

出國報告（出國類別：開會）

出席第 13 屆溫室氣體控制技術研討會 （GHGT-13）

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：趙德琛 環境保護處主管減量計畫

蘇恆慧 電源開發處主管成本

派赴國家：瑞士

出國期間：105 年 11 月 12 日至 11 月 20 日

報告日期：106 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：出席第 13 屆溫室氣體控制技術研討會（GHGT-13）

頁數 76 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

趙德琛/台灣電力公司/環境保護處/主管減量計畫/02-23668639

蘇恆慧/台灣電力公司/電源開發處/主管成本/02-23666871

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：105/11/12 ~ 105/11/20

出國地區：瑞士

報告日期：106 年 1 月 19 日

分類號/目

關鍵詞：

溫室氣體（Greenhouse Gases）；化石燃料（Fossil Fuel）；二氧化碳捕集與封存技術（Carbon Dioxides Capture and Storage, CCS）；溫室氣體控制技術研討會（GHGT）

內容摘要：（二百至三百字）

溫室效應為目前全球最重要的環保議題，2015 年 12 月於巴黎舉行之 COP21 會議，即產出「巴黎協定」，除了希望「把全球平均氣溫升幅控制在低於工業化前 2°C 水平以內」外，也期許「各國應儘早達到溫室氣體排放峰值，並在本世紀下半時實現溫室氣體源的人為排放與匯的移除之間的平衡」。

由國際能源總署(IEA)主辦之「溫室氣體控制技術研討會」(GHGT)，

已成為國際間主要的溫室氣體減緩技術會議，其宗旨為藉由技術發展，使人類得以在溫室氣體減量的同時，繼續使用化石燃料；本次第 13 屆會議（HGT-13）於瑞士舉辦，經過開閉幕專題演講、分組技術報告、參訪展覽攤位及海報區等，已初步認知發展 CCS 對於努力追求達成減量目標的國家而言，有其必要性與急迫性。本出國報告摘述會議中有關示範計畫、政策與政治、碳封存及運輸，及溝通等主題重點，俾做為本公司未來相關規劃之參考。

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

目 錄

壹、出國目的.....	4
貳、出國行程.....	6
參、會議紀要.....	7
一、 GHGT-13 概述.....	7
二、 開幕專題演講.....	15
三、 分組技術報告.....	21
四、 展覽及海報.....	61
五、 閉幕專題演講.....	67
肆、心得與建議	72

壹、出國目的

溫室效應為目前全球最重要的環保議題，2015 年 12 月於巴黎舉行之 COP21 氣候峰會，即產出「巴黎協定」(Paris Agreement)，除了希望「將全球平均氣溫升幅控制在低於工業化前 2°C 水平以內，並努力追求於 1.5°C 以內」外，也期許「各國應儘早達到溫室氣體排放峰值。在本世紀下半時實現溫室氣體源的人為排放與匯的移除之間的平衡」。而在 COP21 舉辦前，我國「溫室氣體減量及管理法」通過立法，並於同年 7 月 1 日公告施行，明訂國家溫室氣體長期減量目標為 2050 年溫室氣體排放量降為 2005 年溫室氣體排放量 50% 以下。

依據國際能源總署 (International Energy Agency, IEA) 2015 年「能源科技展望」(Energy Technology Perspective) 的分析，如果全球增溫要控制在 2°C 以內，必須在各行業發展低碳技術，由於屆時電力在終端能源總消費中會成為最大的最終能源載體，所以電力業的減碳將成為最大宗，如圖 1 所示。而電力部門各式減碳工具的貢獻度，則包括再生能源 (30%)、二氧化碳捕集與封存 (CCS) 技術 (13%)、發電效率提升與燃料轉換 (1%)、終端使用之燃料轉換 (10%)、終端使用之效率提升 (38%)、以及核能 (8%)，如圖 2 所示。

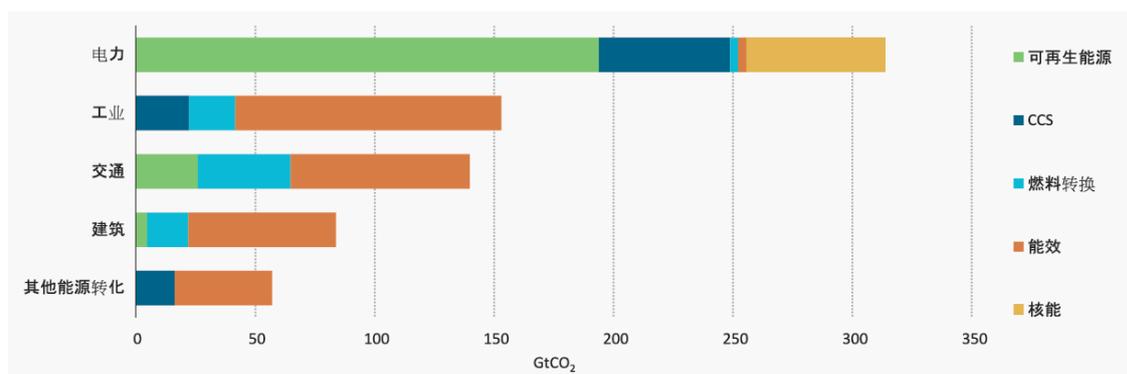


圖 1 2°C 情景下至 2050 年各行業及各技述累計 CO₂ 減量

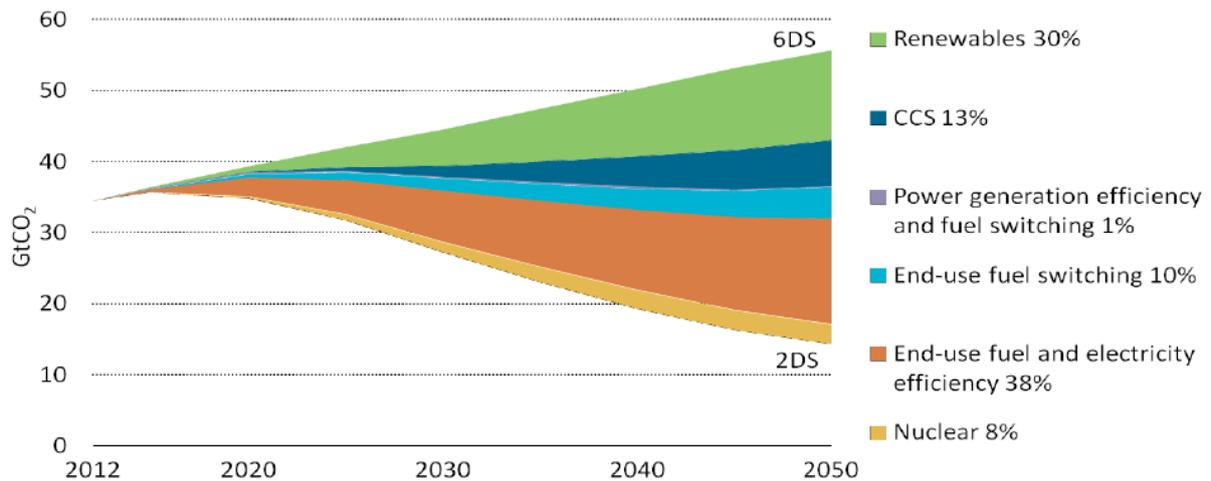


圖 2 電力部門各式減碳工具的貢獻度

台電公司（以下簡稱本公司）身為國營事業，肩負穩定供電的使命，但由於國家能源及產業政策，以及孤島型的電網結構，必須使用大量的化石燃料來發電，以確保能源安全。也因此造就本公司每年火力發電之溫室氣體排放量約佔全國總排放量的三分之一；在無法參與國際間減量機制之情形下，如何由技術面降低供應端的溫室氣體排放量，已為本公司積極探討之課題。除了機組汰舊換新且新機組採用高效率之超超臨界燃煤機組/燃氣複循環之外、另亦透過擴大燃氣、提升再生能源佔比及關注減量技術發展等。

「溫室氣體控制技術研討會」(GHGT) 係由 IEA 主辦，其宗旨為成為國際間主要的溫室氣體減緩技術會議，藉由技術的發展，使人類得以在減少溫室氣體排放的同時，繼續使用化石燃料；此會議每 2 年舉行一次，由北美、歐洲及亞洲輪流舉辦，今年適逢第 13 屆，於 11 月 14~18 日在瑞士洛桑舉行，會議討論主題包括 CCS 相關技術與試行計畫最新進展、以及政策和法規層面等，對於本公司後續規劃 CCS 研發方向，極具參考價值，故派員前往與會，俾獲取相關資訊。

貳、出國行程

起 始 日	迄 止 日	工作內容
11/12	11/13	往程 (台北→蘇黎世) 註：因申請順道觀光，實際 出國日期為 11/12 之前。
11/14	11/14	(蘇黎世→洛桑) 註冊報到 (地點：奧林匹克博物館)
11/15	11/18	出席研討會 (地點：洛桑聯邦理工學院 國際會議中心)
11/18	11/18	(洛桑→蘇黎世)
11/19	11/20	返程 (蘇黎世→台北)

參、會議紀要

一、GHGT-13 概述

(一) GHGT 會議沿革

溫室氣體控制技術（Greenhouse Gas Technology, GHGT）會議是由早期的二氧化碳去除國際會議（International Conference on Carbon Dioxide Removal, ICCDR）及溫室氣體減排方案會議（the Greenhouse Gas: Mitigation Options conference）合併後於 1997 年成立，GHGT 會議由國際能源總署（International Energy Agency, IEA）附屬的溫室氣體研發專案計畫辦公室（The IEA Greenhouse Gas R&D Programme, IEAGHG）監管，每兩年在 IEAGHG 的成員國舉行，舉辦地點分別在北美，歐洲及亞洲間輪流，近十屆會議的舉辦情形如表 3-1-1。

表 3-1-1 近十屆 GHGT 會議舉辦情形

會議	舉辦城市 / 國家	年
GHGT-13	Lausanne, Switzerland	2016
GHGT-12	Austin, TX, United States	2014
GHGT-11	Kyoto, Japan	2012
GHGT-10	Amsterdam, The Netherlands	2010
GHGT-9	Washington DC, USA	2008
GHGT-8	Trondheim, Norway	2006
GHGT-7	Vancouver, Canada	2004
GHGT-6	Kyoto, Japan	2002
GHGT-5	Cairns, Australia	2000
GHGT-4	Interlaken, Switzerland	1998

GHGT 會議已經成為在溫室氣體減緩技術領域中最主要的國際會議，特別是在二氧化碳捕集與封存（Carbon Capture and Storage, CCS）方面。GHGT 會議討論與溫室氣體控制技術領域有關的技術，目的是希望能讓人類可以繼續使用大量存量之化石能源，並同時減少溫室氣體排放。自 1998 年 GHGT 會議開始舉辦以來，會議規模不斷成長，反映出 CCS 行業的持續增長，GHGT 會議並已成為國際研究 CCS 技術的焦點。

（二） GHGT-13 簡介

本次所參加之 GHGT 會議為第 13 屆的國際溫室氣體控制技術研討會（GHGT-13），於 2016 年 11 月 14 日至 18 日在瑞士境內洛桑聯邦理工學院（Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL）的 SwissTech 會議中心（The SwissTech Convention Center，如圖 3-1-1、3-1-2 及 3-1-3）舉行，主辦單位為 EPFL 及 IEAGHG。



圖 3-1-1 SwissTech 會議中心¹

¹ <http://www.ghgt.info/images/GHGT13/GHGT-13%20Programme.pdf>



圖 3-1-2 SwissTech 會議中心入口掛上 GHGT-13 的巨型海報



圖 3-1-3 夜幕低垂下的 SwissTech 會議中心

GHGT 會議由指導委員會（Steering Committee）帶領，委員會成員由主辦方的代表組成。本屆 GHGT-13 會議之指導委員會共有 10 位成員，如圖 3-1-4，並由 IEAGHG 的 John Gale、瑞士聯邦能源辦公室（Swiss Federal Office of Energy, SFOE）的 Gunter Siddiqi 及 EPFL 的 Lyesse Laloui 擔任共同主席。

