

出國報告（出國類別：其他）

# 臺美碳捕獲與封存 國際技術交流會出國報告

服務機關：經濟部能源局

姓名職稱：陳崇憲組長、盧昱穎技士

派赴國家：美國芝加哥、休士頓

出國期間：108 年 4 月 21 日至 4 月 28 日

報告日期：108 年 7 月 18 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：臺美碳捕獲與封存國際技術交流會

頁數 24 含附件：是否

出國人員姓名 / 服務機關 / 單位 / 職稱 / 電話

陳崇憲 / 經濟部能源局 / 組長 / 02-27732839

盧昱穎 / 經濟部能源局 / 技士 / 02-27721370 轉分機 694

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習5 其他

出國期間：108 年 4 月 21 日至 4 月 28 日

出國地區：美國芝加哥、休士頓

分類號/關鍵詞：二氧化碳、碳捕獲與封存（Carbon Dioxide、Carbon Capture and Storage）

## 內容摘要：

本次出國目的為參加碳封存領袖論壇（Carbon Sequestration Leadership Forum, CSLF）技術組年中會議，瞭解其認可計畫之近況及成果，並透過中西部碳封存夥伴聯盟安排，安排參觀美國 Archer Daniels Midland 食品公司在迪卡特（Decatur）所進行之大規模碳捕獲與封存示範計畫。

本次美國能源部國家能源技術實驗室（National Energy Technology Laboratory, NETL）邀請我方人員參加「2019 年臺美碳捕獲與封存國際技術交流會」，除赴美交流外，亦邀請美方專家學者與會，進行研究近況分享及合作成果討論之外，亦利用本次機會討論未來可能合作方向。

另為強化對於大規模示範計畫之瞭解，本次亦由 NETL 安排參觀位於德州之 Petra Nova 大規模 CCS 示範廠。Petra Nova 為全球最大燃煤電廠二氧化碳捕獲示範廠，由 NRG Energy 與日本 JX Nippon 合資於休士頓 WA Parish 電廠建造，每天可捕獲 5,000 噸二氧化碳（160 萬噸/年；相當於 240MWe 煙氣量），捕獲 CO<sub>2</sub> 透過 80 英哩管線輸送到 West Ranch 油田進行油氣增量生產（EOR, Enhanced Oil Recovery）。

# 目 錄

壹、會議目的.....	5
貳、會議過程及參訪情形.....	6
參、心得及建議.....	23

## 壹、會議目的

### 一、目的

- (一)經濟部能源局陳崇憲組長及盧昱穎技士接受美國能源部國家能源技術實驗室 (National Energy Technology Laboratory, NETL) 邀請出席於本 (108) 年 4 月 21 日至 28 日於美國芝加哥舉辦之「臺美碳捕獲與封存技術交流會議」、「碳封存領袖論壇技術組年中會議」暨參訪示範計畫場址。
- (二)我方參加目的為加速推動我國再生能源產業發展，因應國內能源發展轉型布局，代表出席「臺美碳捕獲與封存技術交流會議」、「碳封存領袖論壇技術組年中會議」暨參訪示範計畫場址。藉由參加此會議及參訪，瞭解組織共 25 個會員國推動二氧化碳捕獲封存之技術發展與應用、二氧化碳地質封存之長期安全性，透過各國研究團隊協同努力與交流碳捕獲與分離之議題，提供我國未來促進碳捕獲封存技術的開發與部署之參考。

### 二、行程紀要

本次行程於 4 月 21 日抵達美國休士頓，4 月 22 日參觀德州 Petra Nova 大規模 CCS 示範場址，並移動至伊利諾州芝加哥。4 月 23 日至 4 月 24 日參加 NETL 舉行之「臺美碳捕獲與封存技術交流會議」，4 月 25 日至 4 月 26 日參加「碳封存領袖論壇技術組年中會議」及 Illinois ADM 工業級 CCS 示範計畫觀摩，於 4 月 27 日返臺，4 月 28 日抵臺。本次出國行程規劃如表 1 所示。

表 1、參加「臺美碳捕獲與封存國際技術交流會」行程

日期	活動主題
108.04.21 (日)	啟程並抵達美國休士頓
108.04.22 (一)	德州Petra Nova大規模CCS示範場址觀摩 移動至伊利諾州芝加哥
108.04.23 (二)	2019年臺美碳捕獲與封存國際技術交流會 (第一天)
108.04.24 (三)	2019年臺美碳捕獲與封存國際技術交流會 (第二天)
108.04.25 (四)	Illinois ADM工業級CCS示範計畫觀摩 2019年碳封存領袖論壇技術組年中會議 (第一天)
108.04.26 (五)	2019年碳封存領袖論壇技術組年中會議 (第二天)
108.04.27 (六) 108.04.28 (日)	返程

## 貳、會議過程及參訪情形

### 一、2019 年臺美碳捕獲與封存國際技術交流會

(一) 時間：4 月 23 日 (星期二) 至 4 月 24 日 (星期三)

