

出國報告（出國類別：開會）

參加澳洲 CO2CRC Research Symposium

服務機關：台灣電力公司綜合研究所

姓名職稱：楊明偉 化學研究專員

派赴國家：澳洲

出國期間：100 年 11 月 27 日至 100 年 12 月 3 日

報告日期：101 年 1 月 19 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加澳洲 CO2CRC Research Symposium

頁數 19 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台電人資處/陳德隆/23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

楊明偉/台電公司/綜合研究所/研究專員

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他（開會）

出國期間：100 年 11 月 27 日至 100 年 12 月 3 日

出國地區：澳洲

報告日期：101 年 1 月 19 日

分類號/目

關鍵詞：二氧化碳、捕集、封存、溫室氣體、電廠

內容摘要：CO2CRC Research Symposium 2011 會議由澳洲 CO2CRC 舉辦，會議時間為 2011 年 11 月 29 日至 12 月 1 日。會議內容包含澳洲與國際上有關二氧化碳捕集與封存之最新研究進展，並包含國際間一些碳捕捉與封存示範計畫之介紹。會議內容希能提供各與會人士對碳捕捉與封存工作在商業化前所可能遇到的挑戰進行交流，以加速碳捕捉與封存工作之大規模實施。

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

目 錄

| | |
|------------------------------|----|
| 摘要 | i |
| 1. 任務目的..... | 1 |
| 2. 過程..... | 2 |
| 2.1 會議內容..... | 2 |
| 2.2 二氧化碳捕捉議題內容..... | 4 |
| 2.3 二氧化碳封存議題內容..... | 6 |
| 2.4 二氧化碳捕捉與封存國際發展現狀議題內容..... | 8 |
| 3. 心得與感想..... | 11 |
| 3.1 澳洲 CCS 發展現況..... | 11 |
| 3.2 CO2CRC Otway 計畫現況..... | 15 |
| 3.3 感想與建議事項..... | 18 |

1. 任務目的

建立二氧化碳捕獲與封存技術為本公司減碳的重要目標，因此公司指派示綜研所與開發處等單位成立相關研究計畫並推行先導試驗場址之評估與試行等工作。據此，本公司已參加能源局之二氧化碳捕獲與封存技術聯盟。

本次參訪係因能源局邀集技術聯盟各部門參加本次澳洲 CO2CRC Research Symposium；澳洲 CO2CRC 研究單位於二氧化碳捕獲與深地層封存有多多年經驗，藉此參訪機會可與國外相關之專家學者進行資訊及技術交流觀摩研習相關技術。

為順利推行二氧化碳捕獲與深地層封存試行工作，本公司指派綜研所工作人員參加澳洲 CO2CRC Research Symposium 與國際專家進行交流。會議內容包含二氧化碳捕獲與封存等實務與國際上各項試行計畫之最新進展，可作為本公司火力電廠設置捕獲技術與二氧化碳深地層封存試行計畫的參考。

2. 過程

2.1 會議內容

CO2CRC Research Symposium 2011 會議由澳洲 CO2CRC 舉辦，會議時間為 2011 年 11 月 29 日至 12 月 1 日，地點為南澳洲 Glenelg 之 Stamford Grand Adelaide Hotel。會議內容包含澳洲與國際上有關二氧化碳捕集與封存 (Carbon dioxide Capture and Storage, CCS) 之最新研究進展，並包含國際間一些碳捕捉與封存示範計畫之介紹。會議內容希能提供各與會人士對碳捕捉與封存工作在商業化前所可能遇到的挑戰進行交流，以加速碳捕捉與封存工作之大規模實施。

