

**出國報告（出國類別：開會）**

## **美臺碳捕獲與封存技術交流會**

**服務機關：台灣電力公司綜合研究所**

**姓名職稱：鄭錦榮、化學監主任**

**派赴國家：美國**

**出國期間：106年09月09日至106年09月18日**

**報告日期：106年11月15日**



## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：美臺碳捕獲與封存技術交流會

頁數 33 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台電人事處/陳德隆/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

鄭錦榮/台電綜合研究所/化學與環境研究室/化學師/02-80782231

出國類別：1 考察2 進修3 研究 4 實習 5其他

出國期間：中華民國106年09月09日至106年09月18日 出國地區：美國

報告日期：中華民國106年11月15日

分類號/目

關鍵詞：美臺碳捕獲與封存技術交流會

內容摘要：（二百至三百字）

102年「駐美國台北經濟文化代表處」及「美國在台協會」簽訂「臺美淨煤與先進能源系統技術國際合作協定」之「第一號執行協定」，協議由經濟部能源局與美國能源部負責推動國際合作，並於103年起委由工研院與國家能源技術實驗室辦理碳捕獲與封存技術領域交流與合作。美方提議於106年9月9日至18日間，於美國辦理「美臺碳捕獲與封存技術交流會」，並規劃邀請我方人員回訪。透過DOE, NETL的安排赴(1)舊金山-美臺碳捕獲與封存技術交流會，交流重點：1. 能源政策；2. CCS 技術發展現況；3. 碳捕獲技術；4. 化學迴路技術；5. 地質封存技術。(2)匹茲堡-NETL 實驗室參觀，參觀重點：1. 化學迴路實驗設施；2. 岩蕊 X-CT 實驗室；3. 數值模擬與視覺模擬中心；4. 二氧化碳捕獲實驗室；5. 岩水氣化學實驗室；6. 示蹤劑檢測實驗室。(3)休士頓-Petra Nova 示範計畫觀摩，參觀重點：1. 燃燒後二氧化碳捕獲技術；2. 二氧化碳輸送管線；

3. EOR 場址監測技術規劃。本報告分別透過利用 CT 掃描成像探討岩芯中的 CO<sub>2</sub> 移動特性，了解岩層地址的二氧化層儲存特性及儲存量。從 Petra Nova 碳捕集示範場參訪了解大型捕集設備規劃特性，整合應用在台電公司台中低碳園區的可研性評估應用與捕集小型機組的建立。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.nat.gov.tw/reportwork/>)

## 摘 要

102 年「駐美國台北經濟文化代表處」及「美國在台協會」簽訂「臺美淨煤與先進能源系統技術國際合作協定」之「第一號執行協定」，協議由經濟部能源局與美國能源部負責推動國際合作，並於 103 年起委由工研院與國家能源技術實驗室辦理碳捕獲與封存技術領域交流與合作。美方提議於 106 年 9 月 9 日至 18 日間，於美國辦理「美臺碳捕獲與封存技術交流會」，並規劃邀請我方人員回訪。透過 DOE,NETL 的安排赴(1)舊金山-美臺碳捕獲與封存技術交流會，交流重點：1.能源政策；2.CCS 技術發展現況；3.碳捕獲技術；4.化學迴路技術；5.地質封存技術。(2)匹茲堡-NETL 實驗室參觀，參觀重點：1.化學迴路實驗設施；2.岩蕊 X-CT 實驗室；3.數值模擬與視覺模擬中心；4.二氧化碳捕獲實驗室；5.岩水氣化學實驗室；6.示蹤劑檢測實驗室。(3)休士頓-Petra Nova 示範計畫觀摩，參觀重點：1.燃燒後二氧化碳捕獲技術；2.二氧化碳輸送管線；3.EOR 場址監測技術規劃。本報告分別透過利用 CT 掃描成像探討岩芯中的 CO<sub>2</sub> 移動特性，了解岩層地址的二氧化層儲存特性及儲存量。從 Petra Nova 碳捕集示範場參訪了解大型捕集設備規劃特性，整合應用在台電公司台中低碳園區的可研性評估應用與捕集小型機組的建立。

## 目 次

行政院及所屬各機關出國報告提要 .....	3
摘 要 .....	5
目 次 .....	6
一、目的 .....	7
二、行程概要 .....	9
三、會議及參訪內容 .....	10
3.1 US-TAIWAN CCS TECHNOLOGY EXCHANGE WORKSHOP .....	10
3.2 利用 CT (COMPUTED TOMOGRAPHY)掃描成像探討岩芯中的 CO <sub>2</sub> 移動特性.....	12
3.3 PETRA NOVA 碳補集示範場參訪 .....	22
四、心得與感想 .....	32
伍、引用資料 .....	33

## 一、目的

1. 102年「駐美國台北經濟文化代表處」(TECRO)及「美國在台協會」(AIT)簽訂「臺美淨煤與先進能源系統技術國際合作協定」之「第一號執行協定」(Implementation Agreement, IA)，協議由經濟部能源局與美國能源部負責推動國際合作，並於103年起委由工研院與國家能源技術實驗室(NETL, National Energy Technology Laboratory)辦理碳捕獲與封存技術(CCS)領域交流與合作。為完成第一號執行協定約定之第二期工作項目並強化雙方交流，美方提議於106年9月9日至18日間，於美國辦理「美臺碳捕獲與封存技術交流會」，並規劃邀請我方人員回訪。主要活動內容包括(1)技術交流及未來合作討論會議、(2)國家能源技術實驗室參觀(NETL)及(3)大規模CCS示範場址觀摩。
2. 透過DOE, NETL的安排赴(1)舊金山-美臺碳捕獲與封存技術交流會，交流重點：
  1. 能源政策；2. CCS技術發展現況；3. 碳捕獲技術；4. 化學迴路技術；5. 地質封存技術。
  - (2) 匹茲堡-NETL實驗室參觀，參觀重點：
    1. 化學迴路實驗設施；2. 岩蕊X-CT實驗室；3. 數值模擬與視覺模擬中心；4. 二氧化碳捕獲實驗室；5. 岩水氣化學實驗室；6. 示蹤劑檢測實驗室。
  - (3) 休士頓-Petra Nova 示範計畫觀摩，參觀重點：
    1. 燃燒後二氧化碳捕獲技術；2. 二氧化碳輸送管線；3. EOR場址監測技術規劃。
3. 美臺碳捕獲與封存技術交流會之相關技術及文章取得與應用，幫助發展二氧化碳捕獲技術，藉由合作方向討論，建立燃燒後二氧化碳捕獲技術，幫助發展二氧化碳分離及材料效能評估技術，藉由材料之化學結構及物性，探討二氧化碳氣體的透過率及選擇率。協助督導及規劃『台中電廠碳捕捉試驗場』，『二氧化碳捕集、封存與再利用技術研究』及『二氧化碳捕集程序中應用固態吸附劑之特性分析』研究計畫。目標為強化台美國際合作及交流，美方提議辦理美

臺碳捕獲與封存技術交流會及示範場址觀摩活動，並就後續可行合作方向進行討論。

4. 台電公司為維繫穩定供電，火力發電仍是不可或缺的部分，確保火力電廠持續運轉，必須要面對並解決其碳排放問題，因此，綜研所也陸續完成彰濱碳封存場址之調查與研究工作，並規劃建立鑽勘技術，從地層中鑽取不同深度岩蕊，本次參訪可透過利用 CT (Computed Tomography) 掃描成像探討岩芯中的 CO<sub>2</sub> 移動特性了解岩層地址的二氧化層儲存特性及儲存量。從 Petra Nova 碳捕集示範場參訪了解大型捕集設備規劃特性，整合應用在台電公司台中低碳園區的可研性評估應用與捕集小型機組的建立。



## 二、行程概要

本案開會含往返行程共 10 天，即自民國 106 年 09 月 09 日至同年 09 月 18 日止，其行程概要簡述如下：

參訪機構名稱	地點	詳細工作內容
NETL, DOE	舊金山灣區	US-Taiwan CCS Technology Exchange Workshop
NETL, DOE	舊金山灣區	Roundtable Discussion on Future Collaborations
NETL Morgantown	匹茲堡	WV for NETL Visit
NETL Pittsburgh	匹茲堡	PA for NETL Visit
NETL, Petra Nova CCS	休士頓	PN for Site Visit
NETL	休士頓	Roundtable Discussions

### 三、會議及參訪內容

#### 3.1 US-Taiwan CCS Technology Exchange Workshop

會議在舊金山灣區 Hotel Hyatt House Emeryville-San Francisco Bay 舉行，出席單位台方包括工研院綠能所、台電綜研所、清大化工所，美方包括國家能源技術實驗室(NETL)、加州柏克萊大學、電力研究所(EPRI)、Lawrence Livermore 國家實驗室(LLNL) 等專家學者，針對與台電 CCS 研發相關議題說明如後，會議議程如表 1 所示。

