



赴澳洲考察 CCS 與褐煤產氫技術出國報告

行政院及所屬各機關出國報告
(出國類別：考察)

赴澳洲考察 CCS 與褐煤產氫技術
出國報告

經濟部能源局

服務機關：經濟部能源局
姓名職稱：陳世南 科長
出國地區：澳洲(布里斯班、墨爾本)
出國期間：105年10月22日至10月30日
報告日期：105年12月16日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：赴澳洲考察CCS與褐煤產氫技術出國報告

頁數 113 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

經濟部能源局/陳世南/(02)27757789

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

陳世南/經濟部能源局/能源技術組/科長/02-27757789

出國類別：1考察2進修3研究4實習5其他

出國期間：105年10月22日~10月30日

報告期間：105年12月16日

出國地區：澳洲(布里斯班、墨爾本)

關鍵詞：二氧化碳捕獲與封存、褐煤、CSIRO、GCCSI、氣化、液態氫

目 錄

	頁次
一、內容摘要.....	1
(一)出國目的.....	1
(二)其他相關參加人員.....	1
(三)行程記要.....	1
二、參訪內容.....	3
(一)背景介紹.....	3
(二)CSIRO(Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization).....	4
(三)全球碳捕存研究院(GCCSI).....	13
(四)蒙納許大學(MONASH University).....	16
(五)墨爾本大學(Melbourne University).....	23
(六)維多利亞州政府之經濟發展、就業、運輸與資源部.....	29
(七)Otway Project.....	38
三、心得及感想.....	47
四、建議.....	50
五、附件.....	52

圖目錄

	頁次
圖 1、航程圖.....	2
圖 2、CSIRO 組織人力與單位分布.....	5
圖 3、CSIRO 在能源領域之發展架構.....	6
圖 4、氣化技術實驗廠與環境科學暨工程實驗室.....	6
圖 5、與 CSIRO 參加人員合影.....	6
圖 6、澳洲現有之 CCS 計畫.....	7
圖 7、CSIRO 之電廠碳捕獲(PCC)計畫.....	8
圖 8、CSIRO 之電廠碳捕獲(PCC)先導試驗廠里程碑.....	9
圖 9、CSIRO 氣化技術研究領域.....	11
圖 10、CSIRO 挾帶床氣化爐.....	11
圖 11、CSIRO 氣化實驗場，左圖為挾帶床氣化爐右圖固定床氣化爐.....	12
圖 12、金屬薄膜分離氫氣特性.....	12
圖 13、支撐型 Pd 薄膜與層狀 V 薄膜之比較.....	13
圖 14、到 2022 年大型 CCS 計畫之減量貢獻.....	15
圖 15、IEA 2DS 情境模擬 2040 年需要 CCS 減量之目標.....	15
圖 16、到 2022 年大型 CCS 計畫之區域分布與進展狀況.....	16
圖 17、到 2022 年大型 CCS 計畫之應用分布與注儲之方式.....	16
圖 18、褐煤岩石學介紹.....	17
圖 19、不同除水技術與其產物外觀.....	18
圖 20、可運用於冶金還原鐵礦石之焦炭狀材料與高吸附性活性炭材料.....	18
圖 21、多孔氧化鋯基金屬有機框架(MOF)材料.....	18
圖 22、實驗室參訪.....	19
圖 23、實驗設備與分析儀器.....	19
圖 24、與 Professor Alan Chaffee 合影.....	20
圖 25、3GDeep 之研究方針.....	20
圖 26、碳封存觀測及化肥實驗.....	21

圖 27、不同開採技術資料.....	21
圖 28、研究設施規模.....	22
圖 29、與 Professor Ranjith Pathegama Gamage 合影.....	23
圖 30、Peter Cook Centre for CCS Research 組織圖.....	24
圖 31、液態樣品分析區與氣態樣品分析區.....	24
圖 32、熱重分析儀與晶相分析儀器.....	24
圖 33、CO2CRC Pilot Plant 控制伺服器與實驗設施.....	25
圖 34、固定床微型催化反應器.....	26
圖 35、高壓高溫可調配不同氣體組成之反應器.....	26
圖 36、示範規模吸附試驗設備(4-bed PVSA)	27
圖 37、示範規模吸附試驗設備(2-bed TPVSA, GSR2).....	28
圖 38、自研發之二氧化碳吸附劑.....	28
圖 39、與 Professor Paul Weble 及 Dr. Penny Xiao 合影.....	29
圖 40、與維州政府人員會後合影.....	30
圖 41、CarbonNet 計畫最佳注儲場址篩選流程.....	31
圖 42、CarbonNet 計畫選出之 Gippsland Basin 為最佳區域.....	32
圖 43、CarbonNet 計畫 GipNet 環境基線監測點.....	33
圖 44、維州褐煤蘊藏區域.....	34
圖 45、日本與澳洲技術連結概念規劃.....	36
圖 46、液態氫生產與輸運時程規劃.....	37
圖 47、液態氫生產位置圖.....	37
圖 48、液態氫運輸與儲存設計規劃.....	38
圖 49、液態氫生產成本估算.....	38
圖 50、CO2CRC Otway 簡報.....	39
圖 51、Otway Project 廠址與廠區分配圖.....	39
圖 52、CO2CRC 戰略規劃(捕獲與封存).....	40
圖 53、Otway Project 目標.....	41
圖 54、Buttress-1 廠區.....	42
圖 55、生產井與壓縮房.....	42
圖 56、薄膜及吸附劑捕獲測試站.....	42
圖 57、CRC-2 注入井廠區與提供震動之設備.....	43

圖 58、CRC-2 輸送管線.....	43
圖 59、CO ₂ 加熱裝置與儲水裝置.....	43
圖 60、注入井與監控室.....	44
圖 61、4D 震測監控技術.....	44
圖 62、模擬移棲行為.....	44
圖 63、第三階段規劃.....	45
圖 64、計畫亮點與合作夥伴.....	46
圖 65、現場宣傳文宣與場址旁牧場.....	46
圖 66、與 Shelly Murrell 女士合影.....	46

表目錄

	頁次
表 1、澳洲參訪行程規劃.....	2
表 2、澳洲境內試驗廠之比較.....	10

附件目錄

	頁次
附件 1、參訪 CSIRO 議程.....	2
附件 2、CSIRO 簡報資料.....	53
附件 3、工研院徐副組長簡報資料.....	72
附件 4、參訪維多利亞州政府議程.....	82
附件 5、維多利亞州政府簡報資料.....	83
附件 6、CO2CRC 簡報資料.....	95

一、內容摘要

(一)出國目的

- 1、瞭解澳洲推動 CCS 技術之具體規劃與作法，觀摩大型 CCS 示範計畫之發展與推動現況，並針對未來可能之國際合作進行洽談。
- 2、了解澳洲對於日本規劃以褐煤生產液態氫氣合作之進展，未來臺灣參與之可行方式。

(二)其他相關參加人員

- 1、財團法人工業技術研究院綠能與環境研究所資源應用技術組徐恆文副組長
- 2、行政院原子能委員會核能研究所簡綉雲研究助理

(三)行程記要

本次出國期間係自民國 105 年 10 月 22 日至 10 月 30 日止，共計 9 日，其航程圖如圖 1 所示。出國期間共計參訪澳大利亞聯邦科學與工業研究組織 (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, CSIRO)、全球碳捕獲與封存研究院(Global Carbon Capture and Storage Institute, GCCSI)總部、澳洲蒙納許 (Monash)大學碳捕獲與封存技術、墨爾本(Melbourne)大學碳捕獲技術，並拜會維多利亞州經濟發展、就業、運輸與資源部(CarbonNet 與褐煤計畫)3 位官員，以及前往 Otway 二氧化碳地質封存示範計畫觀摩等，行程規劃如表 1 所示，行程記要說明如下：



圖 1 航程圖 (底圖取自 <https://maps.google.com.tw/>)

表 1 澳洲參訪行程規劃

日期	時間	活動	地點/場地	住宿地	聯絡人/單位
10月22日(週六)	23:00 - 9:50	搭乘長榮航空 BR315 前往布里斯班	BR315 航班	-	長榮航空
10月23日(週日)	09:50	抵達布里斯班	布里斯班		
10月24日(週一)	09:30 - 13:00	CSIRO 碳捕獲與封存技術討論	CSIRO, Queensland Centre for Advanced Technologies(QCAT), 1 Technology Court Pullenvale QLD 4069	布里斯班	Dr. Shi SU
10月25日(週二)	9:00 - 12:25	自布里斯班搭機前往墨爾本	QF613航班	墨爾本	澳航
	14:00 - 16:00	全球碳捕獲與封存研究院 GCCSI 總部拜訪	GCCSI, Level 6, 707 Collins Street, Melbourne		Dr. Tony Zhang
10月26日(週三)	10:00 - 11:30	澳洲國立蒙納許大學碳捕獲技術參訪	Wellington Road, Clayton		Prof. Alan Chaffee
	11:30 - 13:00	澳洲國立蒙納許大學地質封存技術參訪	Wellington Road, Clayton		Prof. Ranjith Pathegama Gamage
	15:00 - 17:00	墨爾本大學碳捕獲技術參訪	Grattan Street, Parkville		Prof. Paul Webley
10月27日(週四)	10:30 - 12:30	維多利亞省經濟發展、就業、運輸與資源部參訪(CarbonNet與褐煤計畫)	1 Spring Street, Melbourne		• Mr Ian Filby, • John Krbaleski, • Jane Burton
10月28日(週五)	9:00 - 22:00	Otway 二氧化碳地質封存示範計畫觀摩	地面運輸 / Otway site		Roy Anderson
10月29日(週六)	17:10-18:20	自墨爾本搭機前往布里斯班	QF628航班	布里斯班	澳航
10月30日(週日)	11:45 - 18:45	搭乘長榮航空 BR316 返回台北	BR316航班	-	長榮航空

二、參訪內容

(一)背景介紹

我國約 **98%**能源係依賴進口，且大部分仰賴煤炭、天然氣及石油等化石燃料，目前能源價格雖因產油國間之市場競爭與經濟成長趨緩等多重因素，而呈現大幅下跌；惟全球化石燃料資源將日漸枯竭，未來仍將呈現長期上漲趨勢。我國 **2015** 年火力電廠二氧化碳排放量，約佔我國總排放量之 **66%**，其中以燃煤電廠為首要排放源；另工業部門二氧化碳總排放量約佔全國總排放量之 **16.06%**，以水泥、石化與鋼鐵業等排放源為主。因此，**CO₂** 如何減量，已成國際間亟需嚴肅積極面對之課題。

我國 **104** 年 **7** 月 **1** 日公布「溫室氣體減量及管理法」，已明定國家溫室氣體長期減量目標，應降為 **2005** 年之 **50%** 以下。

依國際能源總署(International Energy Agency, IEA)2015 年對能源技術之減碳貢獻分析，以單一技術來看，**CCS** 為未來最具減碳潛力之技術，佔 **CO₂** 減量貢獻 **13%**，已是目前國際間公認技術可行性最高、最接近實用與產業化之二氧化碳排放減量技術，亦是目前國際間推行綠色新政之重要指標技術。在再生能源裝置容量有其限度之情境下，持續使用化石能源仍有其必要性，為能持續使用相對低價之煤炭，又同時降低我國之電力排放係數，**CCS** 技術為永續化石能源潔淨使用之最佳解決方案。

我國在能源國家型計畫及本局積極推動下，對於 **CCS** 發展已有相當進展。特別在二氧化碳捕獲技術方面，已在國際間嶄露頭角，目前發展較具成效者，主要技術說明如下：

- 1、鈣迴路(Calcium Looping)捕獲技術，首先與水泥產業結合，建立全球最具規模之 **1.9MWt** 先導試驗廠，並籌組產業聯盟，將攜手促成下一代 **30MWt** 級鈣迴路捕獲示範系統之建置。
- 2、胺基(Amine Base)化學吸收法，除已建立小型試驗廠外，正朝向放大產業示範進行規劃。

3、化學迴路(Chemical Looping)技術，兼具高效率能源與低成本 CO₂ 捕獲之特性，已建立 30KW 試驗廠，正朝固態燃料與產氫製程，以及放大產業示範進行規劃。

澳洲因有豐富之煤炭資源，為有效減緩燃煤所造成之 CO₂ 排放，致力於二氧化碳捕獲與封存技術之開發。本次參訪單位皆為澳洲 CCS 領域具有相當代表性者，其中 CSIRO 在化學吸收法捕獲技術與氣化技術，墨爾本大學 Paul Webley 教授之吸附法捕獲技術，以及 Otway 封存測試平台，皆屬我們應當學習與後續合作之對象與議題。澳洲 GCCSI 是政府與業界、學界間密切合作之窗口，對國際 CCS 資訊與技術合作交流扮演重要之角色。澳洲褐煤蘊藏量極為豐富且低廉，日本規劃以褐煤生產液態氫氣技術與澳洲進行合作，藉此考察及參訪機會，儲了解雙方合作之進展外，希能提供未來臺灣參與之可行性建議。

(二)澳大利亞聯邦科學與工業研究組織(Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, CSIRO)

CSIRO 係澳大利亞聯邦最大的國家級科技研究機構，經由科學研究與發展，為澳大利亞聯邦提供新的科學途徑，以造福澳大利亞社會，提高經濟與社會效益。CSIRO 總部設於澳洲首都特區坎培拉市，轄下研究站超過 50 座。

此行參訪位於昆士蘭市之先進技術中心(Queensland Centre for Advanced Technologies, QCAT)，在蘇適博士(Dr. Shi. Su)熱切地接待下，開啟今天之參訪行程(詳如附件 1)，首先由雙方自我介紹，CSIRO 除蘇博士外，另有 Dr. Lincoln Paterson, CSIRO Fellow；Dr. Daniel Roberts, Research Group Leader；Dr. Ashleigh Cousins, Research Team Leader；Dr. Jon Yin, Research Scientist 等人。

接著由蘇博士介紹，CSIRO 為澳洲最大之研究組織，相當於我國之工業技術研究院，員工約 5,500 人，分布於 58 個地點，每年經費約 10 億澳幣，約合新臺幣 245 億元，如圖 2。研究領域包含健康與生物安全、能源、遙測、製造、礦物資源、農業與食物、土地與水、海洋與大氣

等。與我們相關之能源領域則有油與氣、煤礦、潔淨能源、碳捕獲與封存(CCS)、燃料與其產品、電網與能源效率等，如圖 3 所示。

本次參訪主要以 CCS 與氣化技術為主，因此蘇博士特別安排由 Dr. Lincoln Paterson(位於墨爾本)以視訊方式介紹封存技術之發展，接著由 Dr. Daniel Roberts 介紹氣化與產氫技術之發展，再由 Dr. Ashleigh Cousins 介紹二氧化碳捕獲技術之發展(詳如附件 2)，最後由工研院徐恆文副組長代表介紹我國 CCS 之發展(詳如附件 3)。會後並參觀氣化技術實驗廠與環境科學暨工程實驗室，如圖 4 所示，完成實驗室參觀再回到會議室討論後，結束今天行程，會後一同留影，如圖 5 所示。將就本次參訪 CSIRO 之封存、捕獲與氣化技術，分別就其內容概述如下：

