

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：開會)

訪問澳洲 CO2CRC 二氧化碳地質封存 相關設施及技術

服務機關：台灣中油股份有限公司 探採研究所

姓名職稱：范振暉/石油開採工程師

派赴國家：澳洲

出國期間：100 年 02 月 19 日~ 100 年 02 月 26 日

報告日期：100 年 5 月 26 日

訪問澳洲 CO2CRC 二氧化碳地質封存 相關設施及技術

摘要

本次出國的主要目的是到澳洲二氧化碳技術研究中心的相關研究單位及二氧化碳封存試驗場進行參訪及研究交流。了解澳洲在二氧化碳封存的最新研究、發展及應用成果，以便應用於本公司未來即將進行之二氧化碳地質封存先導試驗。

本次參訪是由中央大學許樹坤教授帶領，到澳洲 CO2CRC(二氧化碳封存科技研究中心)的相關研究單位進行研究參訪。首先拜訪坎培拉市的 CO2CRC 總部、GCCSI 及澳洲國家地球科學所。然後拜訪阿德雷德大學的石油工程學校，進行兩天的技術研討。接著，參訪設置在墨爾本大學的碳捕獲研究中心。最後到 Otway 二氧化碳封存場址進行參觀。

經過數日密集的技術交流與研討以及赴 Otway 封存場址參觀實際設備與其運作模式，對二氧化碳地質封存有更進一步的了解，相信對再國內推動發展此一技術有極大之助益。

訪問澳洲 CO2CRC 二氧化碳地質封存 相關設施及技術

目次

摘要.....	1
目次.....	2
壹、目的.....	3
貳、行程.....	4
參、心得.....	5
肆、建議與結論.....	24

壹、目的

此行主要目的為參訪澳洲 CO₂CRC (CO₂ Collaborative Research Center)及其所操作營運之Otway二氧化碳地質封存先導試驗場址。

CO₂減量是一個全世界各國、產業乃至個人皆必須面對的議題，所謂『碳經濟』世代已悄悄來臨。在課徵碳稅或能源稅、建立碳交易機制、發展再生能源及生質能源等方法均不足以有效抑制大氣中CO₂濃度的上升，而其他末端減量方式或有待驗證其可行性、或成本太高、或對減量的貢獻未能達到有意義的規模之限制下，惟有地質封存方式歷經石油工業數十年之發展與驗證，除技術上已臻成熟外，經濟上亦接近可行。2009年召開的全國能源會議首度將「碳捕捉與封存」(Carbon Capture & Storage, CCS)列入我國減碳重點發展技術。台灣中油公司基於油氣探採本業技術與經驗，以及身為國營企業之社會責任，亦將地質封存技術發展列為公司重點政策。在將此技術商業化的過程中，先導試驗是一個必經的階段，唯有透過先導試驗的成功，才能將之推展下去，因此此行的技術交流以及現場實地參觀對本公司未來發展CO₂地質封存技術而言非常具有借鏡之處。

貳、行程

二月十九~二十日：去程，搭機赴澳洲坎培拉（台北-香港-雪梨-坎培拉）。

二月二十一日：上午訪問 CO2CRC 總部聽取簡報及交換資訊，下午訪問 GCCSI 及澳洲國家地球科學所（Geoscience Australia，即為澳洲之地質調查所）聽取簡報及交換資訊。

二月二十二日：搭機至阿德雷德訪問阿德雷德大學 CO2CRC 的碳封存（Carbon Storage）研究中心聽取簡報及交換意見並參觀試驗設備。

二月二十三日：繼續阿德雷德大學訪問行程，晚間搭機至墨爾本。

二月二十四日：訪問墨爾本大學 CO2CRC 的碳捕獲（Carbon Capture）研究中心聽取簡報及交換意見並參觀試驗設備。下午驅車前往 OTWAY CO₂ 封存場址所在地之 Port Campbell 市。

