

出國報告（出國類別：開會）

出席 CO2CRC Research Symposium 2011
國際研討會

服務機關：台灣電力公司

姓名：鄭慶鴻

職稱：核能工程監

姓名代號：064396

派赴國家：澳大利亞

出國期間：100年11月27日至100年12月03日


報告日期：101年01月11日


出國報告審核表


出國報告名稱：出席 CO2CRC Research Symposium 2011 國際研討會		
出國人姓名	職稱	服務單位
鄭慶鴻	主管核能成本	台灣電力公司電源開發處
出國期間：100年11月27日至100年12月03日		報告繳交日期：101年01月11日
出國計畫主辦機關審核意見	<input checked="" type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」) <input checked="" type="checkbox"/> 3.內容充實完備。 <input checked="" type="checkbox"/> 4.建議具參考價值 <input checked="" type="checkbox"/> 5.送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 6.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 7.退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 8.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： <input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會(說明會)，與同本進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 9.其他處理意見及方式：	
層轉機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1.同意主辦機關審核意見 <input type="checkbox"/> 全部 <input type="checkbox"/> 部分_____ (填寫審核意見編號) <input type="checkbox"/> 2.退回補正，原因：_____ <input type="checkbox"/> 3.其他處理意見：	


說明：

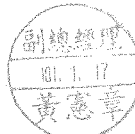
- 一、出國計畫主辦機關即層轉機關時，不需填寫「層轉機關審核意見」。
- 二、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 三、審核作業應於報告提出後二個月內完成。

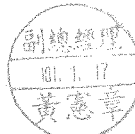
報告人：  鄭慶鴻

單位：  吳明竑

主管：  廖鴻徹

主管處：  徐永華

總經理：  黃憲章

副總經理：  黃憲章

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：出席 CO2CRC Research Symposium 2011 國際研討會

頁數 22 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司/陳德隆/(02)2366-7865

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

鄭慶鴻/台灣電力公司/電源開發處/十等四級核能工程監/(02)2366-8590

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：100 年 11 月 27 日至 100 年 12 月 03 日 出國地區：澳大利亞

報告日期：101 年 1 月 11 日

分類號/目

關鍵詞：澳大利亞溫室氣體科技研究中心(The Cooperative Research Centre for Greenhouse Gas Technologies, CO2CRC)、二氧化碳(CO2)、碳捕捉及儲存(Carbon Capture and Storage, CCS)、富氧燃燒法(Oxyfuel)、燃燒前處理(Pre-combustion)、燃燒後處理(Post-combustion)、強化採油技術(Enhanced Oil Recovery, EOR)

內容摘要：(二百至三百字)

澳大利亞溫室氣體科技研究中心(CO2CRC)於 100 年 11 月 29 日至 12

月 1 日在南澳洲 Glenelg 市(Adelaide)之 Stamford Grand Adelaide Hotel 舉辦本年度二氧化碳捕捉及封存(CCS)國際研討會，將就最新技術研究、示範、移轉及商業化計畫等議題進行研討。

CO2CRC 年度研討會所發表之論文數甚多，2011 年之工作重點為 Otway 封存示範計畫之監測結果，該計畫參與之國家及機構甚多，未來若我國加入 CO2CRC 之研究成員，可完整閱讀其研究成果，建議可作為本公司進行相關先導試驗計畫之參考。

本次研討會提到許多 CCS 計畫能否順利推展，非僅技術層面的議題，而是封存地點附近民眾之態度，故未來本公司所進行之二氧化碳封存先導試驗確認可行後，在推動 CCS 之設置前，宜參考國際間辦理地方宣導之作法，適時與地方說明。

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

目 次

壹、出國緣由	02
貳、出國行程	03
參、CO2CRC Research Symposium 研討會簡介	04
肆、心得與建議	22

壹、出國緣由

- 一、 澳大利亞溫室氣體科技研究中心(The Cooperative Research Centre for Greenhouse Gas Technologies, CO2CRC)於 100 年 11 月 29 日至 12 月 1 日在南澳洲 Glenelg 市(Adelaide)之 Stamford Grand Adelaide Hotel 舉辦本年度二氧化碳捕捉及封存(CCS)國際研討會，將就最新技術研究、示範、移轉及商業化計畫等議題進行研討。該會議限定 CO2CRC 會議或特定邀請對象參加，故我國駐澳大利亞代表處經濟組函請經濟部能源局洽邀國內相關單位踴躍參加。
- 二、 近年來澳大利亞於推動 CCS 計畫有快速進展，本項研討會探討主題包括：碳捕捉經濟性、CCS 相關政策之進展、Otway 碳儲存計畫介紹及 CCS 技術發展等，對於本公司火力發電計畫之 Carbon Capture Ready 規劃具有助益，爰擬派員出席該研討會，俾蒐集目前國際間對於 CCS 之研發及商業化目標等相關資訊。

貳、出國行程

11月27~11月28日（星期日、一）

往程（台北→澳洲雪梨→澳洲阿德雷德）

11月29日~12月1日（星期二~四）

出席 CO2CRC Research Symposium 2011 國際研討會

12月2日~12月3日（星期五、六）

返程（澳洲阿德雷德→澳洲雪梨→台北）

參、CO2CRC Research Symposium 研討會簡介

一、澳洲 CCS 計畫簡介(至 2011 年)