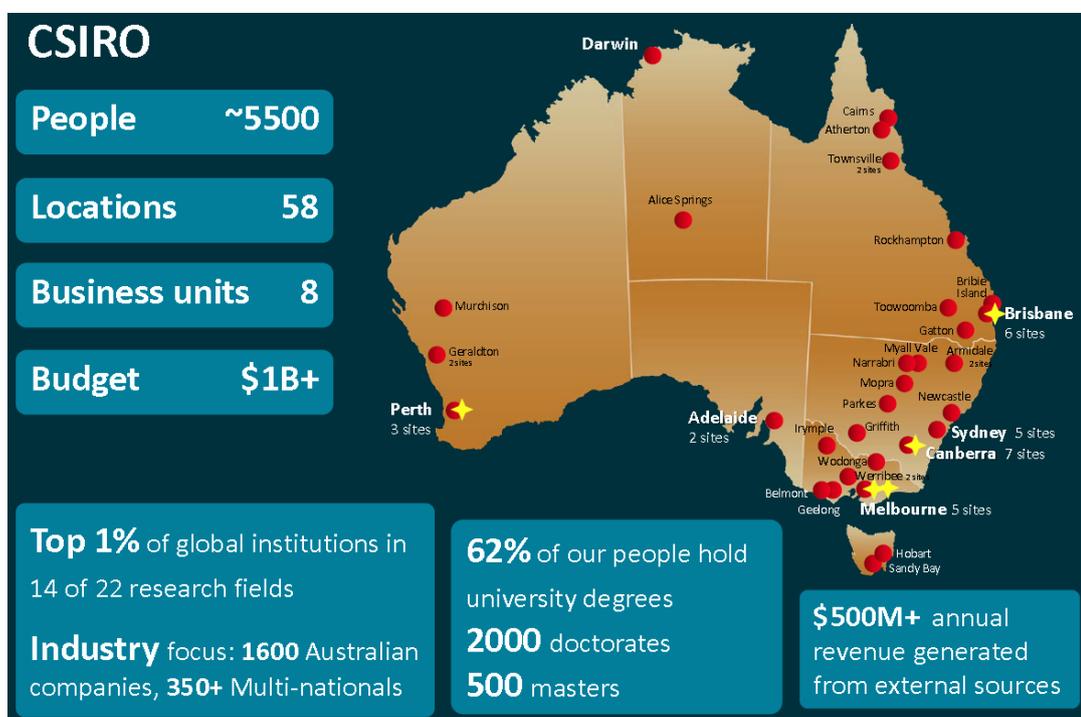


圖 2 CSIRO 組織人力與單位分布

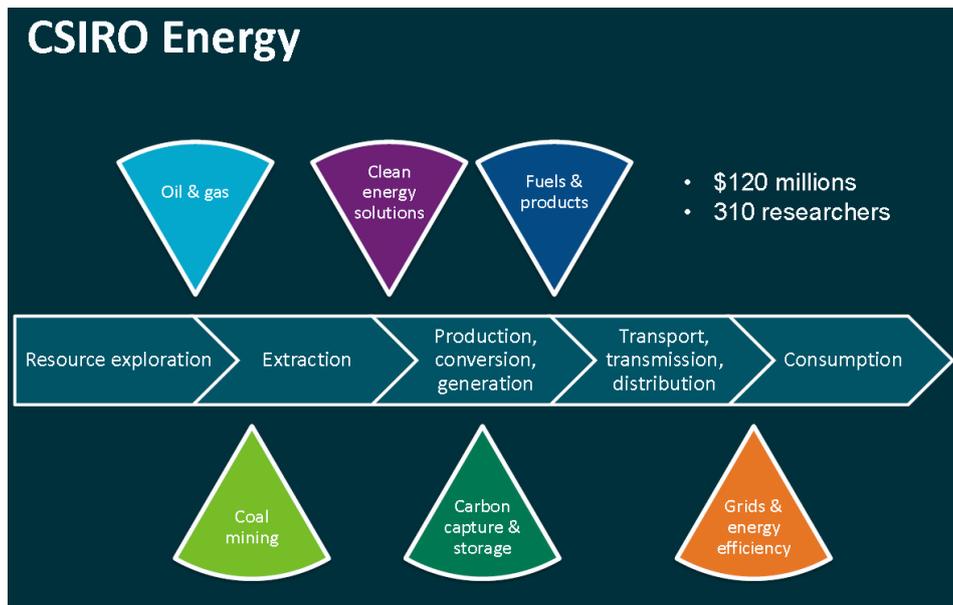


圖 3 CSIRO 在能源領域之發展架構

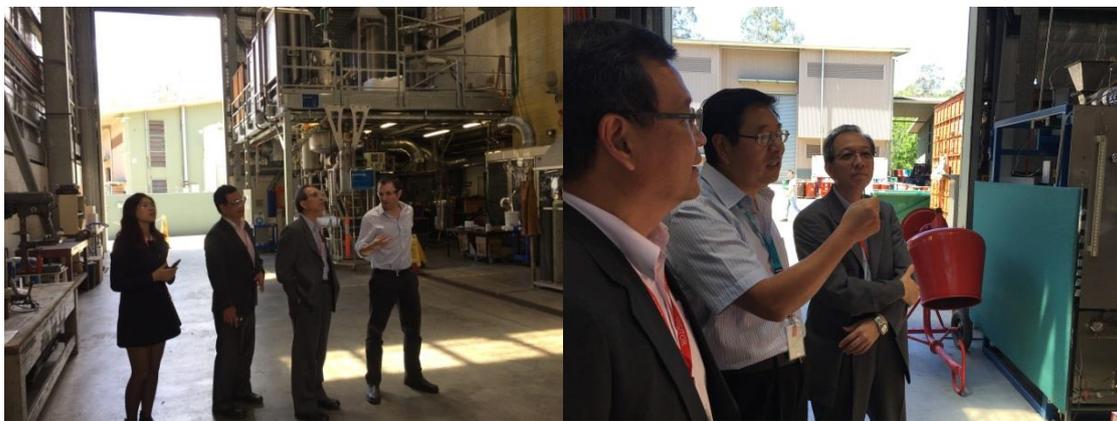


圖 4 氣化技術實驗廠與環境科學暨工程實驗室



圖 5 與 CSIRO 參加人員合影

1、封存技術

澳洲現有之 CCS 計畫如圖 6 所示，其中 CSIRO 參與封存計畫主要有 South West Hub、CarbonNet 和 Surat Basin 等場址評估工作，且是澳洲 CO2CRC 與國家地質封存實驗室 (National Geosequestration Laboratory-NGL) 之核心夥伴。CSIRO 封存技術主要參與工作，計有被注入 CO₂ 團塊之注入模擬，監測確認被注入 CO₂ 之安全性，對於有潛力之封存場址鄰近地下水之移動式檢測，以及國際合作參與。

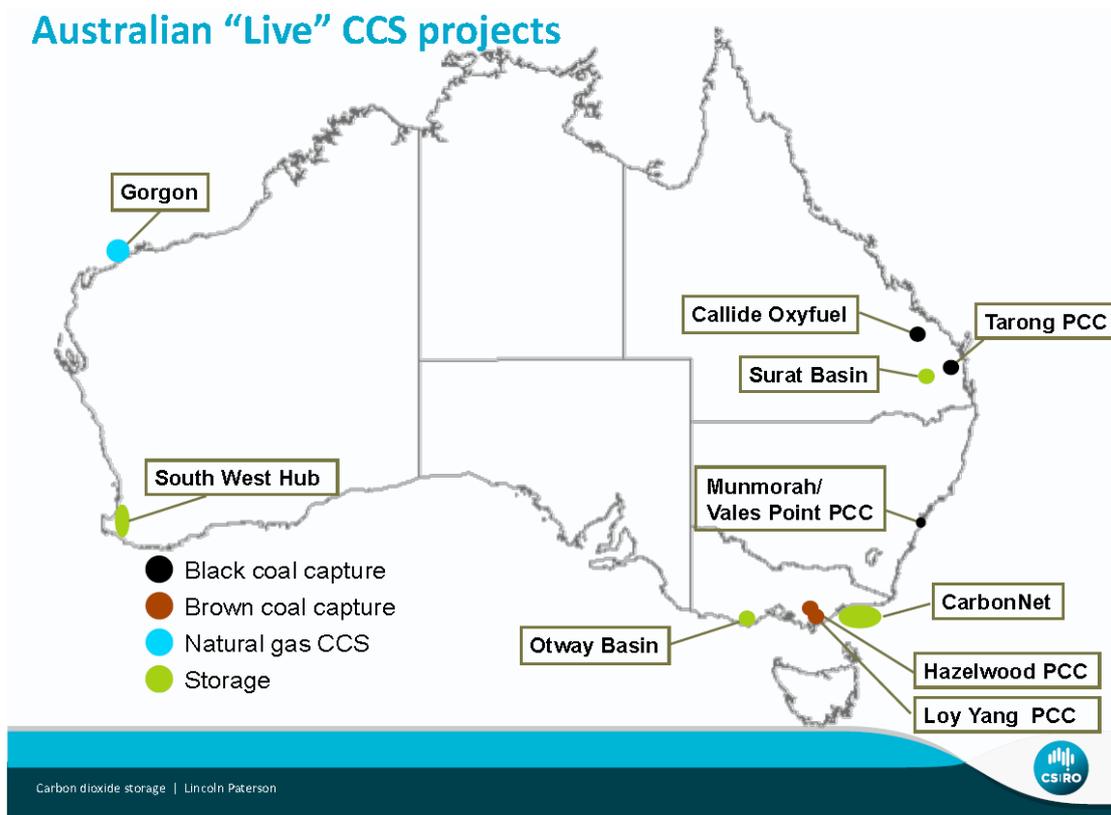


圖6 澳洲現有之CCS計畫

2、捕獲技術

CSIRO 在捕獲技術之發展如圖 7 所示，包括先導試驗廠與研究發展，核心技術有化學吸收法、固體吸附法與薄膜等，以及結合太陽熱能之再生程序、同時去除 SO₂ 與 CO₂ 等新製程開發，並重視化學吸收劑之分解與排放造成環境傷害等研究，明顯較封存技術有成就。

CSIRO 早於 2008 年在維州之 Loy Yang 電廠，即建立每小時捕獲 50kg CO₂ 之化學吸收法之捕獲試驗廠，並將其技術至中國大陸華能集團位於北京與長春之電廠進行先導試驗廠測試，圖 8 為 CSIRO 先導試驗廠發展里程碑。CSIRO 之捕獲技術以化學吸收法最具實力，包括醇胺、氨水等化學吸收法，位於澳洲境內試驗廠比較(如表 2)。近年來亦發展蜂巢型之單一碳纖維組成之固體吸附劑，並於新南威爾州之 Vales Point 電廠，建立先導試驗廠進行實廠測試，超過 200 次之測試結果顯示其捕獲效率可達 98% 以上，脫附效率亦達 90~95%，並可同時去除 SO₂ 與 NO_x 等污染物，可做為醇胺吸收法之前處理設備。

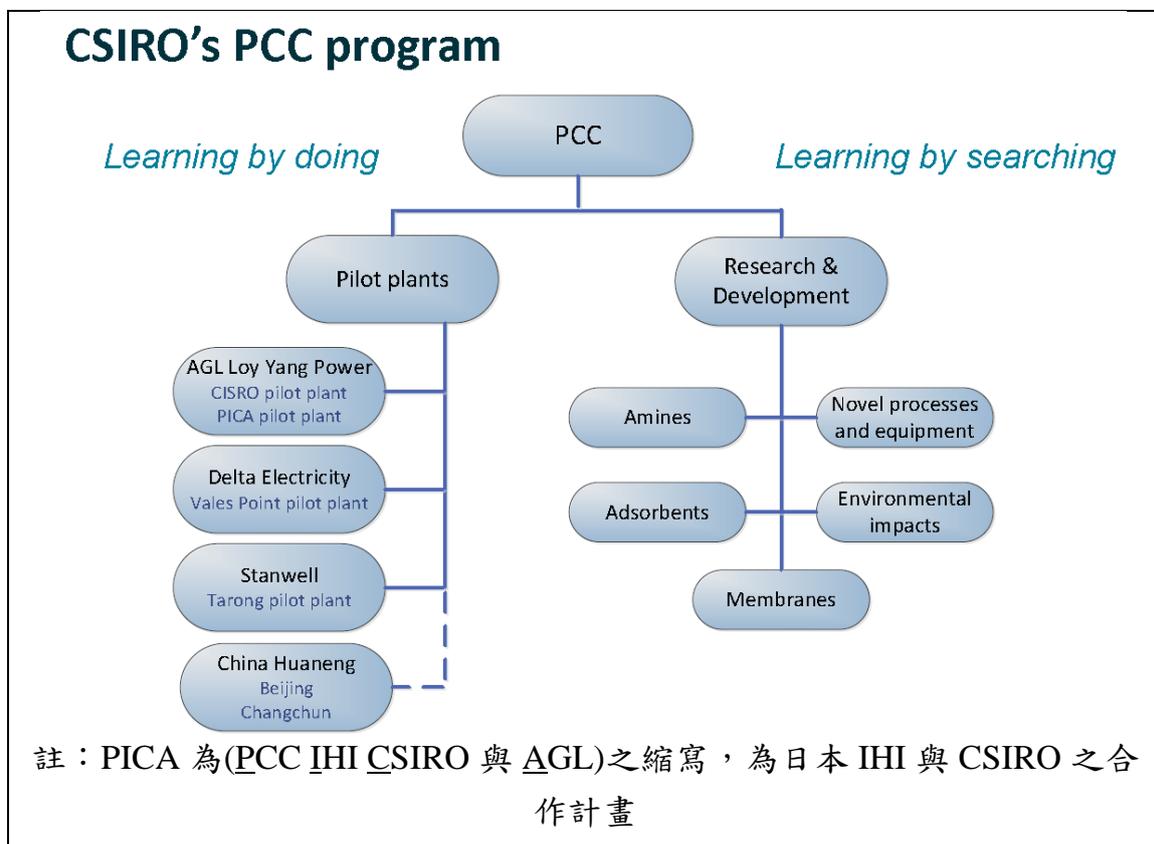


圖7 CSIRO之電廠碳捕獲(PCC)計畫

Piloting PCC Technologies in Australia

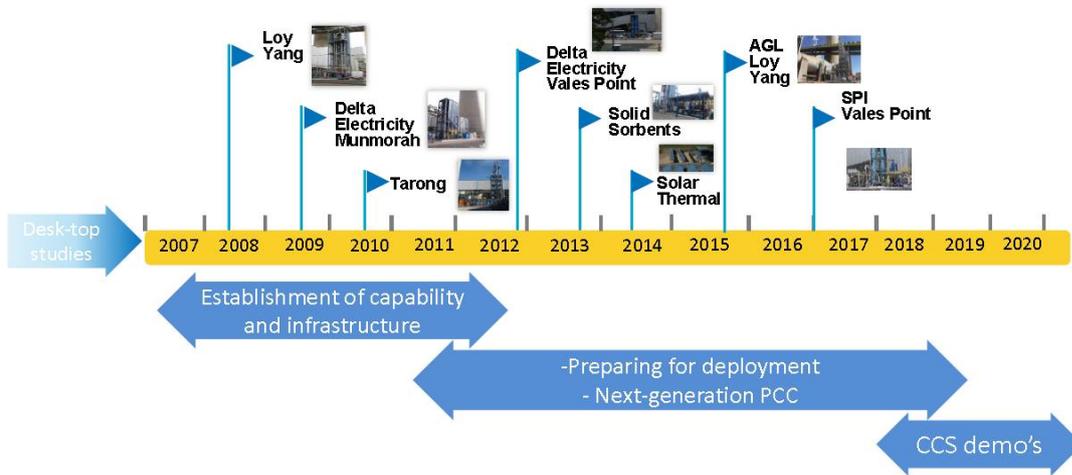


圖8 CSIRO之電廠碳捕獲(PCC)先導試驗廠里程碑

表2 澳洲境內試驗廠之比較

Pilot plant summary

Aaron Cottrell

Plant	Loy Yang	Vales Point	Tarong	PICA
Solvent	Amine	Ammonia/ Amine	Amine	Amine
Flue gas source	Brown coal	Black coal	Black coal	Brown coal
Scale	50 kg/hr CO ₂	300 kg/hr CO ₂	100 kg/hr CO ₂	50 kg/hr CO ₂
Focus	Solvent benchmarking	Ammonia operation	Process optimisation	Duration evaluation
Other activities	Emission study Combined CO ₂ /SO ₂ capture	Pressurised absorption Solar thermal integration	Pressurised stripping Corrosion Degradation	

3、氣化技術

CSIRO 之氣化研究，以基礎科學支撐工業應用為主，如圖 9 所示。其中科學研究領域包括氣化反應科學(去揮發物、焦炭形成、非均相動力學、高溫程序)；無機化學(熔渣形成與流動，礦物與微量元素移轉、物種形成與其行為，殘餘物與灰份之化學性質)；模擬(氣化、氣化爐及程序)；規模(進料行為之技術與先導試驗研究)。進料燃料計有都市廢棄物、煤炭、生質物、農業廢棄物及褐煤等。

CSIRO 在氣化實驗系統建置上，建有一座夾帶床氣化實驗系統，如圖 10，操作壓力 20bar，煤炭進料量 1~5 kg/hr。另建一有座固定床氣化實驗系統做為生質物與廢棄物氣化特性研究之用，如圖 11 所示，並整合合成氣轉換液態燃料與 25kW 微型發電機之研究。

除氣化系統技術相關研究外，亦開發金屬薄膜用於分離如氣化、蒸汽重組與衍生氨氣之混合氣中之氫氣。其開發 Pd 與 Vanadium(V)合金複合層，較支撐型 Pd 薄膜價格低廉許多，如圖 12 所示。層狀 V 薄膜由 Pd 層分離氫氣，另以 V 提供氣體緊固與強度，其兩端表面鍍有觸媒合金層，可使分離之氫氣純度達 100%；而支