(二) 會議紀要：

1. 2014 年配合「淨煤及先進發電系統技術合作協定」之「第一號執行協議」，本局推動與美國能源部國家能源技術實驗室 (National Energy Technology Laboratory, NETL) 之國際合作，合作以技術訓練及交流為主，內容包括二氧化碳地質封存特性調查、監測及風險評估等技術，並自 2017 年起擴大為碳捕獲與封存技術，針對化學迴路、固體吸附劑、前瞻碳捕獲與封存技術等領域進行交流。

2. 本次會議美方簡介國際合作方向及能源部 CCUS 技術發展現況，本局則就臺灣能源轉型及再生能源政策進行說明，工業技術研究院、臺灣電力股份公司及臺灣碳捕存再利用協會亦分享我方技術發展現況與合作成果，美方亦就化學迴路、燃燒後捕獲、CO<sub>2</sub> 再利用及碳封存等技術進行介紹，雙方合影如圖 1。
3. 美國能源部 CCUS 計畫：現階段已進入商業規模 CCS 技術推動階段，捕獲技術著重於大型捕獲示範廠之推動建置，封存技術則同步進行大型整合式計畫之封存可行性評估工作（圖 2）。美方希望在 2020 年能夠完成第二代碳捕獲技術之研發及商業規模封存場址的特性評估，在 2025 年實際完成大型整合式 CCS 計畫之商轉，以及在 2035 年將前瞻 CCS 技術實用化，加速 CCS 商業化推動。
4. 美國 2018 年通過 FUTURE 法案（2018 Furthering carbon capture, Utilization, Technology, Underground storage, and Reduced Emissions Act），目的在於減少碳排放而推動碳捕獲、再利用、封存及減排，其中最關鍵措施為 45Q 稅額減免之延長與擴大。根據新修訂的法規，2026 年油氣增量生產之減稅額度為每噸 35 美元，地質封存為每噸 50 美元，預期可提高美國實施油氣增量生產及地質封存之誘因，促進相關產業之發展。
5. 在碳捕獲技術部份，美國能源部的目標是將捕獲成本降至每噸 40 美元，主要發展技術包括化學吸收、物理吸附、薄膜以及前瞻捕獲等四大領域，除了捕獲技術發展外，也透過碳捕獲模擬計畫（Carbon Capture Simulation Initiative, CCSI）發展基礎與製程模擬

技術，透過理論與實廠測試的交叉驗證，優化數值模式，為大型示範計畫的製程模擬做好準備。

6. 在技術測試部份，美國主要透過國家碳捕獲中心（National Carbon Capture Center, NCCC）的運作，提供實廠煙氣，以利捕獲技術之獨立測試，由實驗室規模放大至先導試驗廠規模，NCCC 所提供的驗證平台已測試超過 30 種捕獲技術，累積時數超過 51,000 小時，亦提供國際合作之良好平台。目前 NCCC 努力走向國際，除了與排放大國如中國與印度的密切合作之外，亦與挪威 Monstad 測試中心（Technology Centre Monstad, TCM）結盟成立國際測試中心網路（International Centre Technology Network），希望進一步加速研發二氧化碳捕獲技術。
7. 在碳利用技術部份，則主要分為生物捕獲及轉換（養藻）、燃料與化學品轉換、以及礦化封存等三大範疇，目的在於降低 CO<sub>2</sub> 捕獲之成本，同時將 CO<sub>2</sub> 轉為具銷售利潤的商品。
8. 在碳封存部份，美國能源部已完成全美碳封存潛能盤點，並透過區域碳封存夥伴聯盟（Regional Carbon Sequestration Partnership, RCSP）完成數個大規模封存測試場址。現階段碳封存技術研發之重點則包括封存基礎設施、先進封存技術研究及風險與整合工具等三大範疇，其中封存基礎設施延續 RCSP 框架，但將範疇延伸至離岸封存；先進封存技術則著重於井孔安全性、效率提昇、儲集層壓力管理、封存有效性確認、誘發地震、洩漏風險評估及防範等；風險與整合工具則著重於量化風險評估與知識整合等重點。

9. 美國碳封存近期較大型計畫為 CarbonSAFE 計畫，主要針對六個大型鹽水層盆地 (>3.5 億噸潛能) 進行計畫可行性評估 (圖 3)。
- 在進行正式計畫前，美方分享 CarbonSAFE 初步執行之經驗包括：
- (1) 大型計畫需要產業界緊密合作，執行策略則須著重於可行的商業模式；
  - (2) 石油公司的參與和在地後勤支援；
  - (3) 經濟可行性受限於 CO<sub>2</sub> 捕獲成本；
  - (4) 為了大型化注儲，可能須考慮儲集層壓力管理；
  - (5) 包含斷層的儲集層異質性與壓力效應數值模擬。
10. NETL 對載氧體研發具豐富經驗，亦是本次雙方交流之重點項目。其開發採用氧化銅-三氧化二鐵-氧化鋁之複合式載氧體，可提高反應性及抗磨耗特性，已具批次生產能力 (每批次 500 磅)。目前已完成第二代載氧體之 40 小時連續測試，甲烷轉換為 CO<sub>2</sub> 的轉化率介於 33.9%~76.5% 之間，固體循環效果及熱管理亦可維持穩定運轉 (圖 4)。
11. 根據 NETL 之計算，載氧體價格必須降低至每公斤 5 美元，整個製程載氧體補充成本 (Make-up Cost) 必須降低至 5 美元/MWt-hr，方可與循環式流體化床燃燒系統之發電成本競爭。
12. 目前全球減碳之新趨勢，希望可於世紀中期達成淨零 (Net Zero) 碳排放，而碳捕獲與封存與碳移除 (Carbon Dioxide Removal, CDR) 將扮演重要角色。所謂淨零碳排放，可透過 BECCS，或進一步由空氣中直接捕獲及移除二氧化碳 (CDR)。
13. 在燃燒後捕獲技術部份，NETL 本次分享利用微波技術輔助吸附劑之再生。圖 5 為 NETL 的漿液反應器技術示意圖。除了技術介