澳洲政府鼓勵 CCS 之研發，目前澳洲已有許多碳捕捉及封存先期研究及示範計畫(如圖 1)，澳洲政府已開始核准離岸之 CO2 封存計畫。

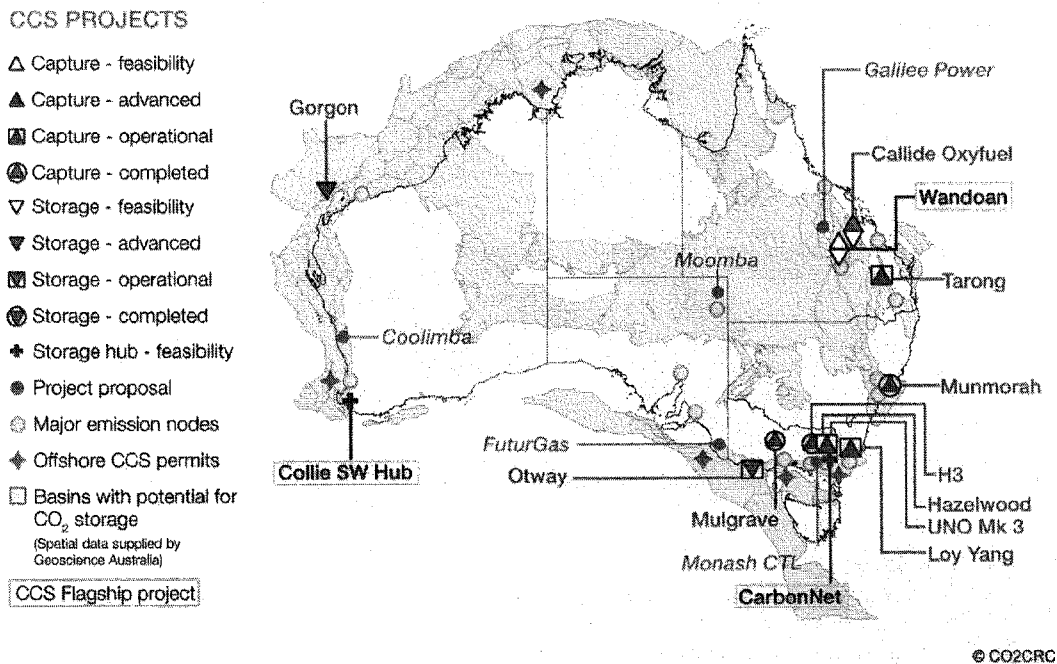


圖 1、澳洲 CCS 計畫分布圖

以下就澳洲之主要 CCS 活動進行摘要概述：

(一)碳捕捉計畫(Carbon capture)

1. 昆士蘭省之 Callide 電廠富氧燃燒示範計畫(Callide Oxyfuel Project, Queensland)：

該示範計畫是將 Callide A 電廠之 1 部 30MW 燃煤機組改建為富氧燃燒機組，2011 年完成改建，預計於 2012 年開始進行碳捕捉。下一階段之工作預計於 2012~2013 年間開始，擬以 3 年之時間將 CO₂ 注入鹽水層或廢棄油氣田。投資費用約澳幣 2.06 億元，參與者包括 CS Energy, IHI, Schlumberger, Mitsui & Co, J-Power 及 Xstrata。澳洲政府及日本政府亦有出資。

2. 西澳洲之 Coolimba 發電計畫(Coolimba Power Project, Western Australia) :

Aviva 公司提出將 400MW 燃煤機組及 360MW 燃氣機組作為 Capture ready 機組之計畫。

3. Galilee 發電計畫(Galilee Power Project) :

Galilee 電力公司擬於新設之 900MW 燃煤機組設置 CCS，並將 CO2 注入 Galilee 盆地。目前在初步可行性研究階段。

4. 維多利亞省之國際電力碳捕捉電廠(International Power Carbon Capture Plant, Victoria) :

GDF Suez 電力公司之 Hazelwood 電廠已於 2009 年開始使用燃燒後捕捉技術，並且開始以每年 CO2 灌注量約 10,000 噸之速度進行碳封存。

5. 維多利亞省之 LVPCC 計畫(Latrobe Valley Post Combustion Capture Project, Victoria) :

該計畫採用燃燒後捕捉技術，將位於 Latrobe Valley 之燃煤電廠加裝 CCS。

6. 維多利亞省之 H3 碳捕捉計畫(H3 Capture Project, Hazelwood, Victoria) :

CO2CRC 於 Hazelwood 電廠進行一系列之測試，並進行燃燒後捕捉技術採用化學吸附法及薄膜分離法之比較。

7. 維多利亞省之 Loy Yang 發電計畫(Loy Yang Project, Victoria) :

CSIRO 研究機構於 Loy Yang 電廠設置燃燒後捕捉設施，捕捉率約每年 1000 噸，將廣泛探討多種化學吸收劑之效能。

8. 維多利亞省之 Mulgrave 氣化爐碳捕捉計畫(CO2CRC/HRL Mulgrave Capture Project, Victoria) :