表 1：US-Taiwan CCS Technology Exchange Workshop

<b>8:00 – 8:15 AM</b>	<b>Welcome and Strategic Directions</b> Anthony Armaly, Strategic Partnerships (International) NETL
<b>8:15 – 8:30 AM</b>	<b>Clean Coal Technology Development at ITRI</b> Heng-Wen Hsu, Ph.D., Deputy Technical Director, Green Energy and Environment Research Laboratories, ITRI
<b>8:30 – 9:00 AM</b>	<b>Carbon Capture Technology Development at ITRI</b> Cheng-Hsien Shen, Ph.D., Principal Researcher, Green Energy and Environment Research Laboratories, ITRI
<b>9:00 – 9:30 AM</b>	<b>Carbon Storage Technology Development at ITRI</b> Chi-Wen Liao, Ph.D., Senior Researcher, ITRI
<b>9:30 – 10:00 AM</b>	<b>Current Status of CCS Research Activities at Taiwan Power Company</b> Jiin-Rong Cheng, Ph.D., Director, Chemistry and Environment Research Laboratory, Taiwan Power Research Institute, Taiwan Power Company
<b>10:00 – 10:20 AM</b>	<b>Break</b>
<b>10:20 – 10:50 AM</b>	<b>Research and Pilot Activities in Post-Combustion CO<sub>2</sub> Capture in Taiwan</b> Shi-Shang Jang, Ph.D., (Hsi-Hsien Cheng, Ph.D.) Professor, National Tsing Hua University
<b>10:50 – 11:20 AM</b>	<b>R&amp;D Efforts in Chemical Looping Combustion at NETL</b> Samuel Bayham, Ph.D., Research Engineer, Thermal Science Team, Energy Conversion Engineering Department, NETL

<b>11:20 – 11:40 AM</b>	<b>Mixed Metal Oxide Oxygen Carrier Development for Chemical Looping Combustion</b>
<b>11:40 – 1:00 PM</b>	<b>Lunch</b>
<b>1:00 – 1:30 PM</b>	<b>CO<sub>2</sub>/Brine/Rock Interactions: Experiments and Simulation Study</b> Yee Soong, Ph.D., Research Scientist, NETL
<b>1:30 – 2:00 PM</b>	<b>Imaging CO<sub>2</sub> Migration in Rock Cores Using Computed Tomography Scanning</b> Dustin Crandall, Ph.D., Research Engineer, NETL
<b>2:00 – 2:30 PM</b>	<b>Rick-Based Monitoring Network Design for CO<sub>2</sub> Storage Sites</b> Ya-Mei Yang, Ph.D., Research Scientist, NETL
<b>2:30 – 2:50 PM</b>	<b>Break</b>
<b>2:50 – 3:20 PM</b>	<b>Storage Site Characterization in Complex Tectonic Settings: California Example</b> Elizabeth Burton, Ph.D., Program Director, Carbon Sequestration, California Institute for Energy and Environment, University of California, Berkeley
<b>3:20 – 3:50 PM</b>	<b>CO<sub>2</sub> Capture R&amp;D at the Electric Power Research Institute (EPRI)</b> Adam Berger, Technical Leader, EPRI
<b>3:50 – 4:20 PM</b>	<b>Developing the Carbon Recycling Industry &amp; Path to Negative Emissions</b> Matt Lucas, Ph.D., Associate Director for Carbon Capture, Utilization, and Sequestration, Center for Carbon Removal
<b>4:20 – 4:50 PM</b>	<b>CO<sub>2</sub> Capture R&amp;D at Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL)</b> Du Nguyen, Ph.D., Postdoctoral Scientist, LLNL
<b>4:50 – 5:20 PM</b>	<b>Cooperative Adsorbents for CO<sub>2</sub> Capture</b> Rebecca Siegelman, Ph.D. Candidate in Chemistry and Graduate Student Researcher in the Long Group, University of California, Berkeley
<b>5:20 – 6:00 PM</b>	<b>Discussion</b>

### 3.2 利用 CT (Computed Tomography)掃描成像探討岩芯中的 CO<sub>2</sub> 移動特性<sup>(1)</sup>

傳統的岩相學和岩心評價技術通常旨在確定礦物組成和內部結構岩芯並分析影響流體流動的特性。通常這種類型的評估是具有破壞性的核芯來捕捉樣本內部組成的細節，國家能源技術實驗室 (NETL) 地理成像設施為這些傳統方法提供了非破壞性的替代方案。該實驗室擁有一台電腦斷層掃描 (CT) X 射線掃描儀，各種流通儀器以及多傳感器核心測井單元。這些技術在英國工作串聯提供各種規模的特徵地質和地球物理信息：  
(1)NETL 的醫療 CT 掃描儀和核芯記錄儀分析散裝結構，成分和密度變化，  
(2)NETL 的工業 CT 掃描儀可以顯示孔隙和裂隙網絡，  
(3)NETL 的 micro-CT 掃描儀可以評估微觀結構和孔隙表面，孔隙度，滲透率，斷裂粗糙度和孔隙徑，總體結構和組成都可以被分析，產生可量化的和相關的參數，同時留下從地下獲得的核芯樣品 - 這可能是困難或昂貴的以獲得進一步的測試。

