available, depending on counterparty preference

Business Model	A Project Selection		Sign Now	B Development		C Operation		D Marketing	
	Partnerships / Commercial Structure	Location / Scoping / Geology		System Design and Engineering	Project Management and Construction	CO ₂ Capture	CO ₂ Transport	CO ₂ Sequestration and Measurement, Monitoring & Verification ("MMV")	Carbon Credit Monetization
Entropy Develop, Own, Operate	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Entropy License and Support	✓	✓	✓	✓	✓	At option of project sponsor			

✓ - Entropy to provide full range of service

圖 8、Entropy Inc. 合作模式

資料來源：Entropy Inc.簡報

(二) Petroleum Technology Research Centre (PTRC)



PTRC 係一家成立於 1998 年的非營利機構，旨在推動研究、開發和示範計畫，以減少碳足跡並增加地下能源的生產。其力求成為創新的領導者，致力於開發可持續且環保負責的能源，期望利用 CO₂ 強化採油 (CO₂-EOR) 和 CCUS 方面的經驗，將地下知識應用於其他的能源研發領域，包括地熱和壓縮空氣儲能 (Compressed Air Energy Storage, CAES)。PTRC 於 2000 年開始投入 CCUS 研究領域，迄今已有 20 餘年的經驗，除 Weybur-Midale (CO₂-EOR) 與 Aquistore (鹽水層封存) 外，亦參與 CCUS 相關標準之制定 (含加拿大與 ISO) (圖 9)。

Projects

Internationally recognized expertise in CCUS

CCUS Research
PTRC has been studying technical aspects of CO₂ utilization and geological storage for 22 years

Aquistore Project
CO₂ storage in a deep saline geological formation (2010 – Present)

Weyburn-Midale Project
Feasibility of CO₂ storage in oil fields (2000 – 2015)

CCUS Standards
Developing the Canadian and international standards for CCUS (2009 – Present)

Site Characterization	Wellbore Integrity
Monitoring and Assessment	Performance Assessment
Best Practices Manual	International ISO Standards

Logos: ISO, CSA GROUP, Progressive Aboriginal Relations COMMITTED, Canadian Council for Aboriginal Business

圖 9、PTRC CCUS 相關研究

資料來源：PTRC 簡報

PTRC 係 Aquistore 碳封存計畫之經營人，該計畫旨在證明將碳封存是一種安全且可行的減碳方案。Aquistore 主要作為相關監測技術之試驗場域，將捕捉自 Boundary Dam 燃煤電廠的 CO₂ 封存於深度約 3,400 公尺之目標層中，並藉此測試各項監測技術 (表 4)。

表 4、Aquistore 佈署之監測技術



AQUISTORE MEASUREMENT AND MONITORING TECHNOLOGIES

	SURFACE	SHALLOW SUBSURFACE	DOWNHOLE INSTRUMENTATION	SEISMIC
MONITORING TECHNOLOGIES	Tiltmeters	Piezometers	Fibre-optic distributed temperature systems (DTS)	Cross-well seismic tomography
	InSAR satellite interferometry	Groundwater chemistry monitoring	Fibre-optic distributed acoustic systems (DAS)	Broadband seismography
	Electromagnetics	Soil-gas monitoring	Fluid recovery system	Permanent 650 geophone areal seismic array
	GPS	Multi-species atmospheric surveys	Pressure gauges	Time-lapse 3D seismic imaging
	Gravimeters		Temperature gauges	Continuous passive microseismic monitoring
	Inherent tracers		Pulsed neutron decay (PND) and cross dipole sonic logging	Vertical seismic profiling (VSP)
			Borehole gravity	Accurately controlled, routinely operated signal system (ACROSS)
PURPOSE OF MONITORING	Surface deformation	Ground water and soil changes	Geophysical logging to measure changes from injection	CO ₂ plume location
		Near-surface atmospheric changes	Cross-well electrical and seismic tomography	Induced seismic activity
			Rock-fluid properties	Geological changes
			Reservoir fluid chemistry	

資料來源：PTRC 簡報

PTRC 研究範疇與本公司探採研究所高度相符，其碳封存研究與標準制定實務經驗值得借鏡，建議後續可持續交流與洽詢可能合作。此外，鑑於鐵砧山碳補存跨部會試驗計畫刻正如火如荼地進行中，建議未來可效法 Aquistore 之經驗與作法，將其作為監測與模擬技術之試驗場域，藉此增進相關技術之發展。