二月二十五日：參觀 OTWAY CO₂ 封存場址及聽取簡報，下午驅車返回墨爾本。

二月二十六日：返程，搭機返國（墨爾本-香港-台北）

參、心得

自十九世紀工業革命以來，在世界經濟快速蓬勃發展的同時，因為大量使用化石能源，使溫室效應氣體之排放日益增加，不可避免地造成全球性的環境與空氣污染與日俱增，其嚴重程度已經對生態及整個地球環境產生極大的影響。今天，「溫室效應、全球暖化」對一般大眾而言已是耳熟能詳，隨著許多科學證據相繼被提出來，以及呈現在眼前全世界許多地區出現氣候失序的事實，中國的乾旱、歐陸的熱浪、重創紐奧良的卡崔納颶風及 2009 年台灣 88 水災的莫拉克颱風等等，也讓多數人認同地球暖化的主因係來自人類大量使用化石能源而導致大氣中CO₂濃度異常上升所造成。科學家研究發現，大氣中CO₂的濃度在工業革命以前為 280 ppm體積濃度，工業革命以後，CO₂的濃度急遽上升，到二十世紀末，短短一百多年的時間內，就已經升高至 358 ppm體積濃度，增加的幅度高達 28%。大氣中溫室氣體(主要為CO₂)的濃度如果不加以管制，將會造成全球氣溫上升，使極地冰帽溶解、海平面上升、進而導致嚴重的氣候失衡與環境變遷。例如，過去一百多年來地球表面平均溫度微幅上升 0.6°C，卻使得全球平均海平面因此而上升至少 14 公分(溫度上升使海水之體積膨脹，以及南極和格陵蘭的冰川融化)。聯合國有關單位估算，若CO₂的濃度以目前的速率持續成長，一世紀之後，全球的平均氣溫將上升攝氏 1~3.5 °C，而海水面亦因此上升 15~95 公分。目前，全球有 50%~70% 的人口居住在距離海岸 50 公里範圍內的地區，人口密度為居住在內陸地區之十倍，地球暖化、海平面上升，勢將直接影響人類的生存空間。

台灣未來之國家發展政策在「維持經濟成長」與「環境保護優先」，看似相互衝突之二者如何取得平衡，以全力推動台灣成為綠色矽島之目標，確為刻不容緩之課題。依照環保署的規劃，即使

實施能源轉換、提昇能源效率、節約能源及調整產業結構等措施，若欲維持經濟之持續成長，屆時仍難符合國際要求之CO₂減量目標。此一差距須仰賴新技術之開發與研究、捕獲、封存甚至再利用CO₂ (Carbon Capture, Storage & Utilization, CCSU)以達到減量的目的。惟此等新技術仍必須符合成本效益，以免過度影響長遠經濟成長。我國仍值致力工業發展階段，為不使因實施CO₂減量而衝擊產業發展，CO₂之適當處置將是一個不容忽視的議題。

減碳已成為人類在 21 世紀所面臨最艱鉅的挑戰之一，台灣近几年已明顯感受到國際減碳的要求，加上環保意識亦日漸深植民心，節能減碳更成為政府最重要的施政方針之一，許多政策之訂定及資源之投入均依循此一主軸推進。在課徵碳稅或能源稅、建立碳交易機制、發展零污染的再生能源及生質能源等方法均不足以有效抑制大氣中CO₂濃度的上升，及諸多末端減量的方式如生物封存、礦化封存、海洋封存、再利用等，或有待驗證其可行性、或成本太高、或對減量的貢獻未能達到有意義的規模之限制下，惟有地質封存方式歷經石油工業數十年之發展與驗證，除技術上已臻成熟外經濟上亦接近可行。2009 年召開的全國能源會議，首度將「碳捕捉與封存」(Carbon Capture & Storage, CCS)列入我國減碳重點發展技術，換言之，政府已正式將碳捕獲與封存視為減碳的重要方案之一。

不論是基於履行身為地球村成員的義務，善盡全球環境保護及追求永續發展的責任，抑或是因應國際社會對CO₂減量之規定並持續經濟穩定的成長，CO₂減量是當前極為迫切的課題。目前各種末端減量方法中以地下封存的技術成熟度及經濟可行性最高，因此固然其他減碳方式及替代能源之開發毋庸置疑均需要持續發展推動，惟若欲在短時間內達到商業化或準商業化的程度，地質封存確為最具立竿見影效果的選擇。

此次到澳洲CO2CRC（二氧化碳科技研究中心）的各個研究中心進行研究訪問、參觀現場及技術交流，獲益良多。澳洲政府對於溫室氣體減量問題投入相當多的經費及人力，許多政府機構與學校單位進行合作，致力於二氧化碳減量工作。在CO2CRC中，參與的機構有國際知名石油公司、油氣開發顧問公司、政府部門機構及世界著名的大學及研究中心(圖一)。經由參加此次的參訪，瞭解了目前國際間CO₂減量技術的進展，及澳洲政府進行二氧化碳減量的政策方向。經過CO2CRC計畫執行長Dr. Peter Cook的簡報介紹，讓我們對CO2CRC的來龍去脈以及其運作模式有更進一步的了解。圖二及圖三分別為CO2CRC之組織架構以及計畫架構，基本上它是由隸屬澳洲政府之合作研究中心(Cooperative Research Center, CRC)所主導，並出資成立一個CO2CRC Pilot Project Ltd公司，具有董事會及董事長，執行長以下設有營運、技術、產業合作、技術支援等共六大部門，除此之外，CO2CRC已經預見未來此一技術勢必走向商業化，因此另外成立一家公司，仿照一般科技產業，預作上市之前置作業，準備將此技術商品化、商業化。這樣的遠見才真的是值得我們學習的思考邏輯。圖三則為CO2CRC Ltd公司實際運作該計畫之架構，分為四個部份，分別為行政與財務、封存、捕獲以及經濟與風險分析、教育宣導等較非屬技術但又不可或缺之事務。