參觀匹茲堡-NETL 實驗室，了解國家能源技術實驗室(NETL)岩芯 X-CT 實驗室，該室具有多尺度的 CT 流量和成像設備，如圖 1&2 所示：

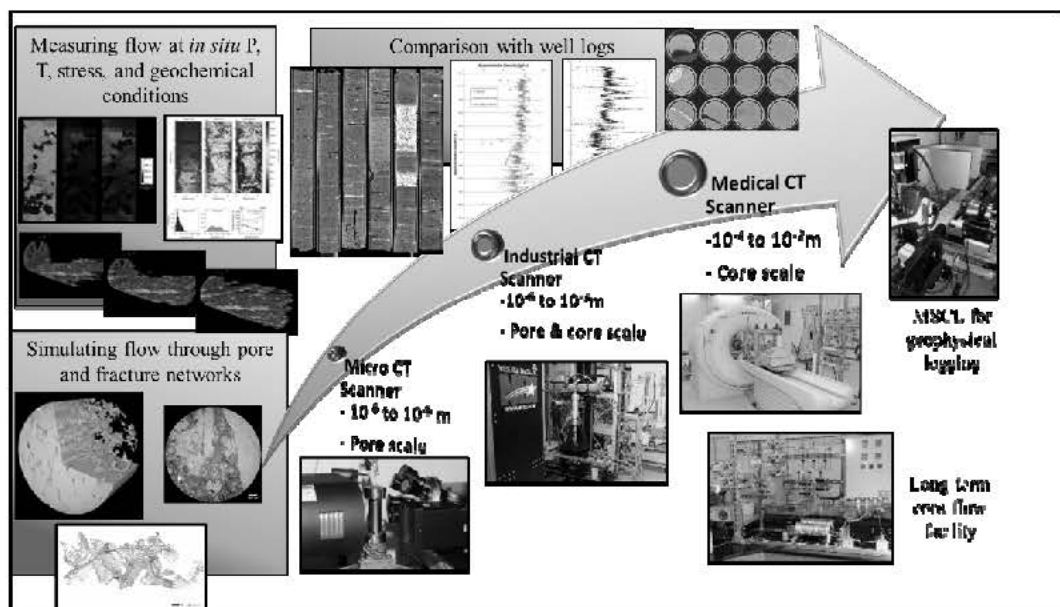


圖 1：NETL 具有多尺度的 CT 流量和成像設備

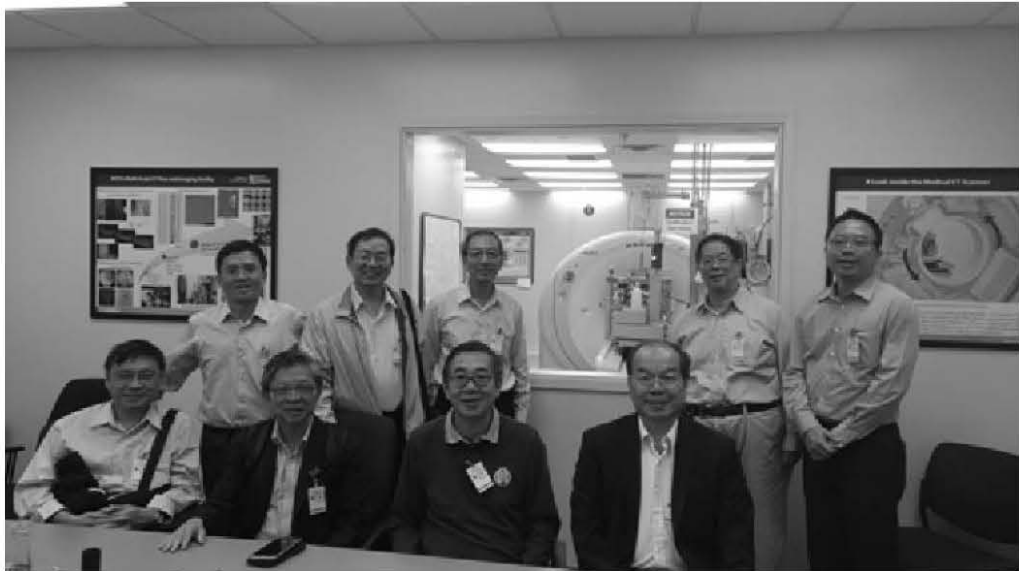


圖 2：訪美小組參觀匹茲堡-NETL 的 CT 實驗室

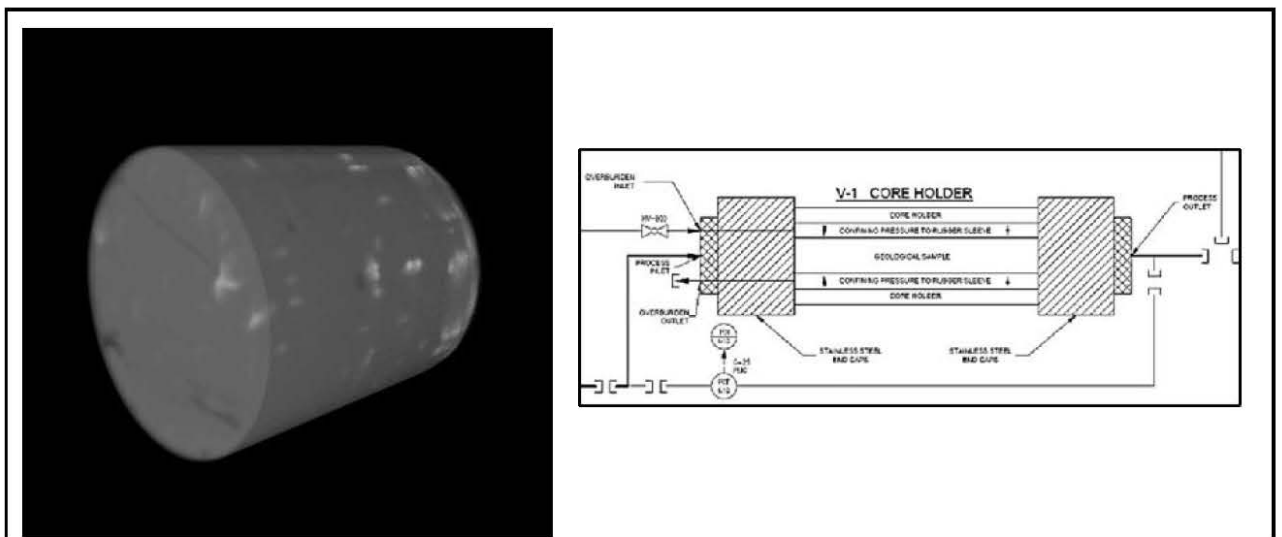


圖 3：高壓岩蕊分析設備

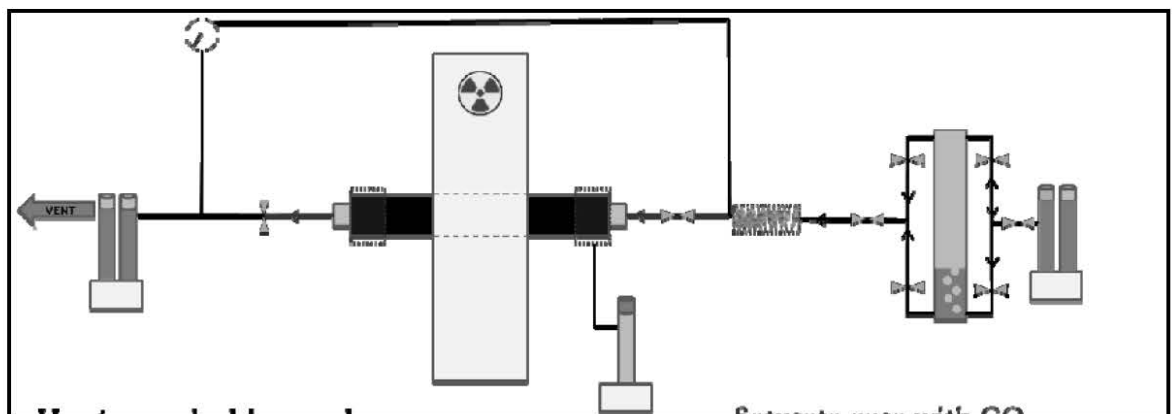
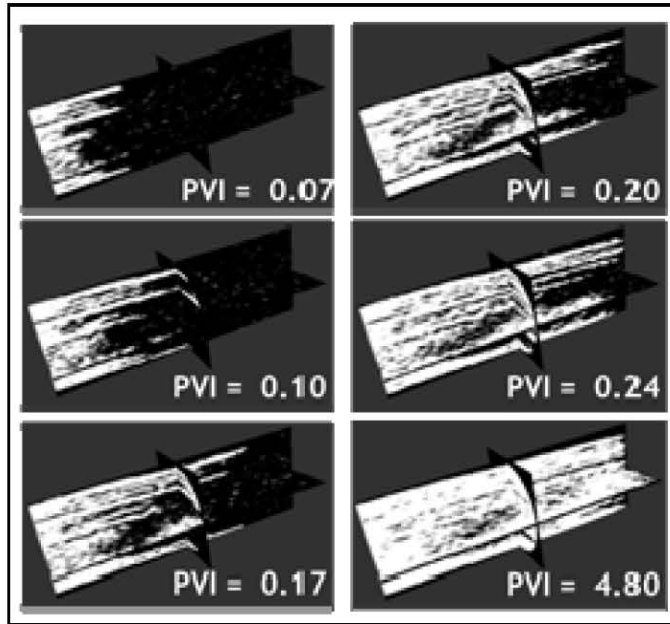
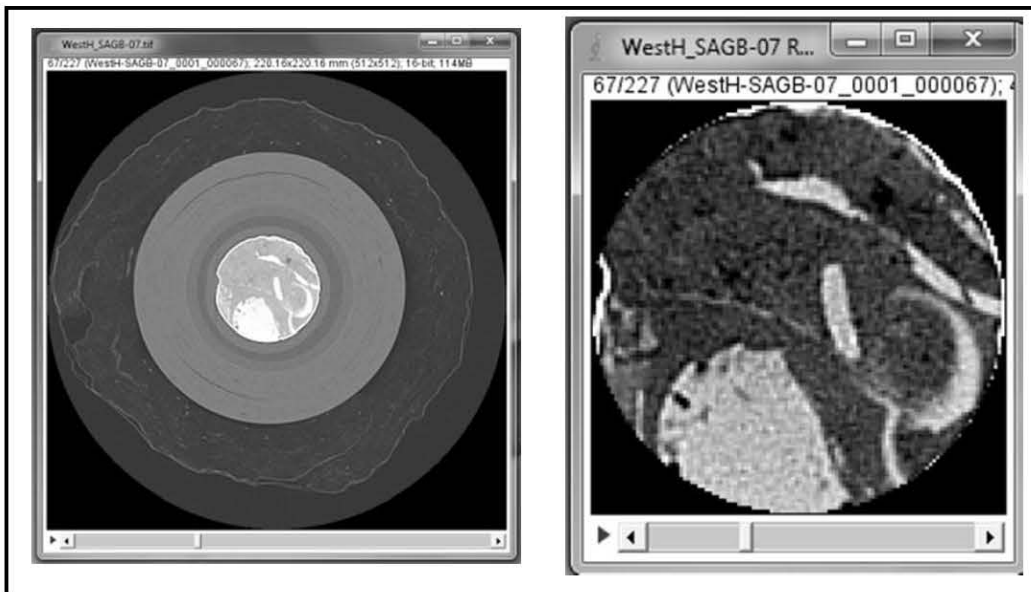


圖 4：在 T&P 標準多相二氧化碳注入



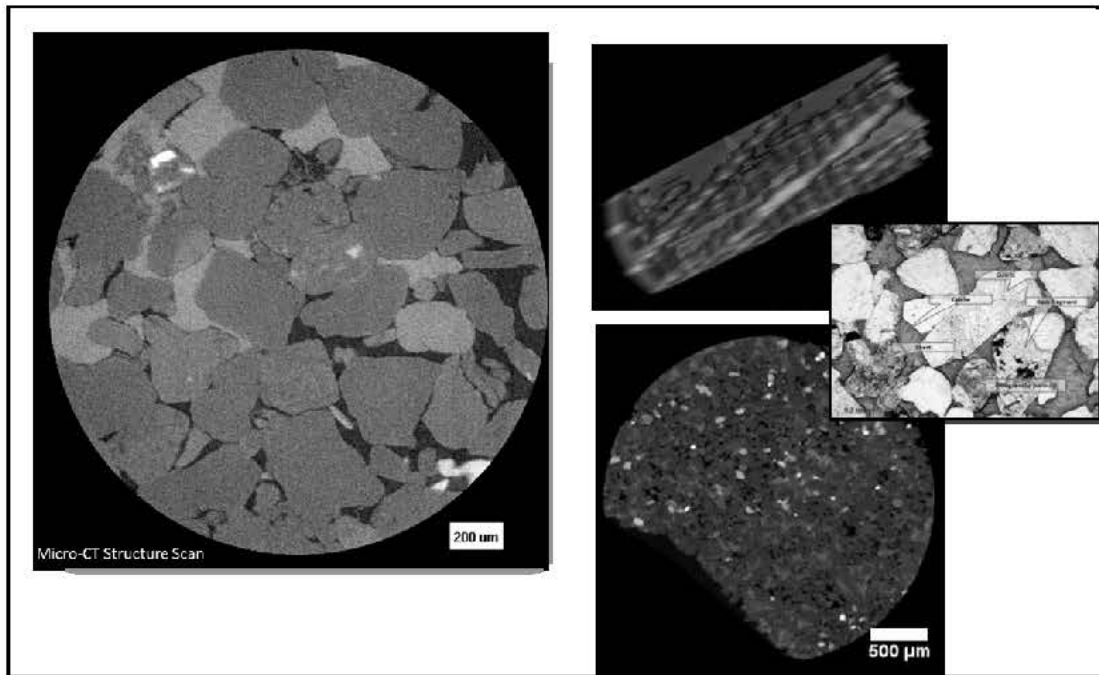
通過核心移動的二氧化碳三維分佈的圖像可以定性了解二氧化碳侵入岩蕊的位置和方式，為每次洪水注入幾個孔隙體積，PVI：Positive Volume Index

