

出國報告（出國類別：開會）

出席第14屆二氧化碳捕獲再利用與
封存研討會(CCUS-14)

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：吳政宏 主管減量計畫

派赴國家：美國

出國期間：104年4月27日至5月3日

報告日期：104年7月2日

出國報告審核表

出國報告名稱：出席第 14 屆二氧化碳捕獲、再利用與封存研討會		
出國人姓名	職稱	服務單位
吳政宏	主管減量計畫	台電公司環境保護處
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 實習 <input checked="" type="checkbox"/> 其他 <u>開會</u> (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)	
出國期間：104 年 04 月 27 日至 104 年 05 月 03 日		報告繳交日期：104 年 07 月 02 日
出國計畫主辦機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input type="checkbox"/> 2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」) <input type="checkbox"/> 3.無抄襲相關出國報告 <input type="checkbox"/> 4.內容充實完備. <input type="checkbox"/> 5.建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 6.送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 7.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 8.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"/> 內容空洞簡略未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <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"/> 9.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)，與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 其他 _____ <input type="checkbox"/> 10.其他處理意見及方式：	

說明：

- 一、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。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

報 告 人		審 核 人	單 位 主 管	主 管 處 主 管	副 總 經 理
-------------	--	-------------	------------------	-----------------------	------------------

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：出席第 14 屆二氧化碳捕獲、再利用與封存研討會

頁數 30 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：

台灣電力公司人力資源處/陳德隆/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

吳政宏/台灣電力公司/環境保護處/主管/02-23668625

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：104 年 04 月 27 日至 05 月 03 日 出國地區：美國

報告日期：104 年 07 月 02 日

分類號/目

關鍵詞：二氧化碳捕獲與封存技術(Carbon Dioxide Capture Utilization & Sequestration, 簡稱 CCUS)

內容摘要：(二百至三百字)

CCS 已被國際能源總署認定為全球減碳單項技術中的最佳工具，是直接針對主要碳排放源進行減量的有效處理方式之一。目前捕獲技術佔整體 CCS 成本的 70%左右，因此如何降低捕獲階段的成本是全球各機構目前研究發展的主要方向。「二氧化碳捕集、利用與封存研討會」是國際上 CCUS 年度論文發表的重要場合之一，該研討會網羅國際間有關二氧化碳捕集、再利用及封存等相關技術與法令規範之最新成果，14th Annual CCUS 研討會今(2015)年 4 月 28 日至 5 月 1 日於美國匹茲堡市召開，本次派員參加該研討會，藉此收集國際最新碳捕集、再利用及封存技術發展，將可作為本公司未來電源開發之環境保護工作參考。

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

目錄

壹、	出國目的	-----1
貳、	會議議程	-----3
參、	會議紀要	-----5
	一、國際碳捕存與再利用發展現況	-----5
	二、電力部門捕存與再利用案例說明	-----10
	三、碳捕捉技術成本之現況與未來	-----15
	四、碳捕存與再利用法規/標準之發展與案例	-----18
	五、碳捕存與再利用技術之困境與發展	-----27
肆、	心得與建議	-----29

壹、出國目的

依據國際能源總署(International Energy Agency, IEA)「能源科技展望」(The Energy Technology Perspective,2012)的分析，如果全球增溫要控制在 2°C 以內，則全球溫室氣體排放量在 2050 年必須要由基本情境(Business As Usual ,BAU) 的 580 億噸減少至 160 億噸以下，約只有 1990 年排放量的一半左右，換言之，2050 年全球溫室氣體排放量必須減少 420 億噸，方能確保地球增溫不會超過攝氏 2°C。

要達到如此巨額的減量需求，IEA 指出，碳捕捉與封存(Carbon Dioxides Capture and Sequestration, 簡稱 CCS)必須扮演非常重要的角色，因為 CCS 技術不會影響電力系統的穩定性，而且相較於離岸風力等減量技術而言，CCS 的成本具有競爭力，因此全球各主要國家皆已十分關注該技術的發展，預估在 2050 年 CCS 的溫室氣體減量貢獻可以達到 14%左右，如圖 1 所示。

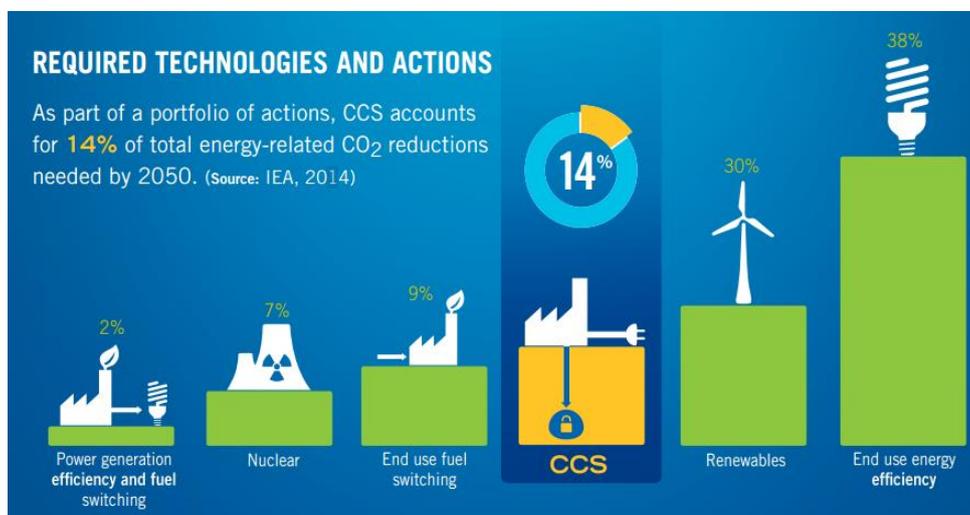


圖 1. 達成 2050 減碳目標之 CCS 貢獻率

有鑑於 CCS 技術可使舊有或新設燃煤電廠降低碳排放，為此，本公司除了持續關注國際 CCS 的發展之外，亦辦理 CCS 先導試驗場址之評估與試行等工作，並提出 CCS 發展路徑圖(請參圖 2)，現階段已完成 3,000 公尺之鑽地質調查工作。由於 CCS 試行計畫涉及工程、經濟與環境等面向，捕捉與封存之有效性與安全性將受法規與民意嚴格檢視，因此推動過程須與國際發展接軌。

2015 年 4 月 28 日~5 月 1 日於美國匹茲堡舉行之第 14 屆二氧化碳捕獲再利用與封存研討會(Annual Conference on Carbon Capture Utilization & Sequestration，以下簡稱 CCUS-14)，會議內容包含國際間二氧化碳捕獲再利用與封存技術與大型試驗計畫之最新進展與相關法規之建構情形，可作為本公司推動相關工作之參考。

	~2013	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2019-22	2022-26
碳捕集與封存技術		先導試驗#1 地質探查井深鑽 與特性分析	先導試驗 #2 地質 特性分析	二氧化碳地質封存先導試驗 與監測驗證技術研發					碳捕集 與封存 整合示 範試驗	碳捕集 與封存 商轉驗 證試驗
碳捕集與封存策略	廣域地質調查 二氧化碳捕集封存與再利用技術與經濟性評估									
捕集技術	國內外碳捕集技術調查 碳捕集關鍵技術開發								碳捕集 整合試 驗	碳捕集 商轉驗 證試驗
封存技術	篩選: 潛力場址	評估: 場址地質	許可 申請	灌注 規劃	井 施工	灌注 監測	監測 封井	(100kt/y) (1Mt/y.)		
	風險分析/風險管理									
	篩選	評估	許可灌注階段							
	品質管理									

圖 2. 台電公司 CCS 發展路徑圖(來源:綜合研究所)

貳、會議議程

2015 年 4 月 28 日~5 月 1 日於美國匹茲堡舉行之 CCUS-14 會議

內容包括：CO₂ 捕獲、再利用及封存技術、大型試驗計畫、傳統火力電廠碳捕存整合技術、技術經濟政策影響評估、風險評估、國際碳捕存法規與 ISO 國際標準之最新進展。該會議之議程請參表 1。

表 1 CCUS-14 會議議程

— FOURTEENTH ANNUAL CCUS CONFERENCE —		
AGENDA		
Tuesday, April 28		
1:30 REGISTRATION OPENS		10:55 Major Efforts in Supporting CO₂-EOR use with CCUS
6:00 WELCOME RECEPTION		MODERATOR: Richard Lynch , International Activities Advisor, Office of Fossil Energy, U.S. Department of Energy
7:00 WELCOME DINNER		Patrick Falwell , Solutions Fellow, Center for Climate and Energy Solutions
Wednesday, April 29		
7:00 CONTINENTAL BREAKFAST		OPEN DISCUSSION
8:00 WELCOME		11:30 POSTER SESSION BEGINS; AUTHORS PRESENT
Llewellyn King , Conference Chair; former Publisher, Energy Daily		12:30 LUNCH
8:05 OPENING KEYNOTE PLENARY		1:30 CONCURRENT SESSIONS
MODERATOR: Llewellyn King , Conference Chair; former Publisher, Energy Daily		3:30 COFFEE BREAK
Grace Bochenek , Director, National Energy Technology Laboratory		3:50 CONCURRENT SESSIONS
OPEN DISCUSSION		5:50 CONCURRENT SESSIONS END
8:35 OPENING KEYNOTE PLENARY - Perspectives on the Future of CCUS/CCS		5:50 RECEPTION
MODERATOR: Llewellyn King , Conference Chair; former Publisher, Energy Daily		7:00 RECEPTION AND POSTER SESSION ENDS
Joseph Goffman , Senior Counsel to the Assistant Administrator for Air and Radiation, U.S. Environmental Protection Agency		
OPEN DISCUSSION		
Franklin Orr , Under Secretary for Science, U.S. Department of Energy		
OPEN DISCUSSION		
Juho Lipponen , Directorate of Sustainable Energy Policy, International Energy Agency		
OPEN DISCUSSION		
10:25 A Potential Path Forward to Stimulate CCUS/CCS Deployment— The 'Bridge to the Bridge'		
MODERATOR: Richard Lynch , International Activities Advisor, Office of Fossil Energy, U.S. Department of Energy		
Steve Melzer , President, Melzer Consulting		
OPEN DISCUSSION		