CO2CRC 利用 HRL 研究機構位於 Mulgrave 之研究型氣化爐，進行燃燒前捕捉之研究，以評估煤炭氣化發電廠之最經濟捕捉方式。

9. Uno Mk 3 計畫(CO2CRC Uno Mk 3 Project)：

CO2CRC 於 Hazelwood 電廠進行創新的碳酸鉀捕捉技術。

10. 新南威爾斯省之 Munmorah 燃燒後捕捉計畫(Munmorah PCC Project, New South Wales)：

以氨作為吸收劑之燃燒後捕捉研究計畫，已完成 3000 噸之 CO2 捕捉測試。

11. 昆士蘭省之 Tarong 燃燒後捕捉計畫(Tarong PCC Project, Queensland)：

2010 年完成，將以 2 年之研究時間進行 1000 噸/年之測試，採用醇胺作為吸收劑，總金額約澳幣 500 萬元。

(二)碳封存計畫(Carbon storage)

1. 維多利亞省之 Otway 計畫(CO2CRC Otway Project, Victoria)：

為目前澳洲唯一在運轉中之示範計畫，由 CO2CRC 主導。第一階段工作係將 65,000 噸之 CO2 灌入 2 公里深之廢棄氣田，已於 2008 年完成。第二階段則於 2011 年進行全球首例之單井測試，以評估鹽水層之地質封存能力。投資金額約澳幣 6,000 萬元，由 15 個公司及 7 個政府部門共同合作，參與國家來自澳洲、紐西蘭、加拿大、韓國及美國。

除技術評估之外，CO2CRC 於進行該計畫時亦辦理地方民眾溝通，與地方建立溝通管道，定期召開會議，與地主、社區團體、地方政府及管制單位共同討論計畫之執行。CO2CRC 亦提供新聞報導及網站資訊。

該計畫示意如圖 2。

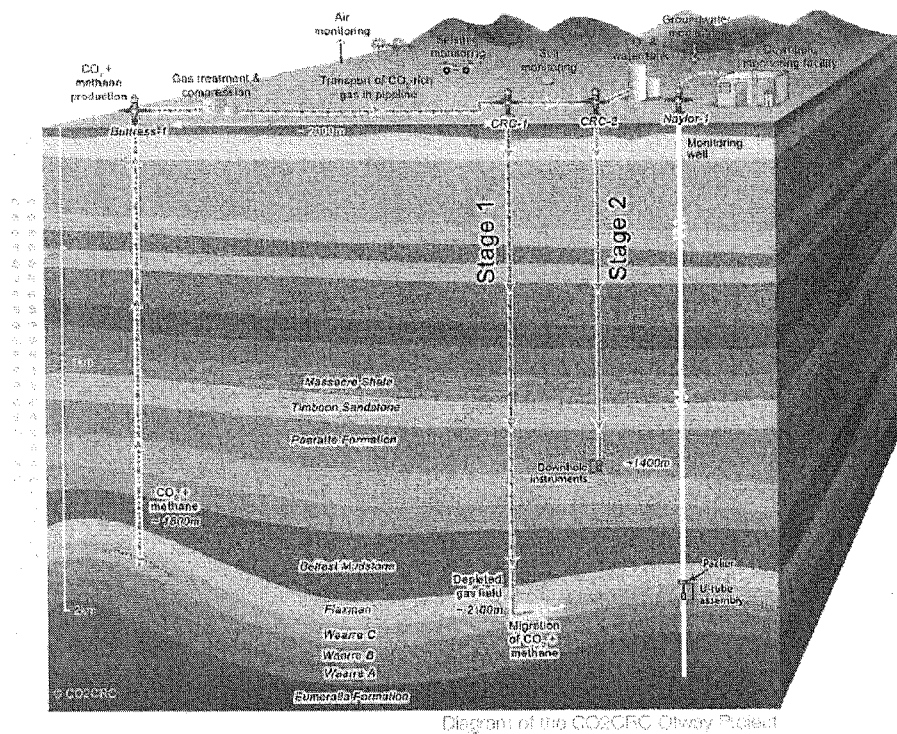


Diagram of the CO2CRC Otway Project

圖 2、Otway 計畫示意圖

2. 維多利亞省之 CarbonNet 計畫(CarbonNet Project, Victoria) :

位於 Latrobe Valley，封存目標為每年 3~5 百萬噸。CO2 來源為該區工業廢氣及燃煤電廠。

3. 西澳洲之 Collie Hub 計畫(Collie South West Hub Project, Western Australia) :

CO2 來源為西澳 Perth 市西南方之工業及電廠，最大封存目標為每年 2.4 百萬噸。

4. 西澳洲之 Gorgon 計畫(Gorgon Project, Western Australia) :

油氣公司(Chevron, Shell, Exxon Mobile 等)於 Gorgon 之天然氣生產計畫將灌注 CO2 至 Barrow 島下方 2.4 公里深處，目前正進行地質探勘工作並已獲得政府核准，其投入金額約澳幣 20 億元。

5. 昆士蘭省之 Wandoan IGCC 計畫(Wandoan Project, Queensland) :

GE 與當地煤礦公司擬投資設置 1 部 400MW 之 IGCC 電廠，並捕捉 90% 之 CO₂，碳封存地點將為 Surat 盆地。

二、CO₂CRC 簡介

CO₂CRC 全名為 Cooperative Research Centre for Greenhouse Gas Technologies，係澳洲之共同研究平台。參與研究計畫者包括研究單位及產業、政府單位。該機構之主要董監事多由各成員兼任，且以大學教授為數較多。