Otway封存場址位於維多利亞省南部Port Campbell市附近(圖四)，為一已生產涸竭之舊油氣田，其鄰近有一氣田所生產的天然氣其CO₂含量高達 80%、甲烷 20%，距離僅 2~3 公里，以管線將此高CO₂含量之氣體由Buttress-1 井輸送至新鑽之注氣井CRC-1 注入至已生產涸竭之油氣層，並利用舊生產井Naylor-1 井做為監測井，觀察紀錄注入氣之移棲行為，整個Otway計畫之示意圖見圖五，圖六為封存場址之地質模型示意圖。

CO₂的封存效率與其封存深度有極大的關係，當埋深超過約 800 公尺，CO₂將以超臨界狀態存在(圖七)，CO₂地質封存之封存機制有四種(圖八)，第一類如油氣般儲存於適當之地下構造之中、第二類以超臨界狀態的氣泡形式(Plume)滯留於岩石的孔隙中；隨著時間的增加，注入之CO₂會有部份融於地層水中，此不分的量會隨時間的增加而增加；當封存的時間更久，溶於水中的CO₂會與鈣、鎂等離子產生化學作用，形成礦化反應，生成碳酸礦物，這一類的封存最為穩定，但其形成也最耗時。

Otway計畫包含兩個階段，各有不同之目的。第一階段之目的為將高CO₂含量之氣體注入舊油氣層，觀察其移棲模式以及注入氣與地層水之反應，該階段共注入約 10 萬噸氣體，原估計注入氣在開始注氣後 6~8 個月會移棲制觀測井，試驗結果約在 150 天左右在觀測井採樣發現注入氣體，頗符合預期。目前Otway計畫已進入第二階段，主要目的在氣層上方之水層對CO₂之吸附能力(圖九)。第二口注氣井CRC-2 已於 2011 年 2~3 月完成。第二階段之注入氣將不再採用Buttress-1 井生產之氣體，而改用鄰近Boggy Creek CO₂廠所生產之純CO₂。

本示範計畫之目的在於證實及示範碳捕捉與封存在技術及環保上之安全性可以符合政府及社會之期待。計畫自 2003 年啟動，經過 6 年測勘、模擬評估、鑽井、設備安裝等前置作業，於 2009 年開始擠注，將 10 萬公噸由Buttress-1 井生產的富含高CO₂之氣體(80% CO₂； 20%甲烷)由生產井產出，處理後經由一條總長 2.25 公里新鋪設之地下不鏽鋼管線加壓輸送至注氣井(CRC-1 井)，以 2 年時間將此高CO₂含量氣體以超臨界狀態擠注至已耗竭之Naylor舊氣田 2,050 公尺深之Waarre C地層。注入之CO₂將沿此 31 公尺厚、上覆厚不透水蓋層(Belfast泥岩)之儲油氣砂層往上傾方向移棲。除了監測井，監測範圍還包括大氣、地表及淺層土

壤(圖十)。在地表附近大氣部份，監測工作從 2006 年開始，除了 CO₂的濃度變化外，甲烷、SF₆、CO、¹³CO₂等亦同時納入監測範圍以加強監測之敏感度(圖十一)。土壤氣部分係在封存場址周圍方圓約 1000 公尺範圍內持續且定期採樣分析，藉以偵測注入之CO₂是否滲透至淺部地表(圖十二)。深部地層部分則藉由 4D震測、VSP (Vertical Seismic Profiling)以及微震技術監控注入氣在地底之動態及分佈等行為(圖十三)。

Otway 示範計畫之主要目的有：

- 操作：藉由遵循業界之最佳作業標準，示範CO₂可以安全地生產、運輸、擠注、封存以及監測；
- 研究：有效模擬CO₂在地底之行為，示範安全的封存，確認CO₂留滯深部地層，對有效溫室氣體減量技術之發展做出貢獻；
- 法規制定：檢驗既有法規對於CO₂之運輸、擠注以及封存的適用性，對未來若有需要之相關修法提供具科學依據之參考；
- 教育訓練：創造民眾對於碳捕捉與封存相關作業教育宣導之機會，提供人才訓練為日後成長之 CCS 相關產業與市場預作準備；
- 國際合作：提供國家間更多元的合作平台；
- 公眾接受度與宣導：藉由示範計畫，與民眾、環保團體、地方人士等溝通協調，協助社會大眾及投資人對計畫的本質、進度及成果的了解，增加其對碳捕捉與封存之接受度。