撐型 Pd 薄膜由 Pd 層提供氣體緊固與分離氫氣，另以多孔性介質提供強度，如圖 13 所示。

CSIRO Gasification Research Fundamental science supporting industrial application

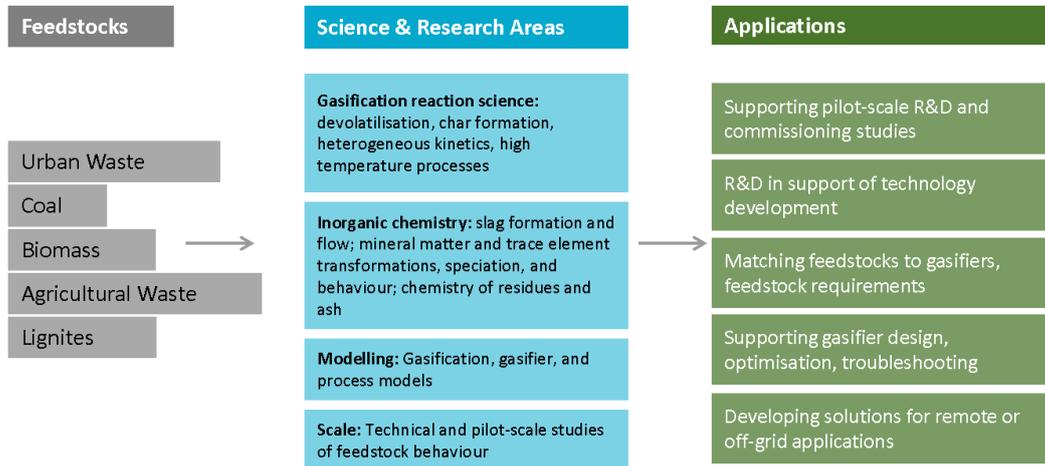


圖9 CSIRO氣化技術研究領域

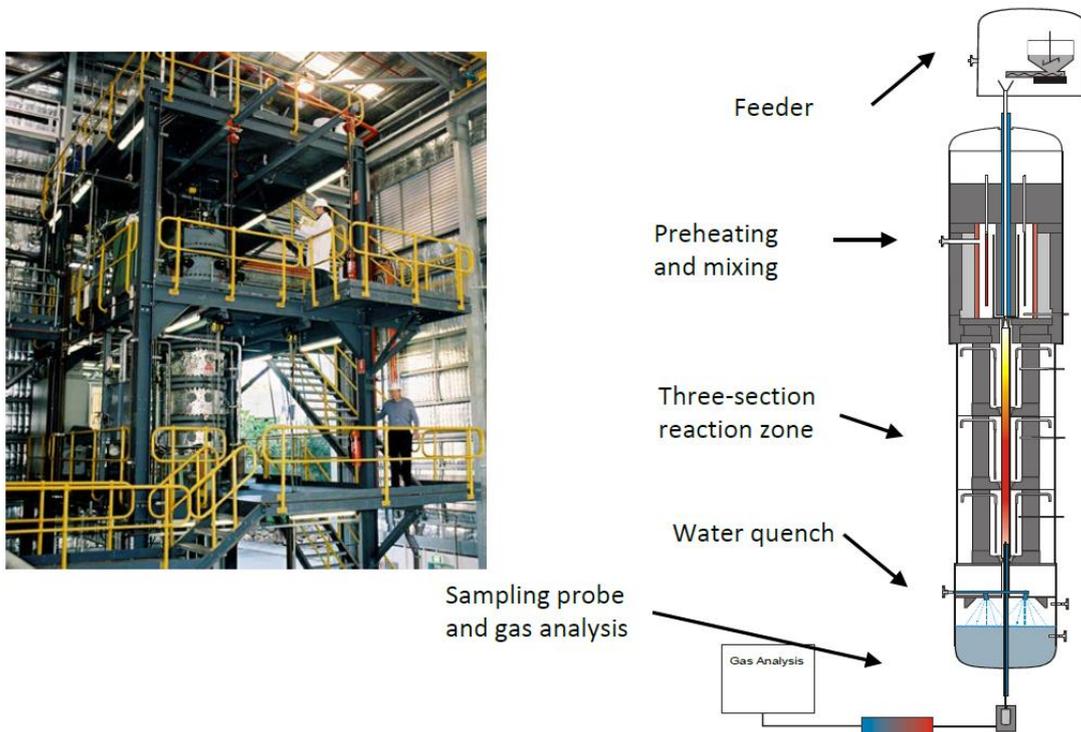


圖10 CSIRO挾帶床氣化爐



圖11 CSIRO氣化實驗場，左圖為挾帶床氣化爐右圖固定床氣化爐

Metal membranes

Separation of H₂ from gasification, reforming or ammonia-derived mixed gas streams

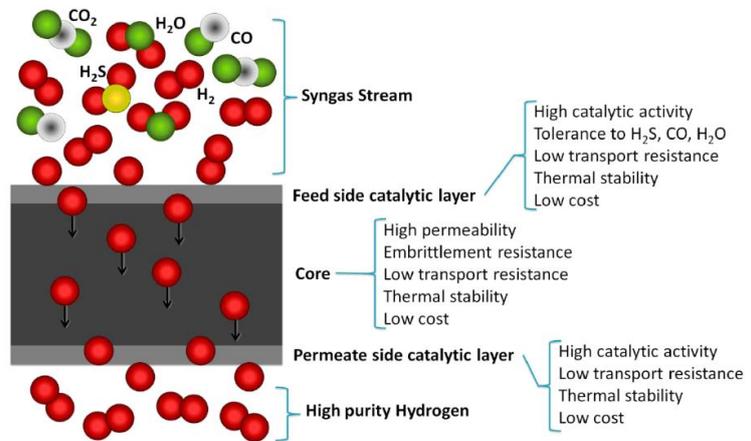


圖12 金屬薄膜分離氫氣特性

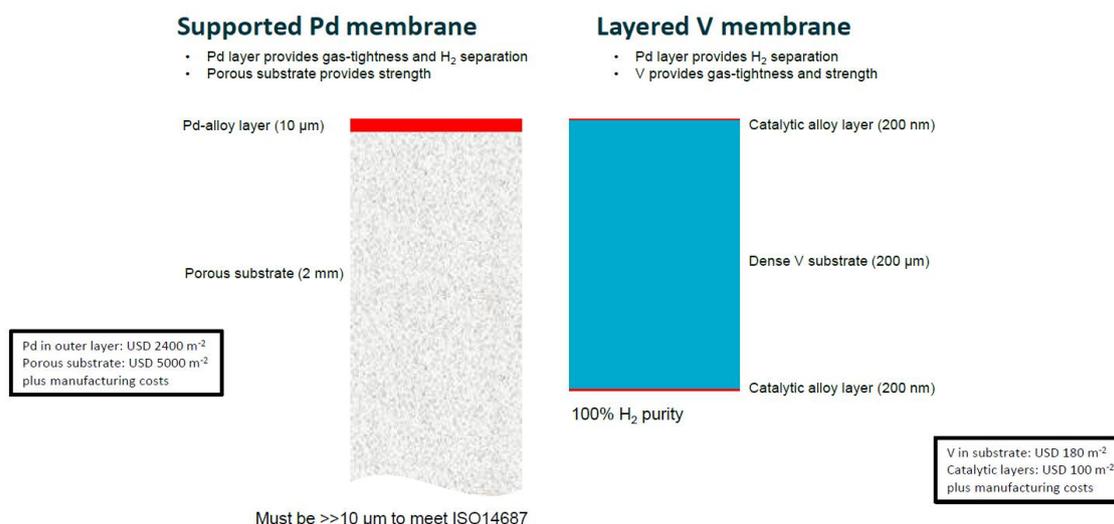


圖13 支撐型Pd薄膜與層狀V薄膜之比較

(三)全球碳捕存研究院(GCCSI)

本次拜訪主要是了解全球 CCS 最新發展趨勢與雙方未來可合作事宜，可透過合辦台澳雙方技術交流會形式，以及在巴黎議定書生效之後，CCS 所需政策、市場資訊與民眾教育與溝通之議題，協助我方了解。此次訪澳行程安排之負責亞太區捕獲技術之經理 Dr. Tony Chang 負責接待，另有封存專長之 Dr. Christopher Consoli 與政策經濟專長之 Mr. Lawrence Irlam。

GGCSI 旨在加快推進目前用於減緩氣候變化以及確保能源安全之重要方法，CCS 技術之應用。GGCSI 倡議將 CCS 技術作為用於減少因發電和工業發展所導致之溫室氣體排放之可選方法之一，並分享其全球各國成員所提供之資訊，同時儘快建立起能夠確保 CCS 技術被廣泛使用之技術能力。GGCSI 將項目、政策制定者以及研究人員聚集在一起以克服 CCS 所面臨之挑戰。至今為止，GGCSI 已建立起相互學習之管道以確保這項重要技術能快速、順利之得到實踐。

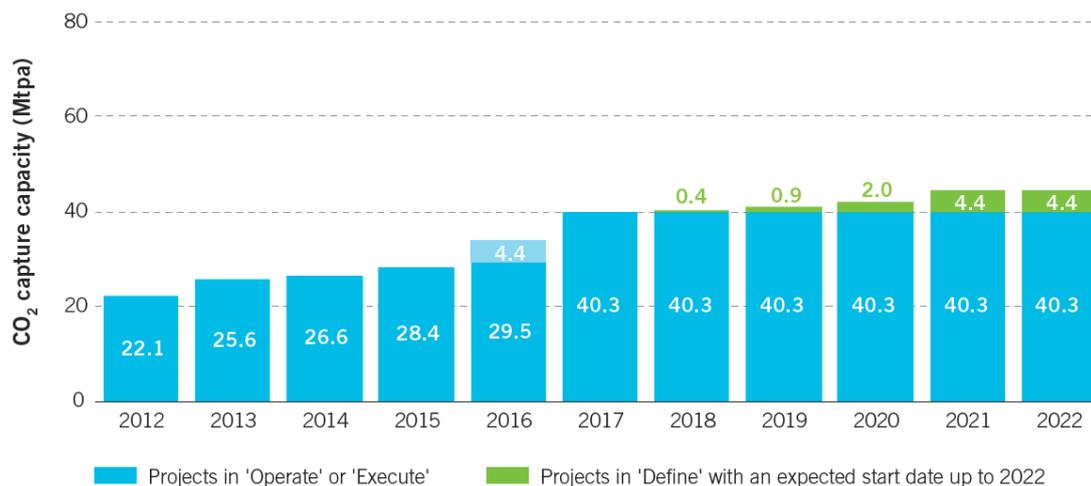
GGCSI 成立於 2009 年初期由澳洲政府 100% 經費支持，2015 年起其經費之來源除部分仍來自澳洲政府外，亦開始依會員之性質收取不同會員年費，以及相關之技術服務收入等。目前總部設在墨爾本，另設有北美地區分公司(位於美國華盛頓 DC)，歐洲、北非與中東地區分公司(

位於布魯塞爾，另於中東則設在阿布達比)，亞太地區分公司(位於墨爾本，另在中國北京與日本東京設有辦事處)。

依據 GCCSI 2016 年全球 CCS 狀態報告顯示，全球目前有 38 個大型 CCS 計畫，至 2017 年底將有超過 20 個大型 CCS 計畫在運轉，每年約可捕獲封存 4 千萬噸之 CO₂。但至 2022 年間其進展是緩慢之，如圖 14 所示，需要加速之推動，以期達成 IEA 2DS 情境模擬所需於 2040 年 CCS 減量近 40 億公噸之目標，其中非 OECD 國家將佔有主要之貢獻(如圖 15)所示。

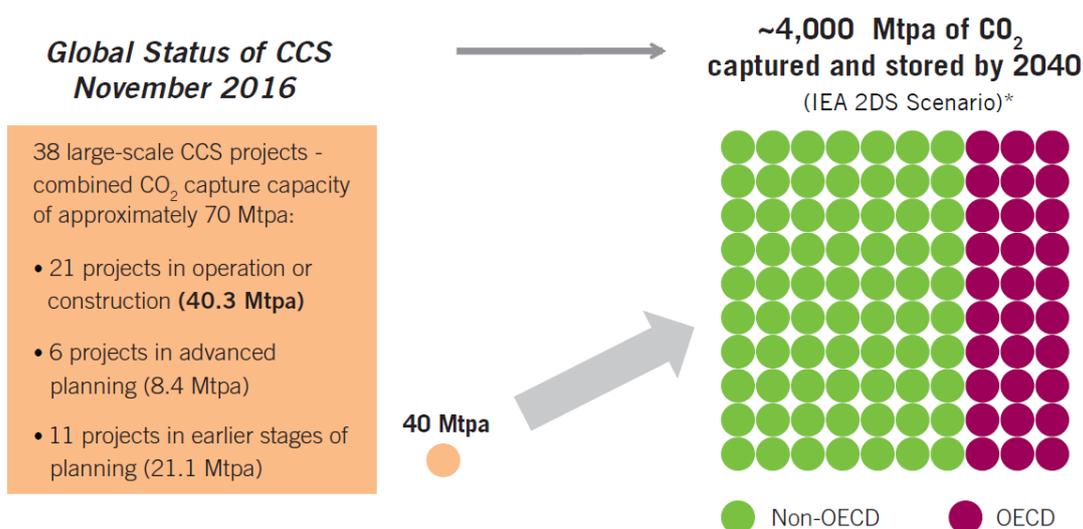
至 2022 之 38 個大型 CCS 計畫，應用之地區以北美為主，2017 年之後亞洲地區之應用明顯增加(如圖 16)。應用之產業以天然氣程序為主要，加拿大 SaskPower 之 Boundary Dam 之 CCS 計畫，於 2014 年 10 月開始運轉，成為第一個應用於燃煤電廠大型 CCS 計畫。其他之兩個電力事業之大型 CCS 項目：密西西比電力之 Kemper County 能源設施(燃燒前捕獲)和德州之 Petra Nova(燃燒後捕獲)碳捕獲專案，將於 2017 年開始運轉(如圖 17)。使得 CCS 技術應用於化石燃料電廠之前景已逐漸成形。另較 2015 年之全球 CCS 狀態，亦增加阿拉伯聯合大公國(UAE)之阿布達比，以及世界首座大型生質能 CCS 計畫(伊利諾州工業 CCS 計畫)。

COP21 巴黎議定書之簽署與生效，若要控制大氣溫度不超過 2°C 之情況下，CCS 將扮演關鍵性之角色，政府之支持、相關法規制定與民眾教育及溝通，皆須加速進行以克服推動上之障礙。



Note: At the time of writing, there were strong indications that both the Kemper County and Petra Nova projects could be operational by the end of 2016; the combined CO₂ capture capacity of these two projects (4.4 Mtpa) is included in 2016 as a distinct entry (light blue) to highlight that operations were imminent.

圖 14 到 2022 年大型 CCS 計畫之減量貢獻



*Source: IEA, 2016. *Energy Technology Perspectives 2016: Towards Sustainable Urban Energy Systems*. Paris. OCED/IEA.