Conference Advisors...		
Adriana Arevalo USEA	Susan Hovorka University of Texas	Dwight Peters Schlumberger Carbon Svs.
Stefan Bachu Alberta Innovates	Nigel Jenvey BP Group Technologies	Eric Peterson Idaho National Laboratory
Max Ball SaskPower	Bruce Kobelski U.S. EPA	Richard Rhudy EPRI
Melissa Batum U.S. Dept. of the Interior	Krish Krishnamurthy The Linde Group	Ed Rubin Carnegie Mellon University
Carl O. Bauer C.O. Bauer Consulting Inc.	Dennis Leppin Gas Technology Institute	George Rudins USCSG
Indrajit Bhattacharya American Electric Power	Juho Lipponen International Energy Agency	Norm Sacuta PTRC
Jackie Bird BirdWorks Consulting	John Litynski U.S. DOE	Thomas Sarkus U.S. DOE/NETL
Thomas Brouns PNWL-Battelle	Chuck McConnell Rice University	Scott Smouse U.S. DOE/NETL
Dan Cole Denbury	Jon McKinney Public Services Commission of West Virginia	Desikan Sundararajan STATOIL
Guy Couturier SNC-Lavalin Inc	Steve Melzer Melzer Consulting	Ronald Surdam University of Wyoming
Don DePaolo LBNL	Tom Mikus CO ₂ Global	Robert Van Voorhees Carbon Sequestration Council
Sarah Forbes World Resources Institute	Nancy Mohn ALSTOM Power	Sarah Wade Wade LLC
John Gale IEA GHG R&D Prog.	Michael Moore NACCSA	Ivy Wheeler NARUC
Neeraj Gupta Battelle	Granger Morgan Carnegie Mellon University	Neil Wildgust Global CCS Institute
John Harju University of North Dakota	Curtis M. Oldenburg LBNL	Ben Yamagata Coal Utilization Research Council
Robert Hillon ALSTOM Power	Rajesh Pawar LANL	
Jeffrey Hopkins CIRES	George Peridas NRDC	

表 1 CCUS-14 會議議程(續)

— FOURTEENTH ANNUAL CCUS CONFERENCE —	
Thursday, April 30	
7:00	CONTINENTAL BREAKFAST
8:00	OPENING KEYNOTE PLENARY
	A Perspective on CCS/CCUS in the West
	MODERATOR: Llewellyn King , Conference Chair; former Publisher, Energy Daily
	Dave Freudenthal , former Governor, Wyoming
	OPEN DISCUSSION
8:30	Update on International CCS Standards
	MODERATOR: Llewellyn King , Conference Chair; former Publisher, Energy Daily
	Kipp Coddington , Director, Carbon Management Institute, University of Wyoming
	OPEN DISCUSSION
9:00	ROUNDTABLE: Evaluating the Class VI Well Experience So Far
	DISCUSSION LEADER: Bob Van Voorhees , Executive Director, Carbon Sequestration Council
	Mary Rose Bayer , Geologist, U.S. Environmental Protection Agency
	Tyler Gilmore , FutureGen UIC Permit Lead, Pacific Northwest National Laboratory
	Scott McDonald , Biofuels Development Director, Archer Daniels Midland Company
	OPEN DISCUSSION
10:15	The Global Status of CCS Projects
	MODERATOR: Krish Krishnamurthy , Head of Clean Energy-Technology Development - North America and CCS, Linde LLC
	Neil Wildgust , Principal Manager – Geological Storage, Global CCS Institute
	Ron Munson , Principal Manager – Carbon Capture, Global CCS Institute
	Luc Rock , Quest CCS Project, Shell Canada Limited
	James E. Allen , Assistant Deputy Minister, Electricity and Sustainable Energy Division, Government of Alberta - Alberta Energy
11:15	Fossil Forward – Bringing Scale and Speed to CCS Deployment
	MODERATOR: Llewellyn King , Conference Chair; former Publisher, Energy Daily
	Janet Gellici , Executive Vice President and Chief Operating Officer, National Coal Council
11:30	POSTER SESSION BEGINS; AUTHORS PRESENT
12:30	LUNCH
1:30	CONCURRENT SESSIONS
3:30	COFFEE BREAK
3:50	CONCURRENT SESSIONS
5:50	CONCURRENT SESSIONS END
5:50	RECEPTION
7:00	RECEPTION AND POSTER SESSION END

— Is CCS/CCUS Ready for ‘Prime Time’? —	
Friday, May 1	
7:00	CONTINENTAL BREAKFAST
8:00	OPENING PLENARY ADDRESS
	MODERATOR: Llewellyn King , Conference Chair; former Publisher, Energy Daily
	Barry Worthington , Executive Director, U.S. Energy Association
	OPEN DISCUSSION
8:30	The U.S. National Carbon Capture Center at Southern Co.–Facilitating Deployment, Domestically and Internationally
	MODERATOR: Bob Wright , Senior Advisor, Office of Fossil Energy, U.S. Department of Energy
	John Northington , Assistant Director, National Carbon Capture Center
9:00	The View of CCS/CCUS in the Global Climate Picture
	MODERATOR: Bob Wright , Senior Advisor, Office of Fossil Energy, U.S. Department of Energy
	Tim Dixon , Manager Technical Programme and Manager CCS and Regulatory Affairs, IEAGHG
9:30	CLOSING PLENARY: The Outlook for CO₂ Capture Costs
	MODERATOR: Llewellyn King , Conference Chair; former Publisher, Energy Daily
	Edward Rubin , Professor Engineering and Public Policy and Mechanical Engineering, Carnegie Mellon University; Member of the U.N. Intergovernmental Panel on Climate Change
10:15	COFFEE BREAK
10:30	CONCURRENT SESSIONS
12:10	CONFERENCE ADJOURNS

叁、會議紀要

一、國際碳捕存與再利用發展現況

為了穩定大氣中溫室氣體濃度從而達成聯合國政府間氣候變化專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, 簡稱 IPCC)所提出在 2050 年之前限制溫度上升不超過 2°C 的目標,各國專家皆同意 CCS 必須扮演非常重要的角色,且認為 CCS 作為低碳技術組合的一部分,必須要在全球得到更廣泛的支持與應用。

國際上定義大規模碳捕存整合計畫(Large-Scale Integrated CCS Projects, LSIPs)係指捕獲、運輸及封存整合型計畫且-

- (一)溫室氣體排放量大於 0.8 Mt-CO₂/年之燃煤電廠;
- (二)溫室氣體排放量大於 0.4 Mt-CO₂/年之密集型工業設施,包括天然氣電廠。

截至 2015 年 5 月全球共有 55 個 LSIPs 正在進行,請參見圖 3, CO₂ 捕獲潛能達 100 Mt-CO₂/年。其中,13 個計畫進入運轉(Operate)階段,CO₂ 捕獲量達 27 Mt-CO₂/年、9 個計畫進入建造(Execute)階段,CO₂ 捕獲量達 8 Mt-CO₂/年、14 個計畫進入設計(Define)階段,CO₂ 捕獲量達 23 Mt-CO₂/年、19 個計畫處於早期規劃階段(評估 Evaluate 和鑑定 Identify 階段),CO₂ 捕獲量達 37 Mt-CO₂/年。

雖然 55 個 LSIPs 之計畫總數較過去減少，但 22 個 LSIPs 進入運轉、建造階段之計畫數量卻較過去十年增加 50%，顯示 LSIPs 發展步調減緩卻逐漸邁入穩健而聚焦階段。