本次研討會該機構執行長 Richard Aldous 博士及相關董事成員於 100 年 11 月 30 日中午與我國出席研討會之代表商談共同研究之可行性。我方出席會議人員包括：行政院原能會核研所林立夫博士、邱耀平博士、台灣經濟研究院張懷文研究員、本公司綜合研究所楊明偉博士及本人，共計 5 人。

由於林立夫博士擔任我國能源國家型計畫淨煤主軸計畫主持人，過去已多次與 CO₂CRC 接觸，故雙方曾就合作架構進行討論。林博士建議我國有興趣參與之相關單位共同以 1 個名額參加 CO₂CRC 之研究會員，而 CO₂CRC 原則上亦表同意，未來擬就相關權利義務事宜進行後續行政作業。

目前 CO₂CRC 之成員如下：

(一) 研究單位：

Geoscience Australia、Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, CSIRO、Curtin University、GNS Science、Monash University、The University of Adelaide、The University of Melbourne、The University of New South Wales、The University of Western Australia。

(二) 產業及政府單位：

Anglo American、Anlec R&D、BG Group、bhp billiton、Brown Coal

Innovation Australia、BP、Chevron、Ministry of Science + Innovation、INPEX、Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources、Industry & Investment、QER、Rio Tinto、Queensland Government、SASOL、Shell、Solid Energy Coal of New Zealand、STANWELL、Schlumberger、TOTAL、Department of Primary Industries, State Government of Victoria、Department of Mines and Potroleum, Government of Western Australia、Xstrata Coal。

三、研討會議程及重點摘要內容

(一)本次研討會為澳洲 CO2CRC 研究機構之年度發表大會，會議計 3 天，其中 1 天係分為 2 組分別就碳封存(列記為 a 之主題)與碳捕捉(列記為 b 之主題)進行 CO2CRC 於 2011 年度之研究成果發表，其餘則為共同參與之研討時間。本公司出國人員主要參與碳封存部分之發表會，故有關碳捕捉部分，擬僅列出研究主題。此外，由於 CO2CRC 未提供研討會簡報內容，故本報告無法完整引用相關圖表，僅能就相關重點進行重點摘要說明。

(二)重點摘要：

1. CCS 政策的挑戰--澳洲政府的觀點(Addressing the CCS policy challenges - an Australian Government perspective)：

(1) 澳洲發電業之 CO2 排放約占全國排放量 35%，政府認為 CCS 為未來重要之減碳措施，故已投入澳幣 2,200 萬元進行相關研究。相關計畫之設定目標包括：A. 西澳洲之 Collie Hub 計畫為旗艦計畫之首；B. Gorgon 計畫於 2015 年開始 CO2 灌注；C. 完成岸上及離岸封存地點之探勘；D. 成為國際間第一個完成 CCS 計畫發展政策立法之國家。

(2) 澳洲政府之未來潔淨能源規劃(Clean Energy Future Plan)指出，若要達成政府 2050 年之減碳目標，2050 年設置 CCS 之燃煤與燃氣電廠應占總發電量之 30%。

- (3) 澳洲於 2012 年 7 月開始將徵收碳費，每噸為澳幣 23 元。
2. Collie Hub 與 Lesueur 計畫介紹(The Collie Hub and the Lesueur)：
- (1) Collie Hub 封存計畫定義為商業化之計畫，非研究型計畫，其灌注深度約 2~3 公里，可供附近產業及電廠灌注 40~1000 年，惟其實際封存量正進行調查及試驗中。
- (2) 在當地民眾接受度方面，2010 年制訂地方溝通策略，2011 年 2 月召開社區論壇，2011 年 8 月召開社區委員會，獲得民眾同意。
3. CarbonNet 計畫—維多利亞政府計畫(CarbonNet - A Victorian project)
- (1) 該計畫刻處於可行性研究階段，灌注率約 100~500 萬噸/年，可封存量約 2000 萬噸~1 億噸。
- (2) CCS 的佈建目前面臨 4 大挑戰：A.技術瓶頸；B.缺乏商業經營模式；C.缺乏明文法規管制；D.公眾接受度。
4. 對於盆地規模之地質封存潛能評估，政府該如何做才算夠好？(Basin-Scale assessment of geological carbon storage potential: how good is “good enough for government work”?)：
- (1) 由於地質封存的發展，未來沉積層盆地將逐漸成為多用途區域。
- (2) 由於業者多以特定區域之封存地點進行研究評估，政府的工作在於建立更大規模之地域性地質資料(regional or basin-scale)，進行各項探勘以評估各盆地之潛在封存量，並且整合各項相關計畫。
- (3) 政府的作為如何稱得上好？在不同時點都有不同答案，目前來說，政府主要的功能係以良善為出發點將相關資料充分揭露。

5. Gorgon 二氧化碳灌注計畫—由概念到真實(The Gorgon Carbon Dioxide Injection Project - from concept to reality) :

- (1) 該計畫於 2005 年進行環評，2008 年進行第二階段環評，於 2009 年獲審通過。鑽孔工作在 2012~2014 年間進行，約於 2014 年底完成啟用，並且於 2017 年開始進行監測。
- (2) 灌注地點為 Barrow 島下方之 Dupuy 地質層，該島為無人島，過去 40 餘年皆由 Chevron 公司所有，當地有氣田，其天然氣生產量約每日 300TJ。灌注將以 4 階段壓縮進行，管線埋設長度約 7 公里，計 9 個灌注井。
- (3) 本專題主要說明該計畫於獲得政府最後財務投資決策前，所付出之心力，包括完成相關評估，包括廢棄物處理計畫、稽核計畫及環境影響評估等。