此次 CO2CRC Research Symposium 2011 分為二氧化碳捕捉與二氧化碳封存兩平行會議討論，會議時程表如圖 1。

CO2CRC Research Symposium 29 November - 1 December 2011

TIMETABLE

| MONDAY 28 November | | TUESDAY 29 November | | WEDNESDAY 30 November | | THURSDAY 1 December | | FRIDAY 2 December |
|---|---|---|---|---|--|---|---|--|
| 6.30 - 8.00am Breakfast (Promenade Restaurant) | | 6.30 - 8.00am Breakfast (Promenade Restaurant) | | 6.30 - 8.00am Breakfast (Promenade Restaurant) | | 6.30 - 8.00am Breakfast (Promenade Restaurant) | | 6.30 - 8.00am Breakfast (Promenade Restaurant) |
| | 8.00 - 10.30am CO2CRC Board Meeting Coord: C. Peacock (Hindmarsh 1-3) | 8.30 - 10.30am Opway Project Stage 2C Information & discussion workshop Coord: M. Raab (Ballroom 1) | 8.30 - 10.30am Benchmarking capture & economics workshop Coord: D. Wiley (Ballroom 2) | 8.30 - 10.30am Session 3: CCS policy and storage progress (Ballroom 1-3) | 8.30 - 10.30pm Session 7A: Storage research (Ballroom 2-3) | 8.30 - 10.30pm Session 7B: Implementing CO₂ capture (Ballroom 1) | 8.30 - 10.30am PAC Meeting (Coley 1-2) | |
| 10.30 - 11.00am Morning tea (Lobby) | | 10.30 - 11.00am Morning tea (Lobby) | | 10.30 - 11.00am Morning tea & posters (Lobby) | | 10.30 - 11.00am Morning tea & posters (Lobby) | | 10.30 - 11.00am Morning tea (Lobby) |
| 11.00 - 12.30pm Writing workshop Coord: A. Bartlett (Coley 1) | 11.00 - 1.00pm CO2CRC Board Meeting Coord: C. Peacock (Hindmarsh 1-3) | 11.00 - 1.00pm Opway Project Innovation workshop - future directions? Coord: M. Raab (Ballroom 1) | 11.00 - 1.00pm Benchmarking capture & economics workshop Coord: D. Wiley (Ballroom 2) | 11.00 - 1.00pm Session 4: Capture progress (Ballroom 1-3) | 11.00 - 1.00pm Session 8A: Monitoring storage (Ballroom 2-3) | 11.00 - 1.00pm Session 8B: Fundamentals of CO₂ capture (Ballroom 1) | 11.00 - 1.00pm PAC Meeting (Coley 1-2) | |
| 12.30 - 1.30pm Lunch (Lobby) | | 1.00 - 2.00pm Buffet lunch (Lobby) | | 1.00 - 2.00pm Buffet lunch & posters (Lobby) | | 1.00 - 2.00pm Buffet lunch & posters (Lobby) | | 1.00 - 2.00pm Buffet lunch (Lobby) |
| 1.30 - 3.00pm Writing workshop Coord: A. Bartlett (Coley 1) | 2.00 - 2.30pm Session 1: Official opening and keynotes (Ballroom 1-3) | | | 2.00 - 3.30pm Session 5A: Stage 2B residual gas saturation test (Ballroom 2-3) | 2.00 - 3.30pm Session 5B: Towards large scale implementation (Ballroom 1) | 2.00 - 3.30pm Session 9: Innovation in CCS (Ballroom 1-3) | | NOTES 1. The Symposium Registration Desk will be located in the foyer of the conference floor. It will be operational from 2.00pm Monday. 2. A number of open workshops will be held for CO2CRC researchers and industry partners. Bookings for these are essential as places are limited. Contact the workshop coordinator to book. KEY ☐ Open Symposium session ■ Closed meetings |
| 3.00 - 3.30pm Afternoon tea (Lobby) | | 3.30 - 4.00pm Afternoon tea (Lobby) | | 3.30 - 4.00pm Afternoon tea & posters (Lobby) | | 3.30 - 4.00pm Afternoon tea & posters removed (Lobby) | | |
| 3.30 - 5.30pm Writing workshop Coord: A. Bartlett (Coley 1) | 4.00 - 5.30pm Session 2: Major CCS projects (Ballroom 1-3) | | | 4.00 - 5.30pm Session 6A: Saline aquifer storage (Ballroom 2-3) | 4.00 - 5.30pm Session 6B: Modelling and characterisation of CO₂ capture (Ballroom 1) | 4.00 - 5.30pm Session 10: CCS - the road ahead (Ballroom 1-3) | | |
| 5.30 - 7.30pm Annual General Meeting (Council) (Ballroom 3) | 6.30 - 7.30pm Poster exhibition opening (Ballroom 4-5) | | | | | | | |
| 7.30pm Council dinner (Moseley 2-3) | 7.30 - 9.30pm Buffet dinner for arriving delegates (Poolside) | 7.30 - 9.30pm Buffet dinner (Ballroom 1-3) | | | 7.00 - 10.00pm Symposium dinner (Ballroom 1-3) | | 7.30 - 9.30pm An evening with Peter Cook - Awards ceremony and dinner (The National Wine Centre) | |

圖 1 CO2CRC Research Symposium 2011 時程表

2.2 二氧化碳捕捉議題內容

二氧化碳捕捉會議由 CO2CRC 專家學者報告 CO2CRC 在二氧化碳捕捉技術的最新發展、捕捉程序模擬、捕捉理論基礎研究、法規研擬進度、大規模實施二氧化碳捕捉技術的障礙與經濟性等議題。會議並且組織小組討論時間，讓與會人員可以針對二氧化碳捕捉技術大規模實施的潛在障礙提出看法，藉小組討論機會激發研究人員更多想法，討論後整理出哪些議題是真正重要的議題。二氧化碳捕捉會議議題摘要如下：

Capture progress

- CO2CRC capture research: closures and new starts *D. Wiley (CO2CRC/UNSW)*
- Opportunities for cost reduction in carbon capture using solvent absorption with reduced environmental impact *G. Stevens and J. Provis (CO2CRC/Uni Melb)*
- Overview of the current state of the art membrane development for carbon capture from flue gases *V. Chen (CO2CRC/UNSW)*
- Adsorption process and materials development for CO2 capture: an overview *P. Webley (CO2CRC/Monash Uni)*
- An overview of CO2 capture developments in the United States *K. Gerdes (Chevron)*
- Large scale designs *B. Hooper and T. Harkin (CO2CRC/Uni Melb)*

Towards large scale implementation

- Review of CO2CRC capture demonstration projects *A. Qader (CO2CRC/Uni Melb)*
- The effects of large distances and different capture technologies on the design of a CCS network for eastern mainland Australia *G. Fimbres Weihs (CO2CRC/UNSW)*
- Precipitating carbonate solvent process for CO2 capture *C. Anderson*