圖 15 IEA 2DS 情境模擬 2040 年需要 CCS 減量之目標

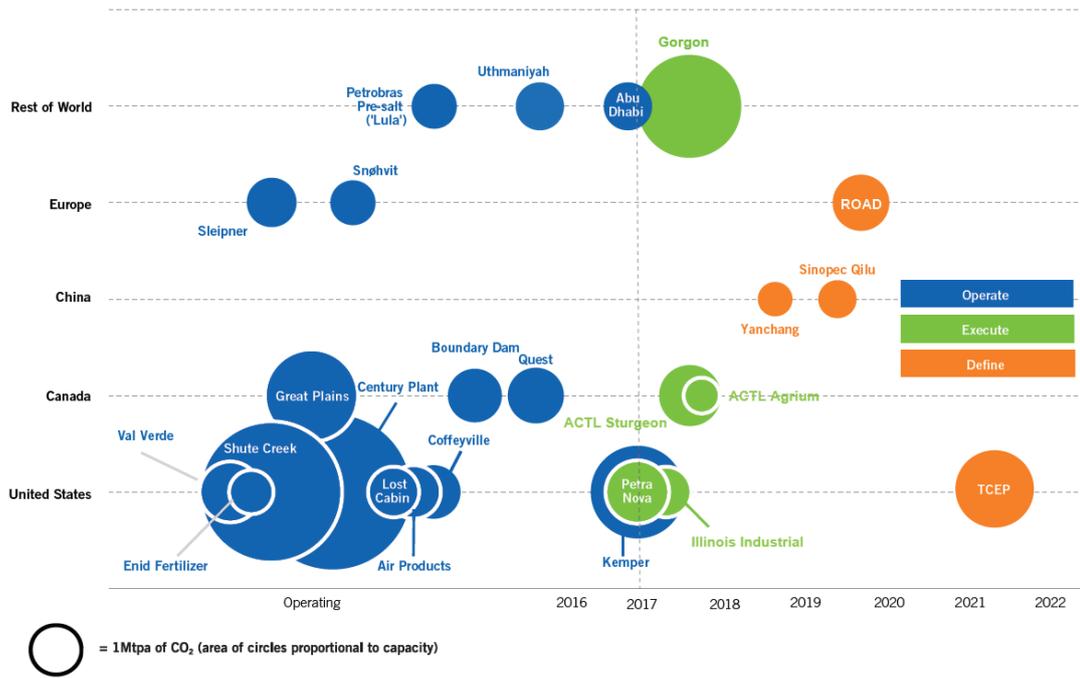


圖 16 到 2022 年大型 CCS 計畫之區域分布與進展狀況

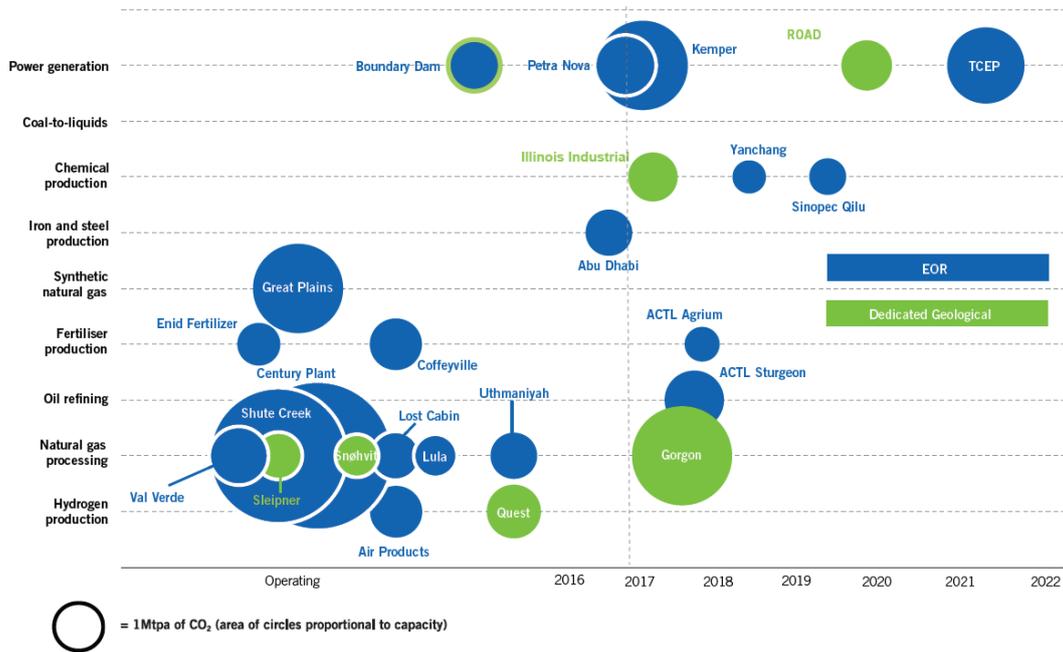


圖 17 到 2022 年大型 CCS 計畫之應用分布與注儲之方式

(四)蒙納許大學(MONASH University)

Monash 大學位於澳大利亞第二大城墨爾本市東南區，創立於 1958 年，總共有八個校區為維多利亞州佔地最具規模之一所綜合大學。本次

前往距離市中心車程約 40 分鐘之克萊敦校區，與會在碳捕獲上具代表性之化學系 Alan Chaffee 教授與封存技術之地質力學工程系 Ranjith Pathegama Gamage 教授。

1、Professor Alan Chaffee 實驗室(碳捕獲領域)

Alan Chaffee 教授亦是 BCIA(Brown Coal Innovation Australia) 之研究員，在詢問我方來訪目之後，教授從對褐煤基礎認知到捕獲/催化材料之研究成果細心講授，爾後帶領我方參觀實驗室。

維多利亞褐煤(VBC)之岩石學，岩層由不同岩性（如葉子、木頭等類型）之煤形成岩層，因埋藏深度及含水量之不同，岩層色澤由黃棕色到黑棕色呈現多樣性(如圖 18)。



圖 18 褐煤岩石學介紹

維多利亞蘊藏大量且廉價之褐煤，褐煤中約含水份 50-70%，造成其具有低熱子與不利運輸等缺點。現階段在發電系統中採用蒸發程序將水去除，造成低之效能；團隊藉由分析不同礦物相探討褐煤-水之相互作用，研發不同除水製程以提高效能並轉製成高價值性產品(焦炭、活性碳材料)。該團隊已開發多種蒸發/非蒸發除水方法，目前著重於開發 Mechanical Thermal Expression (MTE) 新型乾燥技術，因該過程所除去之水仍為液態，可節省下使水蒸發之熱量。同

時亦針對褐煤除水過程前後之物化性質進行分析，包括表面積，孔徑分佈，化學組成，H-鍵合 (DRIFT-IR) 和熱穩定性 (TGA)，其結果可助於優化 MTE 過程。另該團隊亦成功開發多孔性氧化鋯基金屬有機框架(MOF)材料將二氧化碳催化轉製為甲醇燃料，已發表使用 N 基團結合 Ru 貴金屬之材料(MIL-140C)，具有高甲醇轉化率。(如圖 19~21)



圖 19 不同除水技術與其產物外觀

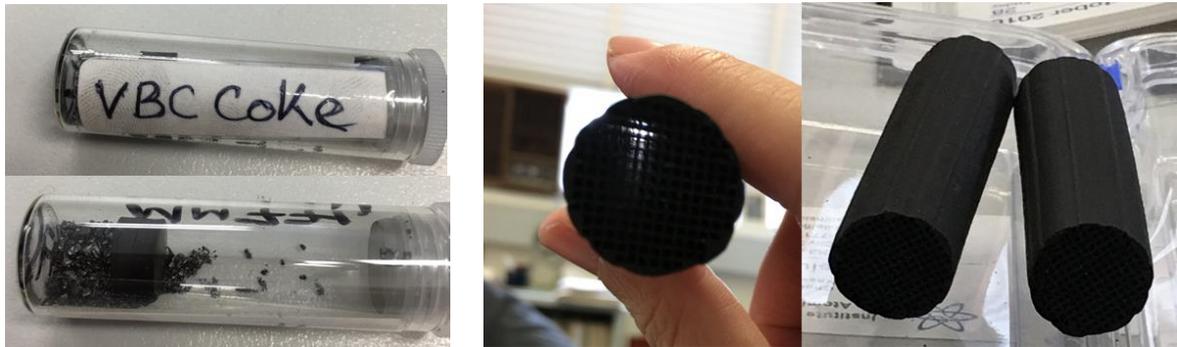


圖 20 (左)可運用於冶金還原鐵礦石之焦炭狀材料 (右)高吸附性活性碳材料

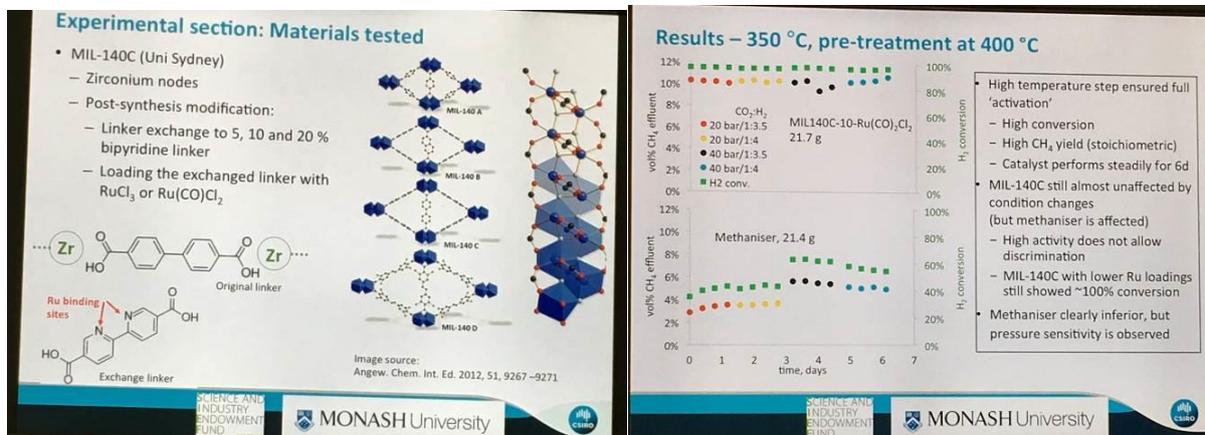


圖 21 多孔氧化鋯基金屬有機框架(MOF)材料

Alan Chaffee 教授團隊研究廣泛，從煤之利用、碳捕獲至碳轉製等皆有涉略，將大資源褐煤更有利且乾淨之運用，是相當具有規模與代表性之研究團隊，圖 22~23 為實驗室參訪。會後與 Professor Alan Chaffee 合影(如圖 24)

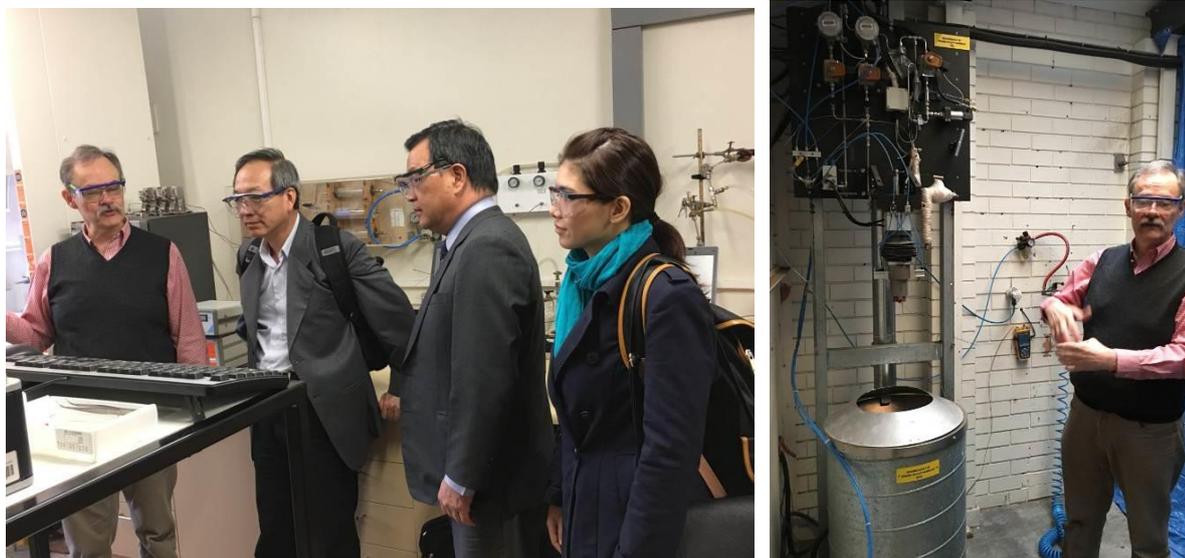


圖 22 實驗室參訪



圖 23 實驗設備與分析儀器



圖 24 與 Professor Alan Chaffee 合影

2、Professor Ranjith Pathegama Gamage 實驗室(碳封存領域)

Ranjith Pathegama Gamage 教授為 Monash 大學 Geo-mechanics for Geo-energy and Geo-resources Deep (or 3GDeep)研究團隊之領導人，該小組由 10 名重要研究人員和 30 多名博士生組成。3GDeep 之主要目之是促進合作於基礎及應用面可行性評估，以及解決替代性地球資源開發中之技術問題，包括新之低排放碳氫化合物替代品（如地下煤氣化，煤層氣，頁岩氣，緻密氣和油等）；可再生能源（地熱能）；以及二氧化碳（CO₂）儲存和核廢料處置之選擇，如圖 25 所示。



圖 25 3GDeep 之研究方針

碳封存(CO₂ Sequestration)，本項工作致力於研究 Gosford basin 之二氧化碳儲存能力，確認在該含水層中之最佳注入條件，以

及任何可能導致二氧化碳從源岩遷移回大氣之潛在機制；另一有趣之研究，團隊進行有無碳酸鹽之飛灰肥料對於植物生長之影響試驗，其結果發現在擁有低劑量之碳酸鹽條件下之植物在 14 週後生長較良好。(如圖 26)

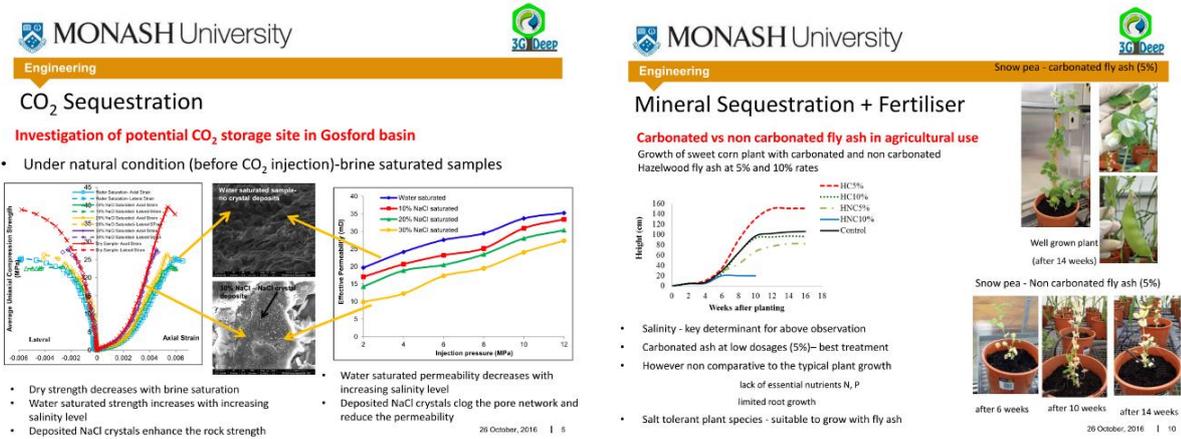


圖 26 碳封存觀測及化肥實驗

天然氣是澳大利亞煤炭和石油之後之第三大能源，隨著不斷增長之能源需求，在常規天然氣產量下降之環境中，海上天然氣成本之增加，減少碳足跡等挑戰，傳統注入高壓流體於儲層岩石之水力裂解是最常用之，但其可能造成環境汙染之議題備受爭議；該團隊集中開發一種新穎環保之技術，以改善頁岩氣之開採，其中一新型水泥開發，探討添加不同量之飛灰於水泥中探討其對 CO₂ 滲透力影響等，期望藉由不同技術研發以便從更深、更複雜之地質條件中提取資源(如圖 27)。

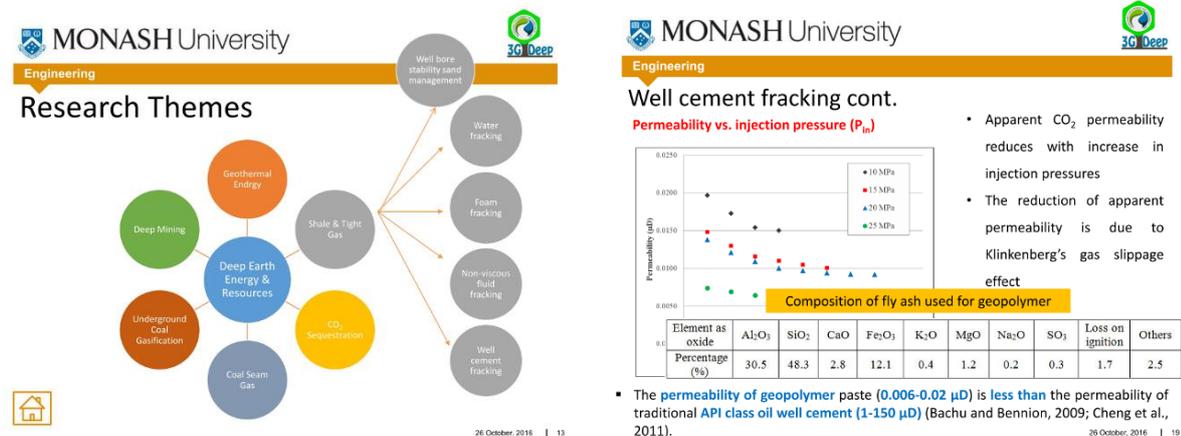


圖 27 不同開採技術資料

該研究實驗室（3GDeep-RL）擁有先進之微型-中型-大型測試設施應用於深層地球研究。這些先進之設施能夠在復雜且極端地質條件下對煤層氣，頁岩氣，石油和深層地熱進行前所未有之研究(如圖 28)。該團隊亦透過舉辦研討會並於 2015 年創立 Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources(G4)期刊，進行國際學術交流；另教授於會議上提及與我方合作之可行性，進行討論。