(三) Endrava



Endrava 係一家 2016 年成立於挪威的顧問公司，成立初期之主要業務係作為企業減碳顧問，目前則專注於綠色轉型之工具開發。其所開發的 CaptureMap 係所有脫碳計畫之起點，透過基於地圖的平台呈現全球所有大型二氧化碳排放源(圖 10)，並提供其產業別、場區配置、生產活動及歷年碳排放量等資訊(圖 11)，可用分析該廠區是否有碳捕捉需求及廠區內是否有空地可設置碳捕捉設施。此工具已被許多挪威當地和國際企業用於尋找 CCUS 服務或產品之潛在客戶。

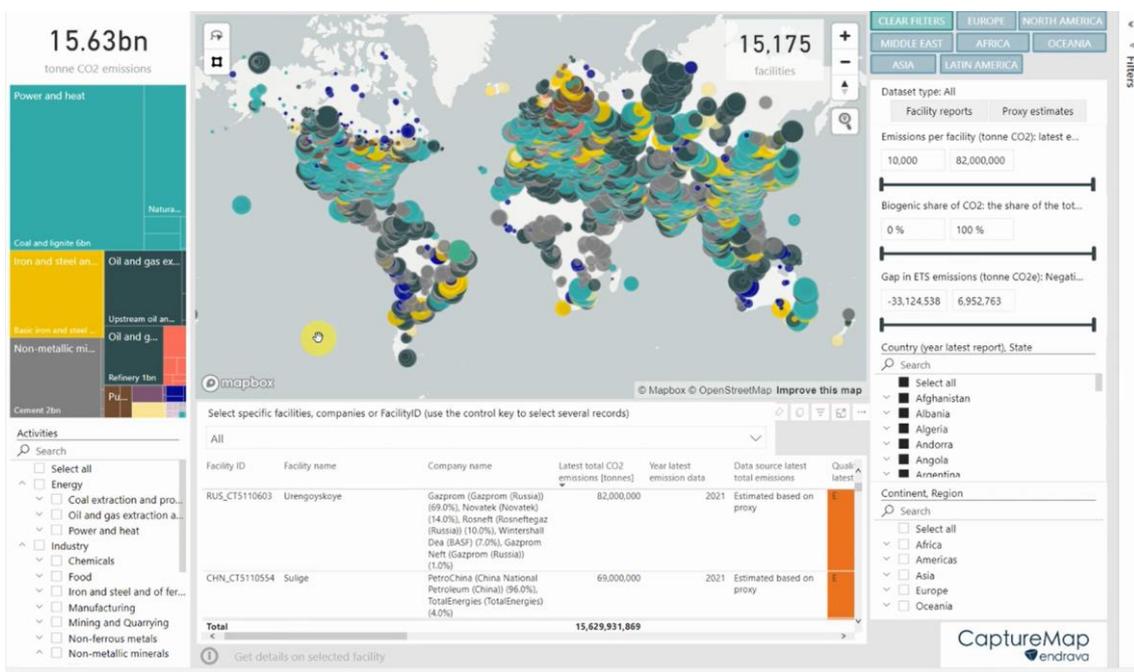


圖 10、CaptureMap 操作介面

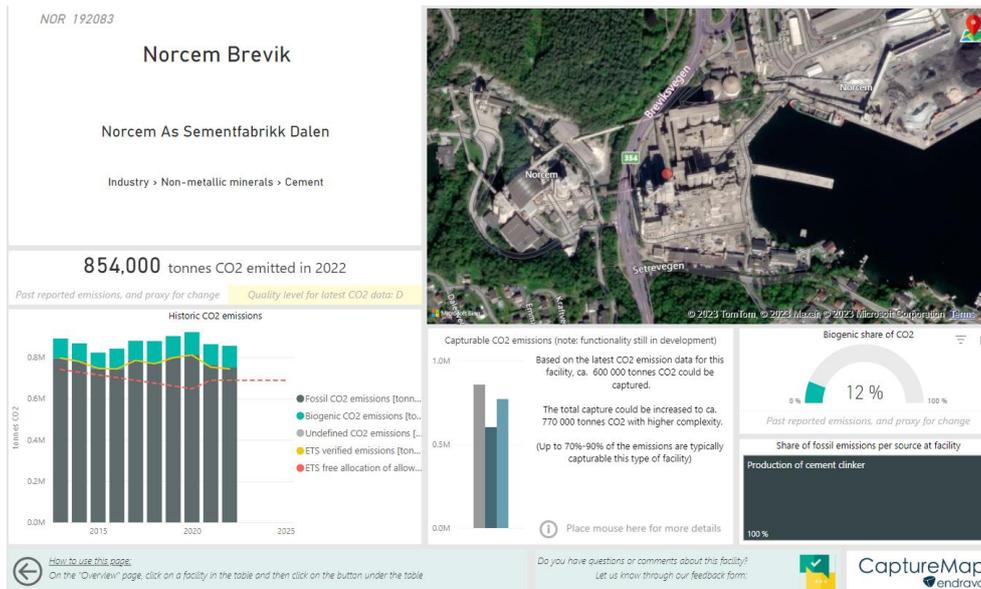


圖 11、CaptureMap(特定場址資訊)