圖 5：可視化二氧化碳遷移



經由  $\Phi = \frac{CT_{brine}^{sat} - CT_{dry}}{CT_{brine} - CT_{air}}$   $S_{CO_2} = \frac{CT_{exp} - CT_{brine}^{sat}}{CT_{CO_2}^{sat} - CT_{brine}^{sat}}$  可計算流體的飽和度。

圖 6：流體飽和度的計算



流動測試說明在岩蕊層面的重要性，Micro-CT 和岩相學顯示方解石充填

圖 7：微 CT 觀察結構

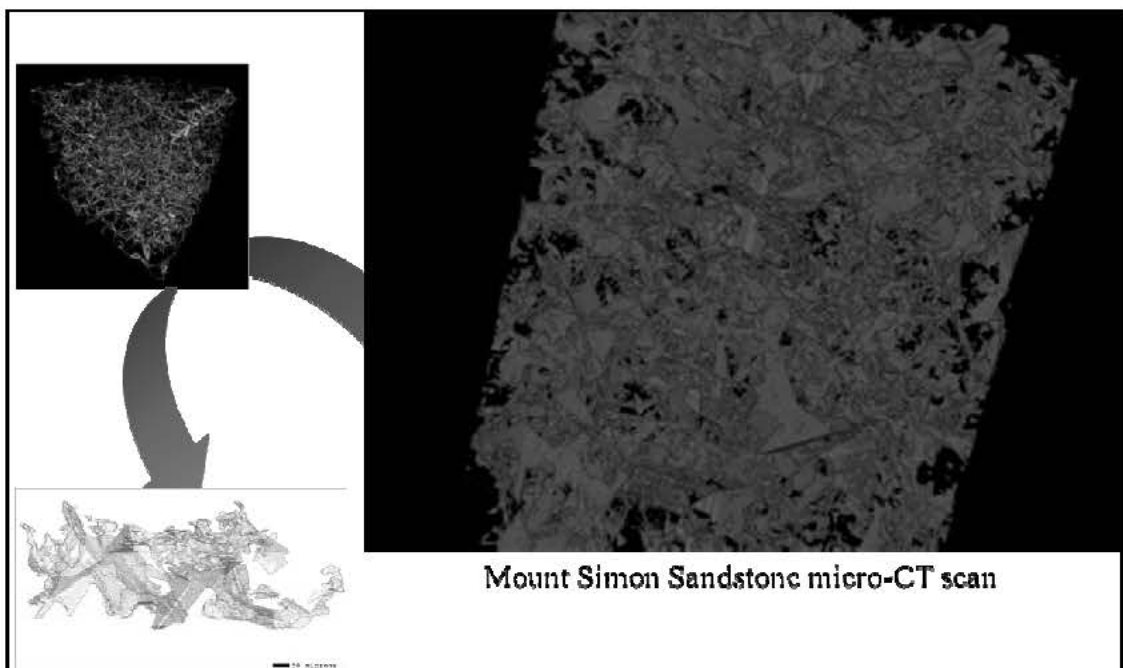


圖 8：孔介質中的多相流模擬

為什麼這項研究很重要 - 目標是將過量的二氧化碳儲存到地質構造中以減少碳排放，如果  $\text{scCO}_2$  (Supercritical carbon dioxide) 在整個孔隙網絡中被恰當地捕獲，則  $\text{scCO}_2$  有足夠的時間加入到鹽水中中和/或礦化，這是最終目標如圖 8 所示，捕集  $\text{CO}_2$  的能力取決於存在的流體（鹽水和  $\text{scCO}_2$ ）相對於固體砂岩表面的潤濕性，表徵潤濕性的一種方法是通過測量流體的接觸角。接觸角是在三相相遇處測量，對於這項工作，接觸角是在鹽水 - 砂岩界面與  $\text{scCO}_2$ -鹽水界面相遇處測量，傳統上，實驗室實驗包括一個平滑的表面，通過潤濕階段測量角度，如右邊的圖片顯示黃色的接觸點和接觸角測量值，CT 成像提供了表徵可能影響接觸角的現場條件的機會，例如孔幾何形狀，表面粗糙度，表面粗糙度，這些都是傳統實驗室程序中未考慮的潛在因素，在 3D 中，接觸點是一系列被稱為接觸線的體素。傳統的固著滴測量不考慮孔隙空間的不均勻性，使用顯微 CT 成像技術，可以在 T&P 提升的相關樣品中捕獲多相分佈，接觸角 ( $\theta$ ) 是使用兩相切線，液 - 氣界面和固 - 液界面在三相接觸點處相交測量。3D 中的接觸點是一系列被稱為接觸線的體素，影響接觸角，如孔隙幾何形狀，表面粗糙度，表面形貌等都是潛在的因素。

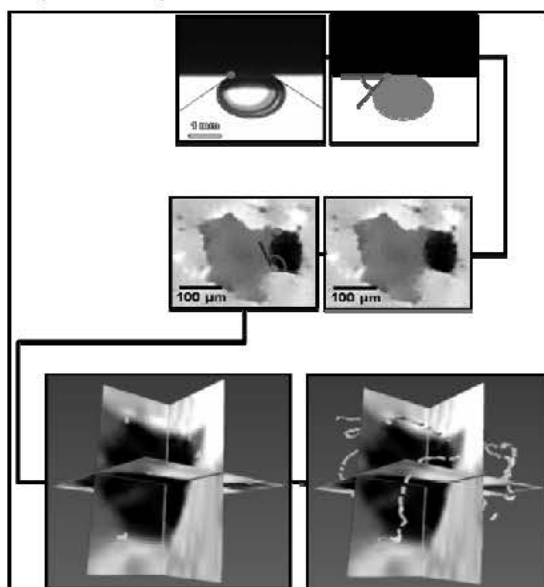


圖 9： $\text{scCO}_2$  在毛孔中在鹽水的接觸角



Andrew 等人進行類似的實驗，在石灰石，scCO<sub>2</sub> 和鹽水系統上，採用 Avizo Fire 發明的方法獲得接觸線，下一步是將數據重新採樣到垂直於接觸線的平面上，如最左圖所示，然後在這個平面上測量角度，Lv et al. 等人用 CO<sub>2</sub>，scCO<sub>2</sub> 和鹽水完成了鬆散砂岩的類似研究，發現當 CO<sub>2</sub> 處於超臨界狀態時接觸角較高，Tudek 完成了類似的工作，但沒有使用聯繫線方法，用砂岩、液態二氧化碳和鹽水，發現平均接觸角高於其他報導，接觸角數據具有較高的不確定性，微觀尺度上的岩石-液體-二氧化碳 scCO<sub>2</sub> 的定量研究是有限，這推斷出一個更強大的數據庫，這種類型的工作是必要的，以更好地理解殘留在油藏中的分佈。