6. Goldeneye 計畫：英國離岸廢棄氣田之二氧化碳封存計畫 (Goldeneye - CO2 storage in a UK offshore depleted gas field) :

- (1) Goldeneye 是位於蘇格蘭東北方 101 公里遠之離岸廢棄氣田，水深約 120 公尺，可儲存 2000 萬噸 CO₂。
- (2) CO₂ 將利用原有之 20 吋輸氣管路，最大灌注速率為每年 200 萬噸，預估自 2014 年起可灌注 10~15 年，注入深度約 2516 公尺。停止灌注 6 年後將完成所有監測及調查工作。
- (3) 對於碳封存計畫之時程而言，第一階段為場址篩選，約 0.5~2 年；第二階段為評估及區位選定，約需 2~11 年；第 3 階段則為設計及施工，約需 1~3 年。

7. 全球 CCS 動態(Global status of CCS)

- (1) Global CCS Institute 研究機構於 2011 年 11 月公布「全球 CCS 動態」之研究報告，統計出全球共有 74 個大型的 CCS 計畫，其中 14 個在施工或運轉中，未來 CCS 計畫應會再增加。

(2) 由於目前面臨了全球經濟停滯、缺乏碳費及缺乏政府持續穩定的支持等因素，對於興建大型 CCS 示範計畫而言，處於十分艱困的時期。徵收碳費是必須的，但並不足夠，最重要的是政府政策。

(3) 美國之碳封存傾向採用 EOR，而歐盟傾向地下鹽水層封存。

(4) 大部分的 CCS 計畫約需 12~24 個月進行決策。

8. CCS 與澳洲潔淨能源的未來 (CCS and Australia's clean energy future)

(1) 澳洲於 2012 年 7 月開始徵收澳幣 23 元/噸之碳費僅 50% 有效，對於推動 CO₂ 減量，該金額過於低廉。

(2) 澳洲 ZeroGen 計畫採用 IGCC 機組，因太過於昂貴且無法及時找到適合的封存地點，故已經取消。未來澳洲尚有部分 CCS 旗艦型計畫之經費，必須謹慎分配使用，才能在短時間內完成大型之示範計畫，使 CCS 商業化。

9. CO₂CRC 2011-2012 年之碳封存研究計畫 (CO₂CRC storage research 2011-12 - pushing the envelope)

(1) CO₂CRC 於 2011 年最主要之研究工作為 Otway 封存計畫第 2B 階段之飽和度及溶解度測試。接下來的工作為第 2C 階段之現地試驗工作，2011~2012 會計年度預算達澳幣 1190 萬元。

(2) 研究計畫範圍廣泛，自全面性的監測，至各項捕捉方式之評估，皆為 CO₂CRC 之年度研究成果。該講題將該機構之研究成果進行條列式之說明。

10. 殘餘二氧化碳固封之基礎理論 (Fundamentals of residual trapping)

(1) 當地質封存的整體受到破壞或消失時，能持續留在地層中的

CO2 才是該封存地點實際之封存量。

- (2) 殘餘 CO2 之現象即如同油田內存於孔隙之中，無法直接攫取之殘餘原油。其原理在於，孔隙中充滿 CO2 後，若有水分通過該孔隙，則水分會經由孔隙四周穿越，而位於孔隙中間之 CO2 不會被水分沖走，會永遠留在孔隙內。殘餘 CO2 之數量與岩層之相對滲透率及飽和度有關。

11. Otway 碳封存計畫第 1 階段之啟示(Lessons learned from Otway Stage 1 monitoring & verification)：

- (1) 該計畫已蒐集許多資料，但在資料分為「封存現象之監測資料」及「確認試驗結果之監測資料」，這兩種資料在外界看來並不一致。舉例來說，當監測結果認為 CO2 無洩漏之疑慮時，但往往仍有部分 CO2 會被監測到，如此難以讓人信服。
- (2) 監測與量測存有不確定性，未來在評估各種現象時，不宜只從單一數據的比較，應建立多重指標，才能解決相關之疑慮。

12. 紐西蘭 CCS 之潛能(Potential for CCS in New Zealand)：

- (1) 紐西蘭目前缺乏政策架構來鼓勵或約束企業採用 CCS，但在新發電計畫的審查過程中，該國已要求開發單位確保 Carbon capture ready，未來該國將針對政策的制訂方向進行評估。
- (2) 該講題探討新建燃煤機組與舊有燃氣機組裝設 CCS 的經濟性評估，在考量社會折現率 5%及實施碳費之情境下，該國推動 CCS 具有利基。

13. CO2CRC 之碳捕捉研究計畫(CO2CRC capture research: closures and new starts)：

- (1) 本講題針對 CO2CRC 之碳捕捉研究計畫進行條列式說明，主要為燃燒前及燃燒後捕捉，尚未納入富氧燃燒之研究。
- (2) CO2CRC 之研究受到維多利亞省政府之資金挹注。

14. 降低化學吸附法之成本與環境衝擊契機(Opportunities for cost reduction in carbon capture using solvent absorption with reduced environmental impact) :