CaptureMap 係基於政府或公司公開資料之平台，針對資訊越透明的國家，其資料品質越好，分析成果越準確，故廣受歐美 CCUS 相關企業之青睞。此外，我國若有意成為東亞 CCS Hub，並爭取日韓等國作為碳封存業務之主要客戶，善加利用此平台所提供之資訊，將有益於篩選出最具潛力之客戶，並可儘早研擬合作策略。此外，在交流的過程中請其展示本公司大林煉油廠之相關資訊(圖 12)，發現本公司之英文名稱登錄有誤，其表示資料源自我國環境部，後續亦將向環境部反應，以便登錄正確的名稱。

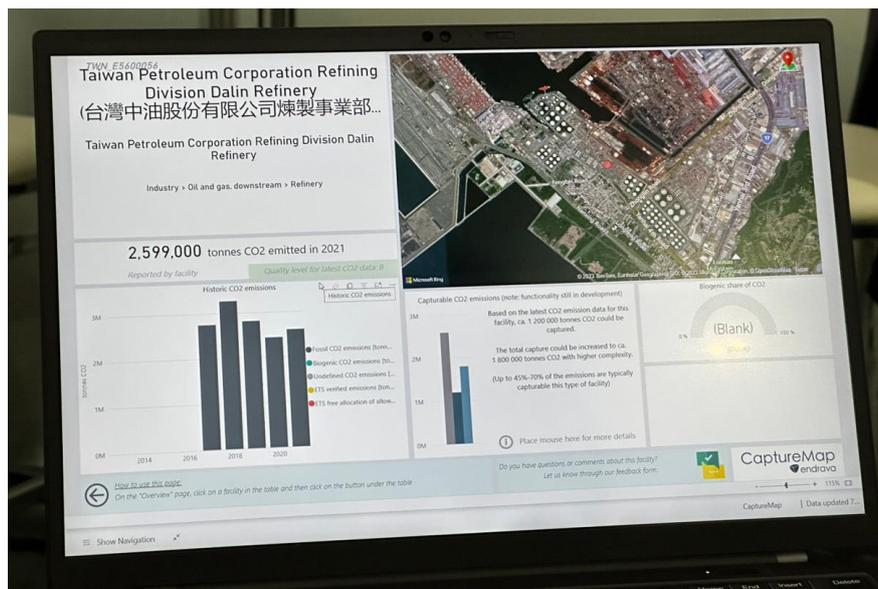


圖 12、本公司大林煉油廠於 CaptureMap 之登錄資訊

(四) Thermal Design Engineering(TDE)



TDE 係一家 1979 年成立於艾德蒙頓的能源設施統包工程公司，服務領域包含天然氣處理與液化、重油處理、海域油氣處理、原油煉製、石化製程、發電、氫能、再生能源、儲能與 CCUS 等，參與計畫遍及全球超過 43 個國家。TDE 可提供一站式解決方案 (single-source solution)，從開發概念到正式投產(或灌注)的一體化服務，工作範疇包括工程設計、採購、專案管理、製造、施工、安裝、試車與培訓(圖 13)。



圖 13、TDE 服務範疇

就 CCS 計畫而言，TDE 之主要技術能力為燃燒後捕捉，且具有執行前端工程設計與統包工程之專業知識與實務經驗。



(五) Canadian Petroleum Training Institute(CPTI)

CPTI 係成立於 1974 年的專業能源培訓機構，其宗旨為協助組織提供量身訂做的全面技術與商業培訓解決方案，以協助能源資源的有效開發，服務實績遍及全球超過 70 個國家。其培訓課程和研討會整合課堂教學和現地參訪，使參與者能夠了解先進技術的理論與實務。除了傳統油氣資源外，隨著世界減碳趨勢的發展，CPTI 亦可提供太陽能、風能、地熱能、生質能、氫能與 CCS 的培訓課程。

CPTI 係透過 Deal Room 系統主動於本公司接觸，而有別於其他大型訓練機構提供的制式化課程，CPTI 傾向與客戶溝通後再提供客製化訓練課程。由於交流時已向其表明本公司未來發展重點為氫能、地熱與 CCUS，其亦針對討論內容，於會後提供相關課程規劃供本公司參考。此外，就上課方式而言，除可至卡加利進行外，亦安排講師來台灣授課，惟若赴卡加利，則課程內容可加入現地參訪。