紹之外，NETL 提到目前已與巴西簽訂合作契約，希望將 NETL 的 CO<sub>2</sub> 捕獲技術在巴西產業界夥伴場地進行實廠測試，NETL 也建議臺美國際合作可採用相同模式進行，將美方開發之吸附劑應用於臺灣實地場域進行測試。

14. NETL 從 2007 年起即開始進行醫療級電腦斷層掃描 (Computed Tomography, CT) 應用於地質封存之可行性，2009 年引進 Micro-CT 等級之設備，2012 年則進一步引進工業級 CT，目前已建立一系列 CT 技術，如圖 6 所示。NETL 醫療級 CT 可在進行掃排實驗時即時觀測孔隙及裂隙網路的變化，經特別設計之岩心座可以在高壓狀態下容許流體進入並穿透岩心，即時取得電腦斷層掃描成像。

15. NETL 目前主導的第二代國家風險評估技術，發展重點在於封存安全性、誘發地震風險、策略式監測等，並擴大實場監測資料與合成資料應用於風險評估工具及方法學的驗證，對於地震風險高的臺灣而言，應屬重要評估技術工具。

16. 雙方此次亦針對未來合作可行性進行討論 (圖 7)，針對臺灣目前可能封存地質岩心，建議可透過本平台，共同進行相關岩心分析，以瞭解未來 CO<sub>2</sub> 封存之可能性。有關美方 NETL 已發展第二代風險評估 (Risk Assessment) 軟體，建議可透過雙方交流合作，針對誘發地震、策略式監測等議題進行進一步合作分析。關於封存相關學習技術開發，我方可與美方保持交流，瞭解美方技術開發重點，並評估導入我國應用之可行性。