(CO2CRC/Uni Melb)

- Reducing the energy penalty of capture by heat integration – highlights from the ETIS LVPCC project *T. Harkin (CO2CRC/Uni Melb)*
- Factors affecting the economics of major Australian electricity supply additions using low-carbon energy options *W. Hou (CO2CRC/UNSW)*

Modeling and characterization of CO₂ capture

- Simulations of membrane hybrid capture plants *C. Scholes (CO2CRC/Uni Melb)*
- Precipitating carbonate solvent process simulation using ASPEN plus *K. Mumford (CO2CRC/Uni Melb)*
- Evaluation of M-MOF74 metal-organic frameworks for carbon capture through simulation *B. Wells (CO2CRC/Monash Uni)*
- CO₂ capture from natural gas by pressure swing adsorption technology (PVSA) *P. Xiao (CO2CRC/Monash Uni)*
- Application of adsorption based carbon capture technology to a variety of industries *J. Zhang (CO2CRC/Monash Uni)*

Implementing CO₂ capture

- The effect of long term elevated temperature and solvent exposure on the durability of alkali activated binders *L. Gordon (CO2CRC/Uni Melb)*
- Economic assessment of CO2CRC H3 and Mulgrave capture projects *M. Ho (CO2CRC/Uni Melb)*
- Cost reduction by a precipitating carbonate solvent *D. Quyn (CO2CRC/Uni Melb)*
- Selective decontamination of ethanolamine based CO₂ capture solvents with nano-filtration and electro dialysis *L. Dumez (CO2CRC/Uni Melb)*
- Low cost hybrid capture technology *J. Xiao (CO2CRC/Monash Uni)*
- Cost-effective facilitated transport polyamide membranes for carbon

dioxide capture *S. Lee (CO2CRC/Uni Melb)*

- Microporous carbons for CO₂ capture from controlled steam gasification of Victorian brown coal *L. Ciddor (CO2CRC/Monash Uni)*
- The study of the presence of water effect in polyimide membranes for CO₂ capture *G. Chen (CO2CRC/Uni Melb)*

Fundamentals of CO₂ capture

- Organic cation zeolites for natural gas purification *G. Li (CO2CRC)*
- Effect of poly (ethylene glycol) and poly (dimethyl siloxane) based additives on the gas separation performance of membranes prepared from poly (2,6-dimethyl-1,4-phenylene oxide) *T. Hu (CO2CRC/UNSW)*
- Adsorbents for CO₂/CH₄/N₂ and their scope in natural gas separation *R. Singh (CO2CRC/Monash Uni)*
- Probing the controllable molecular sieving mechanism on chabazite for CO₂/N₂/CH₄ separation *J. Shang (CO2CRC/Monash Uni)*
- Nano-composite polyimides for CO₂ selective membranes *P. Gurr (CO2CRC/Uni Melb)*
- Polyethyleneimine (PEI) loaded silica for CO₂ capture via adsorption – effects of PEI loading, PEI molecular weight and pre-activation on sorbent stability *G. Knowles (CO2CRC/Monash Uni)*
- Investigation of the interfacial transition zone in geopolymers for construction applications *R. San Nicolas (CO2CRC/Uni Melb)*
- Amine-functionalized mesoporous metal organic framework MIL-101(Cr) as CO₂ adsorbent *Z. Liang (CO2CRC/Monash Uni)*

2.3 二氧化碳封存議題內容

二氧化碳封存會議也是由 CO2CRC 專家學者報告 CO2CRC 在二氧化碳封存技術的最新發展、殘餘氣封存機制研究、深鹽水層二氧化碳封存、封存監測技術、封存法規進度、大規模實施二氧化碳捕捉技術的障礙與經濟性等議題。會議也組織

小組討論時間，讓與會人員可以針對二氧化碳封存技術大規模實施的潛在障礙提出看法，藉小組討論機會激發研究人員更多想法，討論後整理出哪些議題是真正重要的議題。二氧化碳封存會議議題摘要如下：

Stage 2B residual gas saturation test

- Stage 2B residual gas saturation test *M. Raab (CO2CRC)*
- Stage 2B operations *R. Singh (CO2CRC)*
- Preliminary history matching of CO2CRC's Otway Stage 2B residual saturation test *J. Ennis-King (CO2CRC/CSIRO)*
- Stage 2B geochemistry program *L. Stalker (CO2CRC/CSIRO)*
- The technical, scientific, and regulatory basis for a single-well appraisal of proposed carbon sequestration sites – context for the Otway Stage 2 research program *B. Freifeld (CO2CRC/LBNL)*

Saline aquifer storage

- From the Paaratte to the surface – what do we know? *A. Hortle (CO2CRC/CSIRO)*
- Taking the angst out of uncertainty related to saline aquifer storage *K. Michael (CO2CRC/CSIRO)*
- Geological interpretation of borehole images from CO2CRC Otway Project Well CRC-2: current status and future directions *M. Lawrence (CO2CRC/GNS)*
- Laboratory experiments at Curtin University on Otway samples: acoustic response of sandstones during and after injection of supercritical CO2 *M. Lebedev (CO2CRC/Curtin Uni)*