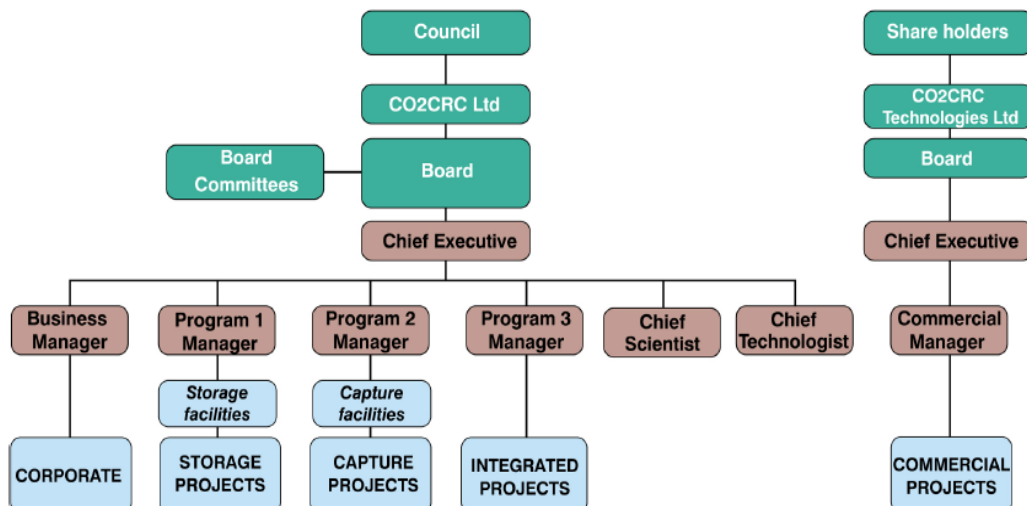
CO2CRC Participants

for more information see www.co2crc.com.au or contact pjcook@co2crc.com.au



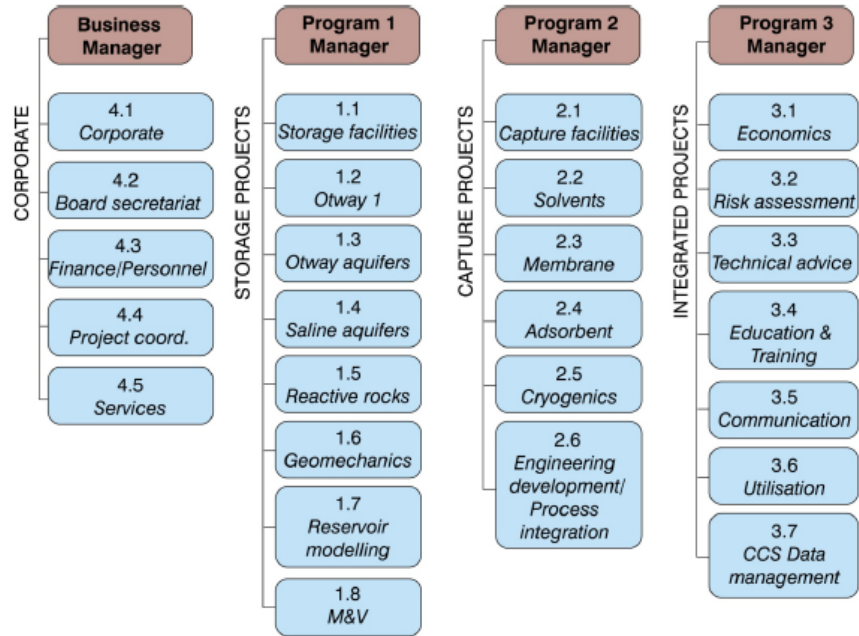
圖一、涵蓋跨國政府、產業及學術界的 CO2CRC 參與會員

The corporate and management structure of CO2CRC



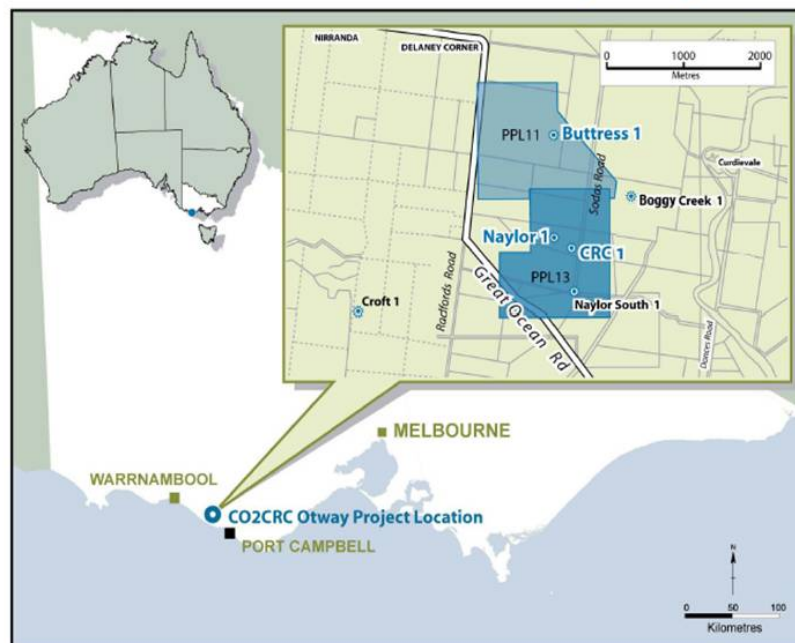
圖二、CO2CRC 之組織及管理架構

The program structure of CO2CRC



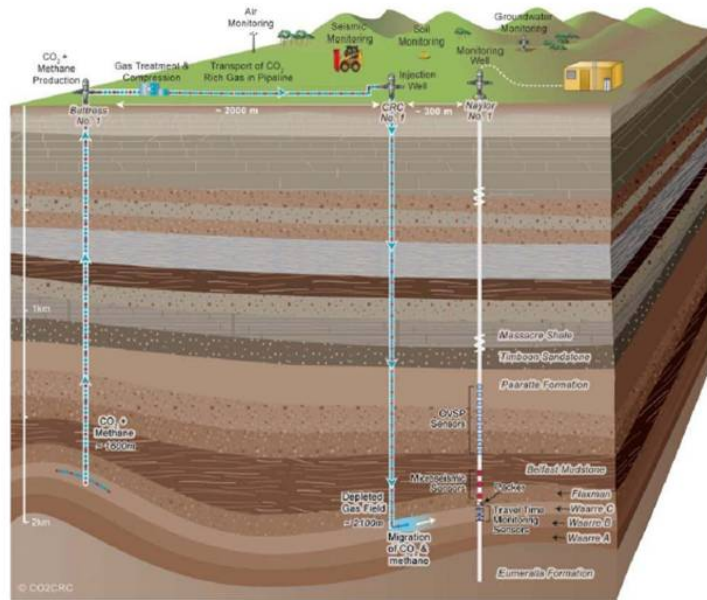
圖三、CO2CRC 之計畫執行架構

Location of CO2CRC Otway Project