圖 1、臺美 CCS 技術交流會人員合影

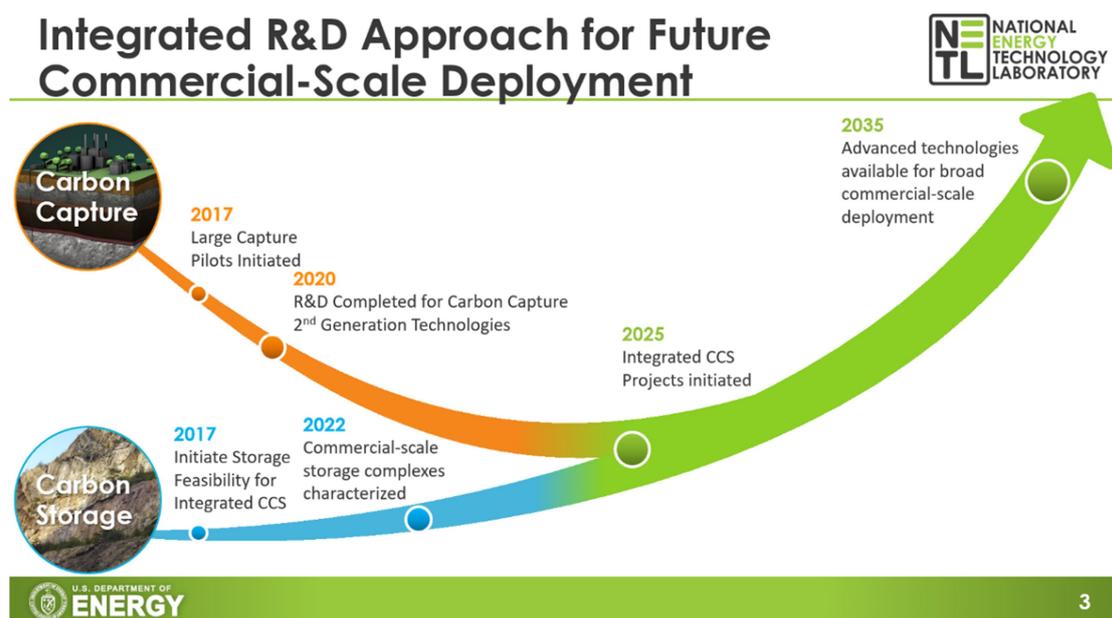


圖 2、美國商業規模 CCS 技術推動整合研發



圖 3、CarbonSAFE 計畫潛在場址分布圖

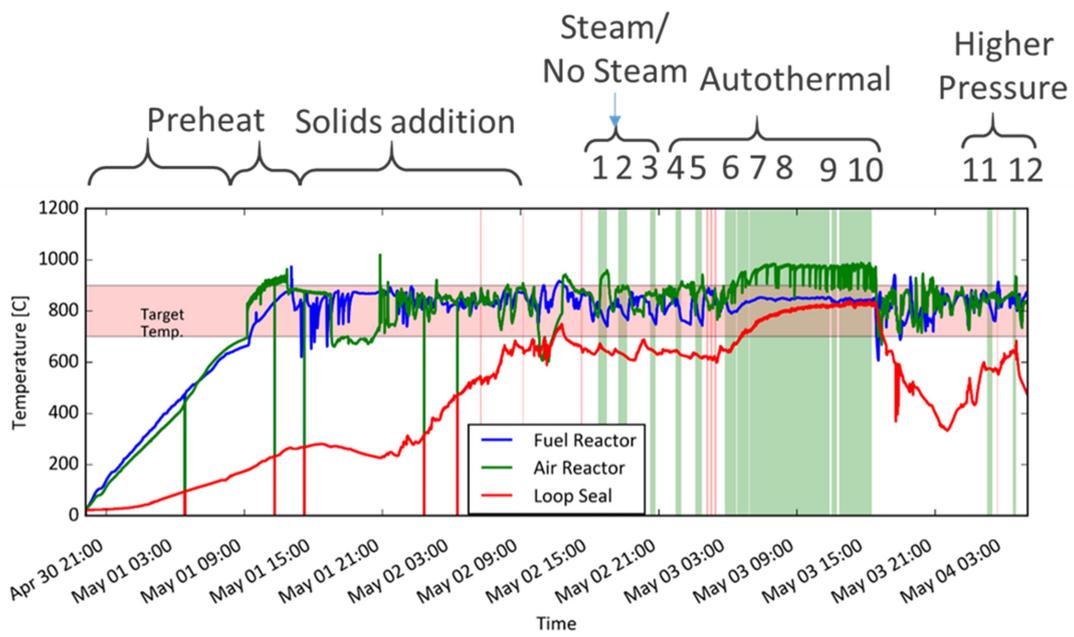


圖 4、NETL 50kW 化學迴路 40 小時連續測試結果

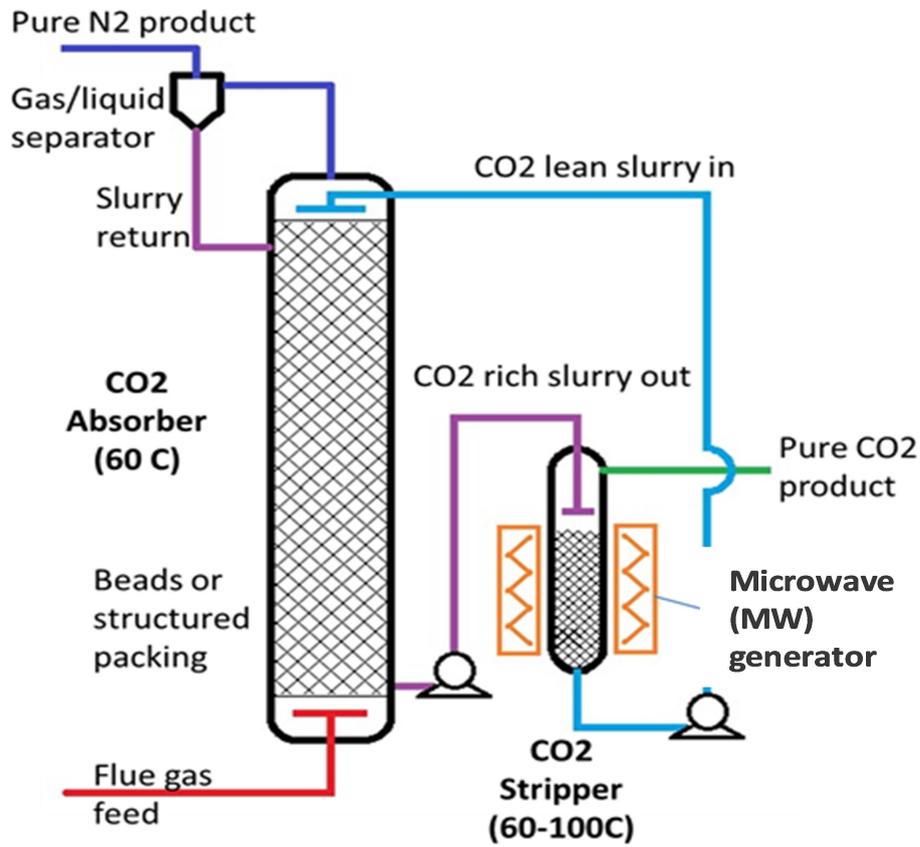


圖 5、NETL 漿液反應器捕獲 CO<sub>2</sub> 示意圖

## Multi-Scale CT Flow and Imaging Facility

**Real rocks at real conditions**

**Visualizing pore networks and trapped fluids**

**Core characterization**

**NATIONAL ENERGY TECHNOLOGY LABORATORY**

**Micro CT Scanner**  
- 10<sup>-6</sup> to 10<sup>-5</sup> m  
- Pore scale

**Industrial CT Scanner**  
- 10<sup>-6</sup> to 10<sup>-3</sup> m  
- Pore & core scale

**Medical CT Scanner**  
- 10<sup>-4</sup> to 10<sup>-2</sup> m  
- Core scale

**Geophysical Logging**

**Core Flow Facility**

**Collaborators**

**Collaborators**

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY

圖 6、NETL 岩心斷層掃描系統



圖 7、臺美 CCS 技術未來合作方向討論

## 二、2019 年碳封存領袖論壇技術組年中會議

(一) 時間：4 月 25 日（星期四）至 4 月 26 日（星期五）

(二) 會議紀要：