(1) 以化學吸附法進行碳捕捉之主要成本在於設備，而廠用電的增加也將影響碳捕捉之成本。以煙煤與亞煙煤而言，每捕捉 1 公斤 CO₂ 所需之能量約 4.46MJ，褐煤約 4.3MJ，採用 IGCC 則約 3.01MJ。

(2) 如以碳酸鉀作為吸收劑，可有效降低吸收劑再生所需要的能量，也可降低吸收塔之建置成本。目前該技術仍有許多困難，惟若發展成功，可大幅降低碳捕捉之成本，使每噸 CO₂ 之捕捉成本低於美金 40 元。

15. 先進薄膜分離法之簡介(Overview of the current state of the art membrane development for carbon capture from flue gases) :

(1) 薄膜分離法已商業化數十年，然而在高壓下將氧氣與氮氣分離，以及將天然氣中的酸氣移除等技術仍待突破。

(2) 用在碳捕捉之薄膜已朝向高聚合性的無機複合式材料，可降低捕捉時的能源需求，但僅限於小規模試驗。未來朝向大規模之捕捉需要時間，同時其長期穩定性及薄膜組裝，更是大型化之關鍵議題。

16. 物理吸附流程及材料發展(Adsorption process and materials development for CO₂ capture: an overview) :

(1) 該講題簡介近 5 年之物理吸附法發展，美國能源部及歐洲目前正積極發展新的材料，以降低碳捕捉之成本。

17. 美國碳捕捉計畫之簡介 (An overview of CO₂ capture developments in the United States) :

(1) 美國能源部近來已將焦點由 CCS 改為 CCUS，其中 U 代表

utilization，希望將 CCS 與其他事業共同結合，產生綜效。

- (2) EOR 是 CCS 發展的重要關鍵，目前 EOR 成本已達美金 40 元/噸 CO₂，然而國家對 CCS 的承諾及相關立法不會太快發生。
- (3) 運用於大型電廠之示範計畫前途艱辛，即使受到能源部的資金挹注，由於 CCS 計畫費時又昂貴，執行充滿變數。例如：FutureGen 計畫受到許多質疑；美國電力公司(AEP)在 Mountaineer 電廠之示範計畫已停止；加州氫能計畫(HECA)已暫停。
- (4) 目前新提出之計畫包括 Kemper County 之 IGCC 與 EOR 計畫、及其他非發電類型之 CCS 計畫。
- (5) 美國能源部及國家能源技術實驗室(NETL)將 2020 年定為第 1 代技術可商業化部署之目標年，未來第 2 代技術之商業化目標年則訂為 2030 年，包括燃燒後捕捉及富氧燃燒，捕捉率為 90%，屆時 CO₂ 壓縮、運輸及儲存之成本將低於發電成本之 35%，至於燃燒前捕捉，其捕捉成本將低於發電成本之 10%。
- (6) 美國電力研究院(EPRI)是美國碳捕捉之權威，著重於燃燒後捕捉，近來由 B&W/URS 合作之研究結論指出，富氧燃燒在成本上可與其他捕捉方式競爭。
- (7) 電力業之示範計畫皆使用化學吸收劑，主要研究目標在於降低廠用電需求。

18. Otway 計畫第 2B 階段飽和試驗(Stage 2B residual gas saturation test)：

- (1) 該試驗包括 A. Hydraulic pressure test；B. Noble gas and organic tracer test；C. Thermal diffusivity test；D. Reservoir saturation tool test；E. Dissolution test 等 5 種獨立之試驗。

(2) 自 2011 年 6 月~9 月間之 11 週連續進行試驗，其取得的試驗資料將作為後續地質封存評估之重要參考資料，也能為國際間的碳封存計畫提供指標性的意義。

19. Otway 計畫第 2B 階段之營運(Stage 2B operations)：

- (1) 2B 階段的試驗時程延遲了 1.5 個月，但費用並未超支。
- (2) CO2CRC 針對該試驗之營運經驗，撰寫完成「Lessons Learned Report」之報告，未來將作為進行後續試驗之參考。

20. Otway 計畫第 2 階段單井測試評估之技術及管制(The technical, scientific, and regulatory basis for a single-well appraisal of proposed carbon sequestration sites - context for the Otway Stage 2 research program)：

- (1) 包括 Nagoaka 計畫、Frio Brine 計畫、Otway 第一階段計畫及 CO2SINK 等碳封存示範計畫中，每個灌注井都會設置 1 個或數個觀測井，而觀測井所測之資料通常可用來推估 CO2 的移動及相關地質資料。然而，目前沒有 CCS 監測的相關管制法規，商業規模之計畫如 Sleipner, Snohvit 與 In Salah 等封存計畫，主要仰賴遠端感測技術來展示封存場址之反應。
- (2) Otway 第 2 階段之研究是採單井測試方式，而目前初步資料分析結果，或可藉由數據之分析來減低計畫監測之風險，並且符合未來可能的管制需求。

21. 國家地質封存實驗室簡介(The National Geosequestration Laboratory)：

- (1) 澳洲政府透過教育投資基金來資助 CCS 旗艦計畫之金額約澳幣 1 億元，其中位於西澳的 Collie Hub 示範計畫是由許多研究機構共同投入，為提供整體性研究成果，教育投資基金董事會已同意設立國家地質封存實驗室(NGL)。