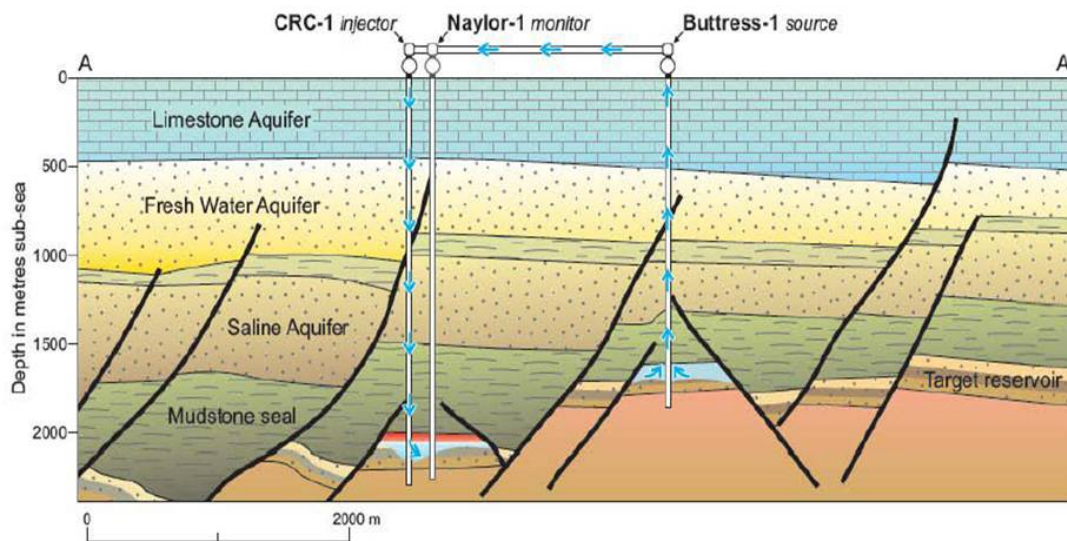
圖四、Otway 場址位於維多利亞省臨海之 Port Campbell 附近

CO2CRC Otway Project



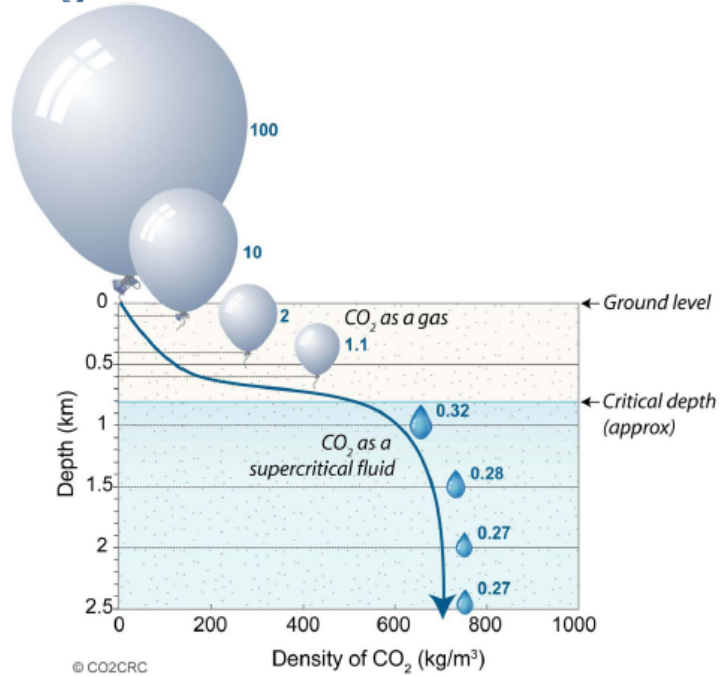
圖五、Otway 計畫示意圖

Otway geological model



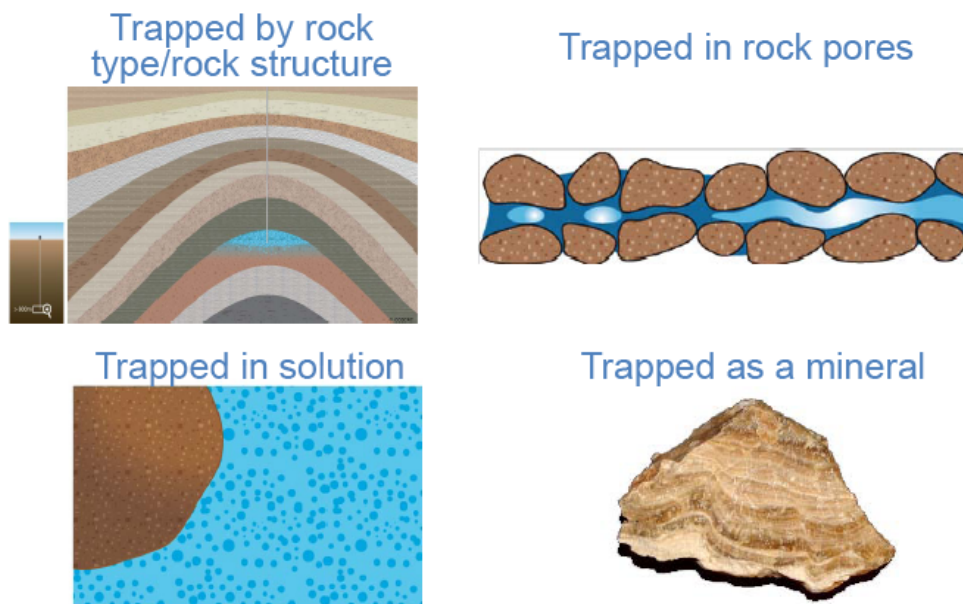
圖六、Otway 計畫封存場址地質模型示意圖

CO₂ storage effectiveness increases with depth



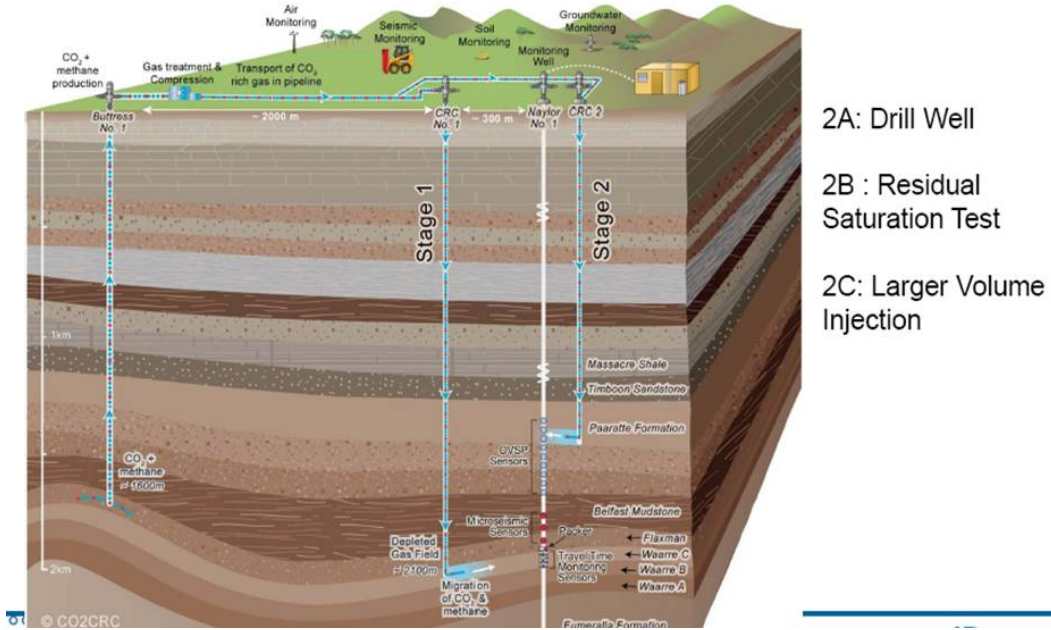
圖七、CO₂的封存效率(體積)與其封存深度之關係

Trapping the carbon dioxide



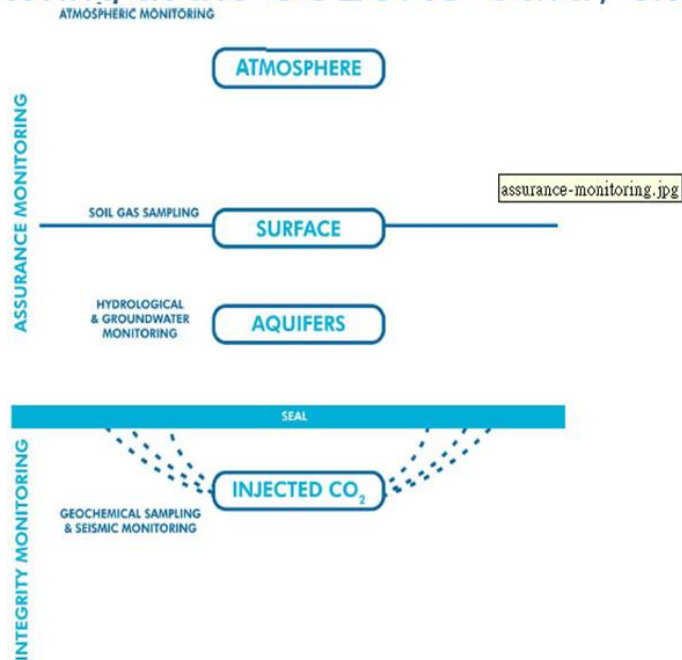
圖八、CO₂之封存機制

CO2CRC Otway Project - Stage 2 Schematic