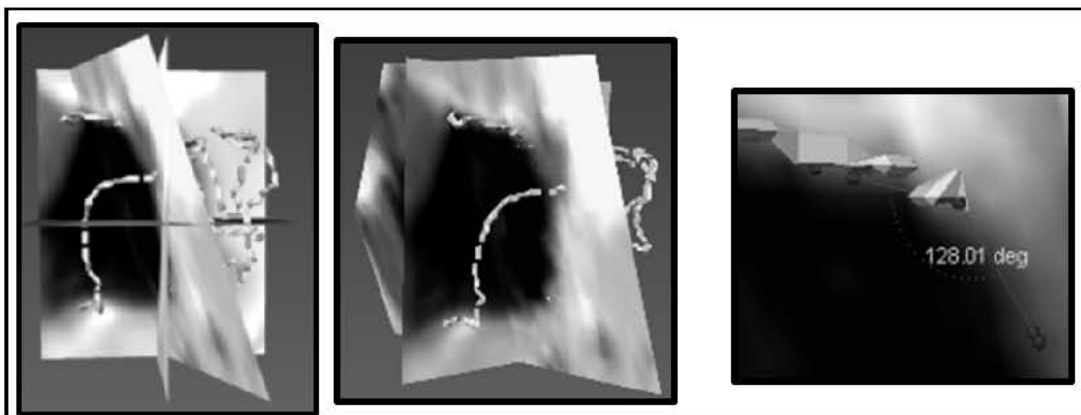


圖 10：最近多個團體的跨越研究

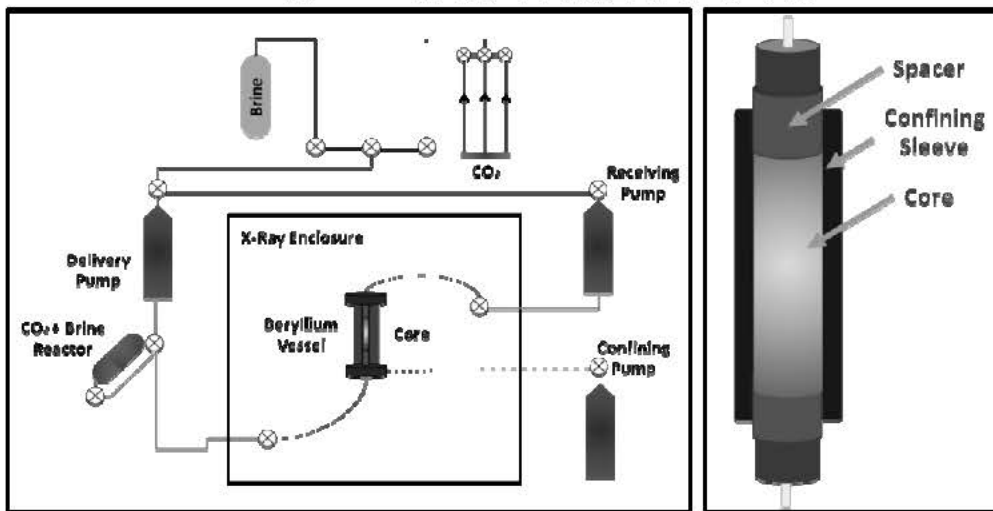


圖 11：岩蕊滿溢圖方法，岩蕊滿溢設置和岩蕊層

NETL 的核心驅油裝置如圖 11，Be 容器容納岩蕊，並連接到掃描儀外部的約束泵和發送 - 接收 ISCO 泵，以控制圍壓和孔隙壓力並流過系統，在輸送側，將反應室連接在將鹽水暴露於  $\text{CO}_2$  以形成  $\text{CO}_2$  飽和鹽水的地方，內部的核心包含頂部和底部的隔離物，包含在封閉的套管中。

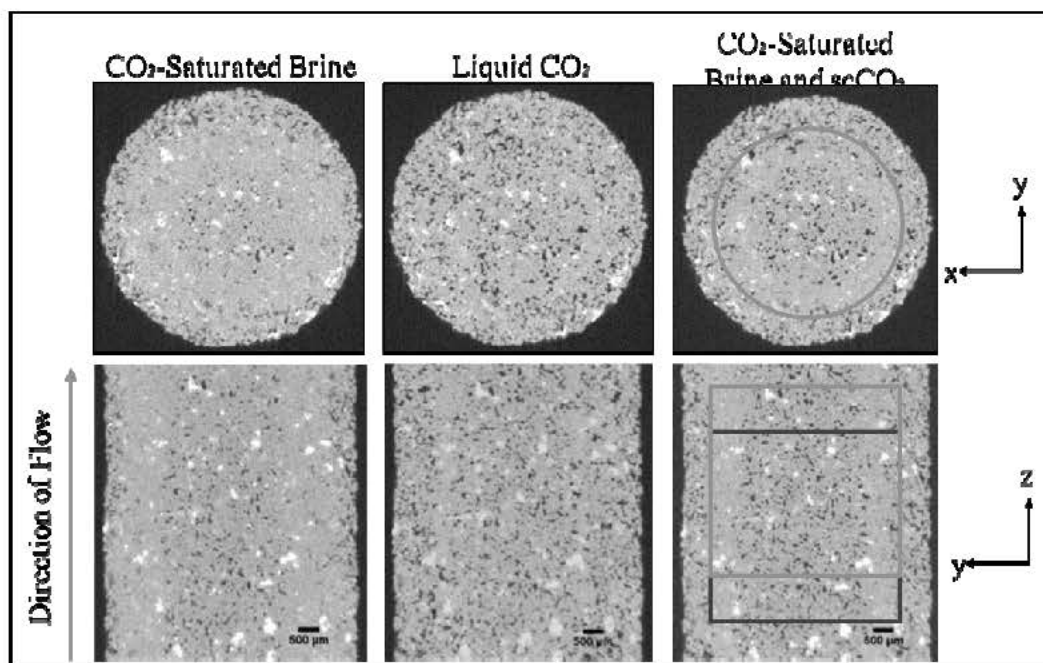


圖 12：低分辨率的注射掃描結果

如圖 12 介紹一個來自每個注射階段的 2D 圖像，頂部是 XY 平面，俯視核心，底部是 YZ 平面沿核心的流動方向，左邊是第一個二氧化碳飽和鹽水洪水，中心圖像來自液體二氧化碳注入，右邊是最後二氧化碳飽和鹽水洪水，通過觀測，最初的鹽水洪水似乎經歷了一些阻力，並沒有適當地飽和核心，中間的二氧化碳洪水使之前飽和的孔隙空間飽和，最終的鹽水洪水仍然以不規則的環狀形式去除二氧化碳，但是仍然沒有飽和這個地區，綠色圓圈和重疊的矩形突出顯示掃描的視野以獲得更高放大倍數的掃描。

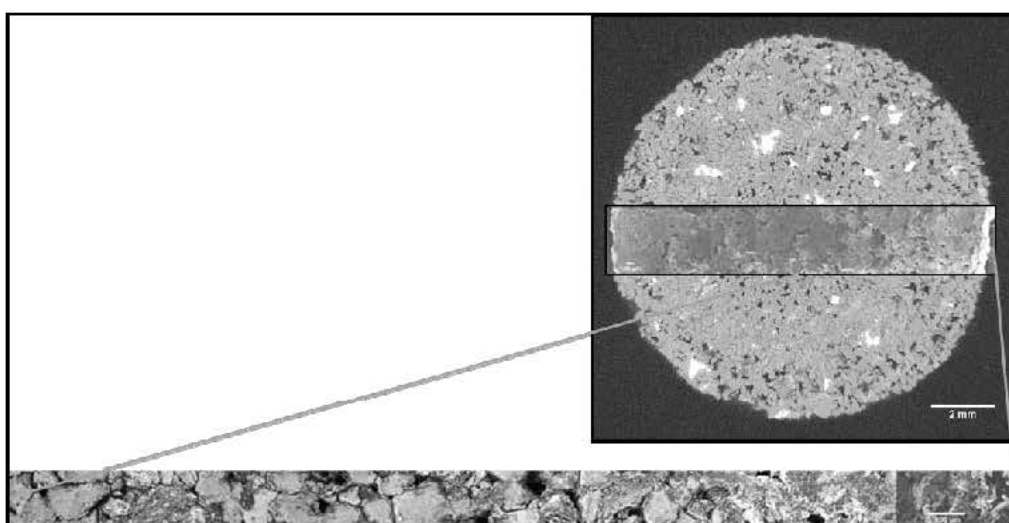


圖 13：尋址環結果

首先，驗證了大約 215 mD 的滲透率，並檢查了三維孔隙空間的連通性，兩個都檢查出來 SEM 圖像完成觀察任何結構變化。在該圖中，後面的圖像是來自較低放大率掃描的切片，在圖像上疊加的是一系列跨越核心直徑縫合在一起的 9 個 SEM 圖像，最後，在底部是一系列橫跨核心半徑的 19 個組合的 SEM 圖像，唯一的發現是粘土可能已經膨脹，阻塞了孔隙空間，導致鹽水流動阻力。

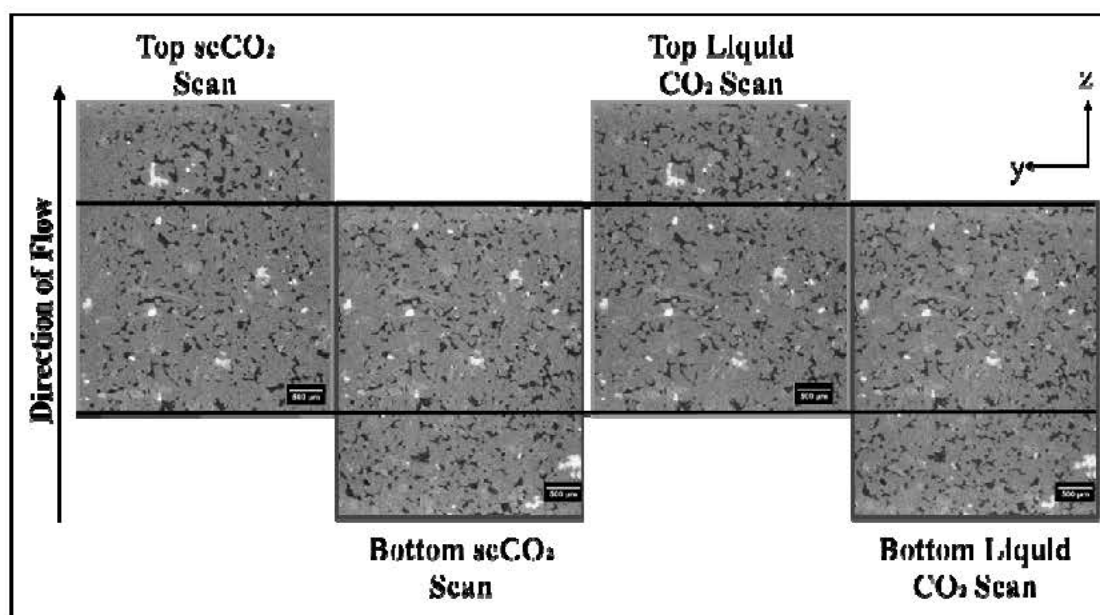


圖 14：關閉狀態下的高分辨率掃描結果

所有高分辨率掃描均顯示在圖 14，他們已經被重建，以顯示 YZ-橫截面是流動的方向，左邊是 scCO<sub>2</sub> 掃描圖，右邊是兩個液態 CO<sub>2</sub> 掃描圖，這些掃描的推理是比較：(1) 綠色的整個頂部掃描、(2) 黑底下的整個底部掃描、(3) 可以比較中間的整個重疊部分。