STEERING COMMITTEE



圖 3-1-4 GHGT-13 指導委員會成員

備註：

Gunter Siddiqi	Co-Chair	Swiss Federal Office of Energy
John Gale	Co-Chair	IEAGHG
Lyesse Laloui	Co-Chair	École Polytechnique Fédérale de Lausanne
Tim Dixon		IEAGHG
Juliana Jammers		SwissTech Convention Center
Peter Jansohn		Paul Scherrer Institute
Tony Kaiser		Swiss Federal Energy Research Commission
Christoph Müller		ETH Zurich
Sian Twinning		IEAGHG
Markus Wolf		G.E.Power

本屆 GHGT-13 會議之技術論文審議委員會（Technical Program Committee, TPC）負責成立各領域之專家審查小組，審查提交給 GHGT-13 會議的摘要，並選擇及決定可列入會議議程之文件；TPC 共有 9 位成員，包含與 CCS 技術研發有關的各領域之代表性專家學者，如圖 3-1-5。會議全程活動如圖 3-1-6 所示，內容包括開幕典禮與專題演講（Opening Session）、全體會議（Plenary Session）、分組技術報告（Technical Session）、社交活動（Social Event）及海報展覽（Poster Session）等。



圖 3-1-5 GHGT-13 技術論文審議委員會成員

(三) 報到地點

本次 GHGT-13 會議在瑞士洛桑舉辦，洛桑是瑞士沃州(法語:Vaud)的首府，它同時是國際奧林匹克委員會總部所在地，因此一出洛桑車站就會看見火車站入口處上方的奧運五環標誌和「Lausanne Capitale Olympique」的法文字，如圖 3-1-7。

會議地點雖是在洛桑聯邦理工學院，但很特別的是大會將報到和歡迎酒會的地點安排在奧林匹克博物館(Olympic Museum)內，如圖 3-1-8 及 3-1-9 所示；與會者不僅得以欣賞館外展現力與美的諸多雕塑，亦可在館內一窺奧運相關的珍藏品(圖 3-1-10)。

CONFERENCE PROGRAM AT A GLANCE

MONDAY 14 TH NOVEMBER	TUESDAY 15 TH NOVEMBER	WEDNESDAY 16 TH NOVEMBER	THURSDAY 17 TH NOVEMBER	FRIDAY 18 TH NOVEMBER
SOCIAL EVENT Welcome Reception & Registration Olympic Museum 18.00 - 22.00	Registration 07.30 - 17.00	Registration 07.30 - 17.00	Registration 07.30 - 17.00	Registration 07.30 - 12.00
	Opening Plenary 08.50 - 09.10	Plenary Session 08.00 - 9.00	Greenman Award & Plenary Session 08.00 - 9.00	Plenary Session 08.00 - 9.00
	Keynote Addresses 09.10 - 10.50	Technical Session 4 09.10 - 10.50	Technical Session 7 09.10 - 10.50	Technical Session 10 09.10 - 10.50
	AM BREAK 10.50 - 11.20	AM BREAK 10.50 - 11.20	AM BREAK 10.50 - 11.20	AM BREAK 10.50 - 11.20
	Technical Session 1 11.20 - 13.00	Technical Session 5 11.20 - 13.00	Technical Session 8 11.20 - 13.00	Technical Session 11 11.20 - 13.00
	LUNCH BREAK 13.00 - 14.00	LUNCH BREAK 13.00 - 14.00	LUNCH BREAK 13.00 - 14.00	LUNCH BREAK 13.00 - 14.00
	Technical Session 2 14.00 - 15.40	Poster Session A 14.00 - 16.00	Poster Session B 14.00 - 16.00	Plenary Panel Session 14.00 - 15.30
	PM BREAK 15.40 - 16.10	PM BREAK 15.30 - 16.00	PM BREAK 15.30 - 16.00	Closing Session 15.30 - 16.00
	Technical Session 3 16.10 - 17.50	Technical Session 6 16.00 - 17.40	Technical Session 9 16.00 - 17.20	
		SOCIAL EVENT Student Reception 18.00 - 20.00	SOCIAL EVENT Conference Dinner 18.30 - 22.30	

圖 3-1-6 GHGT-13 會議之活動議程



圖 3-1-7 洛桑車站



圖 3-1-8 GHGT-13 會議報到地點-奧林匹克博物館

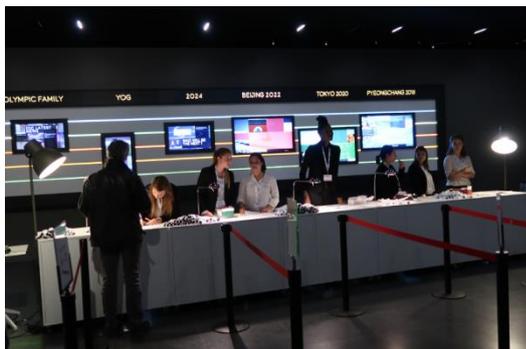


圖 3-1-9 完成會議報到手續後即可上樓參觀博物館

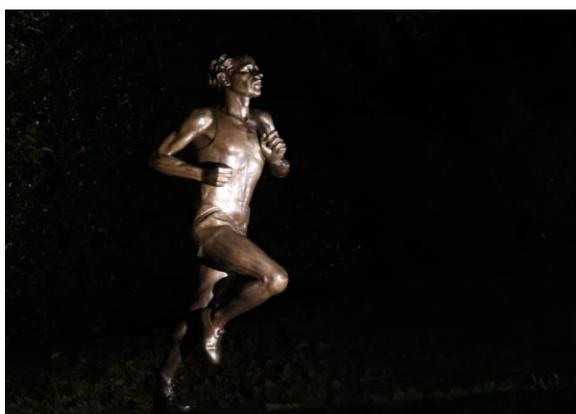
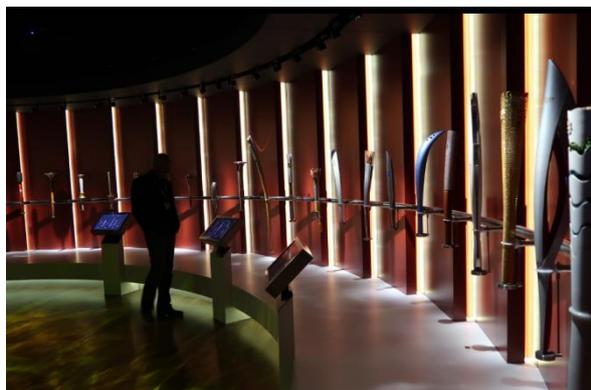


圖 3-1-10 奧林匹克博物館內的珍藏品和館外的雕塑

二、開幕專題演講

(一) 開幕典禮

開幕典禮由 IEAGHG 主席 Kelly Thambimuthu 主持，代表主辦單位致歡迎辭，如圖 3-2-1 及 3-2-2 所示。隨後由另兩位主辦單位之代表，瑞士官方（Swiss Federal Office of Energy, SFOE）與校方（The Swiss Federal Institute of Technology, EPFL）分別致開幕辭。



圖 3-2-1 GHGT-13 會議開幕典禮



圖 3-2-2 IEAGHG 主席 Kelly Thambimuthu 致詞

(二) 開幕專題演講

本屆 GHGT-13 會議之開幕專題演講，共邀請三位專家，分別為 Kamel Ben-Naceur (IEA Director for Sustainability, Technology and Outlooks)、Trude Sundset (CEO of Gassnova)，及 Thomas Stocker (University of Bern)，演講內容主要係評論 CCS 技術經過 20 年的發展，在現階段如何發揮潛力，對全球氣候政策作出貢獻。

聯合國氣候變化綱要公約 (United Nation Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) 於 2015 年底在法國巴黎舉行之第 21 屆締約國會議 (The 21th Conference of Parties, COP21)，提出獲得全體締約國共識的「巴黎協定」(Paris Agreement)，承認氣候變遷是人類共同關注的問題，通過「將全球平均氣溫升幅控制在低於工業化前 2°C 水平以內，並努力追求於 1.5°C 以內」的長期氣溫目標，該協定並已於 2016 年 11 月生效。

相較於京都議定書歷時 7 年才通過生效門檻，巴黎協定的生效顯現出全球政府認真在看待氣候變遷的問題，惟國際能源總署 (International Energy Agency, IEA) 認為，這將需要快速和廣泛地部署所有低排放技術，包括二氧化碳捕集與封存 (Carbon Capture and Storage, CCS) 技術在內。發電業和工業若要能繼續使用化石燃料，CCS 仍然是唯一能夠實現有效減量的技術解決方案；此外，要將平均氣溫升幅控制在 2°C 之內 (2 Degree Scenario，即 2DS 情境)，CCS 所扮演的角色極為關鍵。

Kamel Ben-Naceur 提到，倘若要達到 2DS 情境，CCS 提供電力部門一低成本轉型方式，如果取消發電技術中 CCS 的選擇，將顯著增加成本並增添減碳的複雜性。

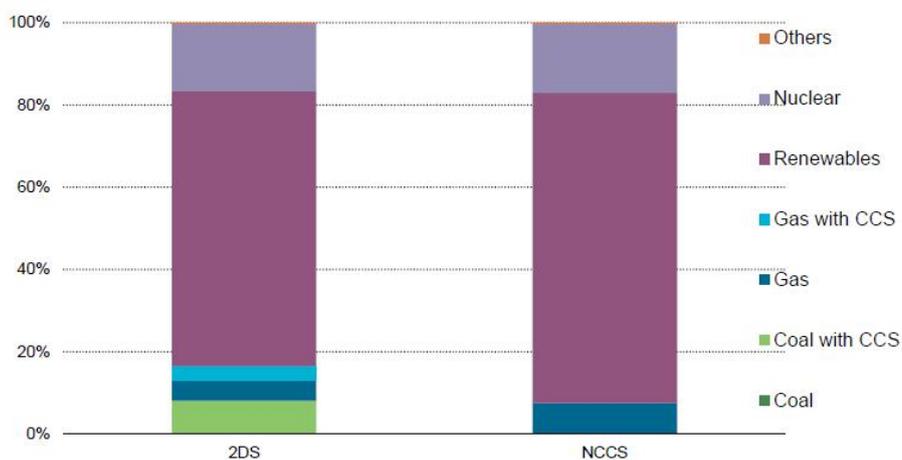
初步分析，2DS 情境中包括煤、天然氣及生質燃料等發電搭配 CCS，主要發電為再生能源，並在有限程度上使用核能發電（圖 3-2-3），但在「電力部門無 CCS」情境（NCCS）中，燃煤發電量從 2050 年的 3,340TWh 下降到 21TWh，代表燃煤發電將有大規模的提前除役及放棄資產。而再生能源在電力結構中占比從 67%增長到 75%，增加約 3,700TWh，這超過了原預期的再生能源部署速度。鑑於再生能源的容量因素較低，滿足這些發電目標，將需要額外設置裝置容量 1,900GW 的再生能源，來替代裝備有 CCS、裝置容量 850GW 的化石燃料發電設施，相當於在過去十年中已實現風能和太陽光電總容量的四倍左右。高比例的再生部署，將對能源規劃及電網管理帶來重大挑戰，且相當昂貴，僅發電能力所需的額外投資（不包括電力儲存及電網需求）就至少為 3.5 兆美元以上。到 2050 年逐步淘汰燃煤電廠也面臨著許多問題，特別是許多新興經濟國家建造的新燃煤發電廠，其潛在的運轉壽命超過 2050 年。在 NCCS 情境中，燃氣發電則將繼續發電，但與 2DS 情境有 CCS 相比，2050 年須減少 400 TWh 的發電。

單就電力部門來看，2DS 情境下，到 2050 年的電力排放情形如圖 3-2-4 所示，採用 NCCS 情境代表的是需要更多資金的投入及面臨更多的技術挑戰。但對於工業部門而言，2DS 情境下到 2050 年總減量須達到 290 億噸（圖 3-2-5），若無 CCS，則此負擔必須轉給其他部門，連帶產生諸多難以預料的問題。因此，Kamel Ben-Naceur 引用 IEA 主席（Executive Director）Fatih Birol 博士的話，「要實現巴黎協定，CCS 技術已不再是一個選項（而是必要的）」（Deployment of CCS will not be optional in implementing the Paris Agreement）。

No CCS in power



No CCS in power (NCCS) and 2DS



At least an additional USD 3.5 trillion in generation capacity investment will be required; but even greater challenges result.