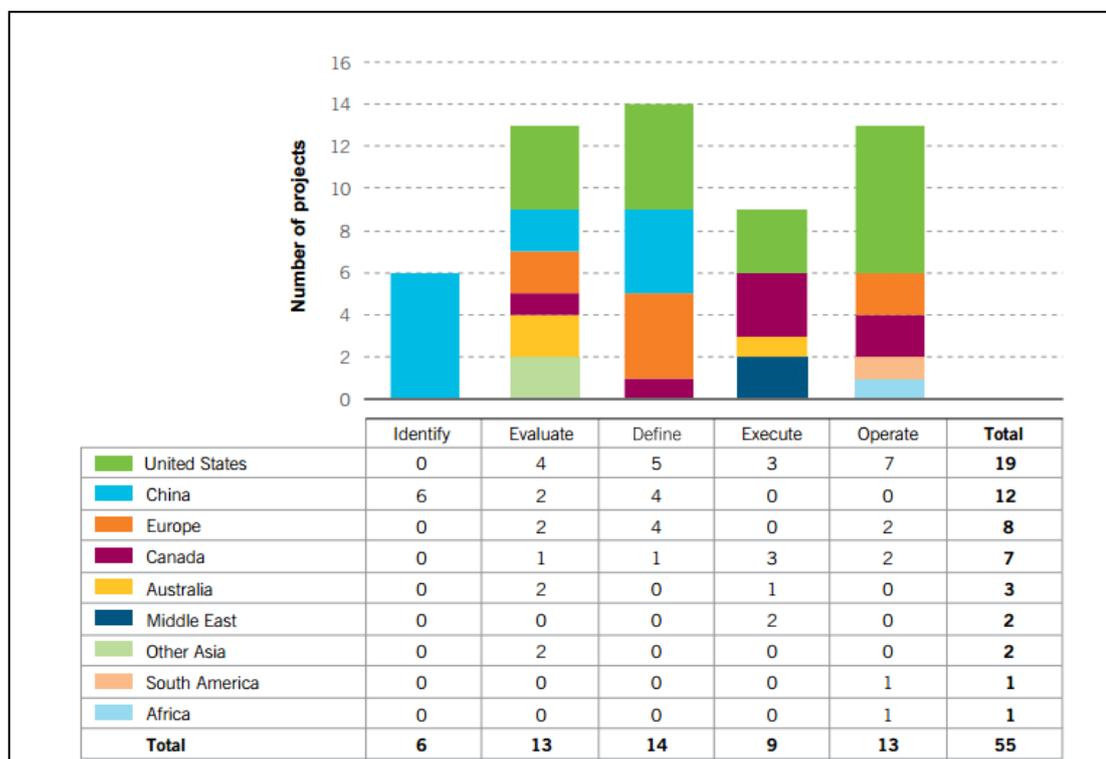


圖 3. 大規模碳捕存整合計畫之推動現況

由於美國發展 CCS 技術有利於油氣增產，因此該國之 CCS-EOR(提高原油採收率 Enhanced oil recovery, 簡稱 EOR)技術發展已相當成熟，目前共有 7 個 LSIPs 運轉中，CO₂ 捕獲量達 20 Mt-CO₂/yr。有別於美國之發展，英國基於供電穩定及減碳考量，主要朝化石燃料電廠碳捕獲搭配深部鹽水層地質封存形式發展，但亦計畫於北海舊油氣田進行 EOR 作業，目前有 3 個 LSIPs 進入設計(Define)階段，CO₂ 捕獲量達 8 Mt-CO₂/yr，預計 2019 年開始運轉。澳洲因國

內生產大量煤礦，屬化石燃料輸出國，發展 CCS 技術將有助該國之煤炭輸出，因此也十分積極開發安全、可靠、低成本之技術並提升地下監測能力，目前有 1 個 LSIPs 進入建造(Execute)階段，CO₂ 捕獲量達 4 Mt-CO₂/yr，預計 2016 年開始運轉。日本則著重於低碳技術開發及試驗，蒐集詳盡資訊及建立技術研發能量，目前以離岸封存為主要開發方向，針對苫小牧場址及鄰近區域進行地質調查，預計將於 2016~2018 年執行 0.1 Mt-CO₂/yr 灌注試驗，灌注後將持續進行 CO₂ 監測至 2020 年結束。各項 LSIPs 之類型與預定進度請參圖 4。

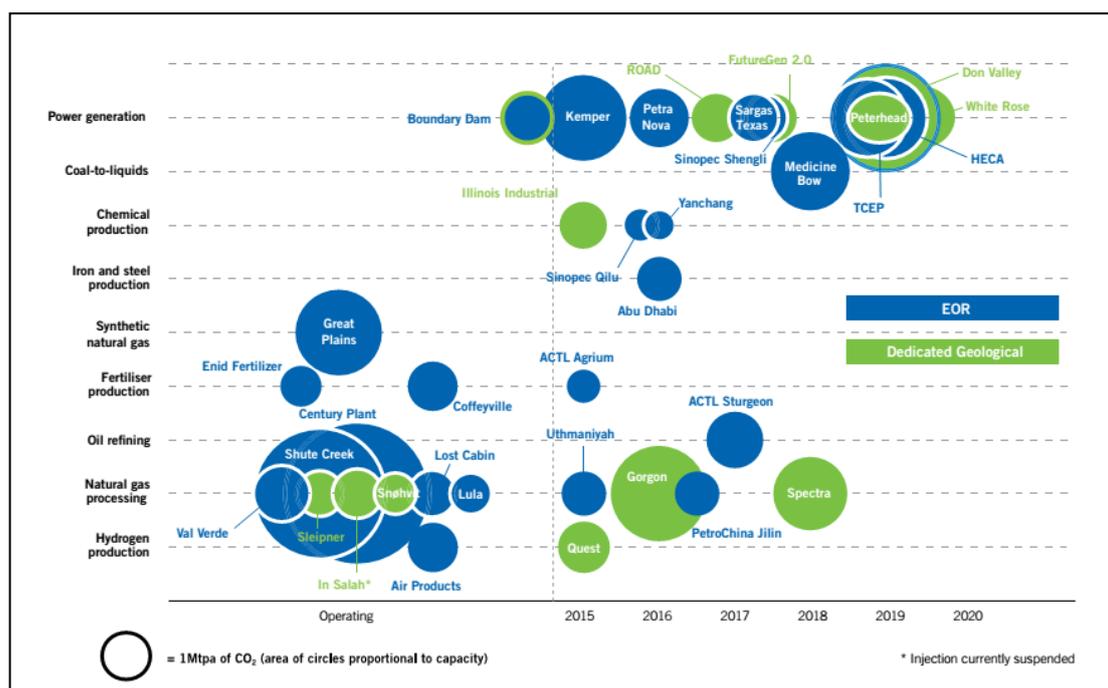


圖 4.各類型 LSIPs 之推動進程與減碳規模

美國 DOE(Department of Energy 能源部，簡稱 DOE)已建立 7 個 Regional Carbon Sequestration Partnerships 藉此支持各項 CCS 計

畫，計畫已從 Phase 1-Characterization、Phase 2-Validation，進入到 Phase 3-Development 階段。截至 2015 年 3 月底各計畫進度如下：

1. Big Sky Carbon Sequestration Partnership : Kevin Dome project，預計 2015 年進行 CO₂ 灌注試驗。
2. Plains CO₂ Reduction Partnership : Bell Creek Field project，已灌注 1,660,570 t-CO₂；Fort Nelson project，灌注時間尚在規劃階段。
3. Midwest Regional Carbon Sequestration Partnership : Michigan Basin Project，已灌注 346,243 t-CO₂。
4. Midwest Geological Sequestration Consortium : Illinois Basin Decatur project，已灌注 999,215 t-CO₂。
5. Southeast Regional Carbon Sequestration Partnership : Citronelle project，已灌注 114,104 t-CO₂；Canfield project，已灌注 4,743,898 t-CO₂。
6. Southwest Regional Carbon Sequestration Partnership : Farnsworth Unit- Ochiltree Project，已灌注 259,739 t-CO₂。
7. West Coast Regional Partnership : Kimberling project，已終止。

美國 NCC (National Coal Council 負責美國煤炭政策規劃及建議

供美國能源部長參考之單位)於 CCUS-14 會中強調，若沒有發展足夠數量之示範型 CCS/CCUS 計畫，CCS/CCUS 商業化是不可能達成的；若沒有適當場址可供 CO₂ 封存或再利用，CO₂ 捕獲是無法發展的。

目前各項運轉中之大型計畫對於深部鹽水層地質封存已累積了許多寶貴經驗，如：挪威 Sleipner CO₂ storage project、挪威 Snøhvit CO₂ storage project、阿爾及利亞 In Salah CO₂ storage project、法國 Lacq CCS pilot project、德國 Ketzin CCS pilot project 及澳洲 Otway project 等。另有 3 個進入建造(Execute)階段之 LSIPs 嘗試進行陸域深部鹽水層地質封存：加拿大 Quest project，CO₂ 捕獲量達 1.08 Mt-CO₂/yr，預計 2015 年 9 月開始運轉、美國 Illinois Industrial Carbon Capture and Storage project，CO₂ 捕獲量達 1 Mt-CO₂/yr，預計 2015 年開始運轉，及澳洲 Gorgon carbon dioxide injection project，CO₂ 捕獲量達 4 Mt-CO₂/yr，預計 2016 年開始運轉。另外，有 6 個進入設計(Define)階段之 LSIPs 確定在深部鹽水層或枯竭油氣層進行封存，包括：荷蘭 ROAD project、美國 FutureGen 2.0 project、加拿大 Spectra Energy's Fort Nelson CCS project、英國 Don Valley power project、英國 Peterhead CCS project 及英國 White Rose CCS project，這些計畫預計 2017~2020 年開始運轉。未來由上述各項計畫所獲得的經驗，將大幅提升我們對地質封存之了解。

二、 電力部門碳捕存與再利用案例說明

美國環保署將於 2015 年 6 月公布既有燃煤電廠 CO₂ 減排目標，且未來新建燃煤電廠將面臨更嚴格之 CO₂ 減排規定，而英國自由黨已提出禁止未加裝 CCS 設備之既有燃煤電廠繼續運轉之訴求。美國總統歐巴馬已於 2016 年之年度預算中增列 CCUS 碳稅抵減項目，將對電廠建立新的投資碳稅抵減及地質封存碳稅抵減；針對既有及未來新電廠所採用之不同碳捕獲技術，建立碳稅抵減保留機制。目前，進行 EOR 之碳稅抵減額度僅 10 USD/t、進行深部鹽水層地質封存之碳稅抵減額度僅 20 USD/t。

由於 CCS 已經被確認是達成限制全球氣溫上升 2°C 目標的重要關鍵技術，如果可以成功將 CCS 技術應用在化石燃料電廠即兼顧電廠營運及溫室氣體減量需求。茲整理幾座技術成熟且已商業化發展之電廠，作為參考。

(一) 加拿大 Saskatchewan - SaskPower company's Boundary Dam

燃煤電廠之 Boundary Dam Integrated Carbon Capture and Sequestration demonstration project :

Boundary Dam 發電廠在加拿大薩斯喀徹爾省正式啟用，是全球首座能夠捕獲自身二氧化碳排放的大型商業燃煤電廠。該廠對於清淨燃煤技術的發展具有重要里程碑的意義。這項計畫是世界上第一

個商業化規模的 CCS 設施，其主要項目是對該電廠 3 號機組進行改裝，工程係由加拿大 SNC Lavalin 公司進行設計、設備採購和施工，殼牌子公司 Cansolv 提供碳捕獲技術，日商日立公司提供先進的汽渦輪機。