Storage research

- 3D geomechanical modeling of the Iona Gas Storage Facility *E. Tenthorey (CO2CRC/GA)*
- The CCP3 storage contingencies initiative: characterisation, intervention and remediation of unexpected CO2 migration *S. Imbus*

(Chevron)

- Geomechanical assessment of the CARBOLAB project, in situ CO₂-ECBM laboratory, Oviedo, Asturias, Spain *S. Vidal-Gilbert (Total)*
- Australian formation water composition and its control on fluid trapping *R. Haese (CO₂CRC/GA)*
- CO₂CRC Otway Project community perceptions revisited *T. Steeper (CO₂CRC)*

Monitoring storage

- Testing atmospheric monitoring techniques with a controlled gas release at the CO₂CRC Otway Project *D. Etheridge (CO₂CRC/CSIRO)*
- Atmospheric tomography: a bayesian inversion technique to determine the rate and location of emissions from geological storage *R. Leuning (CO₂CRC/CSIRO)*
- Stage 2C seismic monitoring program – a way forward *R. Pevzner (CO₂CRC/Curtin Uni)*
- Examining the opportunities for CO₂ injection with water production in south-east Queensland *P. Neal (CO₂CRC/UNSW)*
- Project 3.2 risk assessment: an overview *M. Gerstenberger (GNS)*

2.4 二氧化碳捕捉與封存國際發展現狀議題內容

本次會議同時介紹國際間二氧化碳捕捉與封存之最新發展，相關的法規進展與民眾溝通等事項更是影響大規模實施二氧化碳捕捉與封存的重要關鍵，相關議題摘要如下：

Major CCS projects

- Basin-scale assessments of geological carbon storage potential: how good is “good enough for government work”? *G. O’ Brien (Victorian Department of Primary Industries)*

- The Gorgon Carbon Dioxide Injection Project - from concept to reality *M. Trupp (Chevron)*
- Goldeneye – CO2 storage in a UK offshore depleted gas field *C. Otto (Shell)*
- Global status of CCS *H. Bietz (The Global CCS Institute)*

CCS policy and storage progress

- CCS and Australia's clean energy future *M. Williams (Australian Coal Association)*
- Address by the Minister *The Hon Martin Ferguson AM, MP (Federal Minister for Resources and Energy)*
- CO2CRC storage research 2011-12 – pushing the envelope *M. Raab (CO2CRC)*
- Fundamentals of residual trapping *L. Paterson (CO2CRC/CSIRO)*
- Lessons learned from Otway Stage 1 monitoring & verification *C. Jenkins (CO2CRC/CSIRO)*
- Potential for CCS in New Zealand *D. Lind (Transfield Worley)*

Innovation in CCS

- The National Geosequestration Laboratory *A. Schaaf (CSIRO)*
- The potential of combined geologic carbon sequestration and geothermal heat extraction *B. Freifeld (LBNL)*
- Containment of CO2 in CCS: role of caprocks and faults *J. Kaldi (CO2CRC/ASP)*
- Commercial opportunities for deploying CCS at power plants *D. Wiley (CO2CRC/UNSW)*
- Hydrogen energy supply chain based on syngas derived from brown coal linked with CCS *E. Harada (Kawasaki Heavy Industries)*

CCS - the road ahead

- Making deep cuts in CO2 emissions: how, where and when *P. Cook (CO2CRC)*
- Climate change, emerging trends in global energy use and the role of CCS *K. Thambimuthu (IEAGHG/CO2CRC)*

3. 心得及建議

3.1 澳洲 CCS 發展現況

澳洲政府將二氧化碳的捕集與封存視為國家的減碳策略，因此目前有許多 CCS 示範計畫正在進行，也有一些商轉規模的規劃正進行中。目前，澳洲政府已經開始進行離岸二氧化碳封存之許可核發之準備工作，圖 2 為澳洲境內正在進行之 CCS 計畫。