### 1. 碳封存領袖論壇（Carbon Sequestration Leadership Forum, CSLF）

為一國際性部長級氣候變遷倡議組織，成立目標在於推動二氧化碳捕獲與封存之技術發展與實務應用，以及確保二氧化碳地質封存的長期安全性。CSLF 成員國包括 24 個國家及歐盟執委會，共 25 個會員國（澳大利亞、巴西、加拿大、中國、哥倫比亞、丹麥、歐盟執委會、法國、德國、希臘、印度、意大利、日本、墨西哥、荷蘭、挪威、俄羅斯、沙烏地阿拉伯、南非、韓國、英國和美國），組織則分為政策小組（Policy Group）及技術小組（Technical Group）（圖 8），其中政策小組負責財務投資增進、能力建置、公眾溝通，而技術小組則負責技術合作、工業規模整合型計畫、最佳實務分享、行動計畫擬定及推行。本次會議參加者包括 CSLF 技術組織各國代表及觀察員（圖 9）。

2. CSLF 為全球部長級組織，因此其政策組之運作具有政治色彩，但本次會議主辦單位宣佈 CSLF 政策組未來會與潔淨能源部長級會議（Clean Energy Ministerial, CEM）共同舉辦，可預期政策組相關業務將納入 CEM 合併執行。

3. CEM CCUS Initiative 的主要目標在於將 CCUS 技術納入 CEM 所考慮的潔淨能源技術中，並且打造一個連結公私部門及投資業的

整合平台，加速 CCUS 技術的推動，尋求 CCUS 技術近期及長期的投資機會，改善 CCUS 的商業模式，同時推動 CCUS 政策法規及最佳投資實務知識分享，也因為 CEM 業務與 CSLF 政策組重疊性高，因此已決定未來 CSLF 政策組將移至 CEM 框架中，共同推動 CCUS 技術。由於目前金融界對於 CCUS 技術尚屬陌生，CEM 將成為推動 CCUS 技術成為潔淨、綠色金融投資的重要動力。

#### 4. CSLF 之優勢在於可透過其網路連結全球各地重要利害關係者

(Stakeholder)，以下針對利害關係者之分享進行整理：

(1) 歐盟 CO2GEONET 計畫，由 2004 年歐盟 FP6 旗艦計畫所成立，目前成員來自於 21 個國家共 30 個研究機構，是歐洲碳封存研究與推動之重要平台。CO2GEONET 主要負責進行碳封存聯合科學研究，另透過訓練課程推廣研究成果，提供客觀具科學根據的建言。

(2) 國際能源總署溫室氣體研發計畫 (IEAGHG) 亦為 CSLF 重要利害關係者之一，IEAGHG 是 1991 年在國際能源總署 (IEA) 執行協定框架下所成立的跨國合作研究計畫，以碳捕獲與封存 (CCS) 技術為主。

#### 5. 日本目前於北海道苫小牧 (Tomakomai) 進行碳捕獲與封存示範計畫，2018 年 9 月北海道發生芮氏規模 6.7 強震，距離場址水平距離約 30 公里，但場址溫度與壓力數據維持正常，顯示地底 CO<sub>2</sub> 團塊未受地震影響。我方未來有需要針對碳封存與地震相關議題進行公眾溝通，Tanaka 先生表示亦樂意提供協助。