(六) Shell Canada



Shell Canada 代表阿薩斯卡油砂計畫(Athabasca Oil Sands Project, AOSP)營運 Quest CCS 計畫，該計畫自史考福改質廠 (Scotford Upgrader) 之製氫工廠以胺(Amine) 捕捉 CO₂，經由長達 65 公里的管線輸送至封存場，並灌注至深度 2 公里的鹽水層中永久封存(圖 14)，並透過完善的監測計畫，預防 CO₂ 洩漏及展示碳封存的安全性(圖 15)。該計畫於 2015 年啟用，截至 2022 年為止，累積碳捕存量已達 770 萬噸 CO₂，此亦為第一個應用於油砂改質廠之 CCS 商業規模計畫。

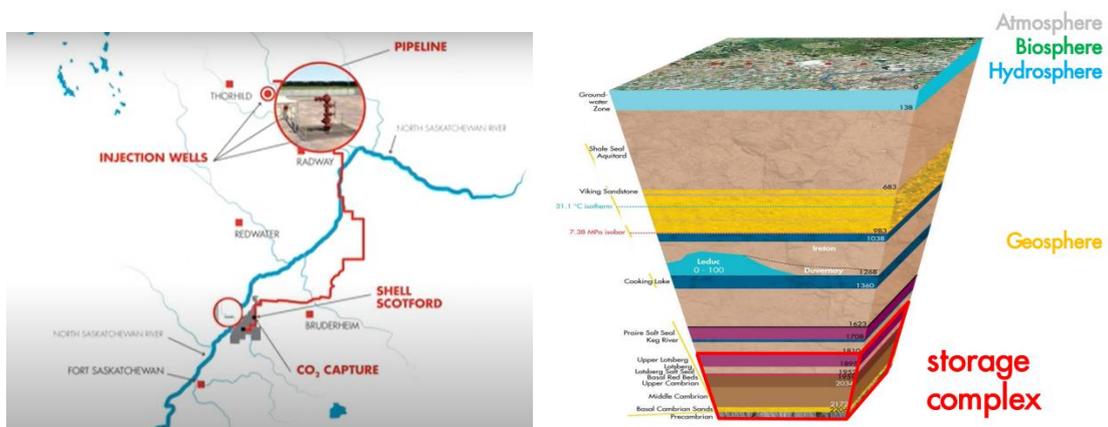


圖 14、Quest CCS 計畫相對位置及封存系統

資料來源：Quest 計畫展示影片及 Rook, L. and O' Brien, S., 2017.

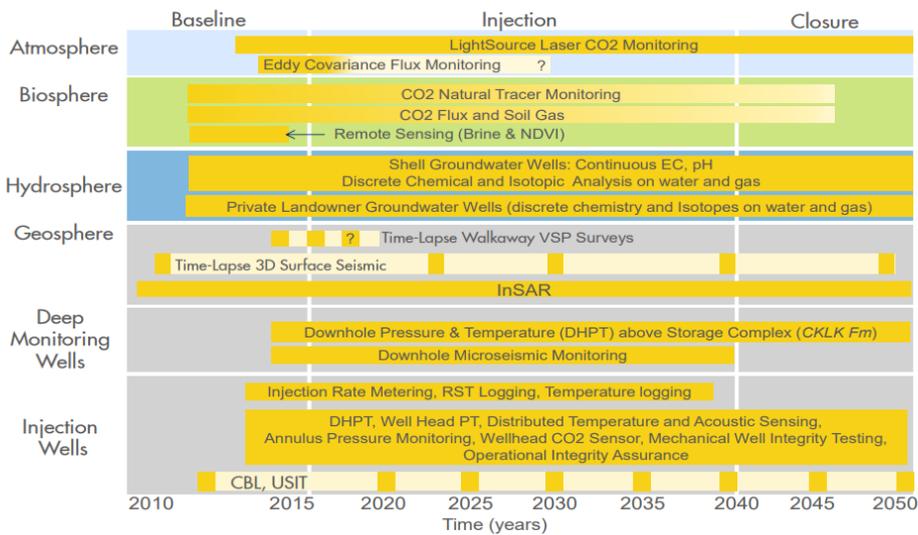


圖 15、Quest CCS 計畫佈署之監測系統

資料來源：Rook, L. and O' Brien, S., 2017.