(2) NGL 首要之任務在於提供研究與教育的服務，而所發展出之技術將引用至澳洲其他旗艦型計畫與國際間商業規模之 CCS 計畫。

(3) 相關資金將於 2012 年開始挹注，預計於 2012 年第 4 季開始設施的營運，全部試驗計畫完成之時程預估為 2014 年第 2 季。

22. 整合地熱及碳封存之潛能(The potential of combined geologic carbon sequestration and geothermal heat extraction)：

(1) 在進行碳封存的同時，若能抽取地熱進行熱整合(GCE/GHE)，將可減低 CCS 對效率的折減程度，也可降低 CCS 之成本。

(2) 通常地熱發電的工作流體為水，若與碳封存整合，則工作流體將變成超臨界狀態之 CO₂。CO₂ 作為工作流體具有較低的黏滯性，相關設施所需體積較小，設備投資金額較低，可壓縮性及延展性較低，比熱較低，地熱抽取速率較水高出 50%。

(3) 美國能源部近來資助 GCE/GHE 計畫，地點為 Mississippi 之 Cranfield，深度約 3.1 公里，地層溫度為攝氏 125 度，其研究標的包括 A. 大規模設置情形下，在地質空間使用及環境風險層面之可行性；B. 估算均化發電成本；C. 現地試驗之設計及設置。

23. 不透水岩層及斷層對於固封 CO₂ 之角色(Containment of CO₂ in CCS: role of caprocks and faults)：

(1) CO₂ 固封最主要的元素為鹽水層上方之不透水岩層，以及該岩層中的任何斷層或裂縫。不透水岩層能否抵抗底部的 CO₂ 柱所產生之毛細管擴散現象，稱為固封能力，可由經驗方法得出。

(2) 不透水岩層同時也應有充分的厚度及橫向覆蓋程度，以確保

大量的 CO₂ 可被固封於其下方。該項特徵可藉由先期調查而得。

- (3) 不透水岩層的力學特性也影響其固封能力。通常局部的力學場能使不透水岩層保持穩定，但在灌注 CO₂ 之後，力學場可能因而改變而導致不透水岩層破裂，進而產生斷層或裂縫，影響固封能力。斷層所造成的效果可能是固封，也可能是 CO₂ 洩漏的通道，其角色端視斷層的走向而定。

24. 電廠設置 CCS 的商業潛力 (Commercial opportunities for deploying CCS at power plants) :

- (1) 該研究針對既有燃煤電廠之減碳措施進行均化發電成本的分析，其項目包括：改建為新機組及 CCS、僅加裝燃燒後捕捉 CCS、僅改裝為富氧燃燒 CCS、改燃氣、改燃氣並加裝 CCS 等。目前澳幣 23 元之碳費過低，恐不足以反應 CCS 之成本。
- (2) 該研究提出「彈性捕捉(Flexible capture)」之觀念，認為可利用系統供電能力及尖峰負載之間的剩餘電力來進行碳捕捉，不但可提升設備利用率，也不必擔心碳捕捉所需要的額外電力。
- (3) CO₂CRC、美國 EPRI(Electric Power Research Institute)與澳洲 ATSE(Australian Academy of Technological Sciences and Engineering)對於各種能源發電成本之分析如圖 3 及圖 4。