© OECD/IEA 2016

圖 3-2-3 電力部門 2DS 情境與 NCCS 情境之比較

Annual (left) and cumulative (right) CO₂ emissions of the power sector in the 2DS

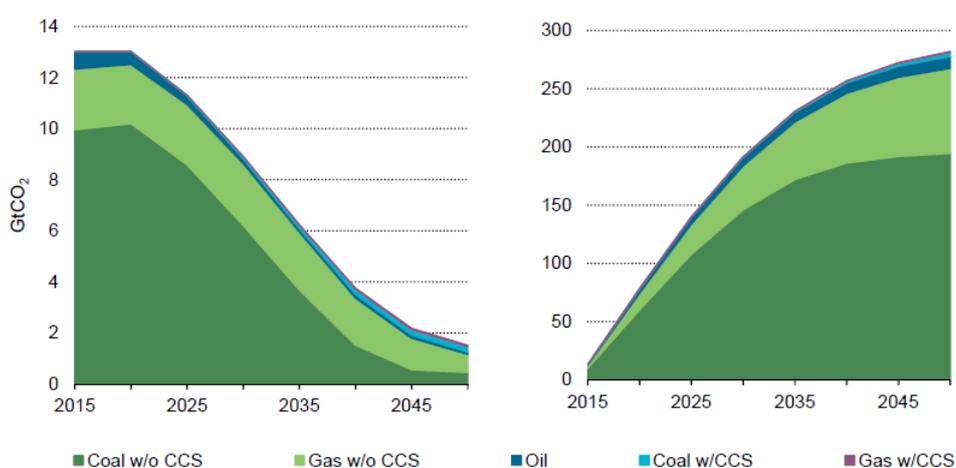


圖 3-2-4 電力部門 2DS 情境下之排放量

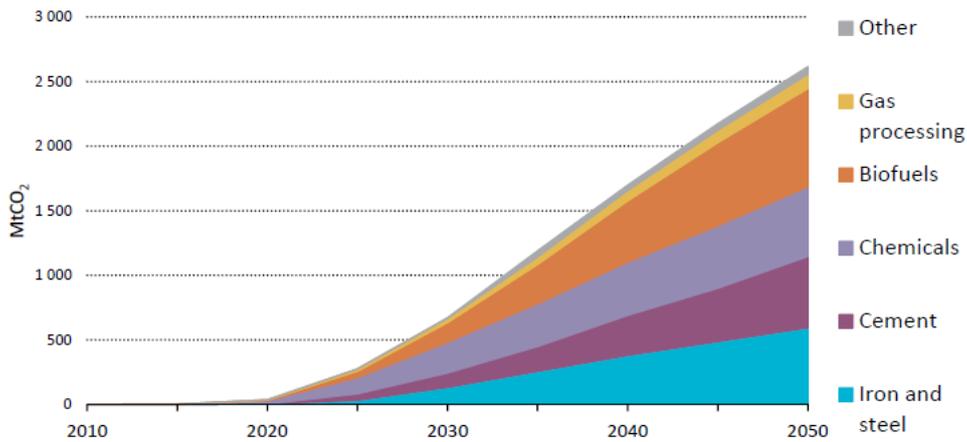


圖 3-2-5 工業部門減量之分配

挪威 Gassnova 公司的總裁 Trude Sundset 以挪威之 Roadmap (圖 3-2-6) 為例，說明發展 CCS 就是現在 (CCS: The Time is Now)。首先要將過去在各方成果鏈結起來，預計在 2022 年可以實現成功且完整的 CCS 計畫。伯恩大學的 Thomas Stocker 教授則是以地球暖化的數據呼籲世人應接受工業技術上的改革。若依照巴黎協定 2°C 的目標，人類 CO₂ 排放的總量應控制在 7,900 億噸以內，到 2015 年底已經排放 5,950 億噸，所以剩下 1,950 億噸的額度。以每年約 100 億噸淨排放的速度計算，在 20 年內額度就會用盡，而無法達成巴黎協定的目標。因此，我們亟需除碳的工業技術，以確保永續發展。



圖 3-2-6 挪威 CCS 之 Roadmap

三、分組技術報告

有關分組技術報告（Technical Session）部分，因主題眾多（如圖 3-3-1 所示，各主題中的發表論文詳見大會之 Programme²），同一時段分在 7 個會議室/演講廳進行不同議題的報告及討論，無法逐一前往聆聽；考量我國未來如要引進 CCS，碳捕集技術可依當時高效率及低成本之程度另行評估（如何評估將會是另一個應探討的議題），故本出國報告僅以下列主題摘述重點（各主題心得部分請參閱本報告「肆、心得與建議」）：

- 示範計畫
- 政策與政治
- 封存及運輸
- 溝通

		SESSION A AUDITORIUM B	SESSION B AUDITORIUM C	SESSION C ROOM 1 BC	SESSION D ROOM 2 BC	SESSION E ROOM 3 BC	SESSION F ROOM 4 BC	SESSION G ROOM 5 BC
TUESDAY NOV 15 th	Tech Session 1 11:20 - 13:00	Amine Pilot Testing	Trapping Mechanisms I	Demonstration Projects I	Transport: Safety and CO ₂ Quality	Industrial Sources: Technology and Costs	Geomechanics I	Oxy-combustion I
	Tech Session 2 14:00 - 15:40	Pilot Testing CO ₂ Technology Centre Mongstad	Trapping Mechanisms II	Demonstration Projects II	Transport: Networks, Logistics and Costs	Industrial Sources: Advances in Current Capture Technologies	Environmental Impacts of Geological Storage	Oxy-combustion II
	Tech Session 3 16:10 - 17:50	Capture Pilot and Demonstration Projects	Risk Assessment for Geological Storage	Panel Discussion	Other Storage	Capture in Industry	Geomechanics II	Membranes
WEDNESDAY NOV 16 th	Tech Session 4 9:10 - 10:50	Liquid Biphasic Solvents	Wellbore Integrity	Panel Discussion	CCS and Global Climate Policies	Negative Emissions I	Injectivity	Calcium Looping
	Tech Session 5 11:20 - 13:00	Solvent and configuration modelling	Geological Site Characterisation	Panel Discussion	CCS and National Energy and Climate Policies	CO ₂ -EOR: Lab & Field Studies	Monitoring - deployment of time lapse seismic	Chemical looping combustion I
	Tech Session 6 16:00 - 17:40	Alternative Solvents	Geological Storage Case Studies I	Panel Discussion	Capture System Studies I	CO ₂ -EOR: Simulation, Economic & Offshore Case Studies	Monitoring Leakage - Near Surface	Chemical Looping Combustion II
THURSDAY NOV 17 th	Tech Session 7 9:10 - 10:50	Amine Aerosols	Geological Storage Case Studies II	Panel Discussion	Deployment at National and Regional Scales	CO ₂ and Geothermal Energy	Modelling CO ₂ Storage I	Solid Sorbents I
	Tech Session 8 11:20 - 13:00	Amine Degradation	Storage - Field Monitoring	Panel Discussion	Quantifying Impacts and Benefits- LCA	CO ₂ for Geothermal and Water Management	Modelling CO ₂ Storage II	Solid Sorbents II
	Tech Session 9 16:00 - 17:20	Corrosion	Geomechanical Response - Monitoring	Capture Dynamic Modelling	Capture System Studies II	CO ₂ conversion	Leakage Mitigation and Remediation	Solid Sorbents III
FRI. NOV 18 th	Tech Session 10 9:10 - 10:50	Solvent Properties I	Storage Engineering	Storage Pilot and Demonstration Projects	Monitoring - Subsurface and Marine	Social Science and Communication I	Unconventional Storage in Hydrocarbon Formations	Capture System studies III
	Tech Session 11 11:20 - 13:00	Solvent Properties II	Storage Capacity Assessment	Regulatory & Legal Aspects of CCS	Negative Emissions II	Social Science and Communication II	Long Term Behavior of Stored CO ₂	Other Capture Concepts
SESSION THEME KEY		CAPTURE OTHER STORAGE OPTIONS	STORAGE DEMONSTRATION	NEGATIVE CO ₂ EMISSIONS PANEL DISCUSSIONS	UTILISATION OF CO ₂ TECHNICAL ASSESSMENT	LEGAL ISSUES INDUSTRIAL SOURCES	POLICIES PUBLIC PERCEPTION OF CCS	TRANSPORT

圖 3-3-1 GHGT-13 會議分組技術報告主題

² <http://www.ghgt.info/images/GHGT13/GHGT-13%20Programme.pdf>

(一) 示範計畫 (Demonstration Projects)

1、示範計畫現況

全球 CCS 研究院 (Global Carbon Capture and Storage Institute, GCCSI) 整理出 2013 年至 2015 年間不同發展階段的 CCS 項目清單，從已宣布的一直到已完成的項目數量，如表 3-3-1 及圖 3-3-2。從圖表中可看出已完成的數量自 2013 至 2015 年增加，但是總數量卻已經大幅減少，最主要的原因就是這些項目的財務困難。

表 3-3-1 GCCSI 報告 CCS 項目的發展路線³

Project Stage ²	2013	2014	2015
Operate	12	13	15
Execute	8	9	7
Define	16	14	11
Evaluate	21	13	9
Identify	8	6	3
Total	65	55	45

備註：GCCSI 所定義 CCS 項目之發展階段⁴：
Operate (Completed)；
Execute (Under Construction)；
Define (Late Project Development)；
Evaluate (Early Project development)；
Identify (Announced Project)。

³ <http://sequestration.mit.edu/bibliography/CCS%20Demos.pdf>

⁴ <http://www.globalccsinstitute.com/projects/large-scale-ccs-projects-definitions>