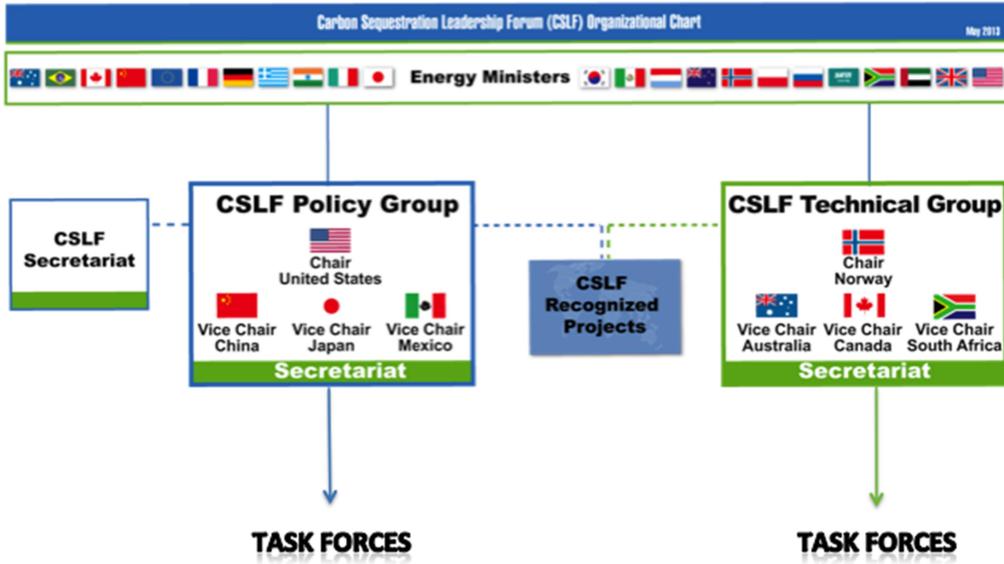


圖 8、碳封存領袖論壇組織架構圖



圖 9、CSLF 技術組會議會場相片

### 三、美國碳捕獲與封存大型示範計畫觀摩- 德州 Petra Nova 計畫

(一) 時間：4 月 22 日 (星期一)

(二) 參觀紀要：

1. 德州 Petra Nova 計畫為美國最大型燃燒後捕獲 CO<sub>2</sub> 廠，從 NRG WA Parish 燃煤發電廠，利用 MHI 提供的化學吸收技術捕獲 CO<sub>2</sub> 並進行 EOR，每年可捕獲 140 萬噸 CO<sub>2</sub>。整體計畫由 Petra Nova Parish 控股公司負責規劃，該公司由 NRG 能源與日本 JX 石油探勘公司共同出資成立，運輸及封存計畫則由 Petra Nova Parish 控股公司與 Hilcorp Energy Company 共同出資成立 Texas Coastal Ventures (TCV) 公司運作。
2. WA Parish 燃煤發電廠是全美最大的燃煤發電廠之一，設有四座燃煤發電機組，發電量總計 2,475MW，每天煤炭用量超過 3 萬噸，由 Wyoming 州所供應。除燃煤之外，亦設有六座燃氣機組，發電量為 1,270MW。Petra Nova 計畫設計碳捕獲量為每年 140 萬噸 (捕獲率約 90%)，滿載時每天可捕獲 5,200 噸 CO<sub>2</sub>，是目前世界上最大的電廠燃燒後碳捕獲設施。自 2016 年碳捕獲廠開始運轉，2017 年 1 月起開始進行油氣增量生產，至目前為止，Petra Nova 已經捕獲 280 萬噸 CO<sub>2</sub>，德州 Petra Nova 計畫推動歷程如圖 10
3. Petra Nova 計畫鳥瞰圖如圖 11。，主要設施包括從八號機組引煙道氣體的管線 (左下角)，二氧化碳捕獲設施 (吸收塔、再生塔)

(圖 12)、冷卻機組，右上角則為新建 75MW 汽電共生發電設施，所產蒸汽可用於 KS-1 吸收劑之再生，多餘電力則併入電網進行銷售，裝設 CO<sub>2</sub> 捕獲設施對原電廠效率不具影響，團員與設施合影如圖 13。

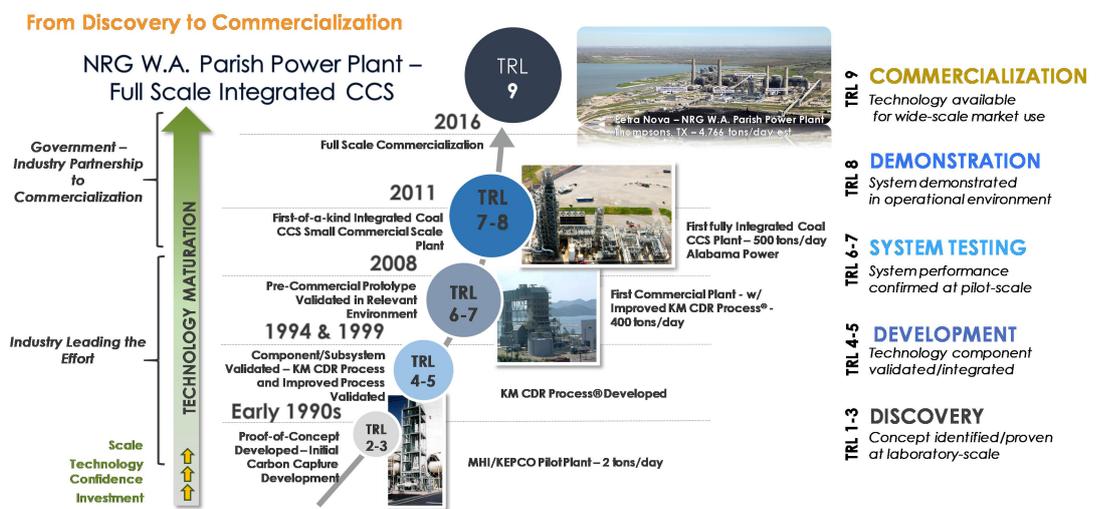


圖 10、德州 Petra Nova 計畫推動歷程



圖 11、德州 Petra Nova 計畫鳥瞰圖



圖 12、德州 Petra Nova 二氧化碳吸收塔及吸收劑再生塔



圖 13、德州 Petra Nova 計畫參觀人員合影

#### 四、美國碳捕獲與封存大型示範計畫觀摩- ADM 工業 CCS 計畫

(一) 時間：4 月 25 日 (星期四)