Shell 在展區內除派遣計畫實際參與者介紹 QUEST 計畫及回答參觀者疑問外，亦透過實際岩心說明封存層與蓋層性質(如圖 16 下半部)。此作法相當值得本公司效法，建議可於採集到目標場址之岩心後，於後續公眾溝通活動中直接向民眾展示與說明。

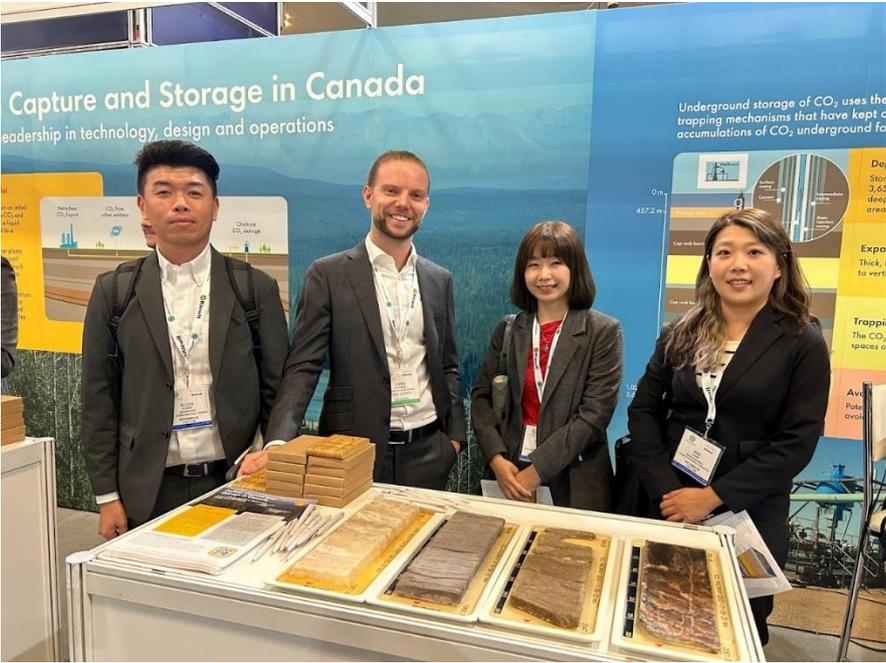


圖 16、與 Shell 公司人員合影與實際岩心展示

(七) Svante

Svante 係一家 2007 年成位於溫哥華的專業碳捕捉公司，其特有的固態吸附劑 (Solid Sorbent) 技術，具備著模組化、低能耗、低成本與抗 SO_x 、 NO_x 、 O_2 與 H_2O 等雜質之優勢，可廣泛地應用在不同的產業，如水泥、煉油、石化、製氫、發電與造紙等高排碳產業，甚至是直接空氣捕捉 (Direct Air Capture, DAC) (圖 17)。

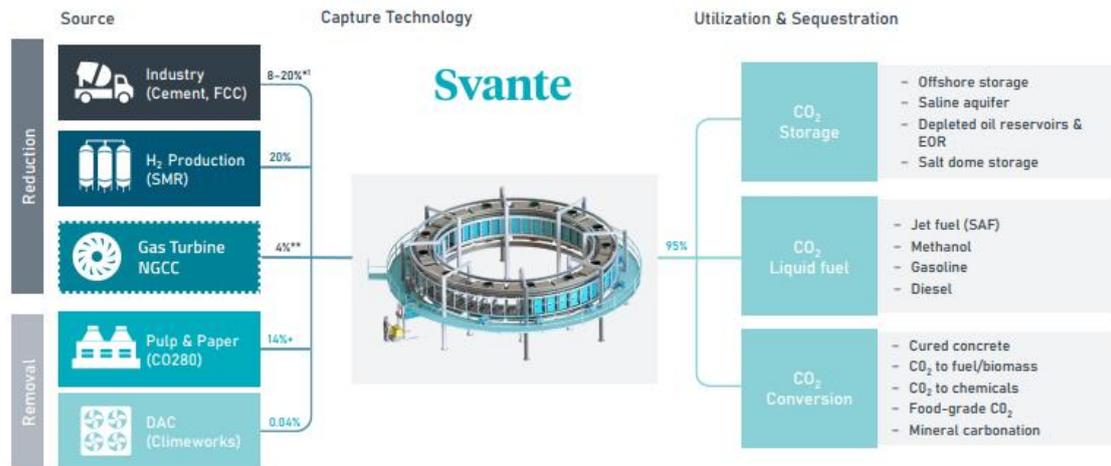


圖 17、Svante 碳捕捉技術適用產業

資料來源：Svante 簡報

其碳捕捉作法係將該吸附劑製成濾材，再結合旋轉吸附機 (Rotary Adsorption Machine, RAM) 將已充滿 CO_2 之濾材以蒸汽進行活化，藉此循環使用 (圖 18)。就該公司參與的碳捕捉計畫而言，示範廠目前最大捕捉量為 500 噸/天 (約 18 萬噸/年)，而第一座商轉廠預計 2026 年啟用，捕捉量為 4,000 噸/天 (約 146 萬噸/年)。