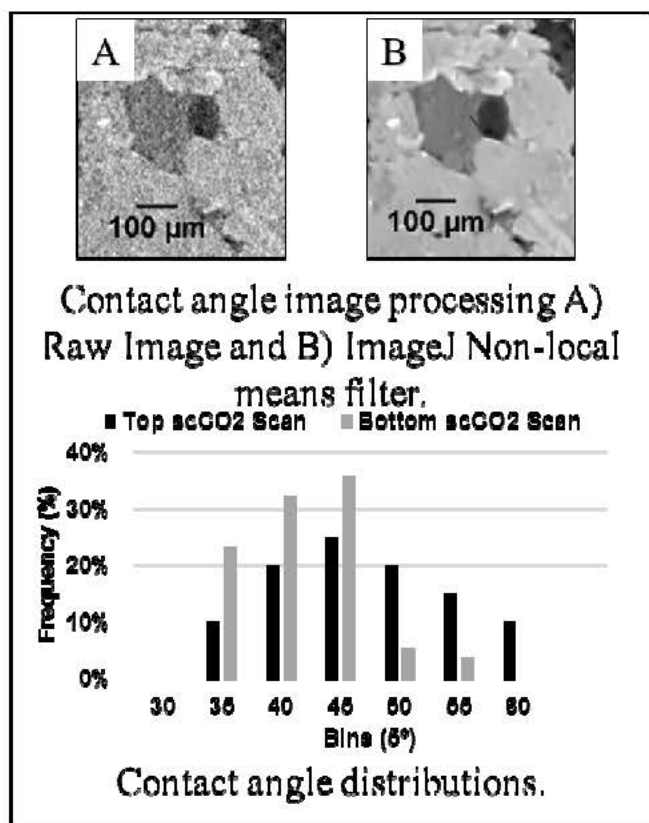


圖 15：scCO<sub>2</sub> 接觸角結果

圖 15 左上角的數字顯示了用於過濾數據的步驟，使用非局部均值濾波器來平滑數據並降低噪聲，每次 scCO<sub>2</sub> 掃描完成 50 次接觸角測量，底部掃描中更可測量的泡，整體平均水平為 41.1 ± 6.0 度，平均接觸角從第一次掃描減少到第二次掃描，第一部分顯示在 35 和 60 度之間的近似正態分佈，而第二部分顯示在 35 和 55 度之間向左移動的分佈，整個範圍相似，但在第二次掃描中存在更低的接觸角，為什麼孤立的 scCO<sub>2</sub> 泡沫增加了。

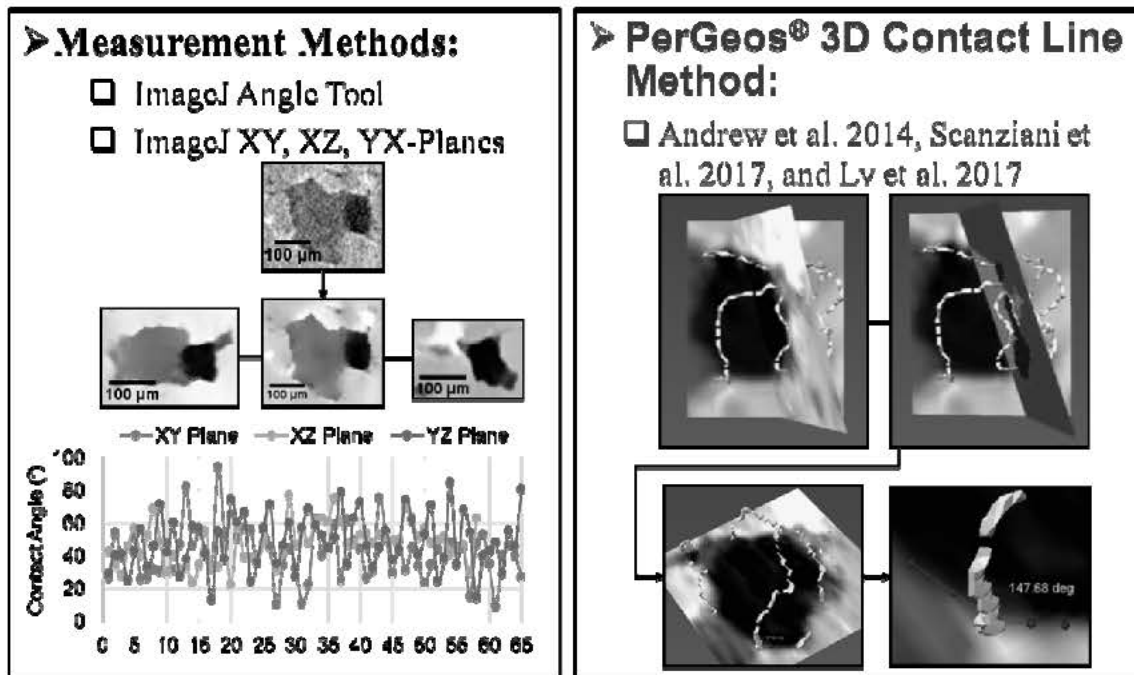


圖 16：NETL 正在進行的 Micro-CT 接觸角工作(1)

圖 16 中使用來自 ScCO<sub>2</sub> 頂部 scCO<sub>2</sub> 的 5 個 scCO<sub>2</sub> 氣泡，其中觀察到的氣泡被正確捕獲，已經比較了三種手動測量方法，比較三種手動方法測量 micro-CT 圖像的接觸角度，過去的方法涉及在一個平面上完成的隨機測量（類似於之前提到的 Tudek 等人）。新方法包括查看所有三個平面，並測量該平面中可觀察的每個接觸點的接觸角。最後，以前討論過 Andrew et al (2014 年) 的方法，其中包括找到接觸線，重新採樣數據到接觸線，完成接觸角測量。這是在原始數據和分段數據上完成的，以檢查結果是否有所不同。

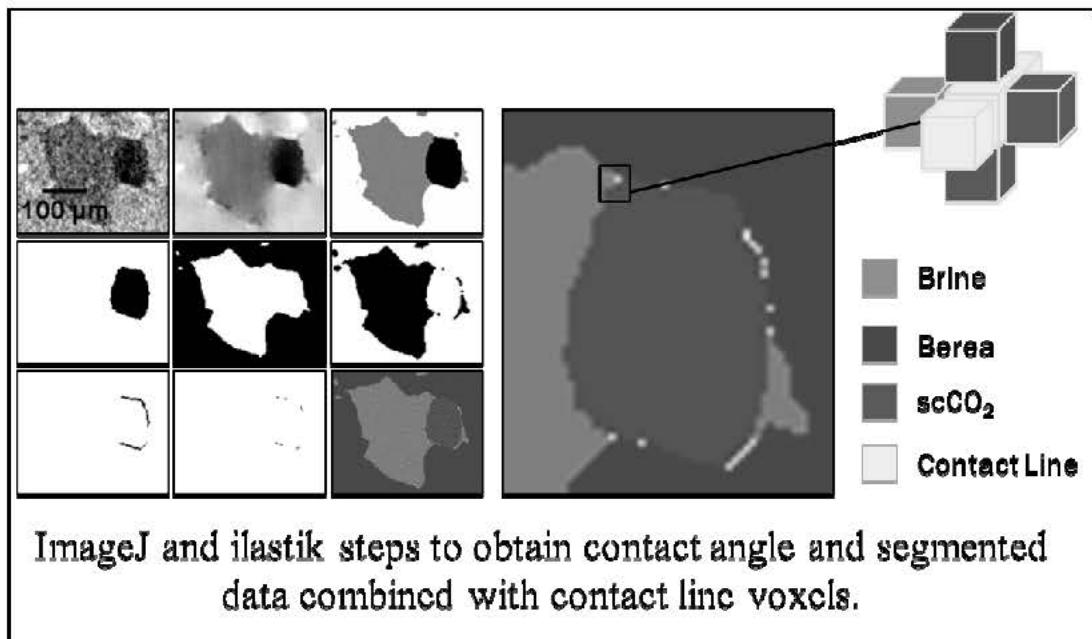


圖 17：NETL 正在進行的 Micro-CT 接觸角工作(2)

使用開源軟件 ImageJ 和 ilastik 開發自動化流程，正在對手動過程進行審查，以確定使用免費軟件 ilastik 和 ImageJ 開發自動化過程的最佳手動方法，圖像堆棧在 ImageJ 中過濾，並使用 ilastik 像素分類進行分割，分段的相位被製成二進製圖像，從這裡獲得接觸線，並將這些像素添加到原始分割圖像中，將被用來測試自動化方法。