(二) 參觀紀要：

1. Archer Daniel Midland (ADM) 公司的大型 CCS 示範計畫，地點位於伊利諾州迪卡特 (Decatur)。ADM 公司於 1902 年成立，是全球最大的農業生產、加工與製造公司，本次參觀的工業 CCS 設施計畫 (The Illinois Industrial CCS Facility, ICCS)，係於 ADM 公司玉米發酵製造酒精的製程中分離 CO<sub>2</sub>，提供鹽水層封存測試，規模可達每年 100 萬噸。
2. ICCS 計畫是美國大規模注儲試驗中較具代表性之成功案例，已注入約 100 萬噸 CO<sub>2</sub>，演進歷史如圖 14，下一階段更大規模 (>5,000 萬噸) 的計畫亦已開始進行籌備。
3. 由美方規劃可知，碳封存須按部就班地由先導計畫著手，測試各種不同的監測技術及策略，找出適合場址的最佳方案後，逐步放大規模進行測試，除了提高計畫的成功率之外，亦可透過完善的監測資訊使民眾安心。
4. 如圖 15，伊利諾州 ICCS 計畫地圖除了注儲設施之外，美方在當地的 Richland Community College 亦建設一座國家封存教育中心 (National Sequestration Education Center)，除了 CCS 技術之實體模型及數位展示之外，亦整合展示風力、太陽能等再生能源。