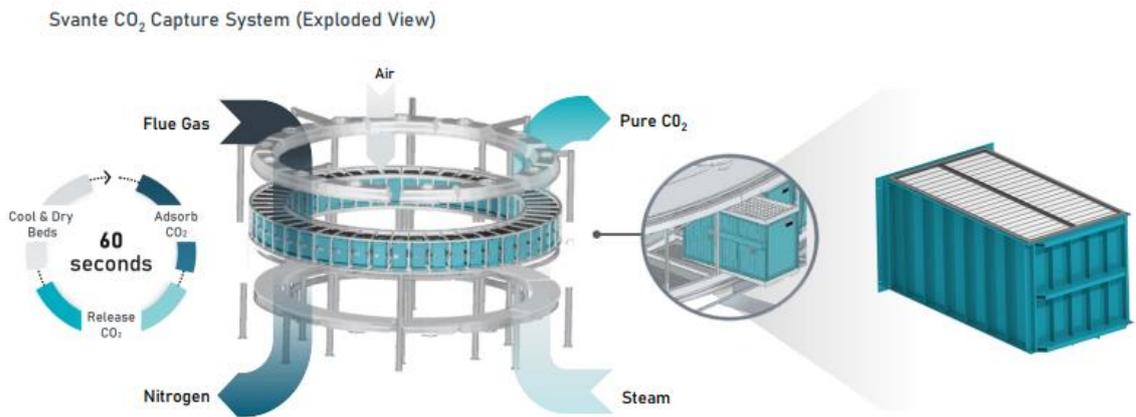
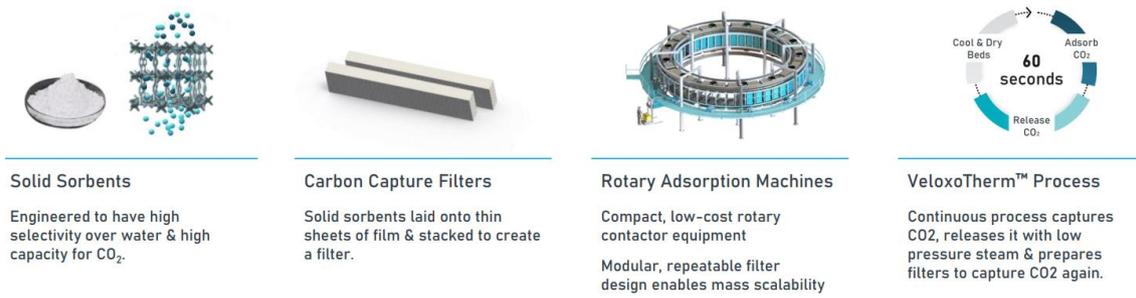


圖 18、Svante 碳捕捉技術作法

資料來源：Svante 簡報

固態吸附劑雖然並非目前主流的碳捕捉技術，但就本次參展的經驗而言，Svante 的攤位隨時都呈現門庭若市的狀態，而從其網頁上亦可觀察到各大油公司(如 Cenovus、Total Energies、Chevron)、商社(如 Mitsui)、工程公司(如 Kiewit)與化工廠(如 BASF)與加拿大政府紛紛投資或與其展開合作計畫，可見業界對此展現高度的興趣與期望，值得持續關注此項技術之發展。

三、Boundary Dam 電廠參訪

SaskPower 之 Boundary Dam 電廠是全球第一個裝設商轉級碳捕捉設施之燃煤電廠，此計畫係由聯邦政府與省政府共同資助。在裝設碳捕捉設施後，該電廠之收入來源除電力外，尚包含二氧化碳(用於 EOR)、硫酸和飛灰(Fly Ash)的銷售。

Boundary Dam 電廠之總裝置容量為 824MW，共有 6 個機組，其中，1、2 號機組已退役，僅於 3 號機組(Boundary Dam 3，簡稱 BD3)裝設碳捕捉設施(圖 19)，而 4、5 與 6 號機組則維持原操作。BD3 原訂於 2013 年退役，經改造後於 2014 年啟動碳捕捉迄今，累積捕捉量超過 550 萬噸(圖 20)。