### 3.3 Petra Nova 碳捕集示範場參訪

2017 年 9 月 16 日赴全球最大的燃燒後碳捕集設施 Petra Nova CCS 廠訪問時先由 Petra Nova 廠經理負責簡報及說明該廠相關設備及運轉概況如圖 18 所示，說明建立 CCS 成功的要素 13 點項目要求如后：(1)技術評估、(2)工程和設計管理、(3)開發位置和輸送管道、(4)商業結構和二氧化碳銷售、(5)油田所有權和接口的獲取和管理、(6)融資項目、(7)政府補助申請和管理、(8)環境學習管理、(9)許可和執照，(10)EPC 選擇、合同結構和施工管理、(11)通信和資訊綜合項目組合、(12)集資的合作夥伴、(13)運營經驗。



圖 18：Petra Nova 廠經理簡報及說明該廠相關設備及運轉概況

隨後 Petra Nova 廠經理帶領參訪團隊參觀相關設備及運轉概況如圖 19，並說明該廠自 2017 年 9 月 16 日為全球最大的燃燒後碳捕集設施 Petra Nova CCS 廠，Petra Nova 於 2016 年 12 月 29 日開始運營。NRG 於 2017 年 1 月 10 日宣布啟動項目商業運營，該項目每天可以捕獲和封存 5200 噸二氧化碳，捕獲的碳被用來增加西部牧場油田的石油產量，迄今為止，該項目已經向油田注入了 26 萬噸二氧化碳。



圖 19：Petra Nova 廠經理帶領參訪團隊參觀相關設備及運轉概況

Petra Nova 包括了五個過程：輸送來自煤單元的煙氣，處理煙氣去除二氧化碳，將二氧化碳輸送到油田，在油田注入二氧化碳以生產其他不可回收的油，以及運輸和銷售油。石油收入來自整個項目。Petra Nova 說明主煤單位不必改變其定價或運營以適應碳捕獲，該項目實際上增加了主機廠容量 50MW，並且不必將其出價改變到 ERCOT 市場，如圖 20 為增高原油採收率整廠設備示意圖，圖 21 為 Petra Nova 碳捕集系統佈置圖。



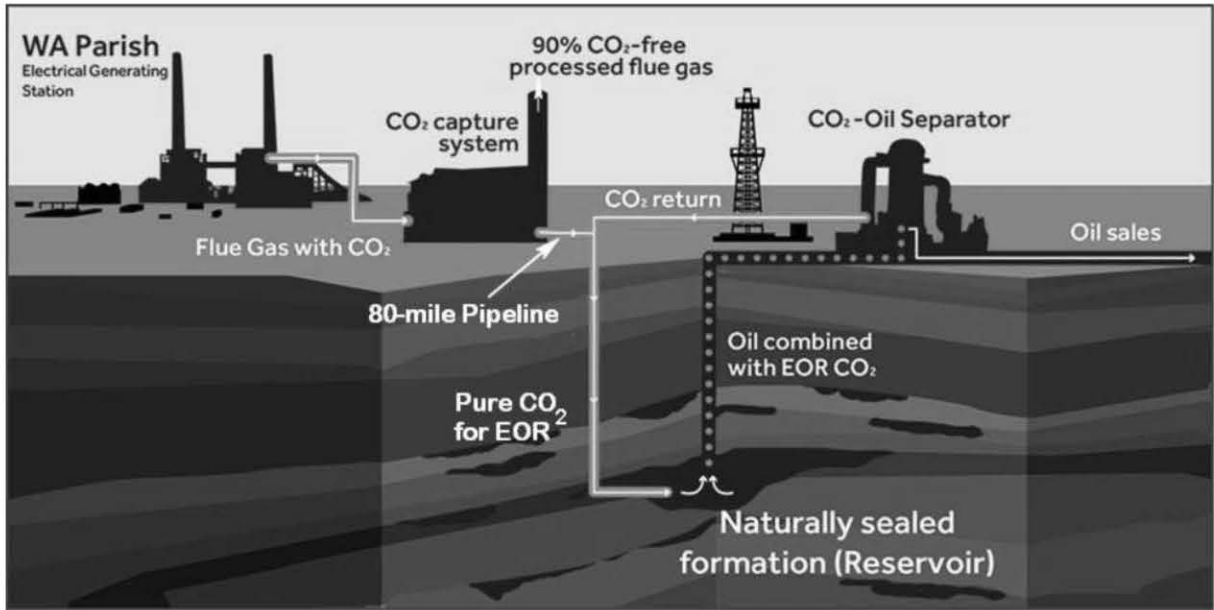


圖 20：增高原油採收率整廠設備示意圖

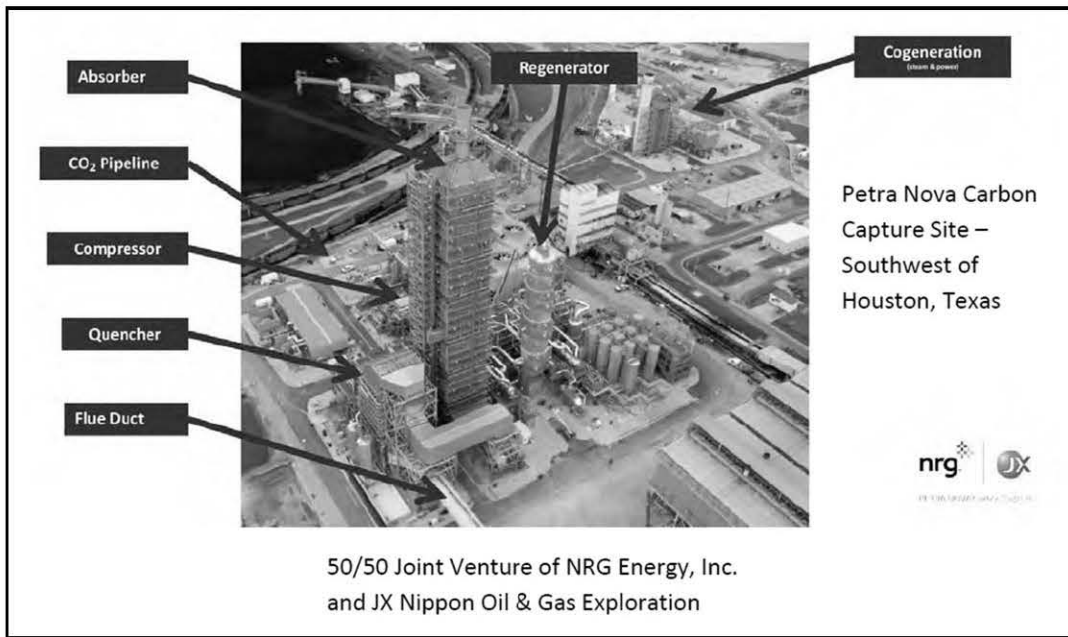


圖 21：Petra Nova 碳捕集系統佈置圖

在這個過程中，第一步是一條煙道，將煙道氣從運行 2000 ft 的 16 ft 玻璃纖維管道中的煤機組中排出，管道的距離有助於冷卻氣體進行處理。其次，使用直接接觸式冷卻器在煙道氣流中噴灑水以冷卻煙氣，並使用氫氧化鈉拋光洗滌器除去二氧化硫，從而將煙道氣在驟冷器中調節。第三 320 ft 高的吸收塔包括多層堆疊的填充床，以創造二氧化碳與溶劑大量表面積接觸的吸收塔。第四，將富胺泵送到再生器中，在該再生器中，鍋爐加熱溶劑，打破 CO<sub>2</sub> 和溶劑之間的結合，CO<sub>2</sub> 在再生器的頂部形成氣泡，頂部的管道除去分離的 CO<sub>2</sub>，排出吸收塔的煙氣含氮 90%，二氧化碳 1%，氧 8%。第五，該項目將一台壓縮機集成到向 West Ranch 油田輸送 1900psi 超臨界二氧化碳的碳捕集系統中使用獨立的熱電聯產蒸汽和發電設施，以避免寄主煤炭單位的寄生負荷。如圖 22 在 WA Parish 電廠內 Petra Nova CCS 捕集輸送二氧化碳後輸送至 West Ranch 的油田過程。