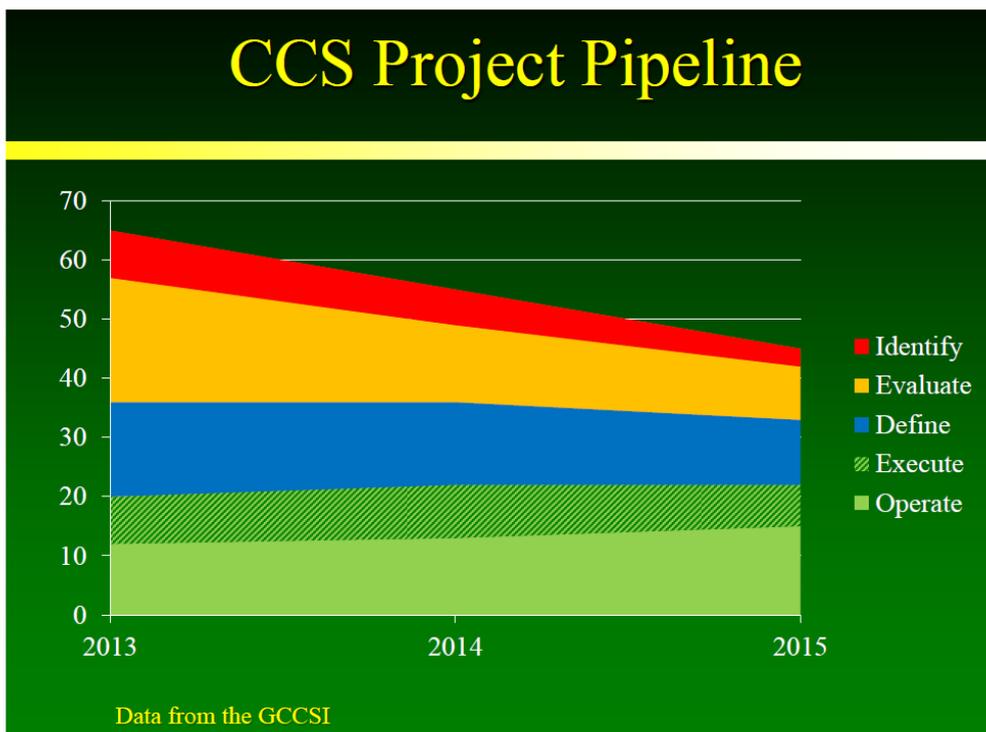


圖 3-3-2 CCS Project Pipeline⁵

2015 年在營運和執行類別中共有 22 個項目，這些項目捕集封存的 CO₂ 量之規模，大約都高於每年 100 萬噸。

MITEI 將這 22 個項目分為三類：商業 EOR 項目，如表 3-3-2；先導 CCS 項目，如表 3-3-3；及 CCS 的 RD&D 項目，如表 3-3-4，並研究其資金籌措情形：

⁵ GHGT-13 Speaker : Howard Herzog, Senior Research Engineer, MIT

表 3-3-2 商業 EOR 項目 (GCCSI,2015 ; MIT,2016) ⁶

Project	Location	Capacity (Mt/yr)	CO ₂ Source	Year of Operation
Enid	Oklahoma	0.7	Fertilizer	1982
Shute Creek	Wyoming	7.0	NG Processing	1986
Val Verde	Texas	1.3	NG Processing	1998
Weyburn	US/Canada	1.0	Coal Gasification	2000
Century	Texas	8.4	NG Processing	2010
Coffeyville	Kansas	0.8	Fertilizer	2013
Lost Cabin	Wyoming	0.9	NG Processing	2013
Lula	Brazil	0.7	NG Processing	2013
Uthmaniyah	Saudi Arabia	0.8	NG Processing	2015

表 3-3-3 先導 CCS 項目 (GCCSI,2015 ; MIT,2016) ⁷

Project	Location	Capacity (Mt/yr)	CO ₂ Source	CO ₂ Sink	Year of Operation
Sleipner	Norway	0.9	NG Processing	Saline	1996
In Salah	Algeria	1.2	NG Processing	Depleted Gas	2004 - 2011
Snohvit	Norway	0.7	NG Processing	Saline	2008
Gorgon	Australia	4	NG Processing	Saline	2016

表 3-3-4 CCS 的 RD&D 項目 (GCCSI,2015 ; MIT,2016) ⁸

Project	Location	Capacity (Mt/yr)	CO ₂ Source	CO ₂ Sink	Year of Operation
Air Products	Texas	1.0	CH ₄ Reformer	EOR	2013
Boundary Dam	Canada	1.0 (110 MW)	Coal Power	EOR/Saline	2014
Quest	Canada	1.1	CH ₄ Reformer	Saline	2015
Decatur	Illinois	1.0	Ethanol	Saline	2016
Kemper	Mississippi	3.4 (582 MW)	Coal Power	EOR	2016
Petra Nova	Texas	1.6 (240 MW)	Coal Power	EOR	2016
Abu Dhabi	Abu Dhabi	0.8	Steel	EOR	2016
Alberta Trunk	Canada	0.3-0.6	Fertilizer	EOR	2016-17
Alberta Trunk	Canada	1.2-1.4	Refinery	EOR	2017

⁶ <http://sequestration.mit.edu/bibliography/CCS%20Demos.pdf>

⁷ <http://sequestration.mit.edu/bibliography/CCS%20Demos.pdf>

⁸ <http://sequestration.mit.edu/bibliography/CCS%20Demos.pdf>

(1) 商業 EOR 項目

22 個示範項目中有 9 個歸類為 EOR 項目，目前均在營運中。

EOR 項目的財務相對簡單，它們的二氧化碳來源產出高純度的二氧化碳流，用於 EOR（對比排放二氧化碳）相關的增量成本，只是壓縮成本和運輸成本，而 EOR 營運商願意支付之二氧化碳價格亦包括壓縮成本和運輸成本，故 EOR 項目的資金籌措均依賴 EOR 市場。

惟這些商業 EOR 項目是否應被視為 CCS 示範項目存在爭議，因為這些項目基本上是使用現成技術，很少用先進 CCS 知識。不過其中有一些例外，最值得注意的是 Weyburn 項目，這個計畫有大規模的科學方案，研究 CCS 在地表下的量測，監測及驗證。

(2) 先導 CCS 項目

22 個示範項目中有 4 個歸類為先導 CCS 項目。目前 Sleipner 及 Snohvit 項目正在營運中；Gorgon 項目正在建設中（規劃始於 1990s 初）；In Salah 項目個已經停止注入。

對於 Gorgon 項目而言，雖然沒有法律或法規要求使用 CCS，但 CCS 成本相對較小，低於總資本成本的 10%，故自願同意限制溫室氣體排放，好處是項目審查及取得許可過程將更順利地進行⁹。

Sleipner 和 Snohvit 項目也有類似的動機。雖然在挪威的海上作業有碳稅（約為 50 美元/tCO₂，在 Sleipner 建造時），主要的決定是政府和挪威國家石油公司 Statoil 之間討論的結果，挪威對減緩氣候變化做出了堅

⁹ https://sequestration.mit.edu/pdf/2015_VictoriaClark_Thesis.pdf

定的承諾，而執行這些項目表明了它對世界的承諾。

英國石油公司 BP 的 In-Salah 項目，則是為了符合 BP 在建造時的總體戰略，BP 開展了以「超越石油（Beyond Petroleum）」為主題的營銷活動，試圖將自己作為一家綠色公司進行營銷，CCS 是該戰略中的一個策略，BP 組織並領導了 CO₂ 捕集項目，它還宣布一系列三個關注「脫碳燃料」的 CCS 示範項目。

4 個先導項目都是在很少或沒有政府支持的情況下建造的，它們都是從僅需要壓縮和運輸高純度二氧化碳源開始，因具有以下特點，而有助於項目推動：

- 增加 CCS 的成本只佔整個項目成本的一小部分（約 10%）；
- 項目承擔這些成本仍然是有利可圖的；
- 公司可以證明所花費的費用為開展業務的成本，和/或因為項目符合更廣泛的業務戰略。

(3) CCS 的 RD&D 項目

其餘 9 個項目歸類為 CCS 的 RD&D 項目，都依靠重要的政府資金支持，表 3-3-4 前 3 個項目正在營運中，後 6 個正在建造中（營運年份是預計開始之日期）。9 個項目當中有 3 個是從燃煤電廠捕獲 CO₂，其中 SaskPower 電力公司的邊界大壩項目（Boundary Dam）最特別值得提及，它在 2014 年 10 月啟動，是第一個商業規模的燃煤發電廠搭配 CCS 之項目，邊界大壩項目財務成功的關鍵是：

- 監管驅動力：由於監管單位要求 40 年的邊界大壩燃煤電廠必須改造

為 CCS 電廠，或選擇關閉。

- 業務驅動力：SaskPower 電力公司不想放棄他們的大型褐煤資產。
- 技術推動力：加拿大政府提供了 2.4 億加元的直接補貼。這是項目初始預估經費 11 億加元的 22%。
- 市場動力：他們可以進入二氧化碳 EOR 市場，還可於市場出售他們的飛灰和 SO₂；另從電力監管機構獲得特別許可，雖然不會以市場價格出售電力，但成本可以轉嫁給納稅人。

2、政府單位協助 CCS 示範項目之計畫

MITEI 整理了下列幫助 CCS 示範項目財務籌措，而實施的政府計畫（規模至少 10 億美元以上），這些政府計畫資助了表 3-3-4 CCS 的 RD & D 項目中的 7 個。

（1）美國政府計畫

美國能源部（US Department of Energy, DOE）支持示範項目的主要機制是清潔煤電力倡議（Clean Coal Power Initiative, CCPI），它為示範項目提供直接補貼。受補貼者需要至少 50% 的費用分攤，資金透過年度預算分配給 CCPI，惟透過年度預算分配撥款可能是危險的，該資金雖然在早期穩定，但自 2009 年以來就沒有資金分配給 CCPI。

2009 年美國國會通過了美國再投資和回收法案（ARRA），也被稱為刺激法案，其中有一些係專門針對 CCS 示範項目補貼的資金。

CCPI 和 ARRA 的組合形成美國 CCS 示範項目的基礎，如表 3-3-4 中美國的 4 個項目。接受 CCPI 和 ARRA 資金支持的電力項目如表 3-3-5。

表 3-3-5 接受 CCPI 和 ARRA 資金支持的電力 CCS 示範項目 (MIT,2016)¹⁰

Company	State	DOE Support (million \$)	Size	Capture Technology	Fate	Status
FutureGen 2.0	IL	1000 (ARRA)	200 MW 1.1 MtCO ₂ /yr	Oxy	Saline Formation	Cancelled 2015
Basin Electric (Antelope Valley)	ND	100 (CCPI 3)	120 MW 1 MtCO ₂ /yr	PCC	EOR	Cancelled 2010
Hydrogen Energy (HECA)	CA	408 (CCPI 3)	400 MW 2.6 MtCO ₂ /yr	IGCC	EOR	Cancelled 2016
AEP (Mountaineer)	WV	334 (CCPI 3)	235 MW 1.5 Mt CO ₂ /yr	PCC	Saline Formation	Cancelled 2011
Southern (Plant Barry)	AL	295 (CCPI 3)	160 MW 1 MtCO ₂ /yr	PCC	Saline	Cancelled 2010
NRG Energy (Petra Nova)	TX	167 (CCPI 3)	240 MW 1.6 Mt CO ₂ /yr	PCC	EOR	Under Construction
Summit Power (Texas Clean Energy Project)	TX	450 (CCPI 3)	400 MW 2 MtCO ₂ /yr	IGCC	EOR	Under Development
Southern (Kemper)	MS	270 (CCPI 2)	582 MW 3.4 MtCO ₂ /yr	IGCC	EOR	Under Construction

(2) 加拿大政府計畫

加拿大 Alberta 省政府創建了一個 20 億加元的碳捕集和封存基金 (Carbon Capture and Storage Fund)，以支持大型 CCS 示範項目。2009 年有 4 個項目獲取該基金，Quest 項目目前刻營運中，Alberta Carbon Trunk Line 項目正在建設中，Swan Hills Synfuel 項目及 Pioneer 項目已經取消。

商業驅動是 Alberta 省資助 CCS 項目的主要動機。自油砂生產油是 Alberta 省的主要工業活動。然而，由於從砂生產油是能量密集的，它具

¹⁰ <http://sequestration.mit.edu/bibliography/CCS%20Demos.pdf>

有比世界當前大多數石油生產更大的生命週期碳足跡。因此，它們成為某些環境組織的主要目標。

為了降低油砂碳足跡，Alberta 省採取使用 CCS 的策略，並透過幾個步驟來實施，包括建立碳捕集與封存基金，並頒布對大型排放者課 15 美元/tCO₂的碳稅，其收益將成為 CCS 技術基金。