圖九、Otway計畫第二階段，目的在水層對CO₂之吸附能力

Monitoring at the CO2CRC Otway site



圖十、Otway 計畫之監測範圍

Atmospheric monitoring



Atmospheric module



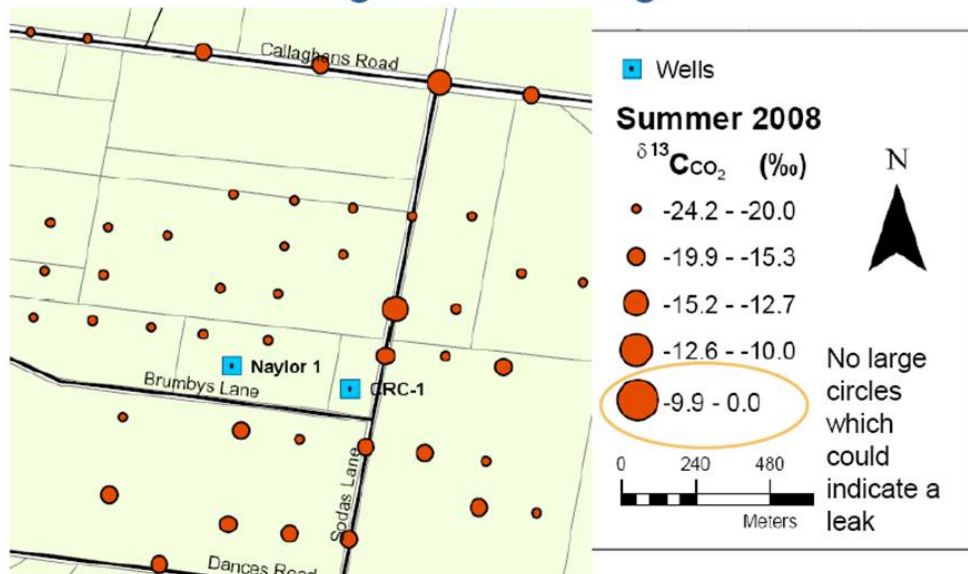
Flux station

D. Etheridge et al.,
CSIRO

- Monitoring began late 2006
- Existing CO₂ sources characterised
- No evidence of emissions from CO₂ storage to date
- Monitoring using CO₂ concentration alone needs ideal conditions, so other species including CH₄, SF₆, CO and ¹³CO₂ are monitored to enhance sensitivity

圖十一、地表附近大氣之監測

Soil gas monitoring



圖十二、土壤氣定期採樣監測注入氣是否逸漏至地表附近

Seismic monitoring



- Range of seismic techniques
- Vertical Seismic Profiling (VSP) (source surface, receiver downhole)
- High Resolution Travel time
- Microseismic surveys (measures cracks in the subsurface)

圖十三、

肆、結語與建議

人類過度使用化石能源因而過量排放CO₂所導致的全球暖化問題已成為近年來舉世關注的焦點。造成如此對地球環境破壞的結果，所有的國家都必須負上相同但程度不同的責任。因此，各國均應責無旁貸地以實際作為來防止大氣中CO₂濃度持續惡化。身為國營企業且擁有多年累積的油氣探勘開發經驗與技術，台灣中油公司肩負社會的期待，為CO₂之減量作出貢獻。