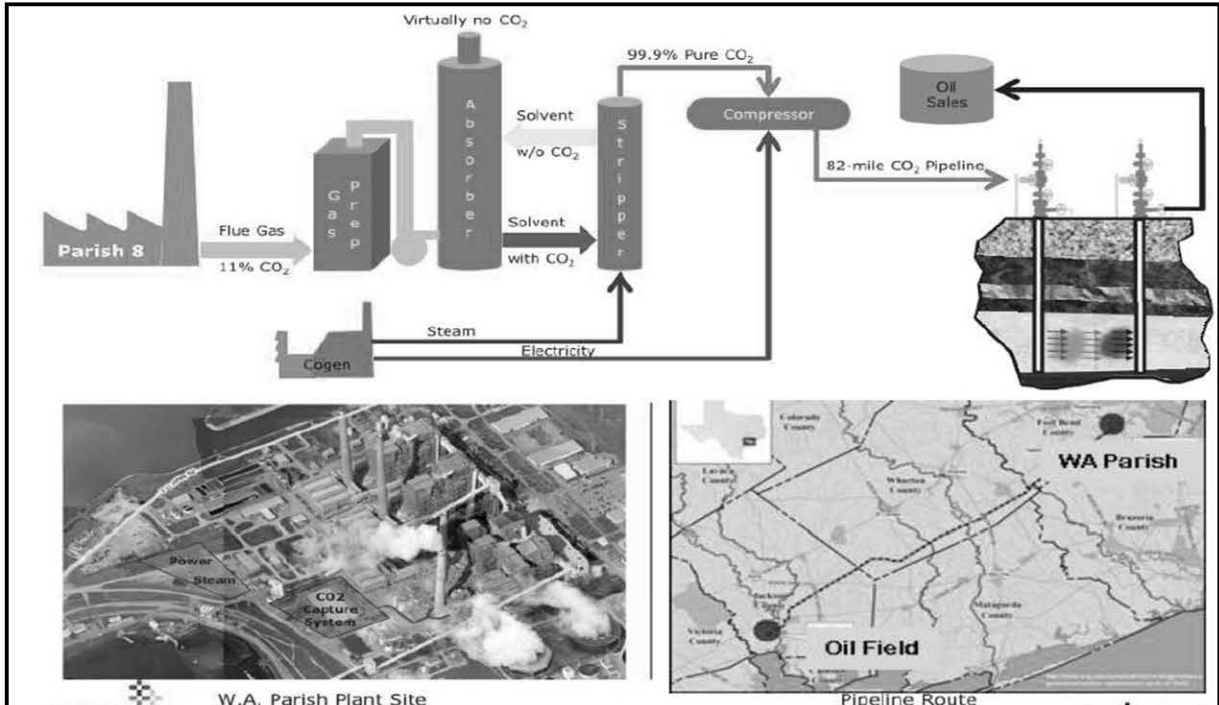


圖 22: WA Parish 電廠內 Petra Nova CCS 捕集輸送二氧化碳後輸送至 West Ranch 的油田過程

圖 23 為 Petra Nova CCS 採用三菱重工(MHI) KM CDR Process 捕集輸送二氧化碳製程，三菱重工提供大規模，高性能和可靠的二氧化碳回收設備，三菱重工的二氧化碳回收工藝利用先進的受阻胺溶劑“KS-1™溶劑”和一系列專用設備。該技術是由三菱重工與關西電力公司（關西）合作開發的。

歐洲和澳大利亞也計劃使用 KM-CDR 進行展示，KM-CDR 是自 1990 年以來一直用於商業用途的精製版本，具有高達 450 噸/天的石油和天然氣煙氣。2006 年，三菱重工和日本 J-Power 公司在日本南部的松島發電站開始了 10 萬噸/天的煤基煙氣試點。與 MEA 相比，KS-1 聲稱比 MEA 溶劑具有更好的二氧化碳加載和剝離能量要求，並且揮發性較低，這降低了溶劑組成要求，溶劑的單位成本高出約五倍。KS-1 溶劑還需要低含量的  $SO_x$  和  $NO_x$  (通常為 1ppm)，因此需要上游對煙氣進行拋光以達到這些吸收劑輸入要求。三菱重工稱，KM-CDR 循環率為 MEA 的 60%，再生能量為 MEA 的 68%，溶劑損失和降解為 MEA 的 10%。三菱重工正在努力改進工藝，據稱有可能將再生熱需求從 ~ 1200 Btu / lb- $CO_2$  (2790 kJ / kg) 降低到 800 Btu / lb- $CO_2$  (1860 kJ / kg) <sup>(2)</sup>。

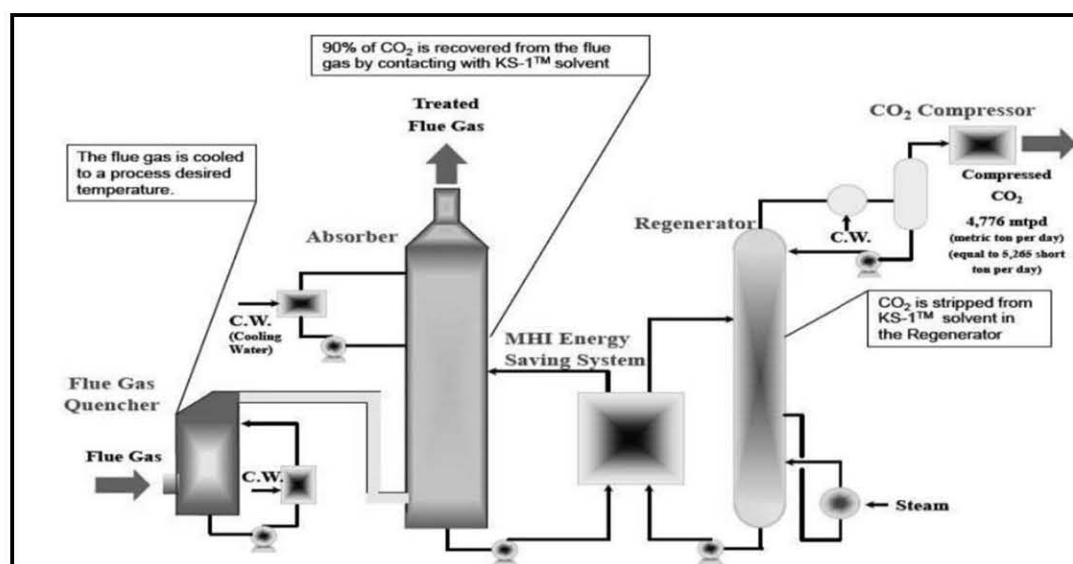


圖 23：三菱重工(MHI) KM CDR Process 捕集輸送二氧化碳製程

Petra Nova CCS 廠房設備可分為 7 個主要部份說明，(1)煙道氣流中噴灑水煙氣直接接觸式冷卻器設備如圖 24 所示，(2) 320 ft 高的吸收塔包括多層堆疊的填充床，以創造二氧化碳與溶劑大量表面積接觸的吸收塔，如圖 25 所示，(3) 將富胺(KS-1)泵送到再生器中，在該再生器中，鍋爐加熱溶劑，減低 CO<sub>2</sub> 和溶劑之間的結合，CO<sub>2</sub> 在再生器的頂部形成氣泡，頂部的管道除去分離的 CO<sub>2</sub>，排出吸收塔的煙氣含氮 90%，二氧化碳 1%，氧 8%，再生塔如圖 26 所示，(4) 化學分析實驗室主要將進口及出口 CO<sub>2</sub> 及煙氣硫氧、氮氧化合物進行化學定量、定性分析，監控室主要對流程各種溫度、壓力、流量.. 等等製程參數進行程序監控，化學分析及監控部份如圖 27 所示，(5) 汽電共生五部份。



圖 24：煙道氣流中噴灑水煙氣直接接觸式冷卻器設備



圖 25：吸收塔設備



圖 26：再生塔設備



圖 27：化學分析實驗室及監控室

該項目需要約 40MW 的運行，剩餘的 35~40MW 從熱電聯產設施出售給電網。該項目採用 Southern Company's Plant Berry 和三菱公司的產品，處理 25MW 的煤炭產量。 Petra Nova 大約是容器尺寸的三倍，但處理量卻是十倍。這條長達 82 miles 的輸油管線位於 Vanderbilt, Texas 的西南 West Ranch 油田，60 miles 的管道位於現有的 345 KV 輸電線下方，它穿過另外兩個可能受益於二氧化碳

和其他三個靠近管道的油田。現在 CO<sub>2</sub>-EOR 項目已經在該地區取得了成功，油田運營商可能有興趣接收 CO<sub>2</sub>，管道還有額外的內置能力來運輸更多的二氧化碳用於未來的 CO<sub>2</sub>-EOR 項目。<sup>(3)</sup>

## 四、心得與感想

- (1) CO<sub>2</sub> 捕集和封存是目前世界各國採用減少溫室氣體排放的必然選擇之一。
- (2) 成功的 CCS 項目要求：1) 技術評估、2) 工程和設計管理、3) 位置和管道開發、4) 商業結構和二氧化碳銷售、5) 油田所有權和接口的獲取和管理、6) 項目融資、7) 政府補助申請和管理、8) 環境學習管理、9) 許可和執照、10) EPC 選擇、合同結構和施工管理、11) 通信和資訊綜合項目組合、12) 集資的合作夥伴、13) 運營經驗。上述要項可依循整合應用在台電公司台中低碳園區的可研性評估應用與捕集小型機組的建立。
- (3) 由於溫室氣體 (GHG) 的排放，造成環境破壞，影響全球氣候變遷，業界希望煤炭可以提供電力，同時減少碳排放而不會大幅提高電力成本，CCS 技術面臨技術和經濟障礙，在 CCS 技術方面從捕獲到運輸到存儲，CCS 技術已被證明是昂貴的，CO<sub>2</sub> 國外尚可用作增加油氣的產量 EOR，但在國內無油井，純化的 CO<sub>2</sub> 必須開發作為其他化工工業產品原料，增加效益。
- (4) 根據眾多的研究，CCS 設備消耗了電廠的大部分電力，總體熱效率降低了 10-12%，傳統火力機組效率下，增加了電廠的能源使用量，因此必須注意 CCS 耗能與節能的設計評估。



## 伍、引用資料

1. Imaging CO<sub>2</sub> Migration in Rock Cores Using Computed Tomography Scanning  
Dustin Crandall, Ph.D., Research Engineer, NETL.
2. [https://www.mhi.com/products/detail/km-cdr\\_introduction.html](https://www.mhi.com/products/detail/km-cdr_introduction.html).
3. DOE/NARUC Carbon Capture, Storage & Utilization Partnership Webinar  
Summary. “Petra Nova and the Future of Carbon Capture”. March 23, 2017