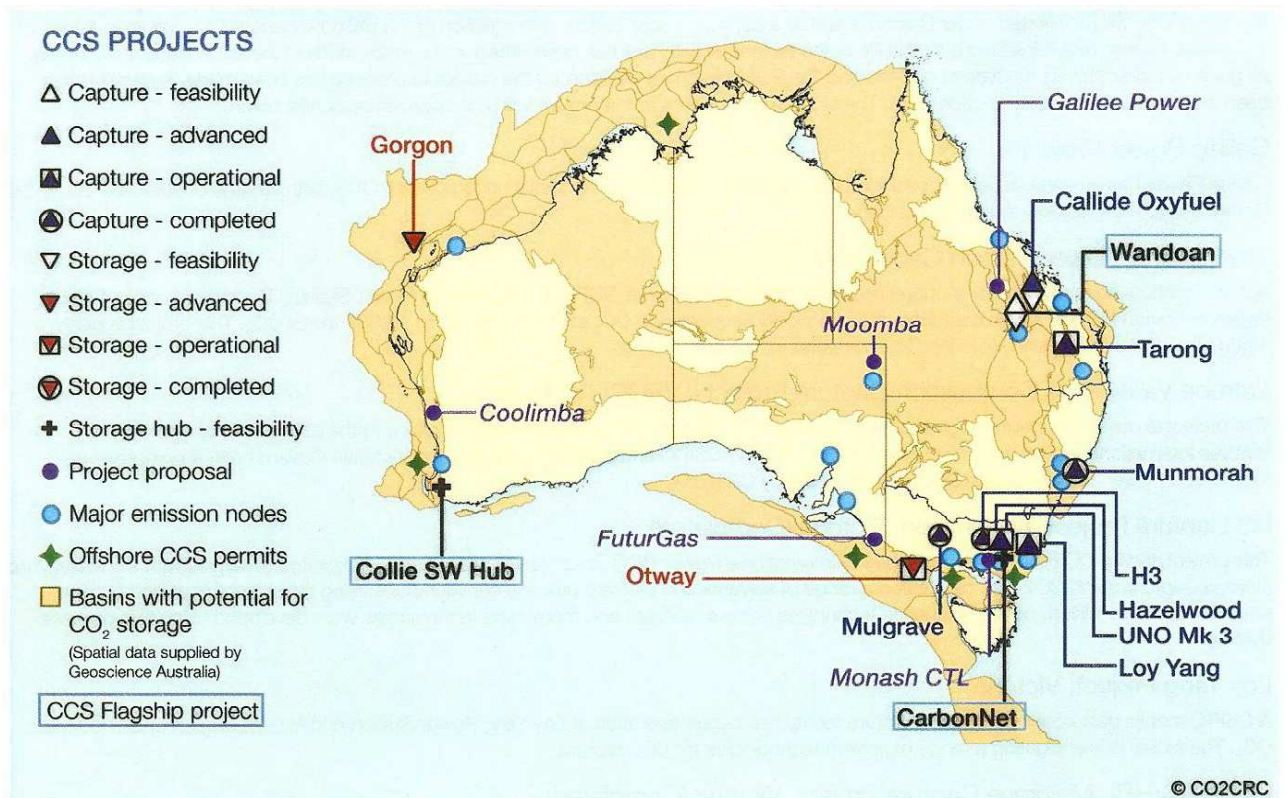


圖 2 澳洲 CCS 計畫

Callide Oxyfuel Project 位於昆士蘭省，於 2011 年將 Callide 電廠現有的 30MW 機組改成富氧燃燒機組，並且增設二氧化碳捕集裝置。第二階段工作計畫於 2012 至 2013 年再加入灌注與封存單元，將捕集後的二氧化碳注入鹽水層或廢棄油氣田中。計畫預計灌注 3 年，計畫經費約 206 百萬美元，參與者包含 CS Energy、IHI、Schlumberger、Mitsui & Co.、J-Power 與 Xstrata，另有額外的經費來自 Australian Coal Association、澳洲政府、昆士蘭政府與日本政府。

CO2CRC Otway Project 位於 Victoria，是目前澳洲唯一運作中的二氧化碳封存計畫（圖三）。Otway 計畫已於 2008 年灌注約 65000 噸富含二氧化碳的天然氣至 2 公里深的廢棄天然氣田中封存，主要的監測與驗證工作也已經完成。從 2011 年起 Otway 計畫開始進行世界首創之單一井試驗計畫，將二氧化碳利用單一井灌注至鹽水層封存。本階段計畫利用新設之操作井進行一連串的灌注試驗，並且測試殘餘氣封存機制（residual trapping）。Otway 計畫約 6 千萬美元，出資單位包含了 15 個公司與 7 個政府部門，參與的工作人員來自澳洲、紐西蘭、加拿大、韓國與美國；研究夥伴包含了天然氣公司、煤炭公司、電力公司、研究機構與政府單位等。額外的經費來自澳洲政府（RET, Australian Government）、Victoria 政府、美國能源部（Lawrence Berkeley National Laboratory, U.S. DOE）。