(3) 英國政府計畫

2007 年 11 月，英國政府宣布了 10 億英鎊競賽，以支持商業規模 CCS 項目的設計、建設和營運。競賽僅限於採用燃燒後 CO₂捕集技術的燃煤發電廠。4 個潛在項目在 2008 年 6 月獲得了預審，但沒有任何一個獲勝。英國政府於 2012 年 4 月重新開放了競賽，並取消了對捕集技術的限制，開放對所有捕集選項和燃料的競賽。2012 年 11 月，4 個項目獲選參加競賽。2013 年 3 月 20 日，Peterhead 和 White Rose 項目被公佈為首選項目，他們將獲得資助進行前端工程設計(Front End Engineering Design, FEED)研究，英國政府將在 2015 年做出最終投資決定(後移至 2016 年)。然而，在 2015 年 11 月 25 日，英國政府意外地撤回了競賽的資金，故原獲選的示範項目將不會進行。

(4) 歐盟政府計畫

2007 年歐盟委員會發布了第一個歐盟能源行動計畫(EU Energy Action Plan)。在該計畫中，歐洲領導人同意歐盟應該在 2015 年前達到 12 個 CCS 示範項目。實現這個目標的主要機制為 NER300，資金來自銷售 3 億個歐盟排放交易體系(Emissions Trading System, ETS)之許可證。

不幸的是，結果是 NER300 根本沒有資助任何 CCS 示範項目。

(5) 協助 CCS 示範項目之政府計畫結果

- 美國：2 個工業項目，及 2 個電力項目；
- 加拿大：1 個工業項目，240 公里的氣管；
- 英國：0 個；
- 歐盟：0 個。

目前來看，未來沒有任何地方有協助 CCS 示範項目之政府計畫。

3、過去 20 年 CCS 示範項目的重要經驗

MITEI 綜整並分析從過去 20 年 CCS 示範項目學習到的重要經驗：

(1) 成功的 CCS 示範項目與石油和天然氣工業間有密切的關係

22 個 CCS 示範項目中，有 21 個發生在具有重要石油和天然氣行業的地區。唯一的例外是 Illinois 州的 Decatur 項目。EOR 為表 3-3-2 中的 9 個商業 EOR 項目提供了財務動力。表 3-3-3 的 4 個先導項目均由石油公司經營，二氧化碳是天然氣加工的副產品。表 3-3-4 的 9 個 CCS RD&D 項目中的 7 個，藉由進入 EOR 市場來提供項目資金，其餘 2 個項目中則有 1 個位於煉油廠。

(2) CCS 必須超越 EOR 進入其他市場

對於 CCS 項目，其他最大潛力的市場是碳市場和電力市場，惟當前有限的碳市場和低碳價，遠遠低於激勵發電廠 CCS 項目所需要的，目前電力市場比碳市場發揮了更大的作用，Kemper 電廠獲得電力公司監管機構批准將一些成本計入費率基準，Boundary Dam 電廠則可將所有成本計

入。然而，美國電力公司（American Electric Power, AEP）的 Mountaineer 電廠，卻被監管機構拒絕將成本計入費率基準，部分的原因是沒有「聯邦授權減少發電廠的碳排放」。

（3）監管驅動力因素對於創造 CCS 市場至關重要

需要監管單位訂定相關規定，限制某些燃煤發電廠碳排放量的標準，來發展碳市場。但政策如果不夠強大，例如美國的清潔電力計畫（Clean Power Plan），因為目標相對溫和，且主要是再生能源的使用增加（在許多州大量補貼並有投資組合標準），以及從煤炭轉向天然氣（低天然氣價格），似乎無法提供 CCS 項目很大的激勵，故政策的確切制定對 CCS 的未來至關重要。

（4）商業驅動因素扮演重要作用

如果項目符合商業利益，或具有一說服力的商業案例，項目可以大大提高成功的機會，例如前所提之 Alberta 省為保護油砂資產，採取使用 CCS 的策略，及 BP 試圖營銷自己為一家綠色公司展開「超越石油（Beyond Petroleum）」活動等。

（5）過度依賴政府補貼有風險

一些預訂示範項目因依賴大筆政府補貼而取消，包括：

- FutureGen 和 FutureGen 2.0（美國）
- Shell Peterhead 和 White Rose（英國）
- BP Peterhead（DF1）（英國）
- Mongstad（挪威）

這些大型項目需要多年才能開發，惟因政治變化，容易成為政治家

的的目標。在英國取消 CCS 競賽基金情況下，產生了 CCS 行業對政府的不信任，對未來政府支持 CCS 的計畫產生降溫的影響。

對於初始項目，可能仍需要直接由政府支持來克服初期鉅額成本，但更安全的 CCS 前進路徑，是由政府創造監管環境，來創造商業驅動力。

(6) 成功的 CCS 電力項目採多資金組合

足夠高的碳價可為 CCS 項目提供資金。然而，現今狀況不是這樣，在可預見的未來也不太可能發生。因此，這些項目的財務將仍然很複雜，需要由多種資金籌措組成。

(7) 基於氣化技術的電力項目成績不佳

十五年前的觀點是，一個接近零排放的燃煤發電廠需基於煤碳氣化（IGCC）加上 CCS。但經檢閱了許多電力部門提出的氣化項目，實際上卻只有一個 Kemper 項目真正實施。雖然未來 IGCC 可能仍然發揮作用，但今天已經回到粉煤（PC）電廠加燃燒後捕捉或富氧燃燒捕捉的局面。氣化技術在電力部門陷入困境的主要原因，是已經證實與 PC 電廠相比不具有競爭力。

(8) 設定任意時間限制通常導致失敗

有兩個政府計畫設立了嚴格的時間限制，美國的 ARRA 和歐盟的 NER300，時間限制使 NER300 計畫沒有啟動。美國的 FutureGen 2.0 表示，如果給予更多時間，他們會成功。南方電力公司（Southern Company）的 Barry 電廠從一開始就意識到時間表對他們來說太緊迫，並立即取消了他們在 CCPI（由 ARRA 資助）項目。

因電力部門的 CCS 項目很複雜，並且有許多變動，需要時間以合理

的方式解決這些問題，故設置任意時間限制通常沒有幫助。

(9) 具有較短時間表的 CCS 項目有較大的成功機會

需要較長時間的項目可能會受到政治及經濟等不利變化的影響，時間表越長，項目可能面臨的風險和不確定性就越大。

具有相對較短的開發時間表的成功 CCS 項目的例子包括 Boundary Dam 及 Quest 項目，他們都是由原已成立的公司負責，分別為 SaskPower 和 Shell，在其既有的工業場址進行，並不需要尋找其他股權合作夥伴。

一般來說，有一些特性有助於減少項目時間表：

- 開發小規模項目
- 使用 brownfield sites（棄置的工業或商業用地，而可以被重複使用的土地）
- 最大限度地減少技術風險（例如技術開發採小規模試驗性）
- 與政府合作，簡化許可過程
- 避免複雜的商業安排

(10) CCS 需要更強的政治支持

展望未來，隨著新的減少溫室氣體排放的法規和法律實施，政治對 CCS 的產生重要影響。為了獲得政治支持，重要的是要確定 CCS 可作為再生能源的補充，而不是相互競爭。只要決策者認為再生能源本身（如德國）能夠解決氣候問題，CCS 將非常難以取得進展。

(11) 所有主要的 CCS 示範項目都需要一個公共宣傳計畫

因為沒有足夠的過去經驗推斷，公眾是否接受會阻礙 CCS 的發展，故每個 CCS 項目都需要良好的公眾宣傳計畫。

（二）政策（Policies）與政治（Politics）

1、CCS 政策和政治支持的波動

自 2000 年初以來，人們越來越認同 CCS 可作為解決全球氣候變遷方案的一個方式。IEA 也一直強調 CCS 在實現 2°C 目標的重要性，CCS 貢獻了 2050 年所需的 12% 的減排量（IEA ETP 2016¹¹）。CCS 是 IEA 認為減碳技術中，除了再生能源和改善能源效率外之第三大貢獻項目。

認可 CCS 的重要性也得到了全球氣候科學家，特別是 IPCC 的支持。2005 年 IPCC 關於 CCS 的特別報告（Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage, SRCCS）確認和傳達 CCS 為氣候解決方案的一個重要轉折點。更多最近的 IPCC 報告，包括「第 5 次評估報告」（the Fifth Assessment Report, AR5）發現，CCS 可能的確對於實現更加雄心勃勃的氣候目標至關重要，沒有 CCS，大氣濃度要達到 430-480ppm 範圍內，所需花費的成本將高 138%，如表 3-3-6¹²。

然而，CCS 技術的政治和政策支持，卻沒有相對應伴隨增長。事實上，對 CCS 的支持是不一致的，有時還是混亂的，並且與全球氣候談判及經濟條件進展等密切相關，CCS 政策與政治支持的變動如圖 3-3-3。

¹¹

https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyTechnologyPerspectives2016_ExecutiveSummary_EnglishVersion.pdf

¹² https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf

表 3-3-6 可用技術有限的情景中之成本增幅（IPCC AR5 報告）¹³

Mitigation cost increases in scenarios with limited availability of technologies ^d					Mitigation cost increases due to delayed additional mitigation until 2030	
[% increase in total discounted ^e mitigation costs (2015–2100) relative to default technology assumptions]					[% increase in mitigation costs relative to immediate mitigation]	
2100 concentrations (ppm CO ₂ -eq)	no CCS	nuclear phase out	limited solar/wind	limited bioenergy	medium term costs (2030–2050)	long term costs (2050–2100)
450 (430 to 480)	138% (29 to 297%) 4	7% (4 to 18%) 8	6% (2 to 29%) 8	64% (44 to 78%) 8	44% (2 to 78%) 29	37% (16 to 82%) 29
500 (480 to 530)	not available (n.a.)	n.a.	n.a.	n.a.		
550 (530 to 580)	39% (18 to 78%) 11	13% (2 to 23%) 10	8% (5 to 15%) 10	18% (4 to 66%) 12	15% (3 to 32%)	16% (5 to 24%)
580 to 650	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.		

Symbol legend—fraction of models successful in producing scenarios (numbers indicate the number of successful models)

- Green bar: all models successful
- Orange bar: between 50 and 80% of models successful
- Yellow bar: between 80 and 100% of models successful
- Red bar: less than 50% of models successful