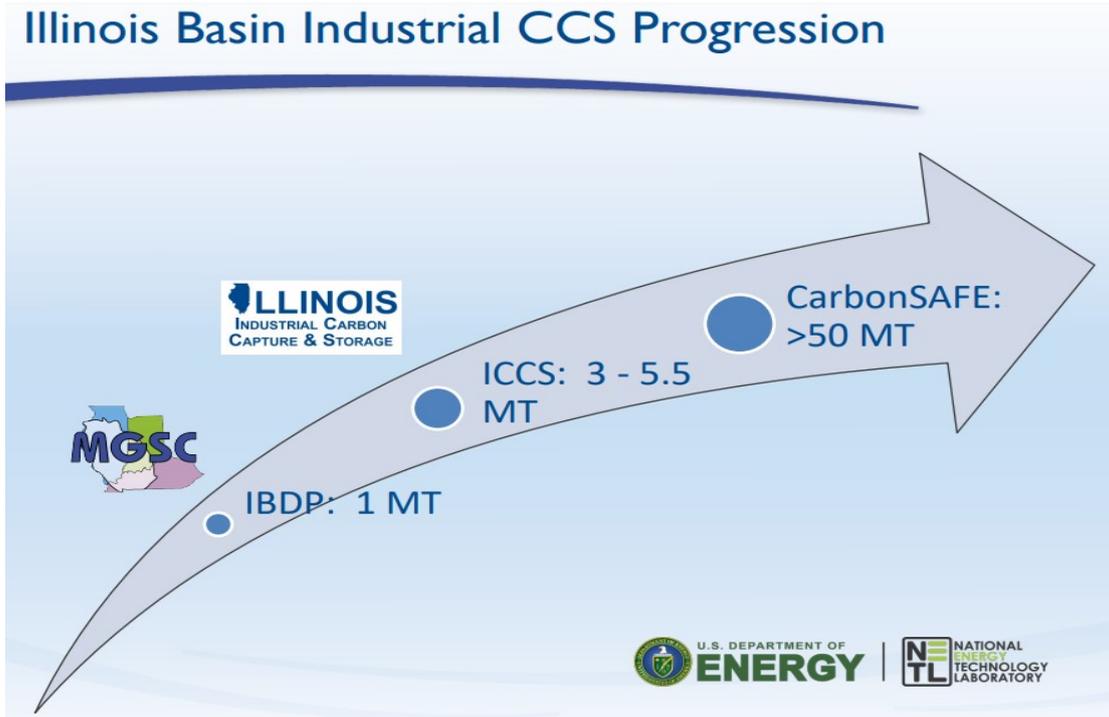


圖 14、伊利諾州 ICCS 計畫演進圖

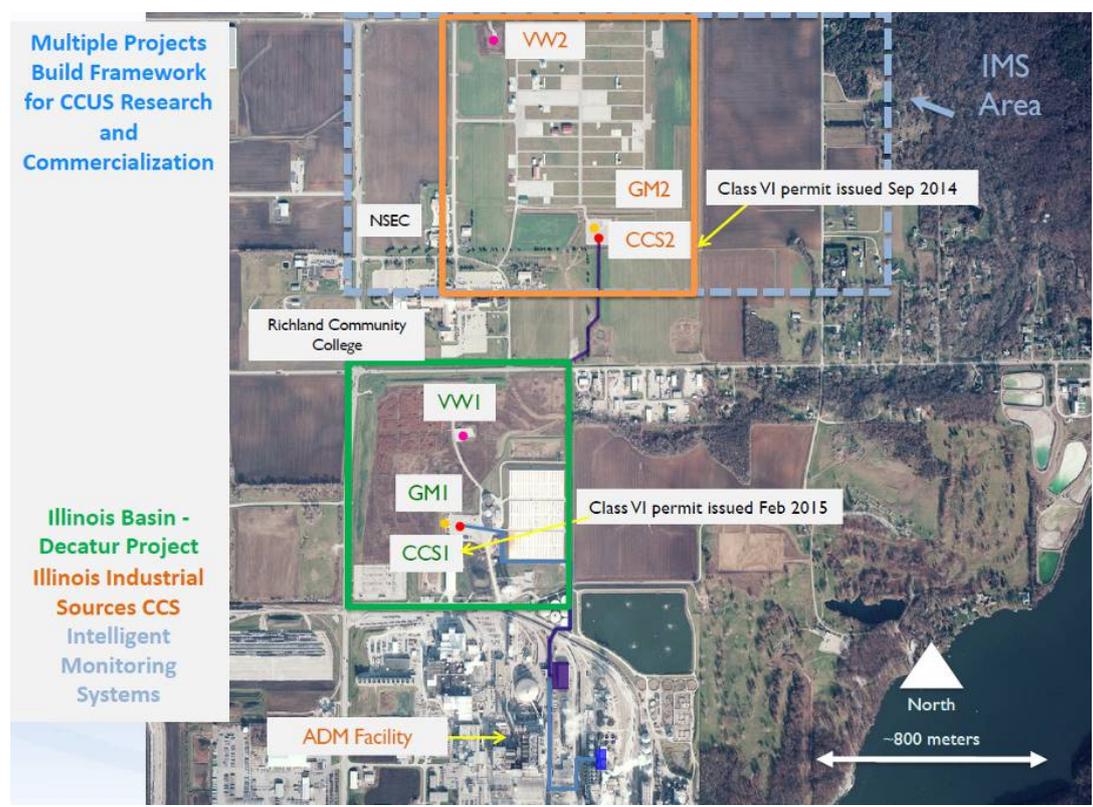


圖 15、伊利諾州 ICCS 計畫地圖

## 參、心得及建議

- 一、此次無論是「臺美碳捕獲與封存國際技術交流會」或是「碳封存領袖論壇技術組年中會議」，美國的 45Q 稅額減免皆為會場討論的焦點之一。45Q 將逐年提高油氣增量生產（EOR）之減稅額度至每噸 35 美元，地質封存則提高至每噸 50 美元，預期可大幅提高美國實施油氣增量生產及地質封存之誘因，顯示現階段 CCS 技術的推動仍需要胡蘿蔔（Carrot）作為誘因。
- 二、碳封存領袖論壇（CSLF）政策組會議，即將併入潔淨能源部長級會議共同運作，除原先建立與推動技術之外，將強化連結綠色金融投資及產業，顯示國際間 CCS 技術已由先導試驗、示範計畫推動，逐步轉變為商業模式建立。我國 CCS 技術目前尚屬於技術研究階段，如何建立創新的商業模式，引導廠商投入，值得進一步思考。
- 三、歐美各國均透過研究網路（如 RCSP、CO2GEONET）進行研究成果之分享，目前透過臺美國際合作，我方已與美國相關單位建立交流管道，歐洲目前 CO2GEONET 已較具規模，建議亦可與 CO2GEONET 建立交流管道，以獲得歐盟最新 CCS 進展。
- 四、德州 Petra Nova 計畫自 2010 年起開始規劃，直至 2016 年啟動運轉，期間經過完善技術及財務規劃，顯示大型示範計畫之準備期長，我國宜及早進行公私機構合作規劃，同時亦須建立友善的綠色金融投資環境。
- 五、美國國家碳捕獲研究中心協助技術由實驗室規模放大至示範規模，亦有國家碳封存教育中心協助 CCS 及再生能源教育推廣。目前我國針對化學迴路及低碳燃燒技術已規劃建立技術測試平台，台電公司於臺中火力發電廠亦規劃建置低碳示範園區，相關規劃建議可參考美國成功經驗。
- 六、ADM 伊利諾州工業 CCS 計畫（Illinois Industrial CCS），由其經驗可知場址條件變化多端，同樣的監測技術對於不同的地質條件可能有迥然不同的效果，因此初期測試時應在預算內盡可能安排各類監測技術，以便取得最佳監測技術組合。
- 七、通過 CSLF 認證之計畫可獲得一定知名度，對於研發成果之宣傳具有

相當助益，建議我方鈣迴路捕獲 CO<sub>2</sub> 技術，可先與友好國家研議推動，爭取 CSLF 認可。