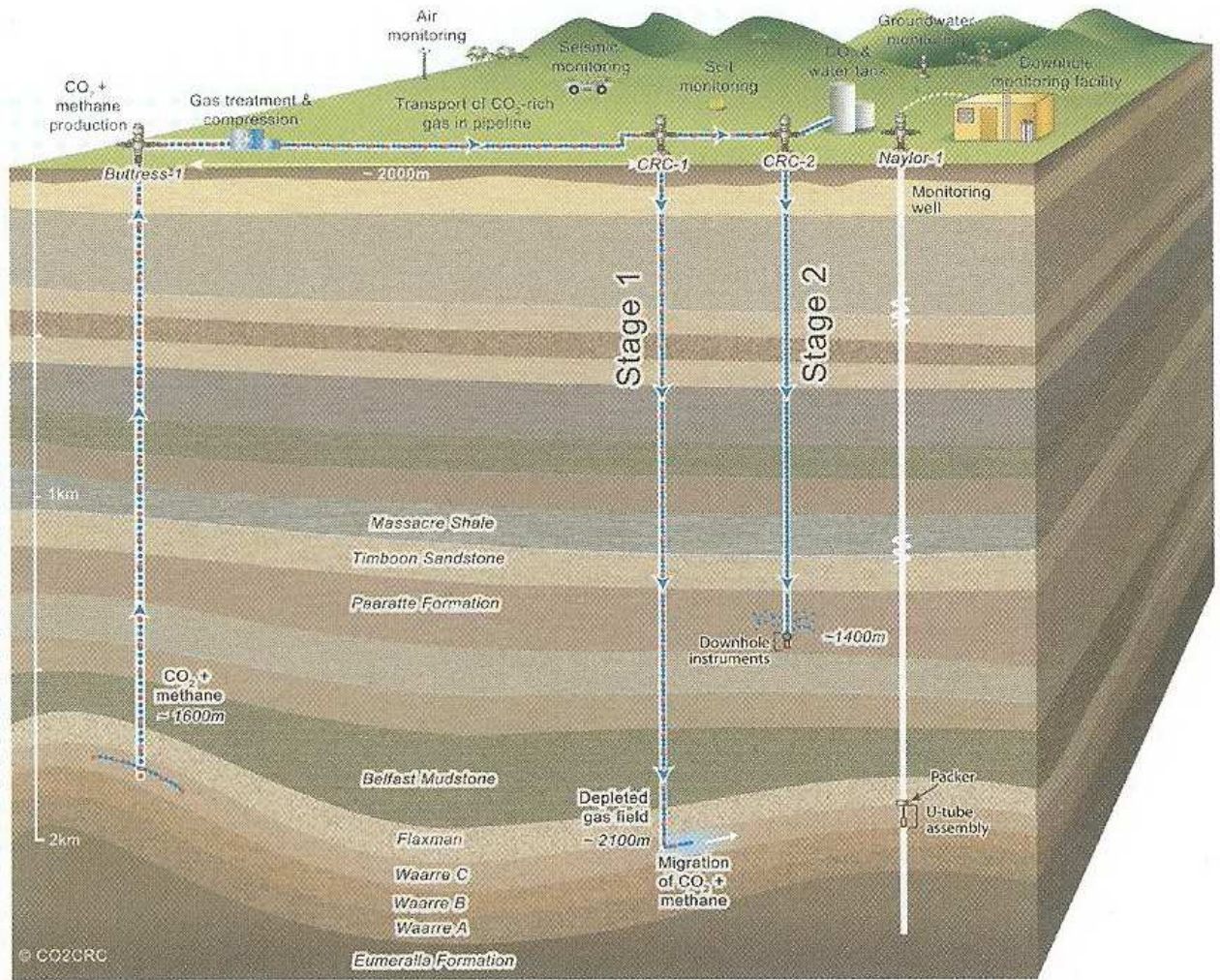


Diagram of the CO2CRC Otway Project

圖 3 CO2CRC Otway 計畫

Gorgon 計畫位於 Western Australia，主要操作業者為 Chevron，Shell 與 Exxon 公司亦參加本計畫。本計畫將連接 Gorgon LNG 生產設施，目前於規劃先進灌注計畫階段。由天然氣分離出來的二氧化碳，將被灌注至 Barrow Island 下 2.4 公里深封存。計畫灌注量為每年 3.3 百萬噸，計畫全程總灌注量約為 120 百萬噸。地質探測井已經完成，正在進行主要的地質結構探測與測試中。目前所有必須的政府許可也已獲得，經費來源也已獲得；GE 公司已拿到合約將負責本計畫之灌注

設施安裝。本計劃有關封存部分的經費約需 20 億美元。計畫概要如下：

- 3x5 MTPA LNG trains
- 4-stage compressor for CO₂ compression
- 7 km buried CO₂ pipeline
- 9 CO₂ injection wells
- pressure management by 4 water production wells and 2 water injection wells
- 2 surveillance wells

Gorgon 計畫除注入井外，另開發 4 口產水井與 2 口注水井來控制儲集層壓力，其作業方式利用注水與抽水來管理儲集層與蓋層壓力。Chevron 公司於 2009 年起開發本計畫，並利用 3D seismic survey 完成 baseline study。預計提取 500 m 的完整岩心樣本（包含蓋層與儲集層）詳細研析其地質構造與組成，工程的不確定性管理計畫從開發該場址前就已經開始。

不確定性管理計畫大致區分為三階段實施：1. pre-project phase、2. project operation phase、3. post-project phase；以確保本計畫在可接受之風險範圍下被準確的執行。相關的政府許可於 2003 年計畫準備期就開始準備，2009 年才獲得政府許可。本計畫預計於 2015 年開始灌注，目前正進行相關工程中。Gorgon 計劃設計的灌注量是可以滿足 100% LNG 生產量，預計 5 年操作都要超過 90% 的設計量。

根據 2011 年 IEA world energy outlook 資料顯示全球 2011 年的二氧化碳排放量約為 30.4 GT，CCS 將是近期抑低全球暖化的主要手段。Global CCS Institute 出版之 Global Status of CCS 2011 Report 顯示 2011 年全球有 74 個 CCS 計劃正在進行。其中有 25 個計劃是在美國；而歐洲的 CCS 計劃數目沒有成長，顯示推動 CCS 還是缺乏經濟誘因。在眾多 CCS 計劃中只有 2 個計劃是和電力公司有關，而這兩個計劃都還是與 EOR 連結，可藉由出售二氧化碳給石油公司收取利益，並且大部分的計畫資金還是來自政府。