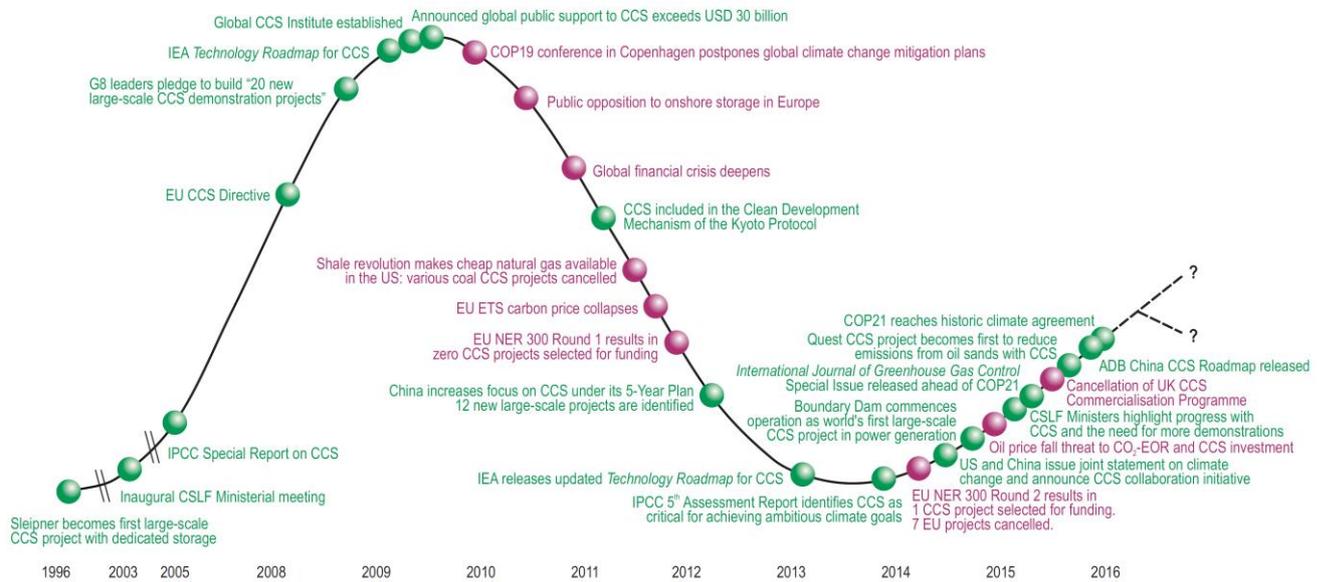


圖 3-3-3 CCS 政策與政治支持的變動¹⁴

¹³ https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf

¹⁴ <http://www.ghgt.info/images/Ben%20Naceur%20Keynote%20-%20GHGT13.pdf>

在哥本哈根第十五屆締約國會議（COP15）氣候談判的前夕，以及在 IPCC 提出 SRCC 之後 3 年，對 CCS 的政治支持達到了最高峰，在部署大型項目方面非常注重，八大工業國組織（Group of Eight, G8）領導人承諾 2008 年到 2010 年在全球推出 20 個大型 CCS 項目，目標為在 2020 年前廣泛部署。同年，澳大利亞總理 Kevin Rudd 建立 GCCSI，GCCSI 於 2009 年 7 月在義大利主要經濟論壇會議（Major Economies Forum）上正式啟動，在這全球發布會上，Rudd 總理與美國總統 Barack Obama 和義大利總理 Silvio Berlusconi 一起參加了會議，並支持 GCCSI 的「2020 年前，在全世界至少開發 20 個工業規模 CCS 示範項目」目標，2009 年末，碳封存領袖論壇部長級會議（the Carbon Sequestration Leadership Forum Ministerial, CSLF）也強調這些項目是「至關重要的」，並認為發展中國家可能需要援助，以實現應對氣候變化所需的 CCS。

這種政治支持伴隨著重大的財政承諾。在 2007 年至 2010 年期間，在澳大利亞，加拿大，歐洲，英國和美國宣布了大型項目的主要資助計畫。到 2010 年，宣布全球對 CCS 項目的支持總額已超過 310 億美元，支持多達 35 個大型項目。

然而，政治承諾和財政支持最終沒有持續。在承諾的 310 億美元中，2009 年至 2014 年期間實際投資的項目少於 30 億美元，只有 7 個項目成功部署，所有這些項目都在加拿大和美國。澳大利亞和最近的英國的資助計畫已經縮減或取消。G8 承諾到 2010 年啟動 20 個新項目，在 2020 年之前運行，但現在預計不會實現，在 10 年內只有 14 個項目將投入或可能投入。

自 2008 至 2009 年高峰期以來，有許多因素使得對 CCS 的支持逐漸減少，包括哥本哈根未能實現全球氣候協議，使得氣候變化措施的重大政治動力被消除，以及全球金融危機對政府預算壓力的持續影響。再生能源和能源效率的替代性低排放解決方案的顯著實現和成本降低，也可能對 CCS 的政治支持產生影響，並促使人們認為 CCS 是昂貴的、不需要的，或只是未來才需要的。

此外，部署大型 CCS 項目被證明比預期更具挑戰性、昂貴和耗時。值得注意的是，除了 CSLF 部長級會議之外，全球在政治領導方面會議幾乎沒有談論 CCS。自 2009 年後，G8 也未討論 CCS，並且清潔能源部長級會議（Clean Energy Ministerial, CEM）對 CCS 的興趣也在波動。

最近的事態發展令人樂觀地認為，對 CCS 的政治支持可能出現復興。其中最重要的是「巴黎協定」的歷史性成功，全球政治領導人同意將未來的溫度增長限制在遠低於 2°C，並努力實現 1.5°C。實現這些目標幾乎肯定需要 CCS，IPCC 預計在 2018 年關於 1.5°C 全球暖化衝擊和相關排放路徑的影響之特別報告中確認。

2、CCS 政治支持的驅力

CCS 政治支持的關鍵驅動力取決於國情，在不同國家及地區間會有所不同。然而，可以確定投資 CCS 的政治理由有 4 個方面，包含為實現對長期氣候目標貢獻的承諾、持續使用化石燃料具有經濟或能源安全相關利益、CCS 技術新市場出口機會，及地方經濟因素。

(1) 實現對長期氣候目標貢獻的承諾

大多數政府計畫和支持 CCS 的聲明，都基於對其對實現長期氣候目標貢獻的承認。與再生能源或核能不同，CCS 不是能源發電技術，相反的，應用於電力或工業，實際上還消耗大量額外能源，增加了生產成本，其價值幾乎完全與氣候變化有關，在於能顯著減少使用化石燃料產生的二氧化碳排放。有幾個政府，包括英國，已經承認 CCS 可以為未來的國家氣候目標，提供具有成本效益的解決方案，即使第一個項目的開展是昂貴的。

(2) 持續使用化石燃料具有經濟或能源安全相關利益

對於持續使用化石燃料具有經濟或能源安全相關利益的國家，CCS 被認定為戰略性重要技術。資源豐富的國家，如澳大利亞和加拿大，從煤炭和天然氣出口獲得了巨額的收入，因此對於部署 CCS，以支持未來在這些出口市場可持續地使用化石燃料，具有戰略意義。例如圖 3-3-4 及圖 3-3-5 加拿大的邊界大壩 CCS 項目 (Boundary Dam CCS Project)，因為在薩斯喀徹溫省 (Saskatchewan) 的東南角，坐落著一座 300 年的褐煤供應點，因此 Saskatchewan 省長 Brad Wall 一直堅定和積極支持邊界大壩 CCS 項目的發展。對於日本和韓國等自然資源有限的國家來說，從能源安全的角度而言，確保包括化石燃料在內的能源結構多樣性則是很重要的。

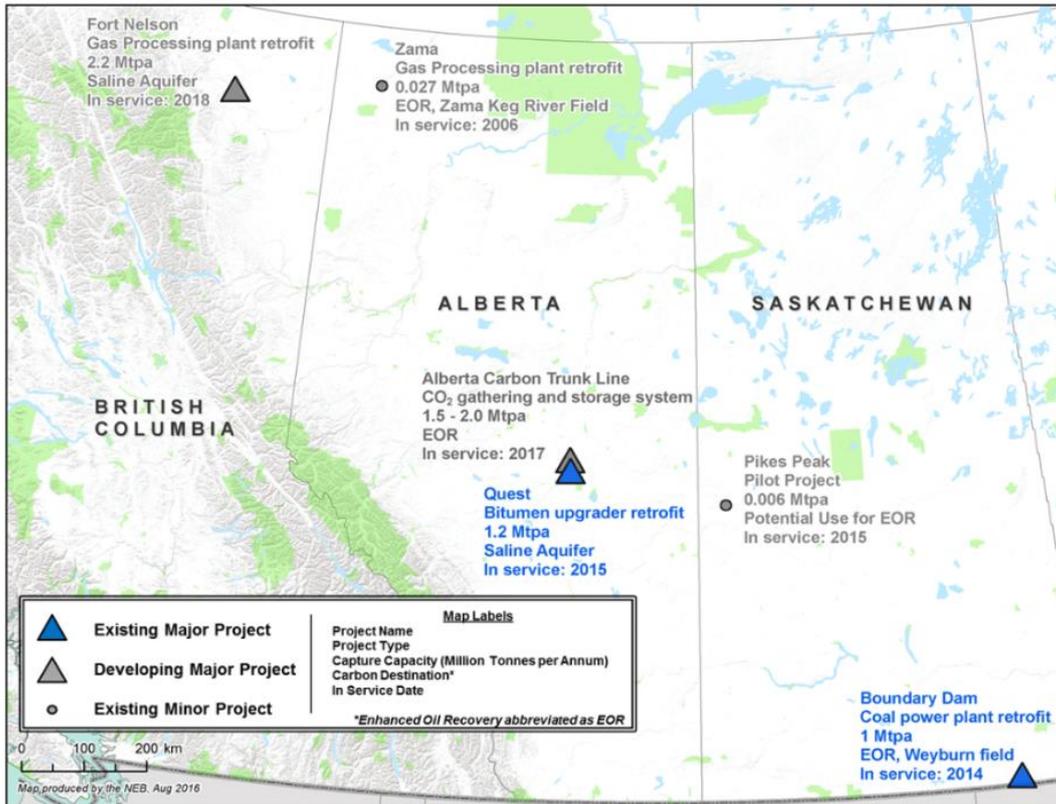


圖 3-3-4 加拿大 CCS 項目¹⁵



圖 3-3-5 加拿大的邊界大壩 CCS 項目 (Boundary Dam CCS Project)¹⁶

¹⁵ <https://www.neb-one.gc.ca/nrg/ntgrtd/mrkt/snpst/2016/09-01cndncrbncptr-eng.html>

¹⁶ <http://www.estevanmercury.ca/news/business-energy/boundary-dam-project-reaches-a-milestone-1.2319424>

(3) CCS 技術新市場出口機會

隨著世界向低碳經濟轉型，技術新市場將具有巨大全球出口機會的潛力。例如，中國對新技術的投資已經成為世界上最大的低成本太陽能光電板出口國。日本正在支持國內公司開發的捕集技術，包括透過日本國際合作銀行（Japan Bank for International Cooperation, JBIC）和瑞穗銀行（Mizuho Bank）融資予美國的 Petra Nova CCS 項目，該項目使用由三菱重工（Mitsubishi Heavy Industries）開發的技術。

(4) 地方經濟因素

地方經濟因素一直是對 CCS 政治支持的驅動力，特別是來自代表工業區的政治家，例如英國的 Teesside 工業區，佔英國工業排放量的 5.6%。Teesside 集團正在提議開發 CCS 中心（CCS hub），將其定位為未來清潔工業發展的前景。前政府能源和氣候變化部長 Bourne 博士指出他支持該項目。工會也已經成為 CCS 的支持者，因為它有潛力在碳約束經濟體保持排放密集型產業。

3、CCS 政治支持的挑戰

雖然 CCS 的政治支持有強而有力的經濟和環境驅動因素，但也有多種因素挑戰這種支持，包含公眾的反對及 CCS 項目特有的難度，特別是在大規模 CCS 項目部署方面。

(1) 公眾的反對

公眾反對 CCS 之觀點，包括從意識形態反對，或擔憂二氧化碳封存的完整性，或認為與再生能源的競合。

在一些國家，地方民眾對 CCS 項目的反對，削弱或扭轉了政府對 CCS 的支持。民眾反對的論點，通常是基於關於長期風險、和二氧化碳封存未被證實的性質，最終導致二氧化碳封存對更廣大人口不安全的聲稱。這種反對，在人口稠密地區，及在陸上沒有抽取碳氫化合物方面經驗的國家，是可以理解的。幾個高度公開的民眾反對案件，對政府的 CCS 政策產生了非常強烈的影響，包含德國，因民眾反對，導致 CCS 從氣候政策議程中被移除；還有荷蘭的 Barendrecht 項目，因當地社區強烈反對，導致政府禁止於陸上儲存二氧化碳。

另一主要是為缺乏非政府組織(non-government organisations, NGOs)的支持，由於 NGO 反對繼續使用化石燃料，而 CCS 阻止未來化石燃料轉型，或成為化石燃料生產者的綠色外衣，故環境的 NGO 在這個基礎上反對 CCS。而 NGO 小組在許多國家的氣候討論方面扮演重要角色，往往在立法或 CCS 項目許可過程中發揮重大影響。