Boundary Dam 電廠 3 號燃煤機組的發電能力為 139 兆瓦，改造後可生產清潔電力 110 兆瓦。每年可以捕捉約 100 萬噸二氧化碳，占其二氧化碳排放總量的 90%。捕獲的二氧化碳將分別用於提高原油採收率和地質封存。捕捉後之氣體售予 Cenovus 能源公司，以壓縮後之氣體注入地下藉此取得地下原油；另外一部分的氣體則轉給 Aquistore 研究專案進行深部鹽水層地質封存試驗，該試驗已於 2015 年 4 月開始進行灌注及監測，上半年灌注量目標設定為 1,000t/天。

Boundary Dam 工程的改裝耗資約 13 億美元，其中加拿大政府提供了 2.4 億美元的政策補貼，藉此減少技術和資金風險，即使有政府的政策補貼，但 SaskPower 公司仍然希望政府可以批准在未來 3 年內將電價提高 15.5%。

這項工程最大的期望在於 CCS 專家們能夠從此專案中學習如何以更低的成本來推廣 CCS 技術並取得相關操作與營運的經驗。

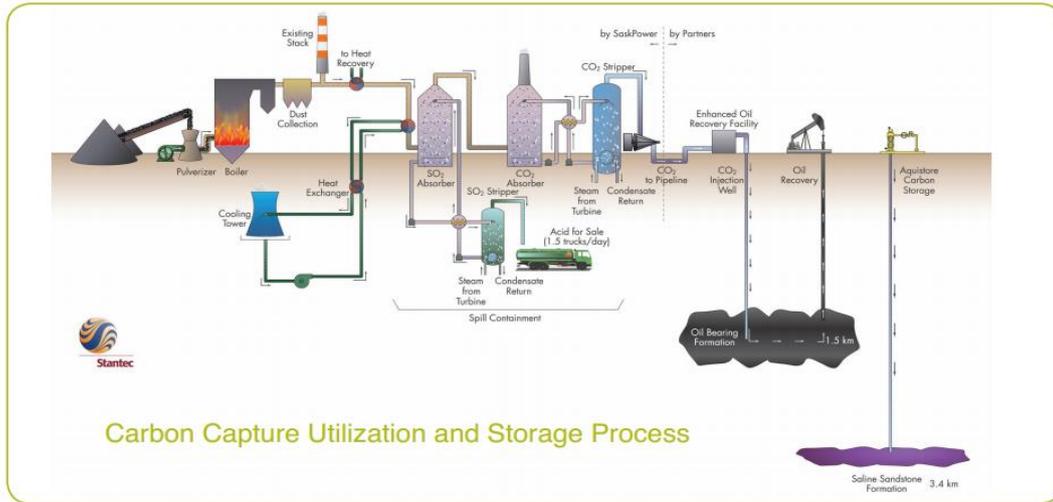


圖 5 Boundary Dam CCS 計畫

(二)美國 Mississippi - Southern company's Kemper County 燃煤電廠之 Kemper County Energy Facility (formerly Kemper County IGCC project) :

該廠之裝置容量為 582MW，屬燃燒前碳捕捉系統，CO₂ 捕獲率約 65%，每年約可捕獲 350 萬噸 CO₂。2013 年 10 月已鋪設完成 96 公里的 CO₂ 運輸管道，應用於 CO₂-EOR 的作業。副產品(含 CO₂)的銷售每年預期大約有 5000 萬至 1 億美元的收益。根據美國潔淨煤發電計畫(CCPI)，該專案已獲得美國能源部 2.7 億美元的資金支援。預計 2016 年上半年度可以開始營運，是全世界第一座搭配 CCS 之 IGCC 發電廠。

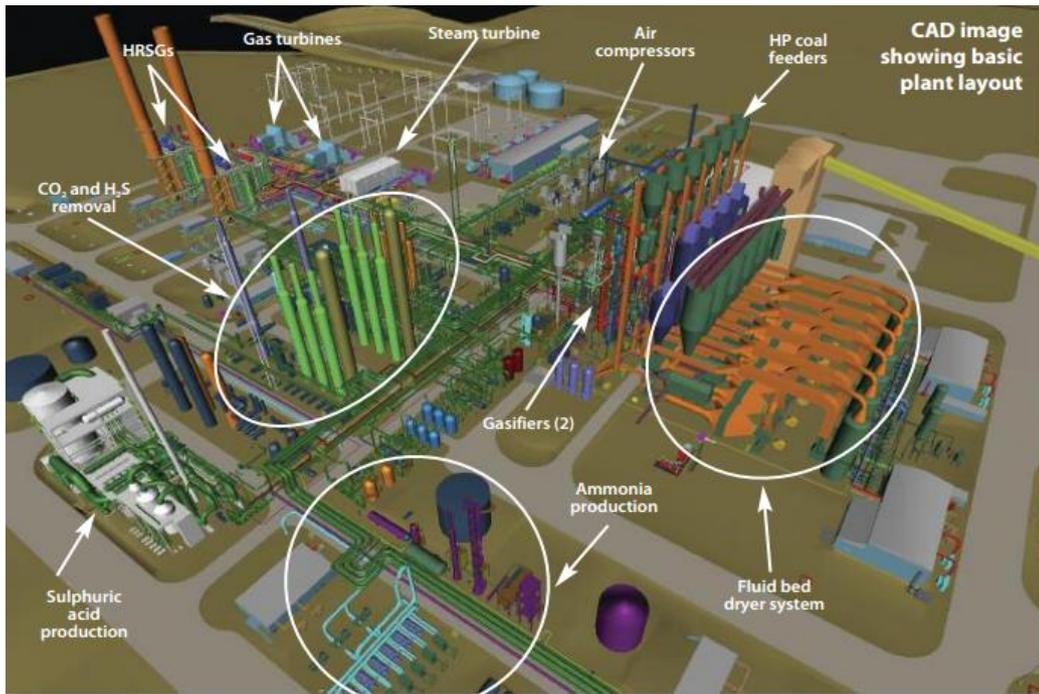


圖 6 Kemper County IGCC project

(三)美國 Texas - NRG Energy company's W.A. Parish Petra Nova 燃煤電廠之 Petra Nova Carbon Capture project (formerly NRG Energy Parish CCS project) :

該計畫是利用三菱重工的碳捕捉專利技術 KM CDR Process®，自 240 MW 的煙氣中捕捉 1.6 Mt-CO₂/年，捕捉率約為 90%。預計 2016 年下半年度開始運轉；該案是美國境內既有電廠增建 CCS 設施的最大型燃燒後捕獲計畫，所捕獲之 CO₂ 將應用於 EOR，估計藉此可提高原油的採收率，產量將從每日 500 桶增加到大約 15000 桶。



圖 7 NRG Energy Parish CCS project

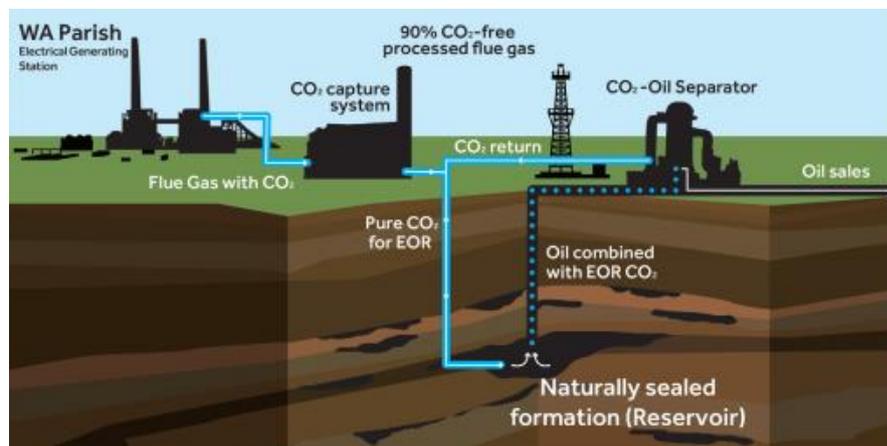


圖 7 NRG Energy Parish CCS project(續)

另外，目前有 9 個電力部門 LSIPs 進入設計(Define)階段，CO₂ 捕獲量達 17 Mt-CO₂/yr，預計 2017~2020 年開始運轉。預定運轉時程：2017 年美國 FutureGen 2.0 Project 及 Sargass Texas Point Comfort Project、2017 年荷蘭 Rotterdam Opslag en Afvang Demonstratie Project (ROAD)、2017 年中國大陸 Sinopec Shengli Power Plant CCS Project、2019 年美國 Hydrogen Energy California Project (HECA) 及 Texas Clean Energy Project、2019 年英國 Don

Valley Power Project 及 Peterhead CCS Project、2020-2021 年英國 White Rose CCS Project。

三、 碳捕捉技術成本之現況與未來

美國 NCCC (National Carbon Capture Center) 表示，目前 CO₂ 捕獲技術尚處於前期發展(pilot)階段，因此建置成本仍高(如圖 8)。依據 NCCC 之研究，目前碳捕捉設備之建置成本燃氣複循環(NGCC)約 1,000 USD/KW、整合型煤碳氣化複循環(IGCC)約 1,200 USD/KW、超臨界粉煤發電(SCPC)約 2,000 USD/KW(如圖 9)。此外，依據國際能源總署(IEA)的預測，CO₂ 捕捉技術必須到 2030 年之後才有機會大幅降低建置成本，並減少 CO₂ 捕獲設備運轉所造成之整體能耗損失(圖 10)。

IPCC 計畫在今(2015)年底出版最新之 CO₂ cost report，這是繼 2005 年 12 月 IPCC Special report "Carbon dioxide Capture and Storage"後之更新版本，該份報告將彙整近期美國及歐洲針對新建電廠所作之捕獲成本研究，包括：燃燒後捕捉技術(Post-combustion CO₂ capture，如 SCPC and NGCC)、燃燒前捕捉技術(Pre-combustion CO₂ capture，如 IGCC)、富氧燃燒技術(Oxy-combustion CO₂ capture，如 SCPC)等。