為加強推行 CCS，碳價是需要的一個元素；然而卻不是必然須要的項目之一。目前碳價格的制定還未有共識，市場價格紛亂，交易機制也未成熟；估計還有一

段時間討論才可實施。然而，CCS 的發展需要一段不短的時間，現在不進行 CCS 計劃的開發可能會無法及時實施二氧化碳的捕集與封存；所以現在發展 CCS 計劃的業者多選擇利用 EOR 來彌補大量資金的支出。此外，目前國際間實施 CCS 計劃的四大挑戰為：

1. 技術障礙
2. 民眾接受度
3. 缺乏營運與獲利模式
4. 缺乏執行法規與條約

目前認為這些障礙可由執行小規模的 CCS 示範計劃來消除，可用的策略為：

1. 經由示範計劃建立所需的技術與知識
2. 經由示範計劃建立民眾信任
3. 從計劃初期就要開始考量法規需求

3.2 CO2CRC Otway 計畫現況

CO2CRC Otway Project 位於 Victoria，是目前澳洲唯一運作中的二氧化碳封存計畫（圖三）。

Otway 計畫從 2008 年開始執行一連串的試驗，Stage 1 已累積灌注超過 65000 噸富含二氧化碳的天然氣至 2 公里深的廢棄天然汽田中封存，科學家們藉由現場空氣成分、地下水組成與泥土成份的量測來監測地下二氧化碳的遷移。主要的監測與驗證工作從 2008 年開始進行，研究顯示 Stage 1 所灌注之二氧化碳已被安全地封存在 2 公里深的廢棄天然汽田中，沒有大規模遷移與洩漏的跡象。

從 2011 年起 Otway 計畫開始進行 Stage 2 的試驗，不同於 Stage 1 封存於廢棄油氣田中本階段是將二氧化碳利用單一井灌注至鹽水層封存。Stage 2 為世界首創之單一井試驗計畫，其目的為明瞭二氧化碳於地底封存的機制。本階段計畫利用新設之操作井進行一連串的灌注試驗，並且測試殘餘氣封存機制（residual trapping），在每次 11 週的試驗過程中可以進行五次灌注試驗，計畫全程將進行

18 個月，其結果將由來自世界各地的科學家們分析。Otway 計畫主要的目的是藉各種試驗確保封存之二氧化碳不會發生洩漏，Stage 2 近一步瞭解多少二氧化碳可以安全被封存在地底數千年之久。

Otway 計畫隨時會將最新的訊息向當地居民與團體揭露，透明的資訊可降低居民疑慮，並可向澳洲民眾展示碳捕捉與封存如何進行。因此，CO2CRC 辦理許多公開會議、網站、動態報導文宣等活動將最新訊息傳播出去，並以電話訪問與當面訪談的方式瞭解當地居民的想法與確認宣傳效果。

由訪問的結果顯示，當地民眾多半認為全球暖化是一個重要的問題，我們應該採取一些行動。超過 80% 的民眾表示 Otway 計畫的發展應該隨時告知當地社區，這也鼓舞計畫執行人員繼續執行民眾溝通的工作。

雖然自從 2006 年計畫啟始階段，Otway 計畫人員不斷教育民眾碳捕捉與封存工作如何進行，當地居民與團體仍想多了解碳捕捉與封存如何進行。在眾多意見與問題中，安全性與環境的考量還是最重要的考量。

Otway 計畫資金約 6 千萬美元，出資單位包含了 15 個公司與 7 個政府部門，參與的工作人員來自澳洲、紐西蘭、加拿大、韓國與美國；研究夥伴包含了天然氣公司、煤炭公司、電力公司、研究機構與政府單位等。額外的經費來自澳洲政府 (RET, Australian Government)、Victoria 政府、美國能源部 (Lawrence Berkeley National Laboratory, U.S. DOE)。

Otway 計畫提供澳洲與各國的科學家們測試不同二氧化碳封存所需的技術所需的場址，在 Otway 計畫下已經完成多項監測技術的發展，展現了地底封存二氧化碳的可行性；計畫的成果也給法規制定者瞭解法規制定時所需的要件。Otway 計畫的成果已在技術與法規制定上，提供國際間 CCS 計畫相當重要的參考來源。Otway 計畫幾項重要的成果如下：

- Stage 1 計畫已注入超過 65000 噸的富含二氧化碳的氣體，成功封存於廢棄油氣田內，監測計畫也被成功的執行，灌注之氣體沒有發生洩漏。
- Stage 2 計畫為世界首創之單一井試驗計畫，其目的為明瞭二氧化碳於地底封存的機制。

- Otway 計畫的監測技術被認為是目前世界上最完整的計畫之一。
- Otway 計畫的成果已經成為國際間類似計畫學習如何規劃、如何執行灌注、如何執行監測的重要資料來源之一。
- Otway 計畫增進民眾對 CCS 技術的瞭解。