圖 19、BD3 碳捕捉廠

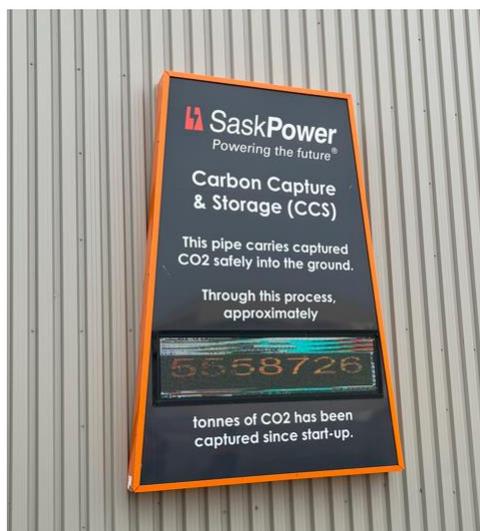
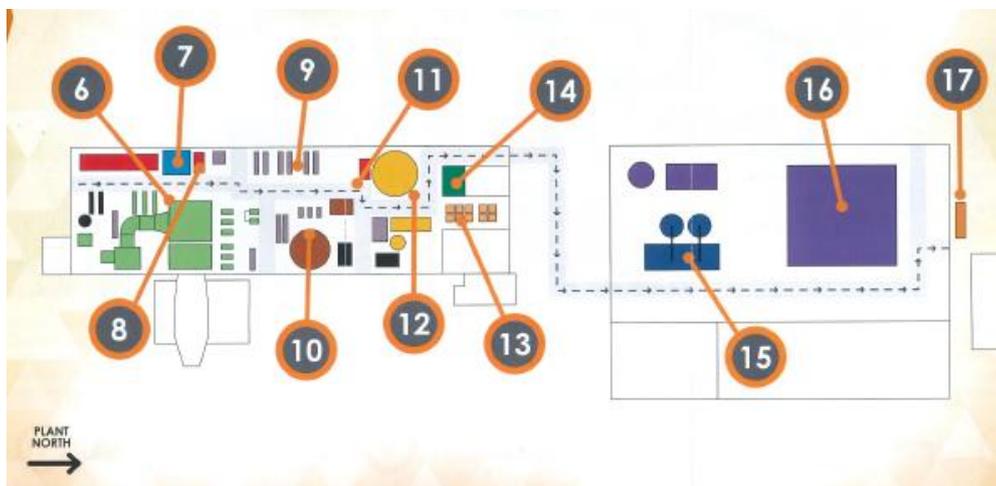
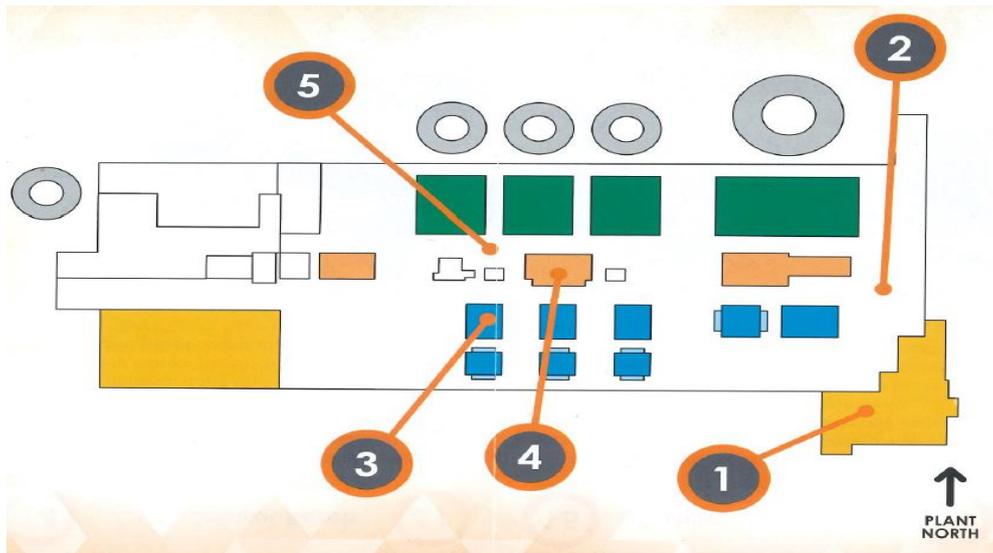


圖 20、BD3 累積碳捕捉量

BD3 係以胺(DC-103)進行燃燒後捕捉，且為了避免胺劣化而降低捕捉效率，捕捉前須先脫除煙道氣內的飛灰與 SO₂，之後再脫除水分，方能加壓輸送至封存場。捕捉下來的二氧化碳絕大部分均透過管線輸送至 66 公里外的 Weyburn 油田進行 EOR，僅有極少量係透過管線輸送至 3.5 公里外的 Aquistore 封存場，該場址係由 PTRC 負責營運，含 1 口灌注井及 1 口監測井，主要作為監測及封存研究之用。