1. Long term R&D works through a consortium
2. Testing Services
3. Exchange of scientists and PHD students
4. Joint grant applications and publications
5. Technical Solutions to Specific issues

會後與 Professor Ranjith Pathegama Gamage 合影，如圖 29。

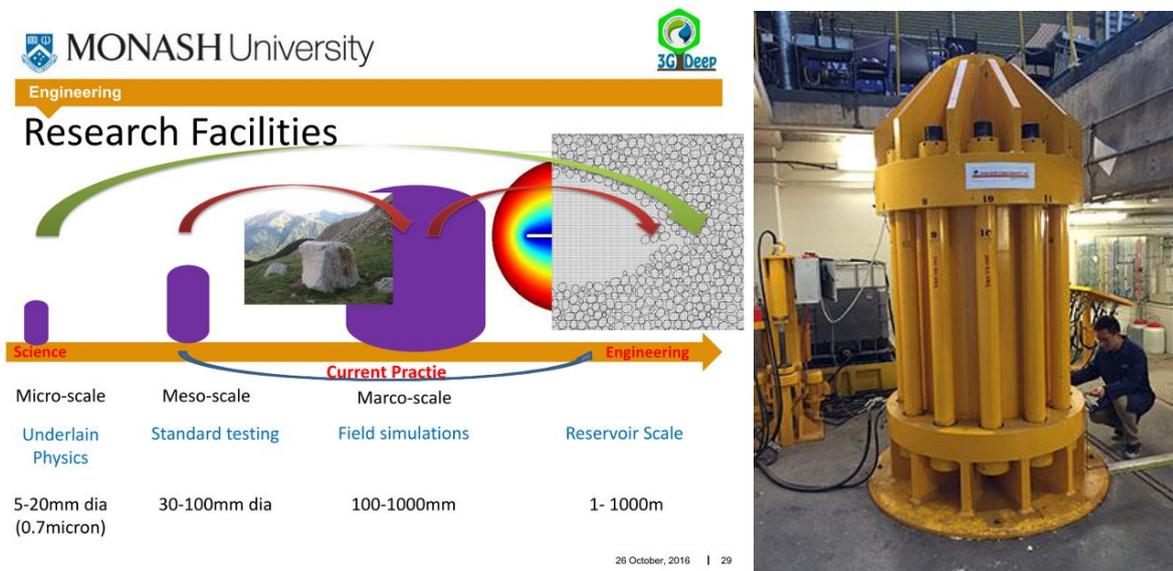


圖 28 研究設施規模



圖 29 與 Professor Ranjith Pathegama Gamage 合影

(五)墨爾本大學(Melbourne University)

墨爾本大學位於澳大利亞墨爾本市區北方，始建於 1853 年，是澳大利亞歷史第二悠久之大學，維多利亞州最古老之大學。本次會面之 Paul Webley 教授是化學和生物分子工程系教授，其團隊在吸附研究與專業技術方面享譽國際；近期研究於燃燒前與燃燒後捕獲二氧化碳，同時 Paul Webley 教授也是 CO2CRC 之計畫領導人。

Paul Webley 教授首先帶領參觀莫爾本大學之合作研究中心(Peter Cook Centre for CCS Research)實驗室，該中心之合作夥伴有 CO2CRC、Rio Tinto 與 Victorian Department of State Development, Business and Innovation (DSDBI)等，執行二氧化碳捕獲與封存研發及政策法律工作項目，促進 CCS 開發和擴展，如圖 30 所示。該研究中心具有相當大之資源與規模，分別設立液態分析區、氣態分析區及封存試驗設備區，特別是針對危害性測試(如硫化物分析)每一機台設置一獨立抽風房與監控裝置，高度重視研發人員之操作安全。(如圖 31~33)

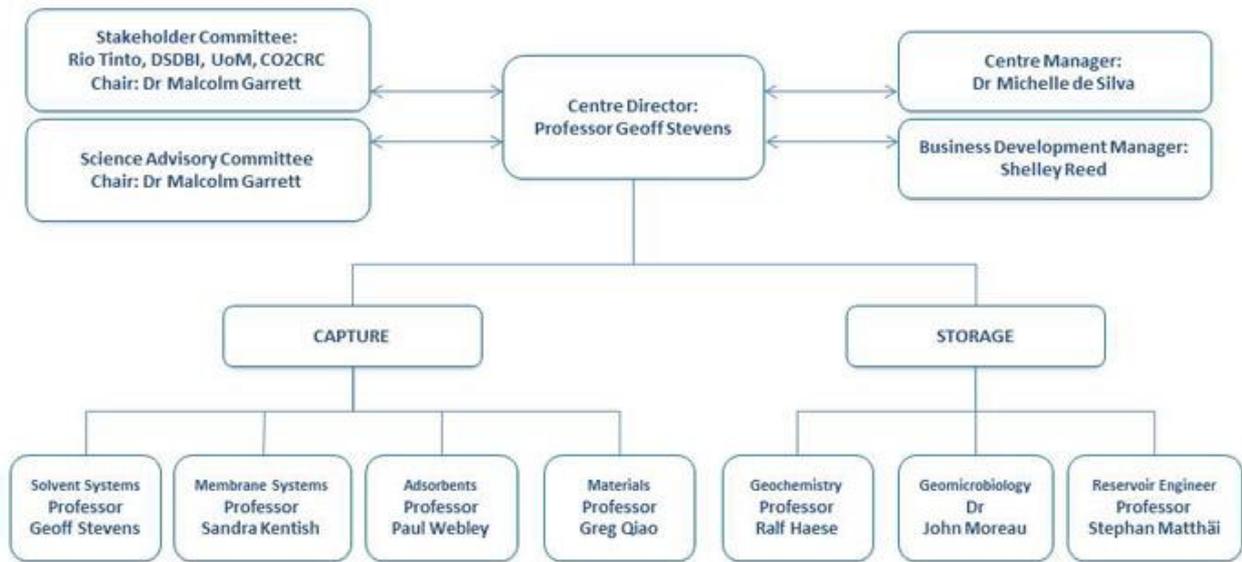


圖 30 Peter Cook Centre for CCS Research 組織圖

(取自 <http://petercook.unimelb.edu.au>)



圖 31 (左)液態樣品分析區(右)氣態樣品分析區



圖 32 (左)熱重分析儀與(右)晶相分析儀器



圖 33 CO2CRC Pilot Plant 控制伺服器與實驗設施

另一參訪點為 Dr. Penny Xiao 所領導之實驗室，致力於氣體分離和 CO₂ 捕獲之吸附過程，例如來自煙道氣與 IGCC 之 CO₂ 捕獲、天然氣和沼氣淨化以及吸附劑之評估等，目前亦涉及至二氧化碳再利用和捕獲之鈣循環技術領域。該團隊擁有自己之吸附劑和催化劑合成與分析設施，進行材料表面、孔隙鑑定，以及測試吸附劑和催化劑之化學性能。

其吸附劑之測試包含商用及自行開發，通過吸附模擬器，了解樣品對 CO₂，CH₄，N₂，水蒸汽和其他組分之吸附能力和選擇性，預測吸附劑之分離性能，選擇或合成合適之吸附劑，然後進行不同目標之實驗設計。圖 34 為固定床微型催化反應器，圖 35 則為可調配不同氣體組成之反應器。



圖 34 固定床微型催化反應器



圖 35 高壓高溫可調配不同氣體組成之反應器

示範規模吸附試驗設備(如圖 36)，具有 4 個可進行高壓真空循環之吸附床體(4-bed PVSA)，例如，在天然氣淨化項目中，將含有與 15% CO₂

與 CH_4 balance 之進料氣體在高壓下進入系統，其 CO_2 被吸附後高純度之 CH_4 從床中排出；而後再使用真空泵在低壓下將吸附床中之 CO_2 釋放到氣相中。因此，可以通過循環過程連續生成純 CH_4 和高濃度 CO_2 。



圖 36 示範規模吸附試驗設備(4-bed PVSA)

另一雙吸附床體(如圖 37)。可用於高溫和高壓下分離，例如在從煙道氣中捕獲 CO_2 之項目，雙層吸附床在含有水蒸汽存在下吸附 CO_2 ，進料氣體中之水蒸汽被前層吸附劑(活性氧化鋁或矽膠)吸附，然後 CO_2 再被主吸附層(13X)吸附。利用分析儀測量不同床體位置之水分含量和 CO_2 濃度，並使用熱電偶測量各個位置處之溫度，以了解在床中中水和 CO_2 移動方向。



圖 37 示範規模吸附試驗設備(2-bed TPVSA，GSR2)

該團隊之實驗和理論結果可提供更多信息於大型工廠設計上，除了上述之實驗示範規模測試外，目前該團隊正將自研發之二氧化碳吸附劑(如圖 38)運往 CO2CRC Otway Project 示範場進行現場實測。會後與 Professor Paul Weble 及 Dr. Penny Xiao 合影(如圖 39)。



圖 38 自研發之二氧化碳吸附劑



圖 39 與 Professor Paul Weble 及 Dr. Penny Xiao 合影

(六)維多利亞州政府之經濟發展、就業、運輸與資源部

拜訪維多利亞州政府之經濟發展、就業、運輸與資源部，請教 CarbonNet 與褐煤計畫，由 GCCSI Dr. Tony Chang 帶我們一同前往，安排之議程(詳如附件 4)。維州政府首先由負責 CarbonNet Project Director Ian Filby 致歡迎詞，接著由 CarbonNet Project 技術經理 Trent Harkin 介紹 CarbonNet 計畫內容，接著由負責煤炭資源之 Director Jane Burton 女士說明維州之褐煤資源與相關之發展計畫與政策(詳如附件 5)，再由徐恆文代表報告臺灣在 CCS 之發展狀況，最後我們進行相關之討論，特別針對褐煤產氫部分請教維州政府之看法。維州政府預計於今年 12 月發布其新煤炭政策，該政策預計涵蓋褐煤製備氫氣和其它產品，褐煤轉化利用過程相關聯之碳捕集運輸與封存等。另，褐煤製備氫氣亦可能列入澳大利亞聯邦政府計劃考慮。日本後續示範廠測試，則預計於明(106)年 7 月與維州政府商議後決定。目前有關褐煤產氫資訊乃是日方自行發布，澳方不便表達意見，若臺灣對日本產氫計畫有興趣，可直接與日方接觸；維州政府亦委託 CO2CRC 進行相關之可行性評估，若臺灣想了解細部之資訊，需參加 BCIA(Brown Coal Innovation Australia)會員或 CO2CRC 會員。

維州政府願意就 **CCS** 相關技術議題與我方共同舉辦技術論壇，並提出具體合作議題。有關利用維州豐沛之褐煤進行產氫之評估，澳方歡迎臺灣自組團隊，評估褐煤產氫運回臺灣之可行性。在大家充分交流之下，達成本次參訪預期之目標。會後合照留影結束今天之拜訪行程(如圖 40 所示)。

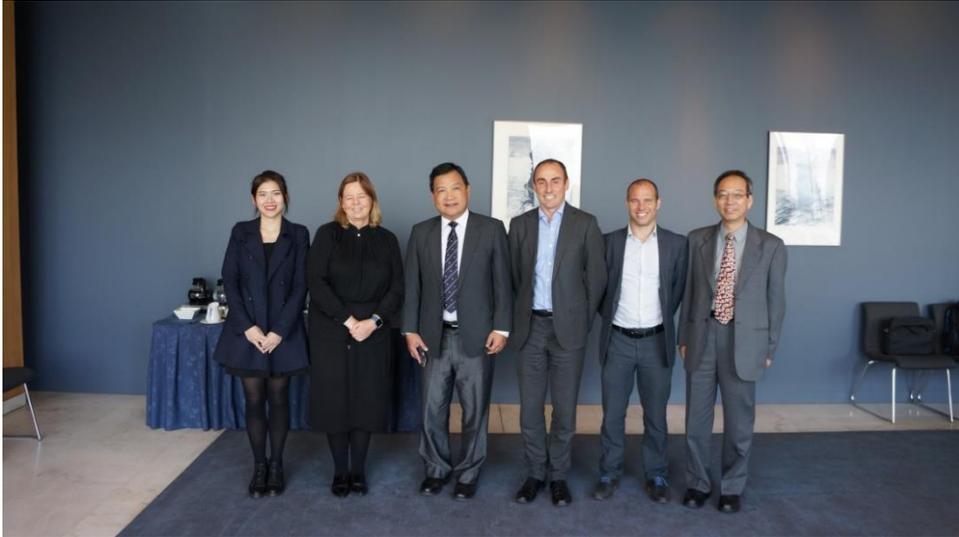


圖 40 與維州政府人員會後合影

以下說明 **CarbonNet** 計畫、褐煤計畫與產氫計畫等 3 部分之內容：

1、**CarbonNet** 計畫

計畫成立於 2009 年，主要經費來自澳洲政府旗艦計畫，維州政府與 **GCCSI** 亦投入經費參與。**CarbonNet** 之技術研究由 **CO2CRC** 領導組成，另有工業界與 **CCS** 服務投資者合作參與。注儲地點之評選分為二階段進行，第一階段先由廣泛之篩選，再聚焦最有潛力之三個區域，最後選出最佳區域。第二階段進行期望之儲存場址之篩選，由 14 個期望之儲存場址，評選出一處優先場址(流程如圖 41 所示)。主要聚焦於技術與非技術之評估，以建立優先儲存場址之標準，另包括獨立之科學上之平行檢視、獨立之安全檢定、可行之狀態與驗證方法之檢定等。

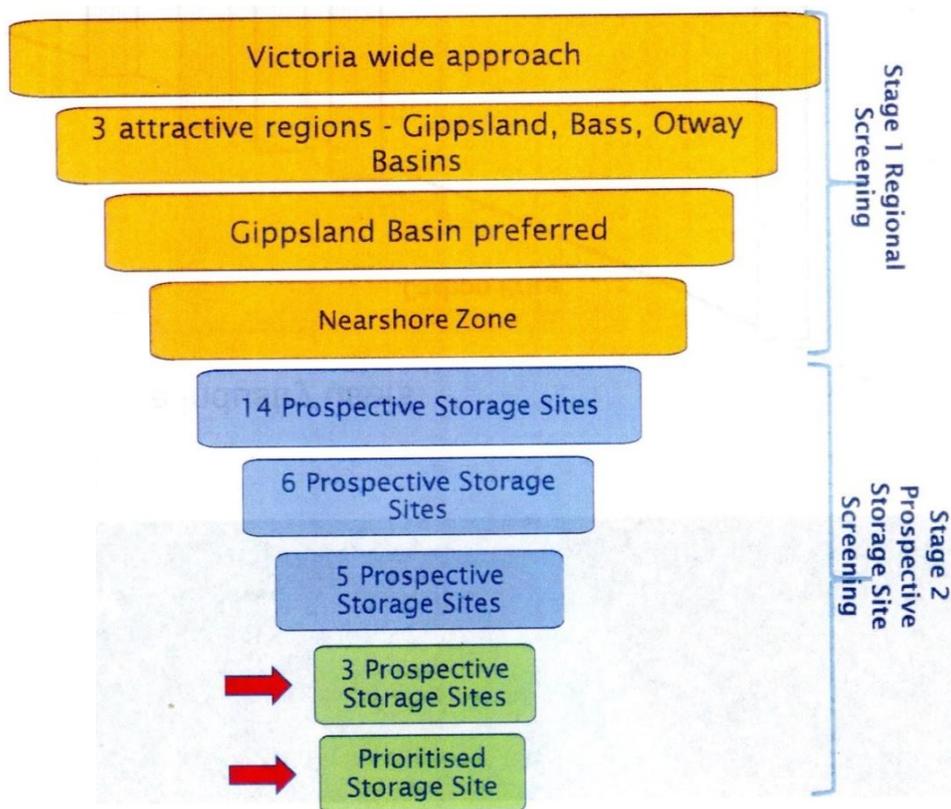


圖 41 CarbonNet 計畫最佳注儲場址篩選流程

第一階段先篩選出 Gippsland、Bass 及 Otway Basins 等 3 個具潛力之區域進行評選，此三個區域包含世界第 2 大褐煤蘊藏量、供應超過 90%維州電力，以及大於 31Gt(310 億噸)之 CO₂ 儲存潛力。最後選出 Gippsland Basin 為最佳區域(如圖 42 所示)。因此，CarbonNet 計畫目前目標，即針對維州之 Gippsland 之商業化規模之多元使用 CCS 網域，進行其可行性研究。