與再生能源競合也是對 CCS 的政治支持限制的一個關鍵因素。認為 CCS 和再生能源相互競爭，爭取同樣的公共和私人投資。再生能源多年來在政治上更容易支持，幾乎所有主要經濟體都有一個再生能源計畫、目標和支持之政策。最重要的是，再生能源的技術和商業複雜性相對較低，導致了更大的成功率，故更容易吸引政府的支持。

(2) CCS 項目特有的難度

部署大型 CCS 項目，存在一些特有且重大難度及或挑戰，包括從時程長、成本高，及高失敗率等，直接或間接導致政治支持（通常是財政）的撤出。

CCS 項目從概念到營運可能需要長達十年的時間，特別是當二氧化碳封存地點或 EOR 機會尚不存在。這意味著這些項目的公共資金將跨越多個預算甚至政治的週期，政治領導人進行的投資在未來幾十年才取得成果，這需要長期眼光和承諾方能實現。

另一重大的挑戰是 CCS 項目的資本和營運成本高，首個 CCS 項目可能是複雜和昂貴的，特別是需要投資新的 CO₂ 運輸和儲存基礎設施資本時，公共的支持非常重要。例如澳大利亞的 ZeroGen IGCC 項目，獲得了昆士蘭州（Queensland）州長強有力的政治支持，但在預估成本上升了 46%、達到 69 億澳元之後決定取消，當然取消包括很多因素，如技術選擇、匯率影響、國內生產力，及儲存的問題等。

高失敗率也是 CCS 項目的挑戰，全球已經提出、但未能進入營運的大規模 CCS 項目數量，比成功的項目多兩倍。原因包括財政或政策支持不足，或缺乏合適的二氧化碳封存地點，或當地社區的反對，甚至是明顯的政治影響。



圖 3-3-6 美國 Mississippi Power Kemper County IGCC 電廠¹⁷

¹⁷ <http://www.clarionledger.com/story/news/2016/08/04/kemper-refunds-almost-complete/88279992/>

4、CCS 政治支持成功因素

CCS 項目在政治支持上成功的因素，包含堅定和一致的兩黨或多黨支持、訂定國家的溫室氣體減量戰略、非政府組織及主要意見領導的支持，以及透過國際機構實現全球領導等。

(1) 多黨支持

CCS 項目如能堅定和一致的兩黨或多黨共同支持，跨越幾個政治週期，這可能是確保在較長時間內開發的 CCS 項目所需的持續政治支持中最重要因素，這是挪威經驗的一個顯著特點。

(2) 訂定國家的溫室氣體減量戰略

國家如能訂定溫室氣體減量戰略，設定強烈堅定的氣候目標，並明確闡述 CCS 在實現這些目標方面的作用，對於在中長期內傳達 CCS 的作用和未來價值非常重要。

(3) 非政府組織及主要意見領導的支持

來自 NGOs 和主要意見領袖的支持，可以在公共對話中提供受信任和有影響力的聲音。例如挪威的 Bellona 基金會對促進支持 CCS 的必要政策，產生了特別積極的影響。

(4) 透過國際機構實現全球領導

透過主要國際機構如 G8/G20、CSLF、CEM，及任務創新（Mission Innovation）等的全球領導，已成為國家層面 CCS 政策承諾的催化劑，其中包括到 2020 年將開展 20 個項目的原始 G8 承諾、CSLF，和任務創

新，未來可以在支持 CCS 項目投資方面發揮重要的作用。

5、巴黎協定可否改變 CCS 的政治格局

2015 年「巴黎協定」的成功可能是 CCS 的一個重大轉折點，該協定包括「遠低於 2°C」的強化氣候目標，並為 2050 年以後的氣候行動提供一個框架，包括在本世紀下半實現「溫室氣體源的人為排放與匯的移除之間的平衡」，該協定還請締約方在 2020 年之前「提交 2050 年低碳排放發展之長期戰略」，在這個遠大的溫度目標，和更長期的時間範圍內，CCS 的角色變得更加難以忽略。

如要成功執行「巴黎協定」，將需要加強和擴大國家氣候戰略，對 CCS 政策的重視也需要超越目前的再生能源和能源效率，這幾乎肯定需要全球政治領導人重新關注 CCS，並提供政治支持加速投資大型 CCS 項目的動力。

(三) 封存 (Storage) 及運輸 (Transportation)

CCS 技術的發展，除了「捕集」可以從世界各地引進最佳可行技術外，「封存」必須先針對場址區域進行充分的評估，避免造成環境風險。目前國際間部分 CCS 示範計畫採用封存之方式依灌注位置可分為三類，如圖 3-3-7 所示，第一類為在陸地上直接灌注 CO₂ 至地底深鹽水層，如加拿大 Boundary Dam CCS 示範計畫（圖 3-3-8）；第二類為在陸地上灌注 CO₂ 至海底下層鹽水層中，如日本 Tomakomai CCS 示範計畫（圖 3-3-9）；第三類為離岸 (Offshore) 封存—將 CO₂ 船運至海上再灌注至海底下層鹽水層，如挪威 Sleipner CCS 示範計畫（圖 3-3-10、3-3-11）及澳洲 CCS 旗艦計畫 CarbonNet。