此參訪行程詳細介紹廠區內每個主要站點，並由專人導覽及各站解說(圖 21)，值得一提的是此參訪行程費用為 5,000 加幣，十分感謝薩斯喀徹溫省政府、聯邦政府、CTOT、TUCA 與 SaskPower 之安排，此行得以免費參訪。藉此瞭解百萬噸級碳捕捉廠之營運模式與可能遭遇之問題(如煤的品質良莠不齊，造成捕捉效率降低，故 SaskPower 刻正評估於燃氣電廠裝設碳捕捉設施之可行性)，對未來 CCS 場址建置相當有幫助。

在民眾接受度方面，Boundary Dam 電廠坐落於人煙稀少之郊區，二氧化碳主要用於強化採油(EOR)，並具有完善的監測系統，且加拿大政府要求業者必須定期公布 CCS 場址相關資訊，方便民眾檢索與獲取各項資訊，故並無明顯的反彈聲浪。反觀台灣地狹人稠，且民眾對此技術較為陌生，過往在推動碳封存計畫時，亦曾遭遇不少困難，未來更應重視以透明的資訊取得民眾的信任，並審慎進行教育宣導與公眾溝通。



1. 總辦公大樓 (Main Office Complex)	7. SO ₂ 胺儲槽 (SO ₂ Amine Tank)	13. 酸洗廠 (Acid Plant)
2. 渦輪機組 (Turbine Hall)	8. 胺純化裝置(Amine Purification Units, APU)	14. CCS 控制室 (CCS Control Room)
3. 第 3 號渦輪機組 (Unit #3 Turbine)	9. 熱交換器 (Heat Exchangers)	15. 脫水裝置 (Dehydrators)
4. B 控制室 (“B” Control Room)	10. CO ₂ 胺儲槽 (CO ₂ Amine Tank)	16. 壓縮機 (Compressor)
5. 飼煤機及鍋爐通道(Coal Feeder and Boiler Aisle)	11. 熱回收裝置(Thermal Reclaimer Unit, TRU)	17. 二氧化碳運輸管 (CO ₂ Pipe)
6. 煙氣吸收塔(Flue Gas Absorber Towers)	12. CO ₂ 和 SO ₂ 脫附塔 (CO ₂ and SO ₂ Strippers)	

圖 21、Boundary Dam 電廠碳捕捉設施配置圖

資料來源：SaskPower

肆、心得及建議

本次奉派參與 TUCA 加拿大參訪行程，與 CCS 相關企業進行商務交流及前往碳捕捉廠參訪，對於業者的技術能力與工廠的營運情形有了進一步的瞭解，有益於後續本公司既有 CCS 計畫之推動，茲提出心得與建議如下：

一、效法 Deal Room 模式，提升與會者媒合便利性

舉辦國際研討會時，可效法 Deal Room 模式，請與會者先提供其所提供與找尋的產品或服務，以提升其洽詢合作的便利性，藉此促成廠商間合作的可能性。

二、政府參與程度影響 CCS 計畫成敗甚鉅，宜儘早研擬相關補助或獎勵措施。

CCS 目前成本仍相當高，Quest 與 Boundary Dam 等商轉型計畫仍有賴政府參與或補助才得以順利進行，故建議我國政府應儘早擬定相關補助或獎勵措施，以鼓勵業者投入 CCS 計畫，以利達成公司與國家之減碳目標。

三、對於公司的服務範疇與業務需求陳述越完整，越能吸引相關廠商洽談合作。

參與國際研討會或商務交流時，對於公司的服務範疇與業務需求之陳述越完整，越能吸引相關廠商洽談合作，建議後續奉派出國同仁，可參考公司簡介與個人負責業務，儘早準備相關資訊。

四、編列碳封存與監測相關試驗計畫，發揮碳封存場址最大價值

效法 PTRC 之 Aquistore 模式，以碳封存場址作為測試新技術之試驗基地，編列碳封存與監測相關試驗計畫，透過現地試驗驗證技術可行性。

五、資訊透明較能取信於民

加拿大政府要求 CCS 計畫需定期提交相關資訊，降低民眾資料取得之門檻，有利於提升民眾對於相關技術之瞭解程度，並進而提高其接受度。

六、鼓勵同仁參與國際 CCUS 研討會之實體展覽或發表論文

國際 CCUS 研討會係各公司展現技術能力與研究成果的最佳場域，並可透過與和與會專家與學者交流，激發研究想法與精進相關技術，更可增加公司的曝光度，以拓展可能的合作機會(如共同參與國內外 CCS 計畫)。