除此之外，美國國家能源實驗室(National Energy Technology

Laboratory，簡稱 NETL)也計畫在 2016 年出版最新之 CCS Best Practices Manuals v.2 (phase III)，該文件將是繼 2009~2012 年 CCS Best Practices Manuals v.1 (phase II)後之更新版本；預計 2020 年 NETL 會出版最終之 CCS Best Practices Manuals final guideline (post injection)(圖 11)，該份文件包含 CCS 場址調查、公眾意見收集與評估、風險分析、注入井及觀測井之監測等重要關鍵性指標與操作內涵，值得後續持續關注。

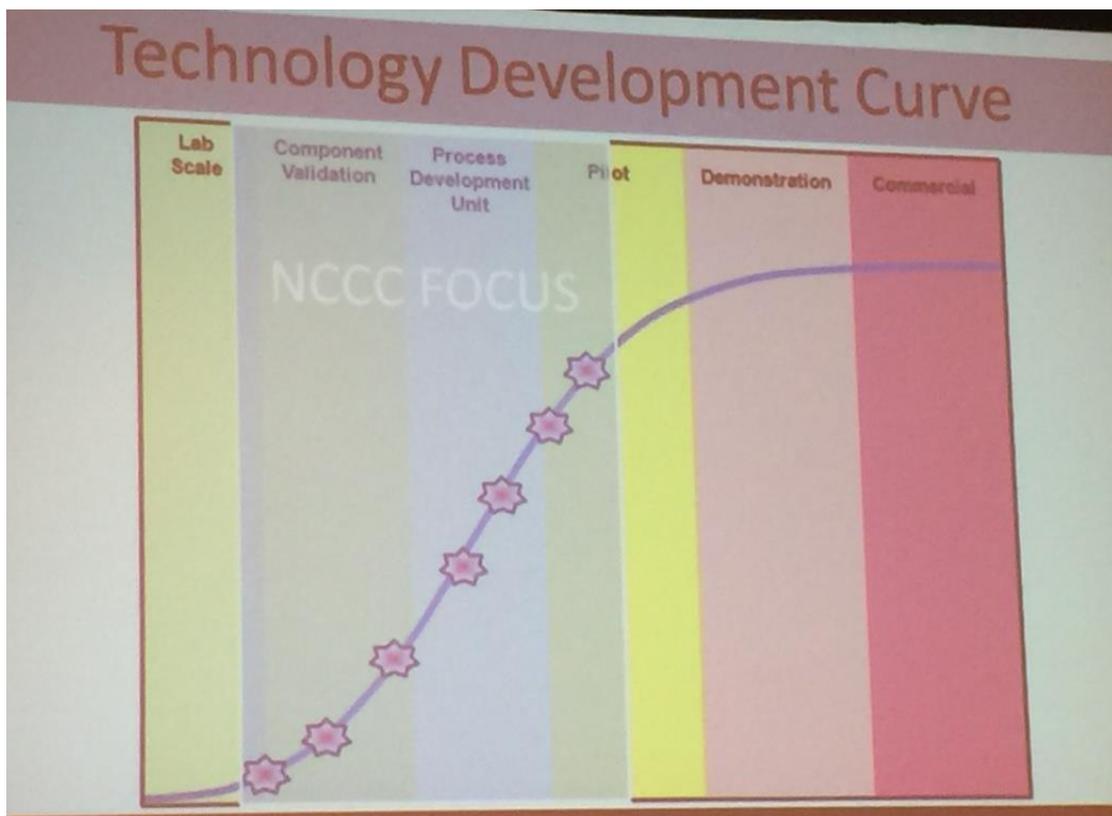


圖 8. 碳捕獲各階段建置成本示意圖 (NCCC, National Carbon Capture Center)