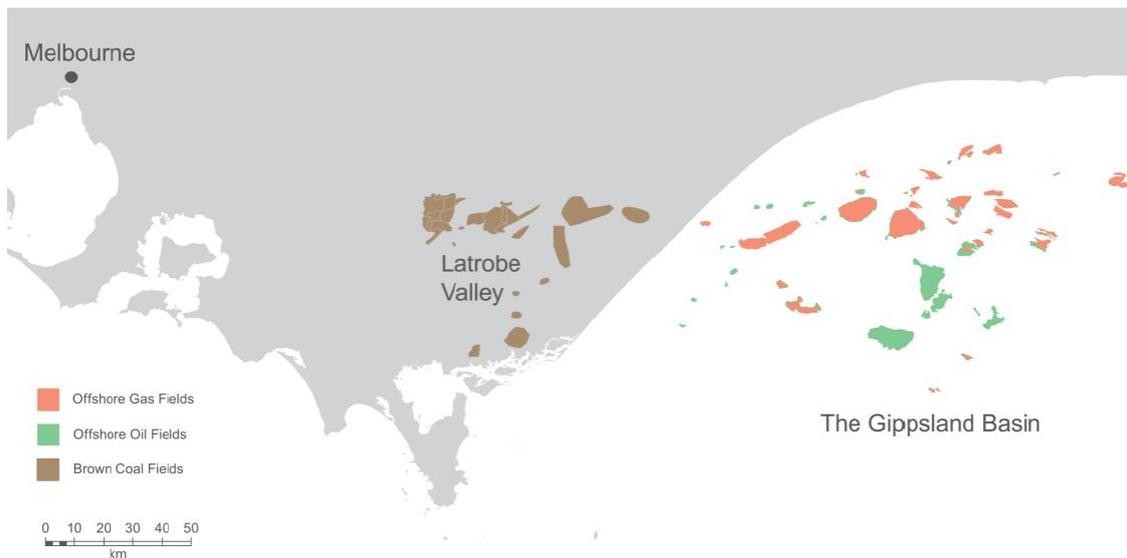


圖 42 CarbonNet 計畫選出之 Gippsland Basin 為最佳區域

公眾之接受度亦是 CarbonNet 計畫重要之議題，其標準即是讓民眾了解此區域之議題與關注之事情，透過內容概要說明、網路資訊與電子新聞、以及簡報來加速資訊之傳遞；亦經由 GCCSI/CarbonNet 夥伴關係，公開分享技術報告與期刊文獻；另經由 CO2CRC/CSIRO/UoM 夥伴關係，利用全球智慧型通信網路 (GipNet)系統收集與環境監測基線資料驗證(如圖 43)，並建立 CCS 社會溝通之信任度。GipNet 環境基線資料驗證技術，主要包括：

- (1)微震(Microseismic)驗證監測通訊協定在近岸環境中之雜訊；
- (2)海上環境之量測、監測與確認(Measuring、Monitoring and Verification, MMV)，建構區域監測點，驗證在淺水層之監測方法；
- (3)大氣環境之量測、監測與確認(MMV)，應用開放路徑技術跨越岸上與離岸長距離環境。

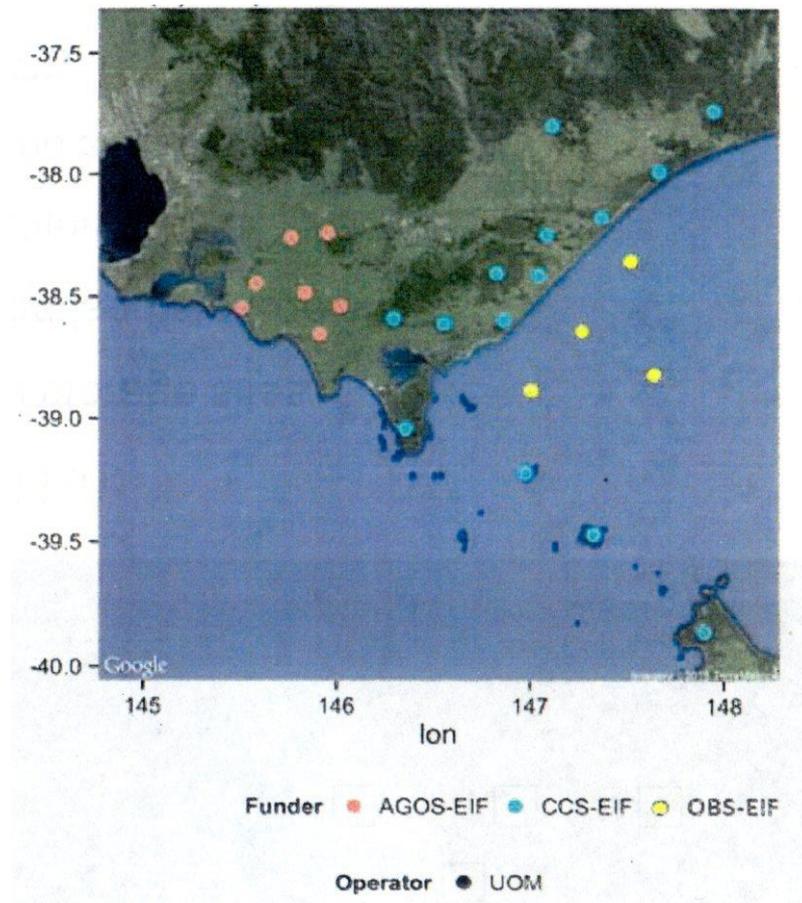


圖 43 CarbonNet 計畫 GipNet 環境基線監測點

CarbonNet 計畫在 2012-2016 年可行性研究階段完成：

- (1)篩選出之優先儲存場址之完整安全評估；
- (2)對於候選之優先儲存場址之應用準備；
- (3)下階段最後商業案例之概要：包括 CCS 網路在 Gippsland 之任務和預估之經費為何？什麼是工業界可接受之水準？下一階段政府應該要做之事是那些？

2017-2020 年計畫發展階段，主要工作為：

- (1)儲存場址之儲存量評估與 GipNet 環境基線驗證；
- (2)促進工業界投資合作參與；
- (3)至約 2020 年將 CarbonNet 計畫移轉至私有部門。

2、褐煤計畫

維州有豐富之褐煤蘊藏量約有 980 億噸，已驗證達經濟規模可開採量約有 440 億噸，約佔全澳洲之 98%，主要位於墨爾本東南方

之 Latrobe Valley(如圖 44 所示)。但褐煤屬低品級煤炭其含水率達 50~70%，應用時須將其脫除過多之水分，需耗費大量之能源，以提高其品質，因此效率較高品級煤炭來得低。一般來說，無直接輸出之經濟價值，而以產地自用為主。

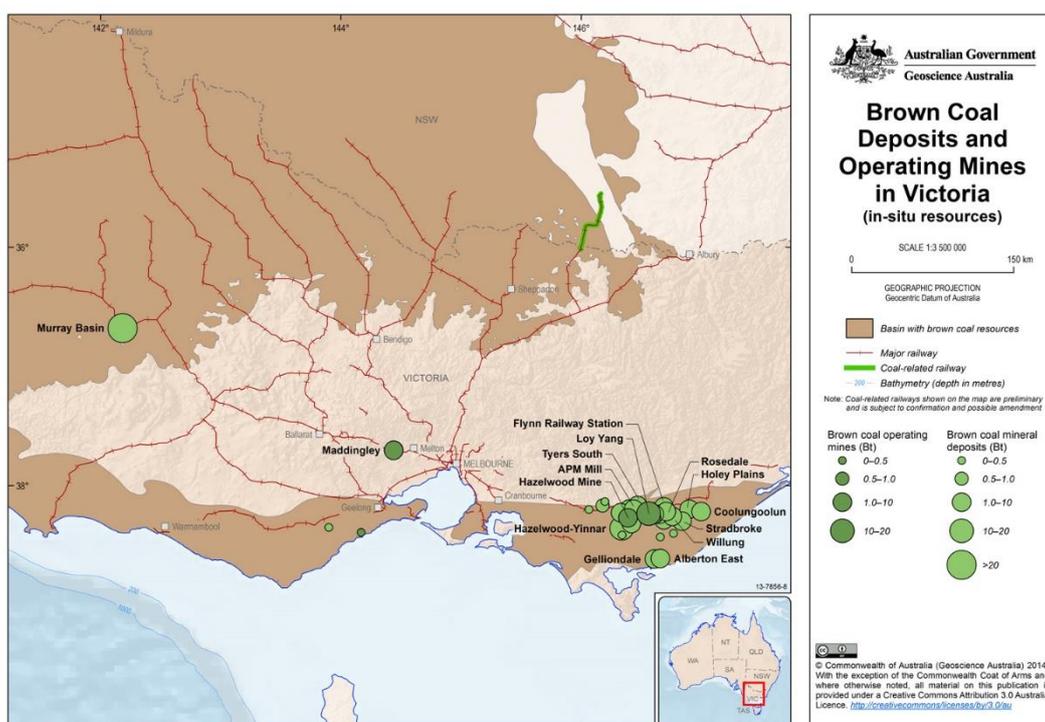


圖 44 維州褐煤蘊藏區域

維州政府為更有效利用豐富之褐煤，於 2009 年成立 Brown Coal Innovation Australia 簡稱 BCIA。BCIA 是一個非營利公司為政府授權管理，與共同投資利害關係人針對褐煤創新與減少排放技術進行合作。BCIA 之任務是發展研究與技術，以減少環境之影響，同時產出社會與經濟利益。會員包括日本 JCOAL 和美國褐煤(Lignite)能源協會。

另成立先進褐煤驗證計畫(Advanced Lignite Demonstration Program, ALDP)，ALDP 由維州與聯邦政府各出資 50%基金所組成，以用於發展可商業化褐煤技術，來提升煤炭品質以增加產品之價值。ALDP 計畫期待減少提升褐煤品質技術之危害風險，並經由大規

模驗證將其推向商品化道路。CEA (Coal Energy Australia)接受 ALDP 3 千萬澳幣委託，使用被驗證過得專利技術將位於 Latrobe Valley 之褐煤，提升至可出口品質與有價值之產品，這包括粉煤噴入煤炭、裂解油、硫酸銨和煤氣等。此計畫分兩階段進行，第一階段規模達每年 200 萬褐煤製程，第二階段規模達每年 2,200 萬褐煤商業化製程(時程在 2020 年之後)。

維州政府和日本、德國、南韓、中國、加拿大、美國和其他國家有著密切之合作關係，與日本 JCOAL 簽有合作備忘錄，亦與南韓 KEPCO 在 R&D 與示範計畫有合作文件。

維州政府預計於今年 12 月發布其新煤炭政策，該政策預計涵蓋褐煤製備氫氣和其它產品，褐煤轉化利用過程相關聯之碳捕集運輸與封存等。另，褐煤製備氫氣亦可能列入澳大利亞聯邦政府計畫考慮。

3、產氫計畫

日本川崎重工(Kawasaki Heavy Industries, KHI)公司早於 2010 年即提出以維州廉價豐富之褐煤為原料，經由煤炭氣化與氫氣純化程序生產液態氫氣，再將其以特殊設計運輸船送回日本，並於 2015 年 12 月宣布日本與澳洲技術連結概念規劃(如圖 45 所示)。時程規劃(如圖 46 所示)，設置地點如圖 47，氫氣運輸與儲存設計規劃則如圖 48。預定 2016 年開始建置 10tons/day 之 Pilot Plant，2020 年東京奧運前開始操作營運。770 tons/day 之商轉廠則預定 2025 年開始營運商轉，預計供應 238,500 tons/year；另需新建 50,000 m³ 儲氣槽 5 座。

KHI 於 2014 年完成可行性評估，預估每 nm³ 液態氫氣 CIF 價格約為 29.8 日元，其中生產成本約佔 30%，氫氣液化與運輸儲存則高達成本之 54%，褐煤成本僅佔 8%(詳如圖 49)。

2016 年四月 KHI 宣布與 Iwatani、Shell Japan、EPDC 籌組成立無 CO₂ 氫能供應鏈技術研究協會(CO₂-free Hydrogen Energy

Supply-Chain Technology Research Association, HySTRA) , KHI 已移轉此一示範計畫到 HySTRA , 未來 HySTRA 將負責操作營運。

相較於日方之積極態度，澳方則顯得較為保守，Mr. Filby 表示有關褐煤產氫資訊乃是日方自行發布，澳方不便表達意見，若臺灣對日本產氫計畫有興趣，可直接與日方接觸；維州政府亦委託 CO2CRC 進行相關之可行性評估，若臺灣想了解細部之資訊，需參加 BCIA(Brown Coal Innovation Australia)會員或 CO2CRC 會員。維州政府願意就 CCS 相關技術議題與我方共同舉辦技術論壇，並提出具體合作議題。有關利用維州豐沛之褐煤進行產氫之評估，澳方歡迎臺灣自組團隊，評估褐煤產氫運回臺灣之可行性。