單單依賴二氧化碳捕捉與封存技術並不能解決溫室效應，結合能源效率提升、提高再生能源利用、低碳能源使用與 CCS 等多項技術才可逐步減緩溫室氣體排放。儘管國際間已全力發展各種能源技術，新能源開發的腳步仍然無法趕上日漸升高的能源需求。無可避免的，煤炭等化石燃料仍然是數十年內主要的能源來源，大量的二氧化碳排放將使溫室效應更加嚴重。目前只有 CCS 可以處理大量的二氧化碳，並將其封存於地下以避免溫室效應進一步惡化。唯有進行 CCS 才可讓我們繼續使用化石燃料，並且降低二氧化碳排放。國際能源總署（International Energy Agency, IEA）認為 CCS 技術可以有效降低約 19% 的二氧化碳排放量。

IPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change）認為 CCS 場址的選擇宜小心進行，場址的封存安全性更是重要的考量因素。IPCC 對安全場址的定義為：於 1000 年內儲集層內封存之二氧化碳洩漏至蓋層的二氧化碳量須小於總封存量之 1%。藉由 Otway 計畫多年以來的試驗與監測活動，CO2CRC 認為 Otway 計畫可達成與 IPCC 要求相同之安全性要求。

Otway 計畫之多層地質結構可將注入之二氧化碳與地下水與大氣環境隔離，其地質結構適合將二氧化碳安全的封存數千年至數百萬年之久。

由 CO2CRC 所進行之風險評估工作顯示，Otway 計畫封存之二氧化碳幾乎不會產生任何負面的環境影響，為了確保負面影響不會發生 CO2CRC 自 2006 年起已進行嚴格的監測計畫。

CO2CRC 的科學家與計畫工作人員們對環境與地上物產權的維護與保持都採取高標準，自計畫起始階段就不斷與週遭地主與業者溝通以避免危害或毀損任何地上物業。

Victorian Government 與相關之政府組織也給予 Otway 計畫在法規上嚴格的監督與指導，這些組織的嚴格監督為民眾做了優良的把關工作，有效降低當地居

民對安全性之憂慮。當地環保單位 (Victorian Environment Protection Agency) 負責注入與封存許可之核發，並管制地上設施產生之噪音。

3.3 感想與建議事項

藉 CO2CRC 發展 Otway CCS 計畫與其他 CCS 計畫的成果來看，CCS 計畫不僅是在技術上存有障礙，欠缺民眾接受度與適用的法規也會使 CCS 計畫難以推行。但最終的問題是 CCS 仍然缺乏商業營運模式，執行 CCS 的業者無法從 CCS 技術中獲得營利。因此，在欠缺營運獲利之模式下，目前 CCS 計畫多由政府與研究機構來進行，其所需的資金也多半來自政府。沒有政府資金的挹注，CCS 計畫將無法進一步發展，所須克服的技術障礙與經濟考量也沒有辦法從這些 CCS 試行計畫中找到答案。

然而，開發一個合適的 CCS 封存場需要超過 10 年的時間，從地質量測、分析、場址篩選、場址特性探勘、評估、封存與灌注設施規劃、設施建造、執行灌注、監測等都須大量時間與資金，無法於短期完成。

假設，在未來國際間通過強制性之二氧化碳減排要求後，才開始做封存場址的規劃與建構等工作，我國將無法及時實施 CCS。高額的碳稅或任何形式之碳排放補貼，將對於國內產業造成極大影響，高碳排放之產品將在國際市場上缺乏競爭力。因此，政府對 CCS 試行計畫需要有完整規劃與支持，無論在法規制定與資金挹注都應有積極態度才可使國內 CCS 技術趕上國際腳步。

實施 CCS 所須之規範與法規，是政府對 CCS 的態度與要求。CCS 開發業者在合乎法規規範下開發之 CCS 計畫，有助於提高民眾對 CCS 安全性的信心。對於 CCS 開發業者而言，透過法規的規範與公權力的監督也有助於降低開發時的阻力與障礙。

民眾的教育宣導要從現在就做起，對於環境問題的認知將有助於理解二氧化碳排放、能源使用與溫室效應相互間的複雜影響。民眾認知二氧化碳議題，對 CCS 計畫可產生支持力。因為 CCS 尚屬新實施之技術，安全性的問題將是 CCS 場址附

近民眾最大的疑慮與不確定因素。從教育、法規、場址資訊與活動揭露等活動同時進行有助於降低開發 CCS 場址之障礙，並可使 CCS 規劃更完善。

因為 CCS 計畫需要大量資金與各類技術，場址開發時間長達十幾年，各種工程技術引用與介面銜接都有一定程度的風險。計畫前期、開發階段、運轉階段與封存後場址維護與轉移等階段將有不同風險發生之可能性；為降低 CCS 開發廠商投資損失，各階段的風險管理相當重要。

另外，CCS 場址安全性與洩漏風險評估工作更是 CCS 是否能順利推行之首要項目，唯有在清楚理解各類風險發生之途徑與影響程度，並預先做好各類防範措施才可使民眾安心，也得以使 CCS 計畫順利推行。

本次會議過程中有機會與 CO2CRC 研究人員交換工作意見，並與來自各國的專家學者對未來工作進行討論，對未來本公司執行 CCS 工作有所助益。返國後收到來自各國的電子郵件詢問目前本公司 CCS 計畫之最新發展，也使本公司 CCS 計畫得到更多來自國際的幫忙與諮詢對象，也加深國際間對我國推動 CCS 的印象。