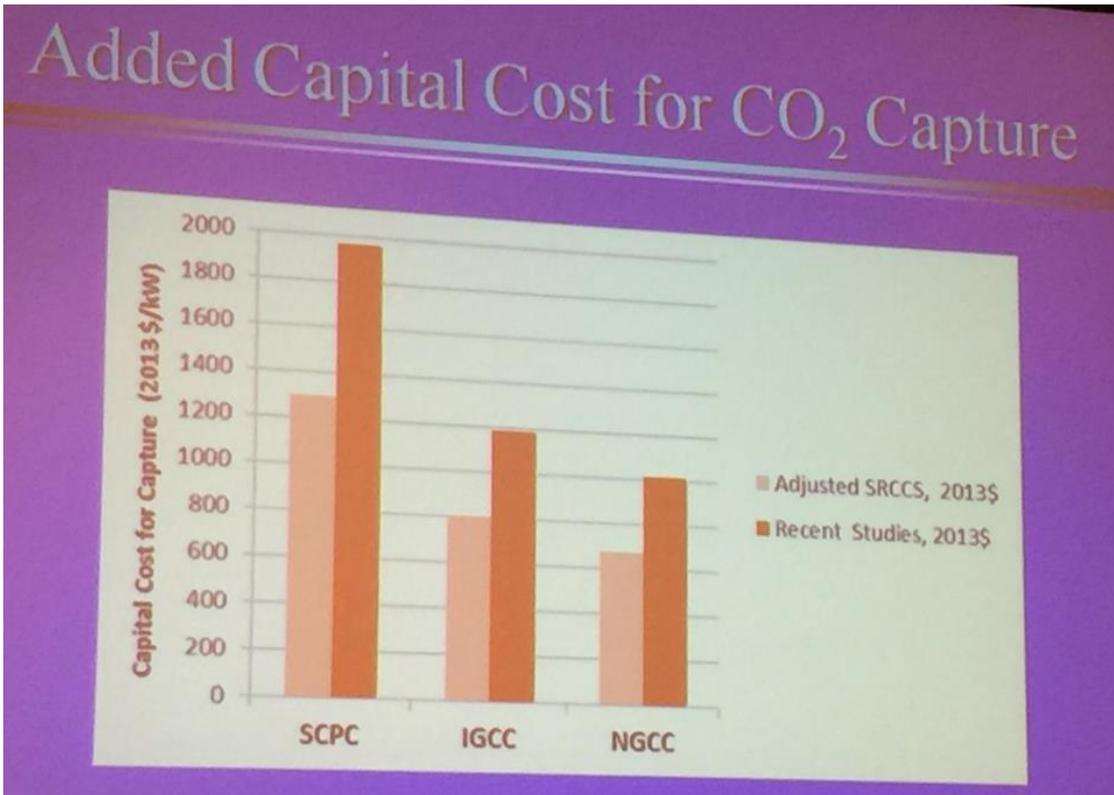


圖 9. 目前碳捕獲設備建置成本

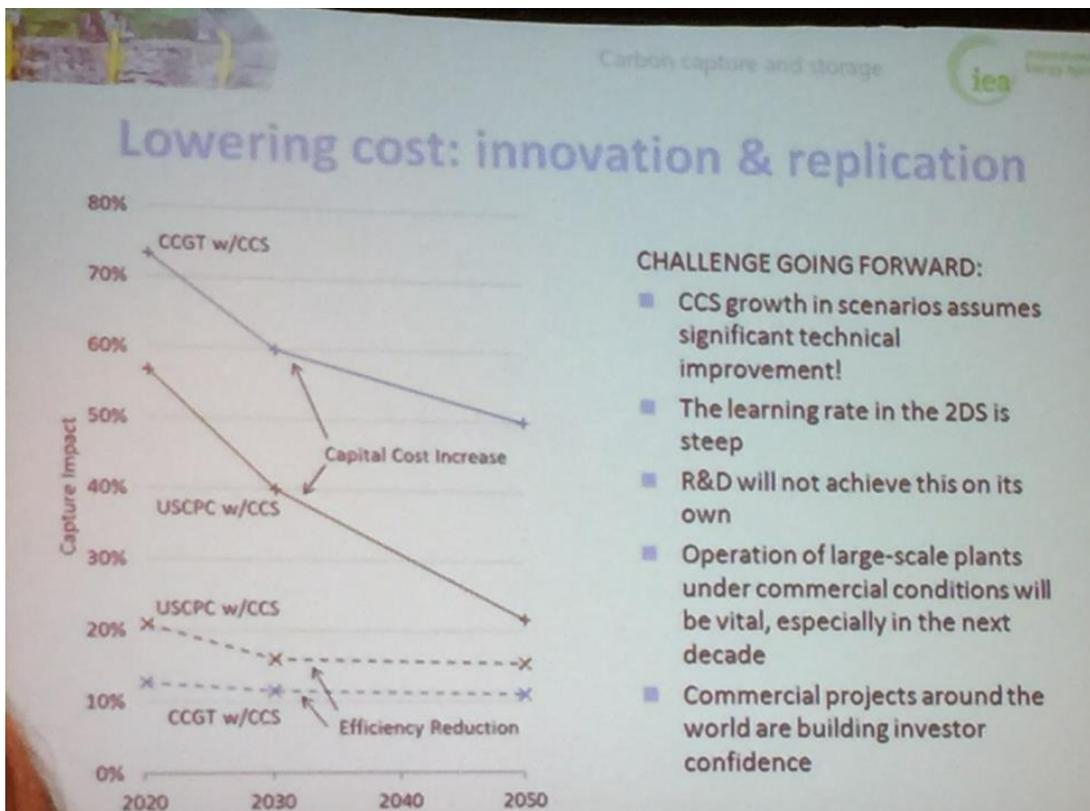


圖 10. 未來碳捕獲設備建置成本預測

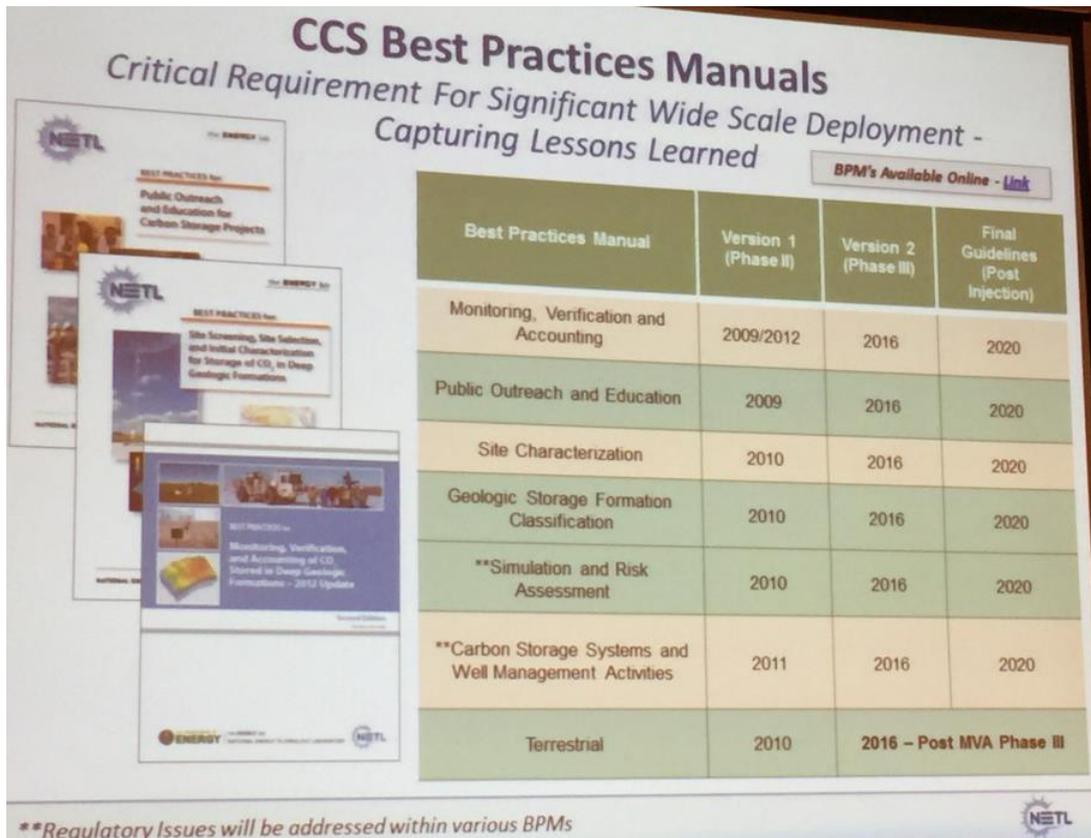


圖 11. CCS Best Practices Manuals 各期出版時間

四、 碳捕存與再用法規/標準之發展與案例

國家政策之發展及相關法令規範之制訂方向與碳捕捉、封存及再利用之發展與息息相關，茲以美國及加拿大兩國為例，藉此了解這兩個先進國家，在相關法令與規範之發展現況。

(一)美國地下灌注井控制方案(Underground Injection Control，簡稱 UIC) Class VI

美國 EPA 為管理 CO₂ 地質封存，2010 年 12 月於飲用水安全法之地下灌注控制方案(UIC, Underground Injection Control)

中新增第 6 類井(Class VI well)之規範。2011 年 7 月第一個 Class VI 案例提出申請、2011 年 8 月第一個 Class VI 案例完成申請、2014 年 8 月 29 日第一個 Class VI 案例獲得 CO₂ 灌注許可、2014 年 10 月 1 日 EPA 公布該 Class VI CO₂ 灌注許可、2015 年 4 月 28 日所有作業手續完成。該規範之主要內涵包括封存場址之地質特性、區域審查(AoR, Area of Review)、灌注井建造、灌注井操作、場址監測、灌注後場址維護、公眾參與、緊急應變及改正措施、財務責任及場址封閉等範疇設定相關審查標準及框架，藉此規範二氧化碳地下灌注許可；該灌注許可之作業流程如圖 12。

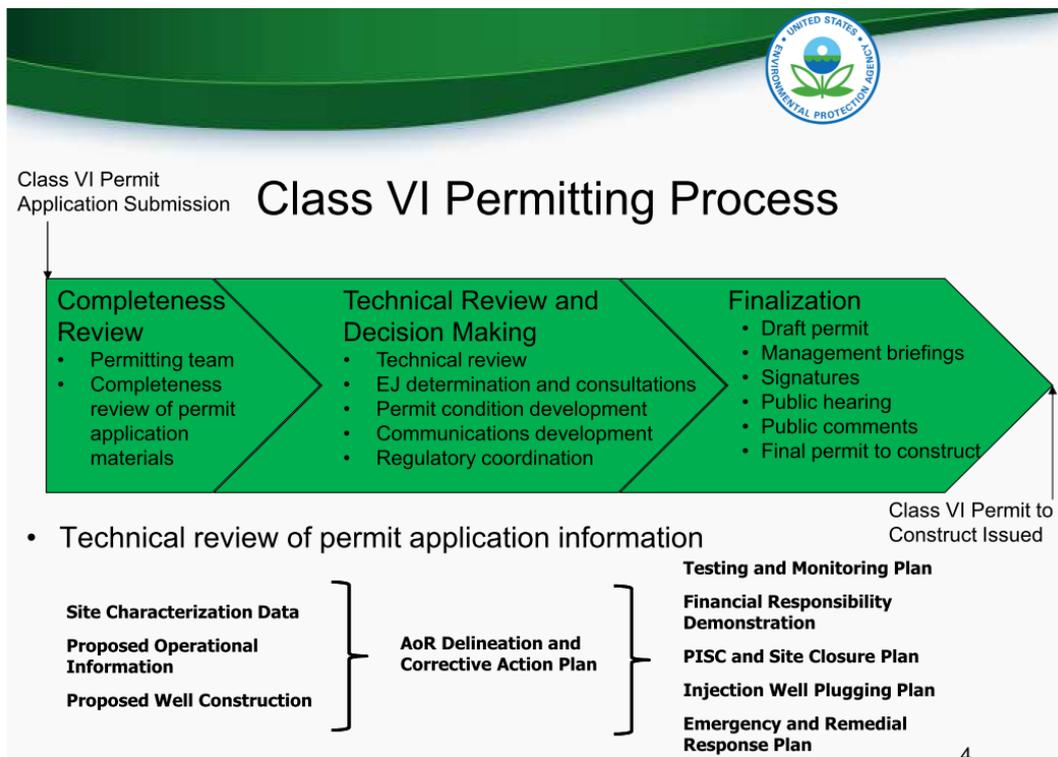


圖 12.UIC Class VI 審核程序

由於 UIC Class VI 具備調適性，可因應不同案例進行調整，

且 CCUS-14 會中強調，持續之研究、技術發展及風險分析，有助該法之制定與調整。目前，FutureGen 2.0 (1.1 Mt-CO₂/yr)、Illinois Basin Decatur project (1 Mt-CO₂/3yrs)、Illinois Industrial CCS project (1 Mt-CO₂/yr)，已有 Class VI CO₂ 地下灌注許可申請成功之案例(請參見圖 13 及圖 14)。值得注意的是，原 UIC Class VI 規定 CO₂ 灌注後須持續監測 50 年，但 Illinois CCS project 之 ADM 執行公司以其 CO₂ 儲集層壓力下降、CO₂ 圍塊穩定，且 UIC Class VI 允許計畫執行者變更時間規劃等為由，提出 CO₂ 灌注後僅須持續監測 10 年之變更，EPA 審查後已同意變更申請。

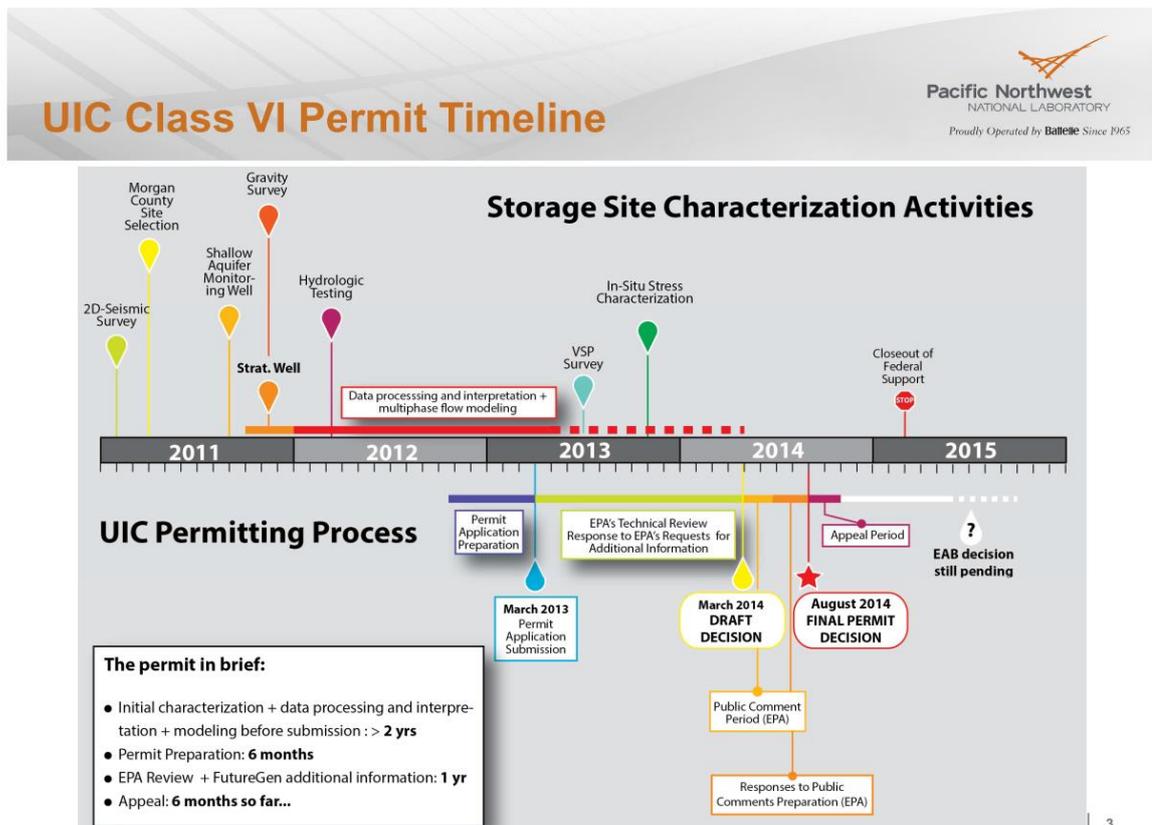


圖 13. 美國 UIC VI CO₂ 地下灌注許可申請時程圖 (FutureGen 2.0)