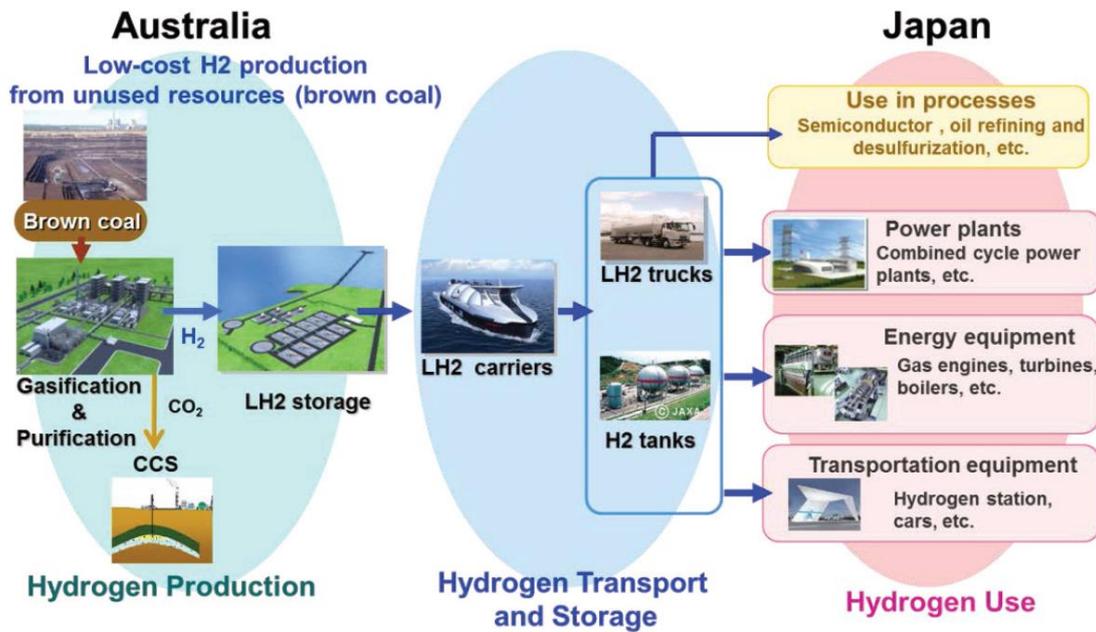


圖 45 日本與澳洲技術連結概念規劃

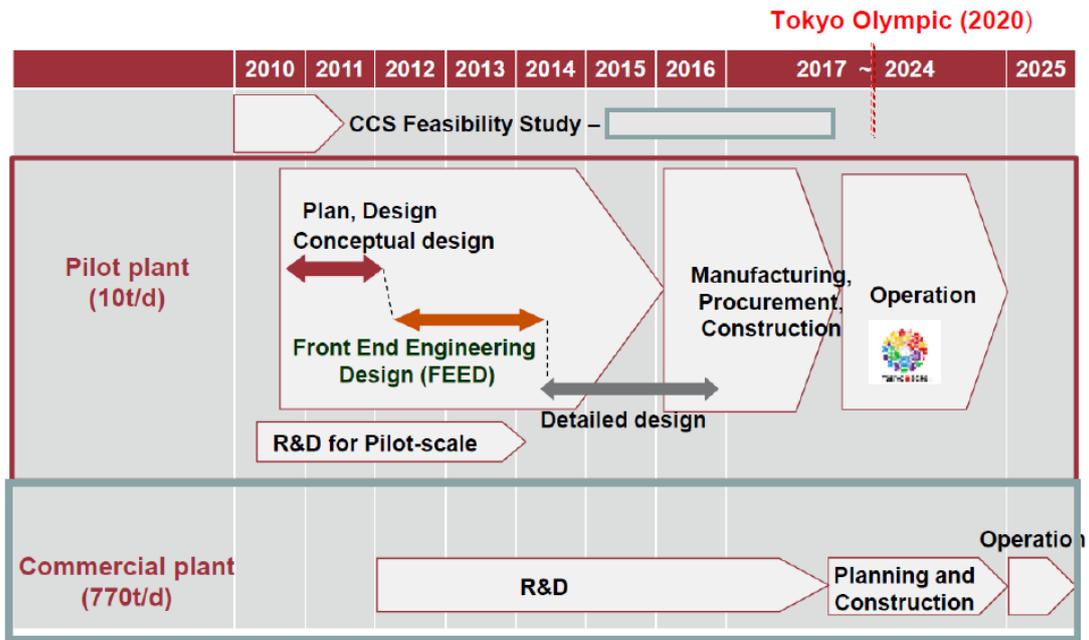


圖 46 液態氫生產與輸運時程規劃

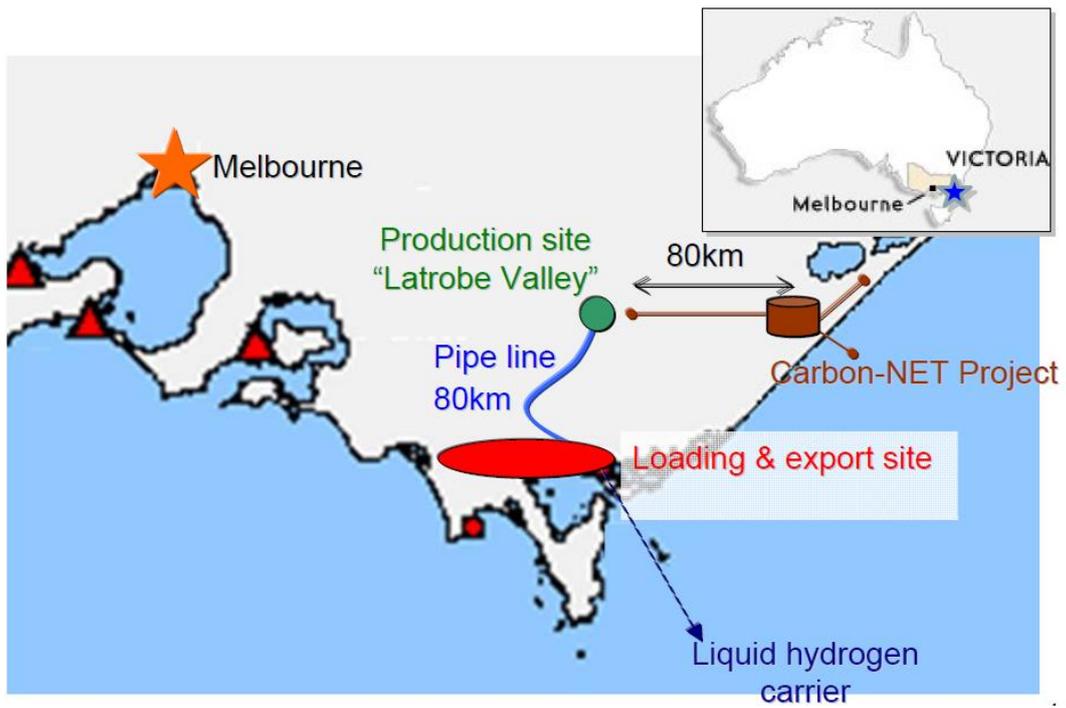


圖 47 液態氫生產位置圖



Length: 315 m
 Width: 56 m
 Depth: 28 m
 Required sea depth: 11 m

Tank type: Type B independent tank Annual delivery Qty: 238,500 ton/year-H₂
 Numbers of ship: 2 Service speed: 16 kts (30km/h)
 H₂ carrier size: 160,000 m³/ship Voyage days: 12.6 days/one way
 Boil off Rate (BOR): 0.2% / day

圖 48 液態氫運輸與儲存設計規劃

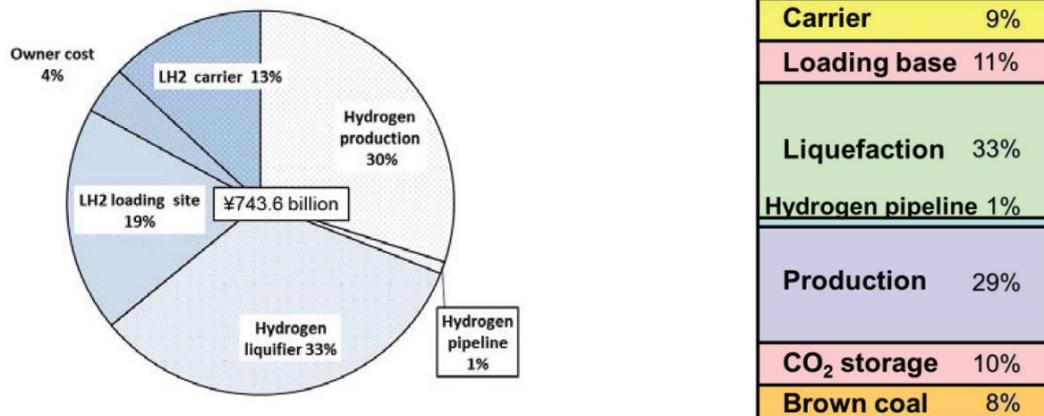


圖 49 液態氫生產成本估算

(七)Otway Project

CO₂CRC Otway 計畫為澳洲第一個示範型二氧化碳地質封存試驗場，以完整之監測系統聞名，其包括大氣、地表土壤氣、地下水、井下取樣，另在儲存層區亦進行垂直剖面影像、微震等監測。該計畫於 2003 年開始規劃研究地質結構，從 2007 年鑽鑿第 1 注入井(CRC-1)並進行佈置地表設施與管線，2010 年進入第二階段進行第 2 注入井(CRC-2)含水岩層試驗，至今已將超過 80,000 噸二氧化碳注入並儲存在各種地質構造中，是 CCS 技術上相當具有代表性項目。本次負責接待我方人員為擔任

社區聯絡主任 Shelly Murrell 女士，首先進行廠區安全教育訓練及計畫介紹(如圖 50 所示)並簡報(詳如附件 6)。爾後依規定穿戴安全防護裝備(配戴安全帽、安全眼鏡、螢光背心、安全鞋)後帶領參觀 Buttress1 生產井與 CRC-2 注入井廠區。



圖 50 聆聽簡報

Otway 位於澳大利亞維多利亞州西南部之 Warrnambool 鎮約 40 公里，該封存場址為一已涸竭之舊油氣田，因鄰近 2 公里處有一氣田所生產之天然氣 CO₂ 含量高達 80%(甲烷 20%)，藉由地下不銹鋼管道管線將高含量 CO₂ 由 Buttress-1 生產井採集後輸送至注入井(CRC-1、CRC-2)並利用廢棄天然氣井 Naylor-1 井轉作為監測井，觀察紀錄注入氣體之移動行為。(如圖 51)

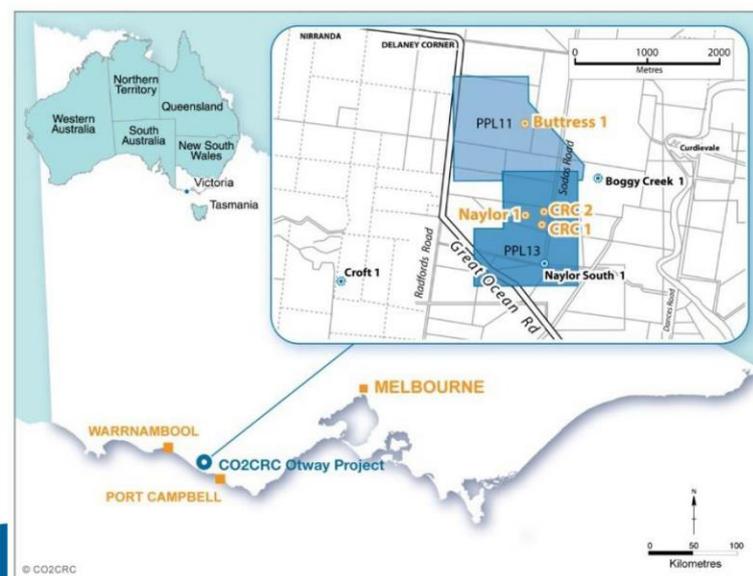


圖 51 Otway Project 廠址與廠區分配圖

選擇 Otway 廠址之主要原因：具備二氧化碳源、為已耗竭氣田，故已有大量探勘與生產資料及既有基礎設施，經評估後其地質條件適合所需封存量。2016 官方資料顯示計畫分為 3 個階段，第 1 階段(2004-2009)展現安全之運輸、注入與儲存至一已耗竭氣層(地層為 Waarre Formation，深度約 2100m)，其上方有 Belfast 泥岩當作蓋層；第 2 階段(2009-2019)之注儲地層則為上方之砂岩含水層(Paaratte Formation，深度約 1400m)；第 3 階段(2016-2028)展現安全可靠及具有成本效益之 CO₂ 地下監測。(如圖 52、圖 53 所示)

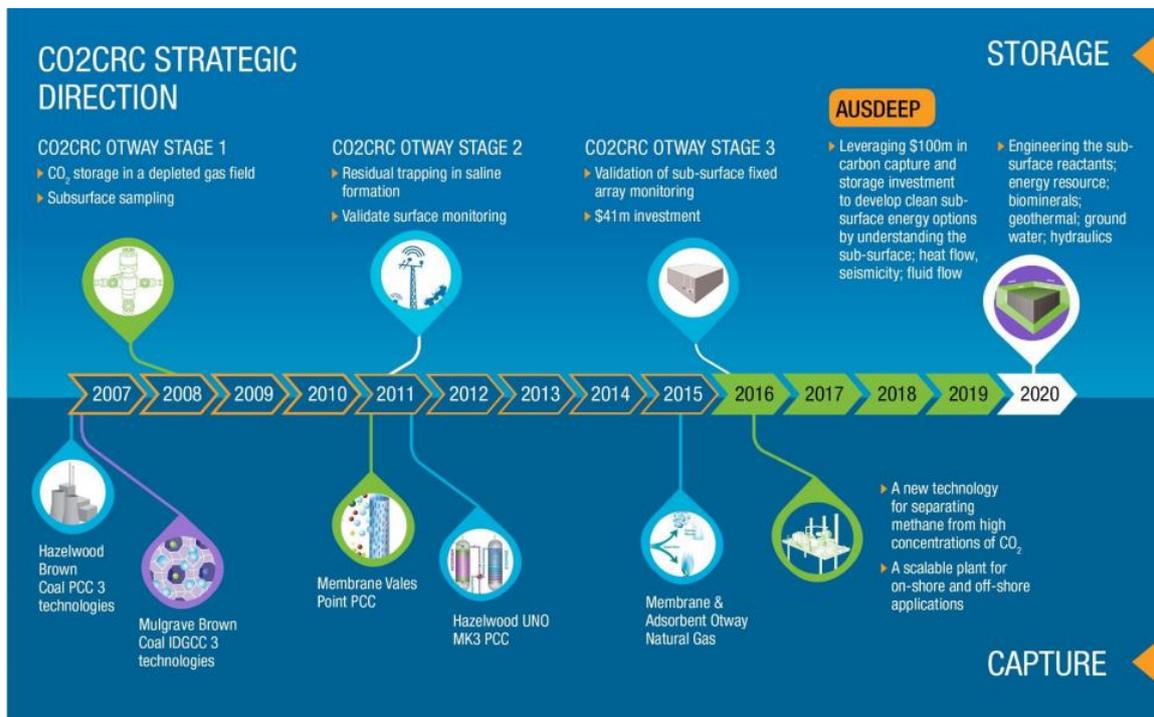


圖 52 CO2CRC 戰略規劃(捕獲與封存)

CO2CRC Otway Project Objectives

- Stage 1: 2004 – 2009
 - ✓ Demonstrate safe transport, injection and storage of CO₂ into a depleted gas reservoir
- Stage 2: 2009 – 2019
 - ✓ Demonstrate safe injection and monitoring into a saline formation
- Stage 3: 2016 – 2028
 - ✓ Demonstrate safe, reliable and cost-effective subsurface monitoring of CO₂

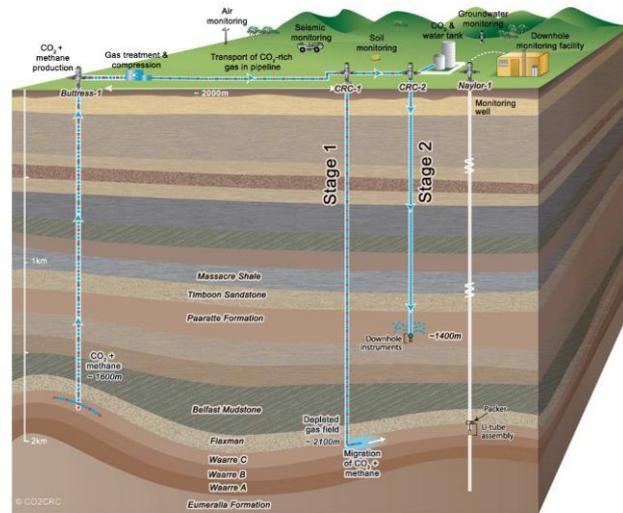


圖 53 Otway Project 目標

Buttress-1 廠區(如圖 54)，距離計畫辦公室約 2 公里處，此一氣田所生產之天然氣富含高 CO₂ 氣體(80% CO₂、20%甲烷)，利用不銹鋼管線(無進行分離)加壓輸送至注入井區域(如圖 55)。在注入前，已完成了基線監測(包含地表震測，大氣濃度，土壤氣體和地下水分析)以及動態模擬和風險評估。第 1 階段第 1 次注入(CRC-1)二氧化碳是 2008 年 3 月，並於 2011 年停止注入，在此期間超過 65,000 噸超臨界富 CO₂ 氣體通過 CRC-1 井注入。在第 1 階段利用廣泛之監測技術(3D 地表震測技術與 Naylor-1 監測井觀測)以了解 CO₂ 於地層中運動行為，並透過生物圈監測證實大氣、土壤和地下水沒有因注入帶來任何洩漏。CRC-1 注入井目前已停止注入，第 1 階段計畫目前僅剩定期性之監測工作，故本次並未參觀 CRC-1 廠區。另在 Buttress-1 廠區內於 2015 年建立一薄膜及吸附劑捕獲測試站(如圖 56)，以進行相關捕獲技術實地測試。



圖 54 Buttriss-1 廠區



圖 55 生產井與壓縮房



圖 56 薄膜及吸附劑捕獲測試站

該項目之第 2 階段發生在 2011 年，重點是探討二氧化碳與水之吸收溶解與形成殘留氣之過程。第 2 階段於 2015 年 12 月開始，相關設施如圖 57~60 所示。陸續將 15,000 噸之二氧化碳注入到一個鹽水含水層，其後再回注入先前移去之 450 噸地層水，採用 4D 震測技術(埋地接收陣列+垂直震測剖面，如圖 61)。觀察其二氧化碳與水交互作用並監控注入氣在地底之動態及分佈等行為。其目之在建立與模擬 CO₂ 在鹽水地層中移棲之特性(如圖 62)，同時建立有效可靠之監測與確認方法，將可更加瞭解 CO₂ 在鹽水層中形成殘餘氣之情形，該監測將持續到 2019 年。