在石油上游工業，將CO₂注入適當地層使得以採收更多石油是一項相當普遍而成熟的技術，稱之為強化採油(Enhanced Oil Recovery)，惟此項技術往往主要是為了增產油氣，並未曾單獨應用於減碳，因為在現階段將CO₂排放至大氣仍未受嚴格限制之環境下，將CO₂封存於地下屬無利可圖之舉。

封存相關研究工作需要持續進行，但不應僅止於研究階段，選擇適當之舊油氣田進行先導性試驗卻是發展 CCS 技術不可或缺的一環，因此現場單位及結合、公司外部單位之參與有其必要與迫切性。CCS 推動既已列入全國能源會議之決議，本公司具有油氣田探勘、開發之專業技術與現成舊油氣田以為 CCS 場址之優勢，應更正面、積極面對 CCS 之全球性發展趨勢，有效整合公司內部各項技術及資源，以實質發展台灣之 CCS 專業技術。再者，參考前述國外成功推動 CCS 案例，可以清楚瞭解各政府在各該計畫所扮演角色如政策訂定及資金挹注等，均為各案例成功之關鍵因素。因此台灣 CCS 計畫之有效發展以達實質溫室氣體減量目標，絕對有賴政府部門之積極整合二大能源國營事業及相關學術與研究機構共同進行。

本公司亦將進行一CO₂地質封存先導試驗之計畫，希望整合並適當調整既有之選址、鑽井、注氣、模型建立、模擬、監測等石油探勘開發技術，建立完整而有系統之CO₂地質封存技術。CO₂總注氣量預計約 5~10 萬噸，CO₂之來源為本公司轉投資之氫氣工

廠所伴產的副產品，由陸路車輛運輸至指定注氣場址，後由注氣井加壓注入至目標地層，同時由監測井以及各種監測手段連續紀錄各種數據，以了解及掌握注氣量、注入氣移棲路徑、相態變化乃至於有無洩漏等。計畫初步構想為建置一口注氣井以及二至三口監測井，其中注氣井為新鑽，監測井則可為新鑽或考慮以既有之生產井修井而成。注氣開始前必須建置背景值資料庫，以便於做為注氣後所產生變化之比較標準以及分析之依據。

若要真正發展 CCS，在公司內部必須要有專責單位整合現場技術及各項研究成果，對外則進行溝通、協調、合作。以澳洲 Otway 計畫為例，就是整合了政府、工業界、學術界甚至跨國合作，該計畫還為此成立一家公司。唯有如此，資源才可以被有效運用，而且最能獲致實質的進展。

CCS 是一項重大的整合性工程，初期建議公司成立專案小組 (Task force)，如果外部環境持續加溫成熟，不排除成立事業部或者與其他公司如台電、中鋼或政府部門合資成立公司，仿照澳洲 Otway。

溫室氣體減量是當前必須面對之課題，目前其他CO₂減量措施顯然無法達成預期之減量效果，唯有地下封存兼具技術及經濟可行性的特質，雖仍有封存量估算誤差或封存效果不如預期等效益上之風險惟在可控範圍內，但地下封存並無安全顧慮。如政府之CO₂減量政策方針明確，則應統籌各方資源，建立合作平台推展相關研究，並儘速推動先導型試驗計畫，建立封存及監測整體技術，加速水層注儲潛能調查，以供研議有效控制CO₂排放政策之參考。雖地質封存並非解決所有溫室氣體過量之萬靈丹，但不可否認其在所有末端減量的方法中是最可行及最能有所貢獻的。

今日，人類將CO₂視為處心積慮欲去之而後快的地球暖化元兇，但隨著科技的日新月異，焉知未嘗不可能成為未來的資源，從這個角度來看，今天把這些CO₂封存於地下，無異是替未來保

留一些彈性空間。況且，現今大氣中CO₂濃度異常快速的上升與工業革命後人類大量使用化石能源有絕對且直接的關係，化石能源來自地下，將它的衍生產物放回地下絕對是符合生態循環的原則，有道是：「從哪裡來，回哪裡去」，以現況看來，應該是最理想、有效、可行的減量方法。經濟發展是台灣的命脈，環保減碳卻是全世界共同的責任，在兩難之間，地下封存或許是一個達到平衡、共創雙贏的契機。

中油公司在台灣進行油氣探勘數十年，擁有大量油氣田及地質相關資料與技術為國內唯一國營石油公司，為善盡社會責任，配合國家推動CO₂減量，CCS計畫之及時進行為極佳之切入點。雖然排放CO₂需要付費之前，CCS除了投資抵稅外並無絕對效益，但在落實政府節能減碳政策、活化探勘、提升公司國際能見度、增加與其他油公司在探勘領域合作的可能性等等確有極大之無形效益。