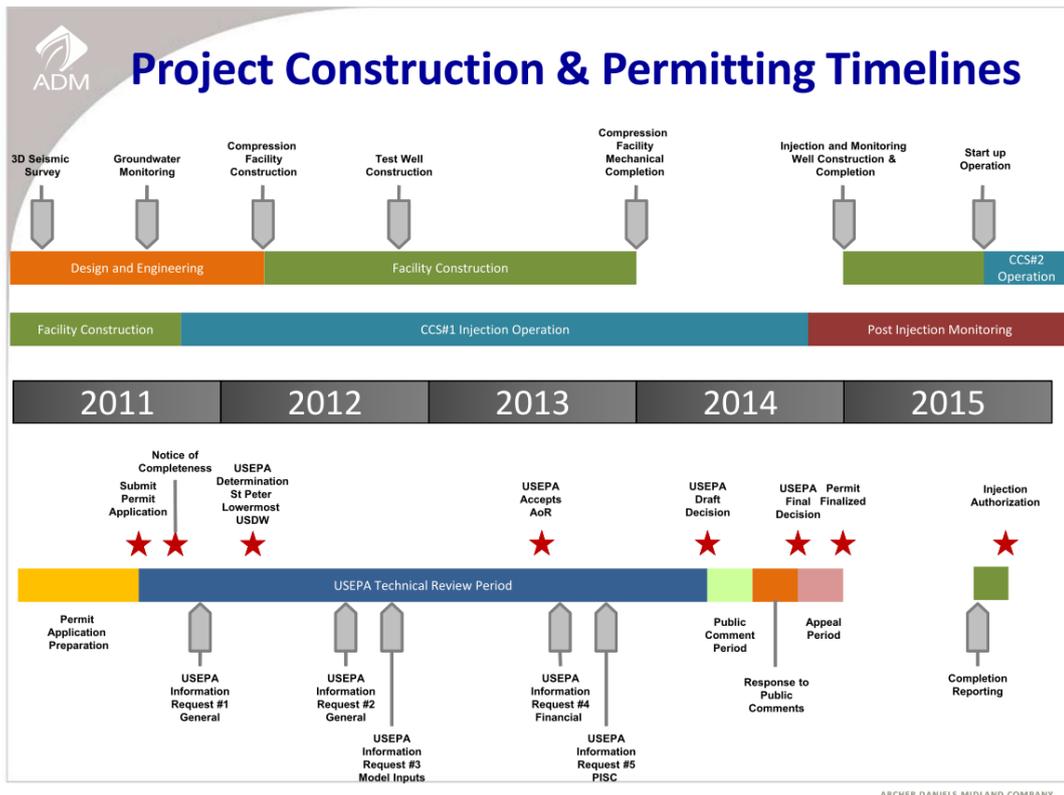


圖 14. 美國 UIC VI CO₂ 地下灌注許可申請時程圖 (Illinois CCS)

(二) 加拿大艾伯塔(Alberta)省推動 CCS 相關法案之經驗

艾伯塔(Alberta)省位於加拿大西半部，西臨英屬哥倫比亞(British Columbia)省，東接薩斯喀徹溫(Saskatchewan)省，其地理區位如圖 15 所示。艾伯塔省境內蘊含豐富天然礦藏，石油、天然氣及發電是支撐該省經濟發展的重要產業，但同時這些產業排放之二氧化碳卻也達艾伯塔省排放總量之 60%。CCS 可兼顧這些產業之經濟效益及有效減少二氧化碳排放，因此，艾伯塔省政府在 2008 年明確指出 CCS 是該省未來削減二氧化碳排放量的重點發展技術，並預估 CCS 技術於 2050 年起將可為該省貢獻 70% 之年目標減排量。



圖 15. 艾伯特省地理區位圖

為全力推動 CCS 發展，艾伯特省政府對該省二個達商業規模的 CCS 示範計畫投入資金超過 13 億美元，CCS 示範計畫除自 2016 年起每年可減少二氧化碳排放量達 276 萬噸以上外，亦間接帶動全省朝長期溫室氣體減量目標邁進的風氣。另為處理 CCS 管制上之問題，艾伯特省也積極調整相關法律條文，解決了包括地下孔隙所有權之歸屬以及封存場址之長期管理責任如何由產業轉移給政府等難題。

1. 實施 CCS-管制架構評估

除了前述的努力外，為確保商業規模的 CCS 計畫正式啟動營運前，所有對應的法規都已完備，艾伯特省政府在 2011 年 3 月展開 CCS 管制架構評估(Regulatory Framework Assessment, RFA)」工作，研究艾伯特省既有之 CCS 相關規定以及世界上其他地區之作法，藉以確認執行一個 CCS 計畫在技術、環境、安全、監測及計畫終止等項目所必須達成之基本要求，作為省政府增修

CCS 相關規定之參考。為求 CCS-RFA 程序公正客觀且涵蓋全面性之觀點，省政府廣邀來自國內外各領域包含產業、大學、研究機構、環保團體、省政府及加拿大政府的專家共同參與。CCS-RFA 程序由 1 個指導委員會指導，並且包含 1 個專家小組以及 4 個負責討論各種 CCS 有關議題的工作團隊，相關組織結構如圖 16 所示。CCS-RFA 於 2012 年 12 月結束，為期 1 年 9 個月的評估，獲得 71 項各自獨立之建議及 9 項結論，這些結論與建議共組成 25 個具體的可實施項目供省政府參考。

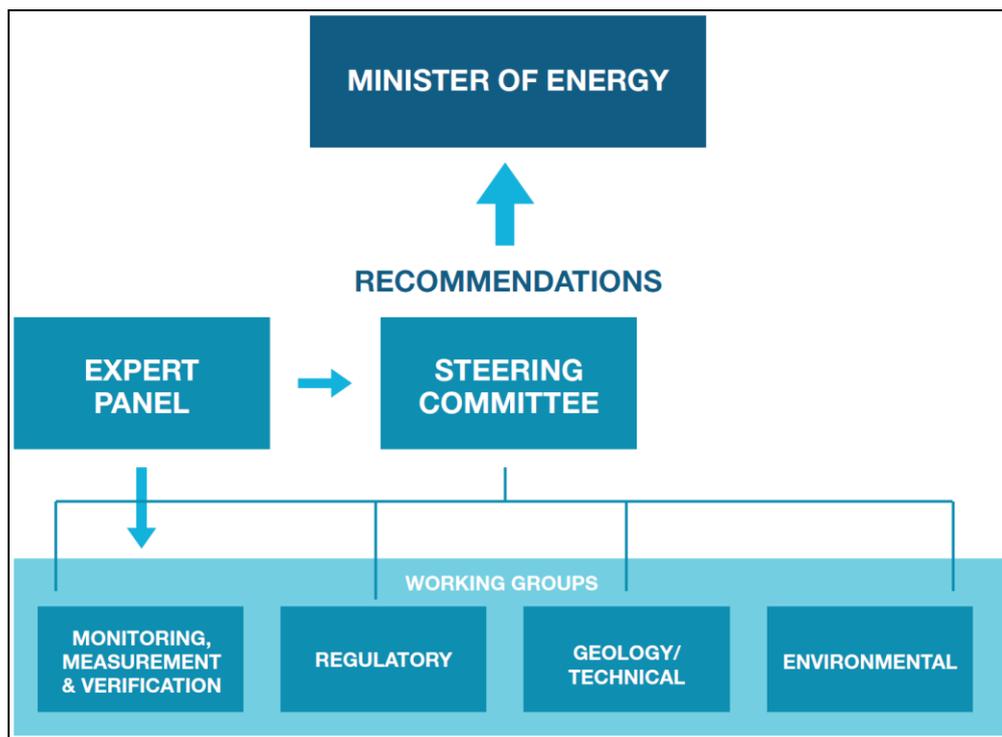


圖 16. CCS-RFA 組織圖

2. CCS-RFA 之組織分工

(1) 指導委員會

指導委員會由艾柏塔省政府、鄰近之英屬哥倫比亞省與薩斯喀徹溫省政府、加拿大政府、業界領袖、學術界以及非政府組織等代表共同組成。其主要職掌為界定評估作業範疇、引導並提供反饋意見予負責討論 CCS 有關議題的工作團隊、向專家小組諮詢專業意見、以及批准工作團隊討論後之建議並轉陳能源部做為決策參考。

(2) 專家小組

專家小組成員包含來自澳大利亞、加拿大、英國和美國之 CCS 專精科學家與工程師，其主要職掌為針對工作團隊的討論內容以及討論後所提建議，分別提供專業的諮詢意見予指導委員會以及工作團隊。