圖 57 CRC-2 注入井廠區與提供震動之設備



圖 58 CRC-2 輸送管線



圖 59 (左)CO₂ 加熱裝置與(右)儲水裝置



圖 60 (左)注入井與(右)監控室

Stage 2C Monitoring program

- 4D seismic with buried receiver array acquired concurrently with 4D VSP
 - Baseline: March 2015
 - Monitor surveys: 5 kt, 10kt, 15 kt of injection (2016), 1&2 years post injection (January 2017 & 2018)
- Offset VSPs
- Trialing 4D seismic with buried DAS array, and continuous seismic sources (LBNL)
- Passive seismic using buried receiver array
- Continuous in- & above-zone pressure monitoring
- Saturation logging



Geophones



Fibre optic cable



Deployed in Trench



圖 61 4D 震測監控技術

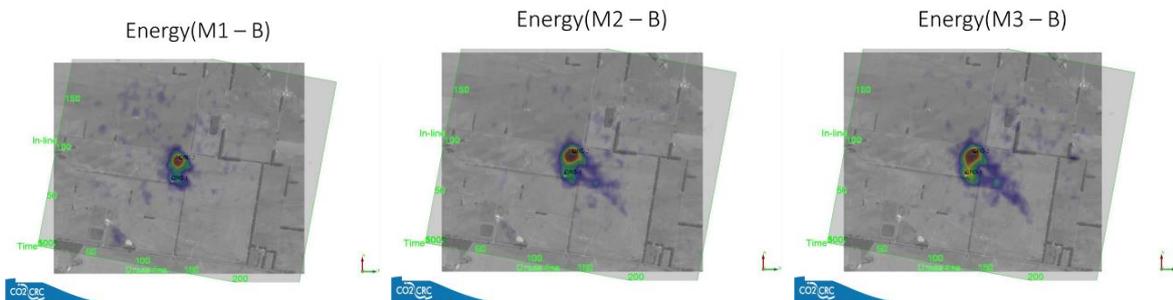


圖 62 模擬移棲行為

圖 63 為第 3 階段規劃，將提供工業上一個永久地下部署且具成本效益之即時監測、利用新且適當之技術提高二氧化碳監測之效率及減少監測活動之地面足跡和影響。在 2017-2018 年期間預計新增 CRC-3~CRC-7 注入點及其表面設施，其發展目標為利用完善之地質分析降低不確定性、精進儲存工程工藝、近地表 CO₂ 遷移預測和驗證、對地球工程開發問題之解決與協助等。

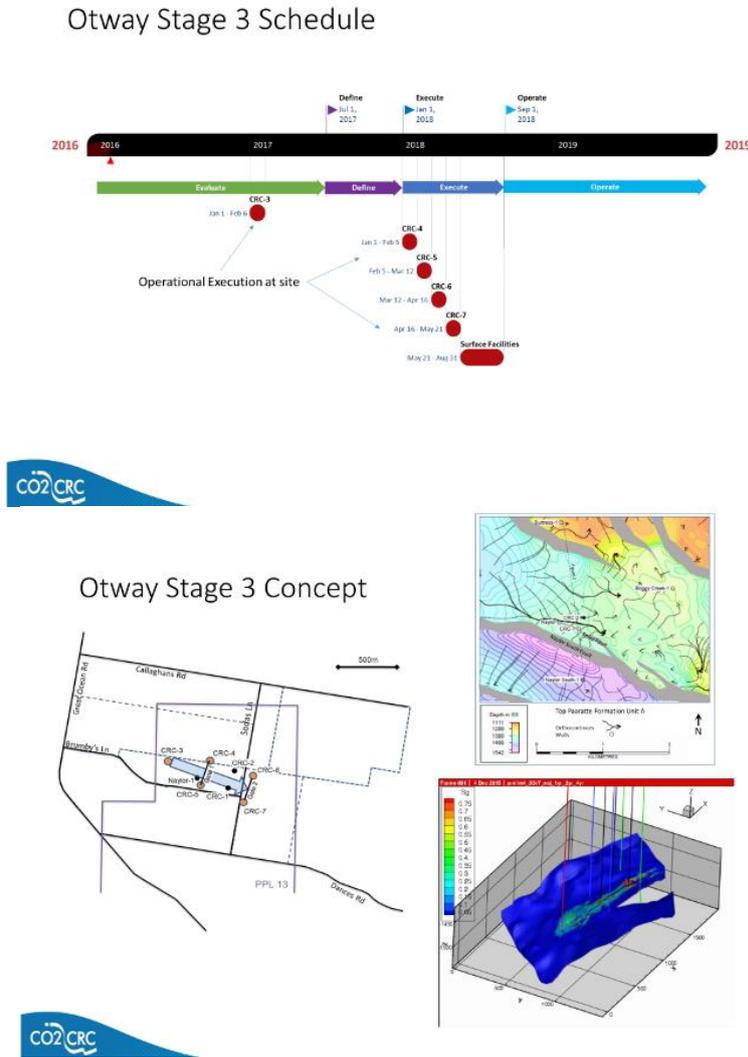


圖 63 第三階段規劃

在這價值 1 億美元之最大碳捕獲和封存示範項目，從標準生產、運輸、注入、儲存和監測二氧化碳，透過完善監測計劃、先進之技術與在地宣導，成功與社區人民建立良好且牢固之關係，成功展現 CCS 之安全性與施行之可行性，如圖 64~65。參訪後與 Shelly Murrell 女士合影(如圖 66)。

Highlights of the Storage Projects

Exceptional Datasets	<ul style="list-style-type: none"> Atmospheric (continuous monitoring) Soil Gas Seismic Reservoir fluids 	
Field Validation	<ul style="list-style-type: none"> Validation of models in actual field tests Fully permitted and operational site Availability of CO₂ Globally unique advantage 	
Developing Novel & Innovative Concepts & Technology	<ul style="list-style-type: none"> Single Well Test for reservoir characterisation Several generations of U-Tube systems deployed Innovative well instrumentation 	
First of its kind experiments	<ul style="list-style-type: none"> First CO₂ storage demonstration project in Australia Reducing risk and uncertainty Advising regulators and project proponents in Australia and world A go-to project 	

Government, Industry and Research Partners

圖 64 (左)計畫亮點與(右)合作夥伴



圖 65 (左)現場宣傳文宣與(右)場址旁牧場



圖 66 與 Shelly Murrell 女士合影

三、心得及感想

依據國際能源總署(IEA)於2015年統計報告指出，國內2013年能源使用二氧化碳排放總量為2.49億公噸，占全球總排放量0.77%，全球排名第22位，每人平均排放量10.63公噸，全球排名第20位。2015年6月15日立法院三讀通過「溫室氣體減量及管理法」(簡稱溫管法)，明訂國內須在2050年，將溫室氣體排放量降至2005年(約2.45億公噸)之一半。依國際能源總署(IEA)2015年對能源技術之減碳貢獻分析，CCS將佔13%貢獻度，為未來最具減碳潛力之技術。在再生能源容量有其限度情境下，持續使用化石能源仍有其必要性，為能持續使用低價之煤炭，同時降低電力排放係數，CCS技術為永續化石能源潔淨使用之最佳解決方案。

CCS為全球CO₂減量不可缺席之重要角色，特別是COP 21巴黎會議後，IEA在2015年能源技術預測報告，到2050年為減緩CO₂排放至大氣溫度不上升至2°C，約需捕獲與封存50億噸之CO₂。但，這是一個巨大CO₂量，需要大家一起努力，雖然臺灣不是締約國，未來仍將面臨極大之減碳壓力與可能之貿易制裁。因此，亟需加速CCS技術發展與實廠應用，以對我國減緩CO₂排放做出貢獻。

GCCSI引用IPCC 2014年11月之報告指出，要在2100年大氣中CO₂濃度控制在450ppm水準，若不用CCS將會增加整體CO₂減量成本之138%，若沒有核能將增加7%，若風力及太陽能受到限制將增加7%，若生質能受到限制則會增加64%。由此可見CCS在減緩CO₂排放之重要性，我國應加以重視並積極之推動。此行之心得與感想重點說明如下：

- (一)澳洲因有豐富之煤炭資源，為有效減緩燃煤所造成之CO₂排放，因此投入相當多之心力在二氧化碳捕獲與封存技術之開發。本次參訪單位皆為澳洲CCS領域具有代表性者，其中CSIRO在化學吸收法捕獲技術與氣化技術、墨爾本大學Paul Webley教授之吸附法捕獲技術，以及Otway封存測試平台，皆是我們值得學習與後續合作之對象與議題。
- (二)澳洲GCCSI是政府與業界、學界，非常好之合作窗口，並提供全球CCS發展狀況資訊，提供相互學習之資訊平台，對掌握全球CCS技術發展與

推展狀況、相關法規政策之發展情形有非常大之助益，亦提供我們在技術研發上之參考資訊。我國已有工研院、中鋼公司與台電綜合研究所參加GCCSI會員，對全球CCS相關資訊之掌握，有相當大之幫助。

(三)我國在能源國家型計畫及經濟部能源局積極發展上，對於碳捕獲與封存技術(CCS)已有相當之進展。特別在二氧化碳捕獲技術方面，亦在國際間嶄露頭角，目前發展較具成效之主要技術如下：

- 1、鈣迴路(Calcium Looping)捕獲技術，首先與水泥產業結合，建立全球最具規模之1.9MWt先導試驗廠，並籌組產業聯盟，將攜手促成下一世代30MWt級鈣迴路捕獲示範系統之建置。
- 2、胺基(Amine Base)化學吸收法，除已建立小型試驗廠，正朝放大產業示範行進。
- 3、化學迴路(Chemical Looping)技術，兼具高效率能源與低成本CO₂捕獲之特性，已建立試驗廠，正朝固態燃料與產氫製程，以及放大產業示範行進。本次之參訪行程也藉機將我國在CCS上之研發成果介紹與CSIRO與維州政府官員，對於未來雙方共同合作與技術交流建立合作管道。

(四)要實現CCS減量目標，除了技術積極發展外，政府政策之支持，亦是重要關鍵因素，包括：

- 1、為了CCS長期部署及給與CCS投資者可預期性之誘因，迫切需要強而有力，且可持續性獎勵CCS減少排放之政策。
- 2、需鼓勵具重要性之二氧化碳封存探勘及評估計畫，作為與民眾溝通及教育之平台，以避免CCS需廣泛推廣，卻因封存之不確定性而遭到延遲。
- 3、CCS是可以實現工業大規模減少CO₂排放之重要技術，例如鋼鐵業和水泥業。如能鼓勵這些產業引進CCS技術，以減少CO₂排放之減量政策，將能促使CCS廣泛推廣與發展至其他工業界。

(五)維州褐煤蘊藏量極為豐富且低廉，雖已與日本進行褐煤生產液態氫氣之相關合作，並完成可行性分析。但臺灣與日本國情不同，對未來氫能之大規模應用之可行性，從氫能之生產、儲存與運輸、國內儲存輸送之環

境建構，以及應用規劃等，都需要經由專業之評估，方能提供政府未來布局臺灣氫能應用之可靠參考依據。

四、建議

此行參訪澳洲 CCS 和以褐煤氣化產氫相關技術，在 GCCSI Dr. Tony Chang 之精心安排下，分別與 CSIRO 蘇適博士、GCCSI 總部相關人員及澳洲蒙納許大學 Alan Chaffe 教授及 Ranjith PG 教授，以及墨爾本大學 Paul Webley 教授等，面對面商談 CCS 相關技術，並了解澳洲維多利亞州政府與日本業界研議合作以 Brown coal 氣化產氫相關事宜，獲益良多。

依據日本揭露之資訊顯示，約在 3 年前即開始與澳洲合作利用維州豐富且廉價之褐煤，規劃開發氣化產氫運回日本應用事宜。日本川崎重工 2014 年之評估結果，預估氫氣之 CIF 價格約為 29.8 yen/nm³，10tons/day 之 pilot plant，預定 2020 年東京奧運前開始操作營運；770tons/day 之商轉廠預定 2025 年開始營運，商轉廠預計供應 238,500tons/year；另需新建 50,000m³ 儲氣槽 5 座。

維多利亞州預計於 105 年 12 月發布其新煤炭政策，該政策預計涵蓋褐煤製備氫氣和其它產品，褐煤轉化利用過程相關聯之碳捕集運輸與封存等。另，褐煤製備氫氣亦可能列入澳大利亞聯邦政府計畫考慮。日本後續示範廠測試，則預計於明(106)年 7 月與維州政府商議後決定。

拜會維多利亞州政府相關主管人員並會談後，重點摘述如下：

- (一)有關日本推估之產氫成本，係日方自行推算，維州政府未便表示意見。若臺灣對日本產氫計畫有興趣，可直接與日方接觸；維州政府亦委託 CO2CRC 進行相關之可行性評估，若臺灣想了解細部之資訊，需參加 BCIA(Brown Coal Innovation Australia)會員或 CO2CRC 會員。
- (二)維州政府願意就 CCS 相關技術議題與我方共同舉辦技術論壇，並提出具體合作議題，俾於下屆臺澳雙邊會議舉辦時提案合作。
- (三)有關利用維州豐沛之褐煤進行氣化產氫之技術，澳方歡迎我方組一團隊，以臺灣自有之產氫技術，如氣化或化學迴路技術，加以研究與評估運用於褐煤產氫運回臺灣應用之可行性。

- (四)如我方同意於106年8、9月期間舉辦雙方CCS技術論壇，維州政府將協助邀請CSIRO蘇適博士、GCCSI總部人員及澳洲蒙納許大學Prof. Alan、Prof. Ranjith，以及墨爾本Prof. Paul 等學研機構相關專家學者參與討論，並力邀美國能源部前助理副部長胡立歐博士與會。
- (五)建議國內可組成產官學研團隊與維州政府互相交流，並洽談後續相關合作事宜。

五、附件

附件1、參訪CSIRO議程

CSIRO Energy
Queensland Centre for Advanced Technologies (QCAT)
1 Technology Court, Pullenvale, QLD

24 October, 2016

Visit by Taiwan delegation

Main Conference Room

0930	Arrival, coffee, welcome	Shi Su
0940	The Status of CCS Development in Taiwan	Heng-Wen Hsu
1010	CSIRO storage research	Lincoln Paterson
1030	CSIRO gasification research	Daniel Roberts
1050	CSIRO PCC research	Ashleigh Cousins
1110	Lab tour	Led by Daniel/Su Shi
1145	Discussion on potential collaboration	All
1215	Lunch, then depart	All

Taiwan Delegates

Mr Shih-Nan Chen, Section Chief, BOE/MOEA
Dr Heng-Wen Hsu, Deputy Division Director, ITRI
Ms Hsiu-Yun Chien, Research Assistant, INER

CSIRO

Dr Lincoln Paterson, CSIRO Fellow
Dr Daniel Roberts, Research Group Leader
Dr Shi Su, Research Team Leader
Dr Ashleigh Cousins, Research Team Leader
Dr Jon Yin, Research Scientist
Mr Sanger Huang, Senior Engineer

Contact Details:

Shi Su

shi.su@csiro.au

Mobile: 0408 198 025 (+61 408 198 025)

附件4、參訪維多利亞州政府議程

Meeting Agenda - Taiwan delegation and Victorian Government

Goldfields Room, Investment Centre Victoria

Level 46, 55 Collins Street, Melbourne

10:00am – 12:00pm, 27 October 2016

Time	Activity
10: 30am	Taiwan delegation arrive
10:30 – 10:35am	Introduction of each side and business cards exchange
10:35 – 10:40 am	Welcome note Ian Filby , Project Director, Carbon Net Project, Department of Economic Development, Jobs, Transport and Resources, Victoria
10:40 – 11:10 am	Presentation on Carbon Net Project Trent Harkin , Technical Manager, Carbon Net Project, Department of Economic Development, Jobs, Transport and Resources, Victoria
11:10 – 11:40 am	Presentation on Brown Coal Development Jane Burton , Director for Coal Resources, Department of Economic Development, Jobs, Transport and Resources, Victoria
11:40 – 12:00 am	Presentation on CCS Development in Taiwan Heng-Wen Hsu , Taiwan Delegate
12:00 – 12:25 pm	Discussions
12:25- 12:30pm	Wrap-up

Attendants

Name	Organisation
Mr Shi-Nan Chen	Bureau of Energy, Ministry of Economic Affairs
Dr Heng-wen Hsu	Industrial Technology Research Institute
Ms Hsiu-Yun Chien	Institute of Nuclear Energy Research
Ian Filby	Department of Economic Development, Jobs, Transport and Resources, Victoria
Trent Harkin	Department of Economic Development, Jobs, Transport and Resources, Victoria
Jane Burton	Department of Economic Development, Jobs, Transport and Resources, Victoria
Tony Zhang	Global CCS Institute