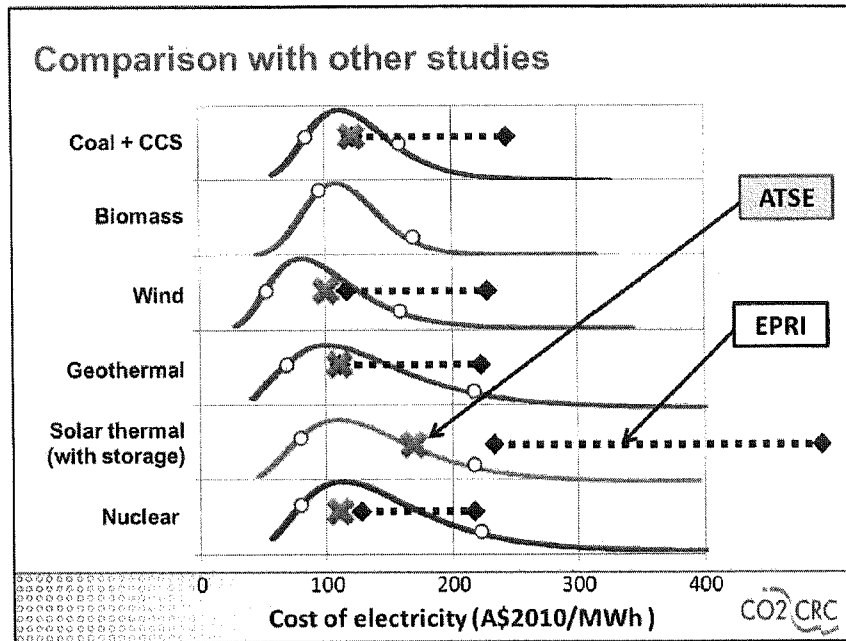


圖 3、發電成本比較-1

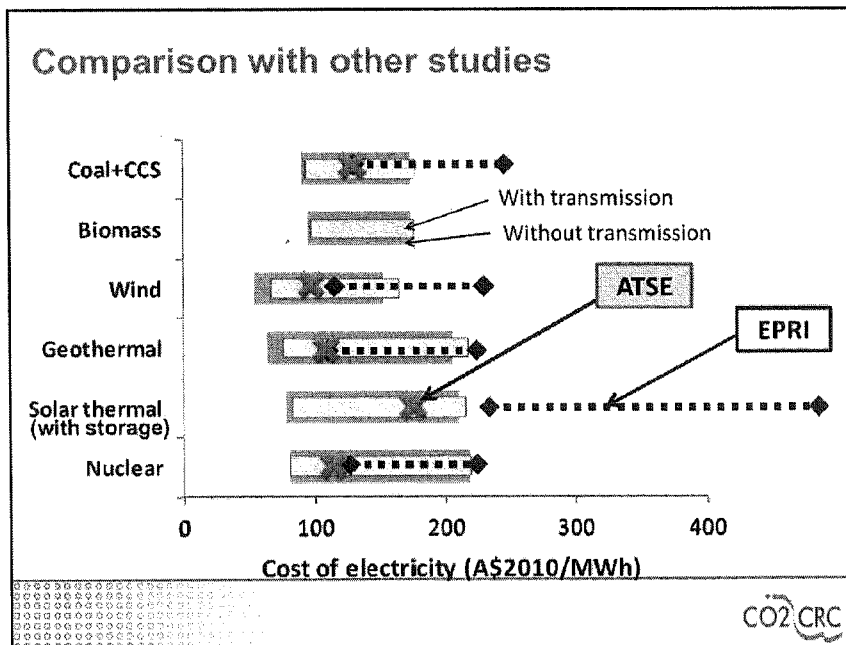


圖 4、發電成本比較-2

25. 結合 CCS 將褐煤轉換合成氣之氫能供應鏈(Hydrogen energy supply chain based on syngas derived from brown coal linked with CCS) :

(1) 日本川崎重工為因應日本政府承諾之減碳目標(2050 年減量

80%)，於 2010 年 4 月 27 日之中程經營計畫提出「氫能供應鏈」之投資計畫構想。擬利用位於澳洲南部之維多利亞省產出之褐煤於當地轉換為合成氣，再轉為氫氣，並將液化後之氫利用當地 Gippsland 港，以船舶運送回日本使用，而轉換過程所產生的 CO₂ 則於澳洲進行封存，運送液態氫之船亦使用氫能作為動力。如此一來，日本即可使用潔淨之氫能，且無需於日本當地尋找碳封存地點。

(2) 目前川崎重工已完成初步可行性研究，預計於 2013 年完成設計，2017 年完成先導運轉(pilot operation)，2025 年完成示範運轉(Demo operation)，於 2030 年開始展開商業化之供應鏈。

(3) 初步規劃澳洲端之氫氣儲存槽計 5 座，每座容量 5 萬立方公尺，氫能液化設施之能力為每天 700 噸。

(4) 氫之價格約日圓 60 元/Nm³，其中 30 元為 CIF 價格，30 元為日本國內配送費用。

26. 如何、何時、在哪裡進行大量 CO₂ 減量？(Making deep cuts in CO₂ emissions: how, where and when)：

(1) 講者主要強調 CCS 對於 CO₂ 減量之重要性，雖然目前當處於示範階段，尚無商業化封存之計畫，但現下政府必須制訂合理且具有誘因之政策，才能使得 CCS 早日實現。

(2) CCS 面臨到許多挑戰，外界觀感認為風險過高，但唯有 CCS 才能讓化石燃料繼續成為人類能源的來源。

(3) 以 Otway 計畫附近民眾為例，2006 年聽過 CCS 的人約 32%，2011 年時成長為 69%。在經過大力宣導及社區說明之後，當地民眾對 CCS 無疑慮者約 43%，51%仍存有疑慮，主要擔心的是 CO₂ 的逸散和安全議題，以及當地農業之損失。經由該計畫之經驗，建議未來在進行任何 CCS 計畫時，都應提早向

民眾溝通宣導，才能讓 CCS 計畫順利推動。

27. 氣候變遷、全球能源使用趨勢及 CCS 的角色(Climature change, emerging trends in global energy use and the role of CCS) :

- (1) 依據 IEA 2011 年之世界能源展望報告，未來天然氣發電將成為世界能源重要的一環。除了排碳強度較低之外，頁岩天然氣及煤層氣等非傳統天然氣的分布及蘊藏量已與傳統天然氣相當，更是天然氣發電蓬勃發展的原因。
- (2) 即便如此，天然氣發電占比的提升仍無法使得大氣中 CO₂ 濃度限制在 450ppm 以下，也就是限制溫升在攝氏 2 度以下。未來可能的情境是 650ppm 及攝氏 3.5 度的溫升。於是未來 CCS 對減碳而言更顯重要，燃氣機組裝設 CCS 亦為不可避免的趨勢。

肆、心得與建議

- 一、CO2CRC 年度研討會所發表之論文數甚多，2011 年之工作重點為 Otway 封存示範計畫之監測結果，該計畫參與之國家及機構甚多，未來若我國加入 CO2CRC 之研究成員，可完整閱讀其研究成果，建議可作為本公司進行相關先導試驗計畫之參考。
- 二、本次研討會提到許多 CCS 計畫能否順利推展，非僅技術層面的議題，而是封存地點附近民眾之態度，故未來本公司所進行之二氧化碳封存先導試驗確認可行後，在推動 CCS 之設置前，宜參考國際間辦理地方宣導之作法，適時與地方說明。