(3) 工作團隊

工作團隊由政府、業界、學術界、研究機構及非政府組織等各界代表組成。工作團隊負責討論在艾伯塔境內大規模實施 CCS 可能衍生的問題，其最重要的目標是討論出若要在艾伯塔省境內執行 CCS 計畫，有關技術、環境、安全及監測等面向必須達成之基本要求，並在據此提供具體建議供省政府建構出有效的管制架構。

3.CCS-RFA 之指導原則

為確保未來的 CCS 計畫是在安全、負責任以及有效的方式下進行，在 CCS-RFA 正式展開之前，政府已先建構了若干指導原則，包含：

- (1) CCS 相關活動必須是在確保公眾安全的方式下進行。
- (2) 管制架構對於環境必須能提供高強度的保護。
- (3) 管制架構對於飲用水地下水源須能提供高強度的保護。
- (4) 艾伯塔省對封存場址的長期管理責任不能造成財政負擔。
- (5) 管制架構必須健全，俾使 CCS 計畫得以用科學的方式來評估，並以合適的方式進行管理。
- (6) 管制架構必須公開透明並清楚地傳達給所有利害相關者。
- (7) 艾伯塔省政府以及 CCS 營運商須採因地制宜方式管理 CCS 相關活動。
- (8) 包含二氧化碳封存在內之地下資源開發，必須考量與其他地下資源開發間之交互作用。
- (9) 艾伯塔省政府必須尋求獲得國際上 CCS 相關知識之分享。
- (10) 石油及天然氣產業中與 CCS 有關之專業知識及經驗必須充分應用到未來的 CCS 計畫。

這些原則引導 CCS-RFA 產出可有效強化 CCS 管制架構之建

議，落實透過 CCS-RFA 產出之建議得使艾伯塔省 CCS 管制架構與省民的期盼一致，即一個全面性、公開透明、得確保公眾安全與環境永續之管制架構。

(三)ISO 國際標準

採用 CCS 作為溫室氣體減量方法之安全性及有效性已倍受各界關注，有鑑於此，聯合國所屬之國際標準組織(International Organization for Standardization, 簡稱 ISO)正積極推動 CCS 國際標準條文的制訂，提供各界評估 CCS 有效性與安全性的共同準則，藉此消弭各界的疑慮。目前已成立技術委員會 ISO/TC265，分別就捕獲、運輸、地質封存、定量與驗證和跨界議題成立 5 大工作小組(如圖 17)。

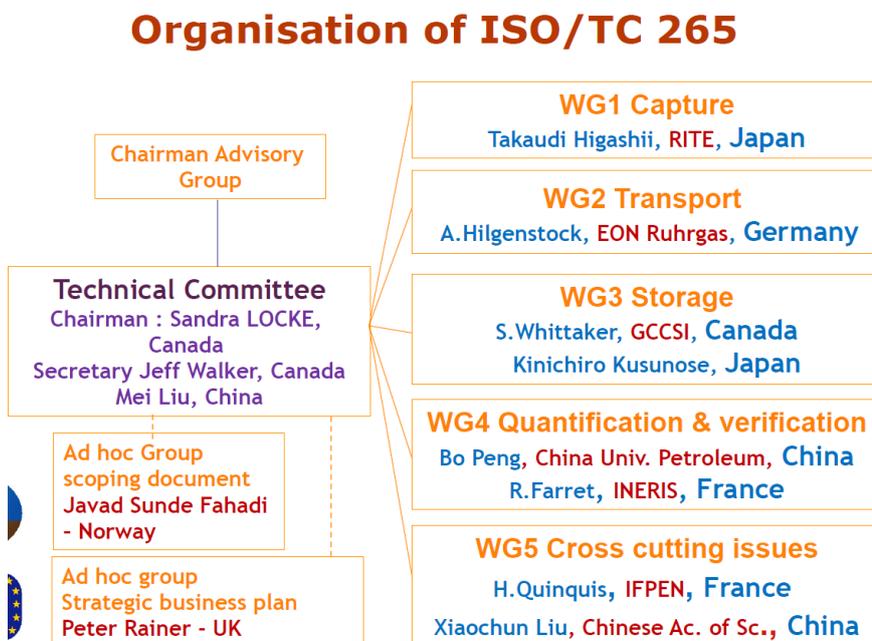


圖 17. ISO TC265 架構

五、 碳捕存與再利用技術之困境與發展

不可否認，近年來國際上碳捕存發展速度有減緩之趨勢，就連積極支持減排的歐洲也不例外。歐盟碳排放交易體系（Emission Trading System ,ETS）是 CCS 市場發展的重要推動力，意即 CCS 市場發展受到碳價格影響甚鉅，因此，穩定且具有吸引力的碳價是保障 CCS 投資的關鍵，但因為歐洲市場之 CER 碳價已經跌到每噸不到 1 歐元，確實影響了投資方的意願。雖然專家咸認，欲減緩地球暖化的速度，確實迫切需要 CCS，但是如果無法帶來實質利益，CCS 設備將很難推廣，國際碳價崩盤已使得 CCS 投資商信心銳減，歐盟目前的碳交易補貼額度已不足以支撐搖搖欲墜的 CCS 產業繼續前行，因此各方專家認為 CCS 產業的發展需要更強有力的政策支援。

影響 CCS 發展的另外一個關鍵性因素是公眾意見，由於碳封存一直存在來自公眾的質疑，其潛在洩漏危險是民眾反對的主要原因，甚至影響到了官方的 CCS 政策制定和實施，這項因素也是造成 CCS 發展延緩的一個重要原因。雖然 EOR 可以算是 CCS 的一項優勢，這或許能在短期內推動 CCS 產業的發展，但專家認為 EOR 絕不是長久之計，因為發展 CCS 的最終目標是減少碳排放和應對氣候變化，因此如何確保尋找更安全且可以被公眾所接受的碳封存技術，這才是正確的發展方向，只有這樣 CCS 產業才能擁有更好的市場前景。

碳捕存技術包括 MEA(單乙醇胺, Monoethanolamine)洗滌技術、冷氨洗滌技術、純氧燃燒技術及配備碳捕捉之 IGCC(整合煤炭氣化複循環技術, Integrated coal Gasification Combined Cycle)等。這些技術要達廣泛應用在電廠所需面臨的挑戰, 包括:

- 一、電廠缺乏二氧化碳的輸儲硬體設施及所需空間。
- 二、增加電廠的成本。
- 三、適法性及相關法規議題尚未解決。
- 四、公眾接受度。
- 五、捕存技術仍然十分昂貴, 再利用技術仍處早期發展階段。
- 六、貯存方式的選擇關係到二氧化碳再利用的經濟性。

其中昂貴的設備投資成本及過高的能源損耗, 是造成發電成本大幅提升的主要原因。為了解決設備投資及營運成本所產生的劣勢, CCS 投資者除了必須持續發展較具成本優勢且可有效降低能耗的技術外, 發展具有經濟誘因的 CO₂ 再利用技術也已經逐漸引起研發單位的重視。

依據 IEA 的估計, 二氧化碳再利用技術的開發, 在 2050 年可達到 27%, 其中包括水泥、混凝土、礦物、塑膠、強化型生物固碳(如微藻養殖等)以及使用 CO₂ 作為化學原料等應用領域, 例如全球生產尿素所需要的二氧化碳總量每年高達 115 百萬噸。當然這些技術目前大都還

在研發階段，若能加大對這些技術的研發投資將有助於實現 CO₂ 利用的潛力

肆、心得與建議

依據美國白宮 2014 年公布的《美中氣候變遷共同聲明》，美國承諾到 2025 年時大幅減少排碳 26% 至 28%，而中國大陸亦承諾到 2030 年後排碳不再增加，同時非化石燃料的使用比重提高至 20%。在兩大國際強權分別表態之後，將使得各國採取更積極減碳態度。儘管台灣並非 1992 年聯合國氣候變遷公約暨 1997 年京都議定書簽署國家，不過身處國際社會且我國人均碳排量約 11 公噸/年，高居全球排名第 20 名，若今年底在巴黎舉行之聯合國氣候變遷綱要公約第 21 次締約方會議（COP 21）訂出具法律約束力的協議後，台灣即可能因碳排放量高成為國際制裁焦點。因此如何提出成本有效且可以達成國家減碳目標之具體做法、CCUS 是否有機會成為我國之減碳工具，將是我國減碳策略的重要關鍵。

此次奉派前往美國匹茲堡出席第 14 屆二氧化碳捕獲、再利用與封存研討會，了解國際上在碳捕捉、封存與再利用技術的發展，謹就會議中各專家學者所發表之論文與實務經驗略誌心得與建議如下：

1. 本次會議之與會專家提出 CCS 能否成功推動因素，能源、環保政策與完善的法制規定是最重要的關鍵性因素，其影響攸關 CCS 是否得

以持續進行。美國 DOE 自 2009 年起已投入 CCS 補助費用達 50 億美元，惟企業界推動 CCS 之研究發展工作仍然迭有困難，反觀我國，不僅政策不夠明朗也缺乏經費補貼及獎勵措施，可以預期後續發展仍然非常艱辛。

2. 美國環保署為管理 CO₂ 地質封存，在 2010 年 12 月於飲用水安全法之地下灌注控制方案(UIC, Underground Injection Control)中新增第 6 類井(Class VI well)之規範，依此規範，於 2014 年 8 月核發首件灌注井之 CO₂ 灌注許可，該案例之碳封存法制化經驗可以提供我國主管機關參考。
3. 目前 CO₂ 捕獲技術多處於技術研發階段，後續仍有待持續努力降低成本與能耗達到商業化目標，CO₂ 地質調查技術則已經成熟，因此，國家是否具備 CO₂ 封存條件的場址是 CCS 能否本土化發展的重要關鍵。此外，我國主管機關應該建構完整之碳捕存政策論述與法規制度方有助提升公眾接受度，並應該由政府編列適當預算補貼各項研發工作，方有助於我國 CCS 之推展與落實。