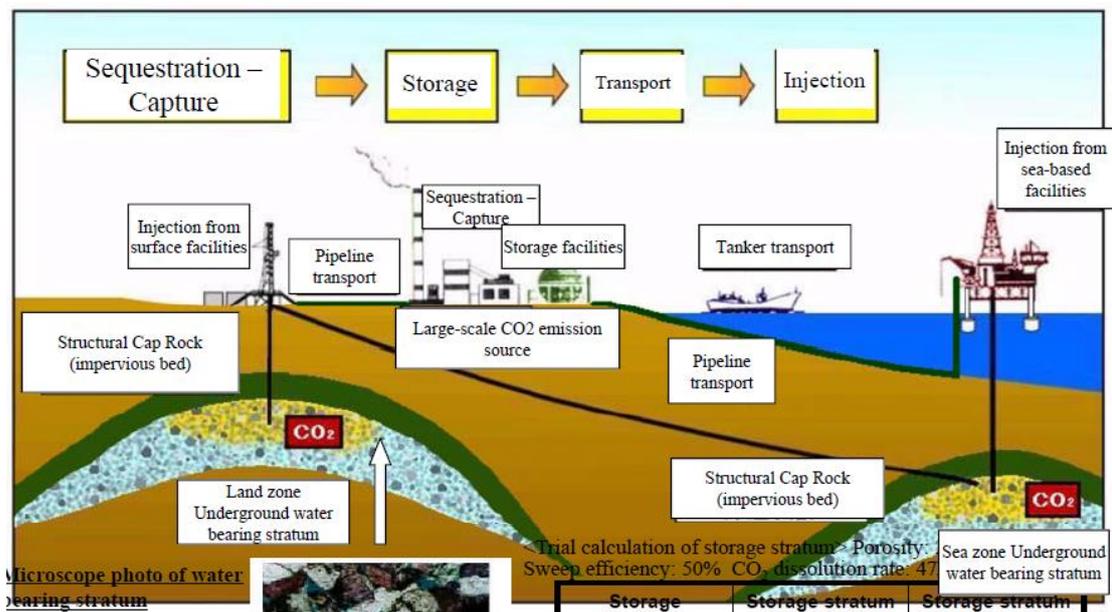


圖 3-3-7 CO₂ 灌注及封存地點示意圖¹⁸

¹⁸ <http://www.erina.or.jp/wp-content/uploads/2014/10/B-HARADA.pdf>

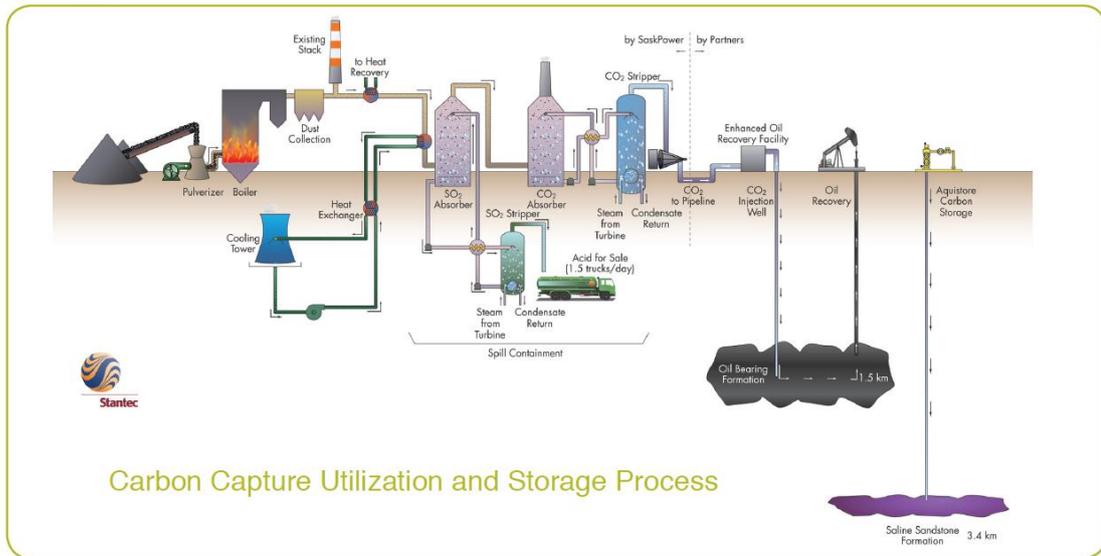


圖 3-3-8 加拿大 Boundary Dam CCS 示範計畫¹⁹

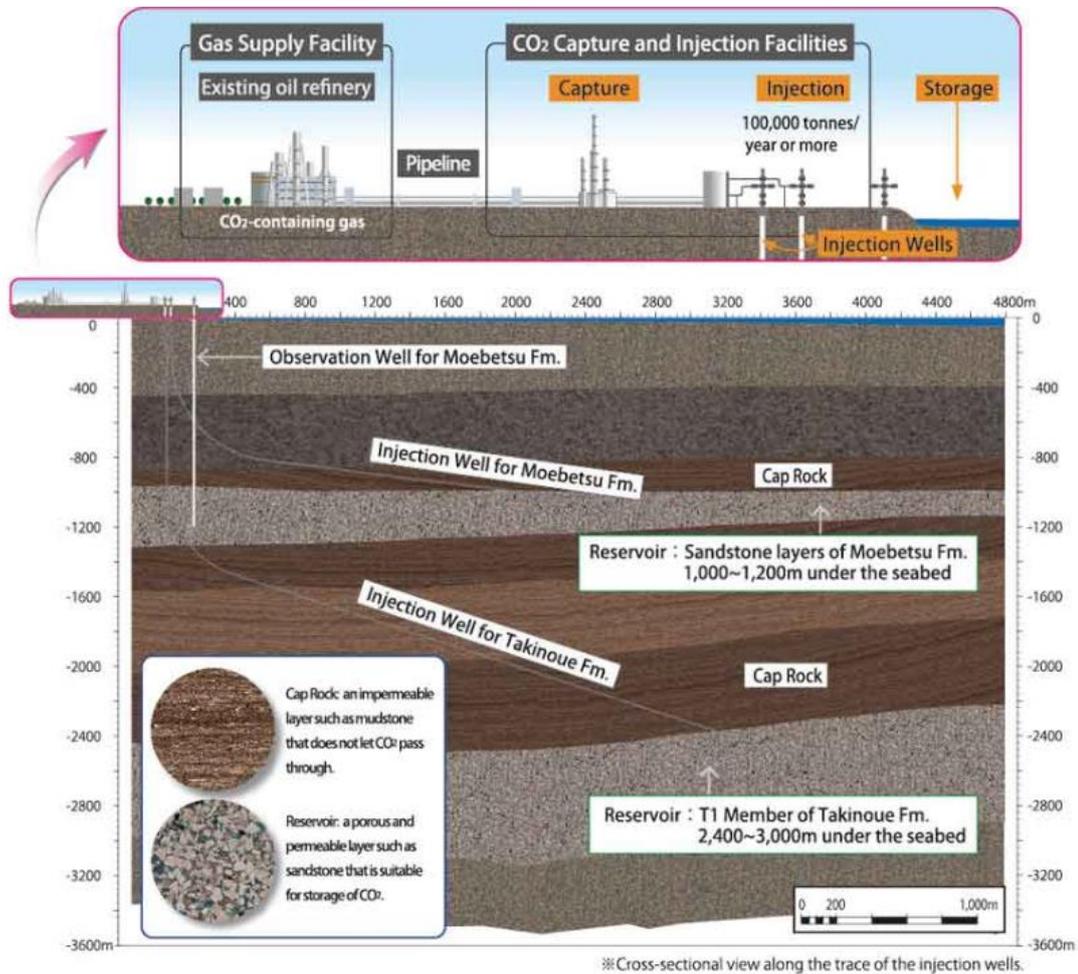


圖 3-3-9 日本 Tomakomai CCS 示範計畫²⁰

¹⁹ http://www.saskpower.com/wp-content/uploads/clean_coal_information_sheet.pdf

²⁰ <http://www.japanccs.com/en/business/demonstration/whole.php>

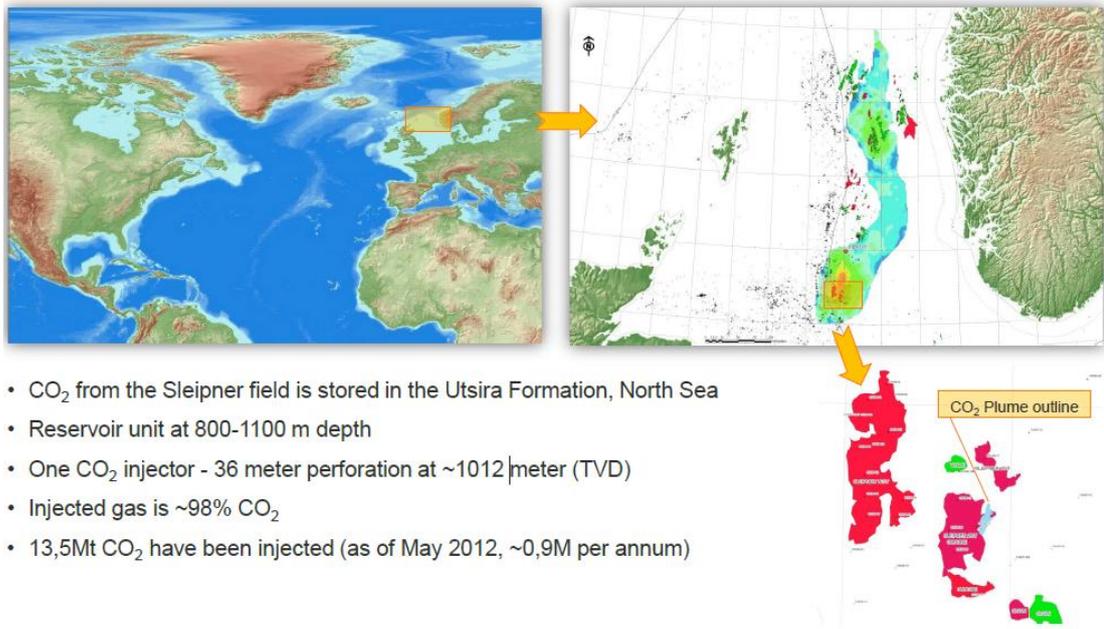


圖 3-3-10 挪威北海 Sleipner 氣田 CCS 示範計畫²¹

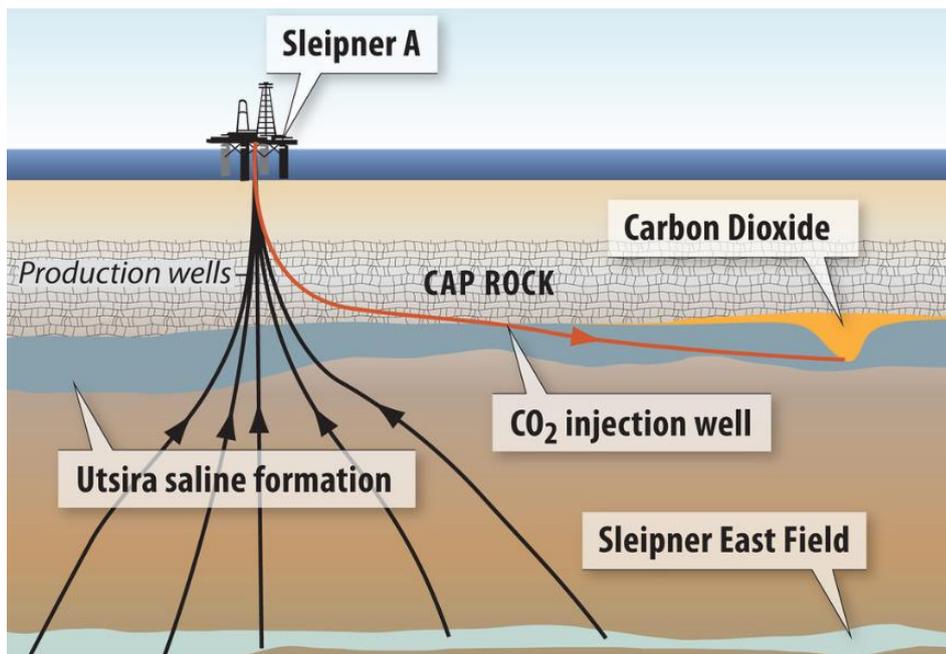


圖 3-3-11 挪威北海 Sleipner 氣田 CO₂ 封存示意圖²²

挪威北海 Sleipner 氣田的深鹽水層封存計畫自 1996 年開始灌注，可說是 CCS 計畫的先驅，至 2016 年已達 1,600 萬噸（再加上 Snøhvit 計畫

²¹ <http://www.secarbon.org/wp-content/uploads/2011/05/Hagen.pdf>

²² <http://need-media.smugmug.com/keyword/sleipner;ccs/i-2Qfsvdm>

已灌注的 400 萬噸，過去 20 年挪威在離岸封存的 CO₂ 已達 2,000 萬噸)，為世界上的研究團隊提供關於碳封存量（Storgae Capacity）、可注性（Injectivity）、完整性（Integrity）、監測（Monitoring）的研究平台；而 Sleipner 之封存量估計可供 500MW 之燃煤機組 20 部或燃氣機組 50 部儲存 50 年的 CO₂ 排放量²³，為人類爭取能源轉型所需的時間。

爰此，此次 GHGT-13 將其作為一項討論主題，以作為 Sleipner 計畫 20 周年之紀念，IEAGHG 的 Tim Dixon 特別發表「How do we transfer learnings from 20 years at Sleipner globally?」，認為對 CCS 發展有興趣的國家，可以透過研討和訓練分享相關資訊，因此國際合作下進行的示範計畫對於知識移轉極有助益。除此之外，在 GHGT-13 中發表或張貼海報的論文如下：

- An improved history-match for layer spreading within the Sleipner plume including thermal propagation effects
- Using adjoint based sensitivities with vertical-equilibrium models for parameter estimation of CO₂ injection models with application to Sleipner data
- 20 years monitoring CO₂-injection at Sleipner
- CO₂ plume migration and fate at Sleipner, Norway: Calibration of numerical models, uncertainty analysis, and reactive transport modelling of CO₂ trapping to 10,000 years
- 2.5D inversion and joint interpretation of CSEM data at Sleipner CO₂ storage

²³ <http://www.bgs.ac.uk/science/CO2/home.html>

- Uncertainty quantification in waveform-based imaging methods - a Sleipner CO₂ monitoring study

美國學者在 GHGT-12 會議中歸納從 2004 年到 2014 年碳封存的技術發展與成長，包括注入經驗（Injection Experience）、封閉完整性（Storage Integrity）、監測（Monitoring）、封存量評估（Storage Capacity）、封存工程（Storage Engineering）等，都達到相當程度的成熟度；雖然以往許多研究顯示未發現深層儲存的 CO₂ 有洩漏的情形，在一項美國能源部（US DOE）支助的研究計畫中，提出了還有些問題等待得到答案²⁴；其中最值得關注的是，由於水資源逐漸匱乏，如果 CO₂ 意外地釋放到覆蓋層上方的地下水層中，恐將影響地下水水質。因此，若要安全地儲存 CO₂，並增加大眾對 CCS 的接受度，就必須充分了解和處理潛在水源降級的問題；而此則有賴於詳細的田野調查，蒐集充分的數據後進行數值分析（Numerical Analysis）。

數值分析可透過實際監測，驗證理論上的安全封存機制，從本次 GHGT-13 的論文中，看見諸多數值分析對封存案例的應用，大部分為針對個案問題進行分析，可見地域特性的研究在封存作業中的重要性。至於大眾所關心的 CO₂ 洩漏風險，在自然界中主要是因為火山活動或礦物釋放所造成對人類之危害，若 CO₂ 封存場址接近都市或人口稠密地區，除了要有完整的 MMV（Measurement, Monitoring and Verification）計畫外，也應該建立風險管理策略（Risk Management Strategy），畢竟 CO₂ 封存要盡可能地安全，洩漏也應該盡可能地降至最低。

²⁴ <https://az659834.vo.msecnd.net/eventsairwesteuprod/production-ieaghg-public/c530f1937ee340cc88d07288f4c2b58a>

要將 CO₂ 封存，若排放源不位於場址附近，則長途輸送管道的技術、安全和成本將對計畫可行性有顯著的影響。以歐盟為例，為了達到減量目標，預估 2050 年前輸送 CO₂ 的管線將長達 20,000 公里，因此需要針對各面向進行完整的評估。由於發電廠或工業排放所捕集的 CO₂ 並非 100% 純 CO₂ 的煙氣，因此輸送時就要考量其化學性質選擇管線及給予能量進行加壓，特別注意對管線的影響，而不同材質、管徑及管壁厚度則有不同的成本。根據 SINTEF（斯堪地那維亞最大的獨立研究機構）旗下 SINTEF Energy Research 的模擬評估²⁵，採用最佳成本的管徑，輸送不純 CO₂ 氣體要比輸送純 CO₂ 氣體貴上 13~22%（即每噸 CO₂ 成本要多出 2.3~3.8 歐元）；若是以既有管線輸送，成本差異更大，變為增加 20~40%。研究團隊也強調，成本會因雜質組成成分的不同而有所差異，故在每種雜質情況下都存在著成本最佳的管道，也因此 CCS 計畫可以在雜質對成本的影響和雜質去除成本之間評估後選擇較經濟者；此外，重要的是須注意較小直徑的管線，因為在具有雜質的情況下，會對管線產生額外的壓力，可能在輸送過程中產生不利的影響。

離岸封存在近年來逐漸受到青睞，相較於陸域進行的封存計畫，具有較低成本及易被大眾接受的優勢；從 Sleipner CCS 示範計畫的經驗中，我們看到各排放源可將 CO₂ 船運至集中站（Hub Terminal），再送至外海平台進行灌注（圖 3-3-12），如此不僅由各產業分攤成本，大幅增加 CCS 的可利用性，CO₂ 輸送及封存場址也避開人類居住區域，有關安全的問題可避免成為爭議點。

²⁵ <https://az659834.vo.msecnd.net/eventsairwesteuprod/production-ieaghg-public/e1b37affcca048218ac6eefa6f334765>

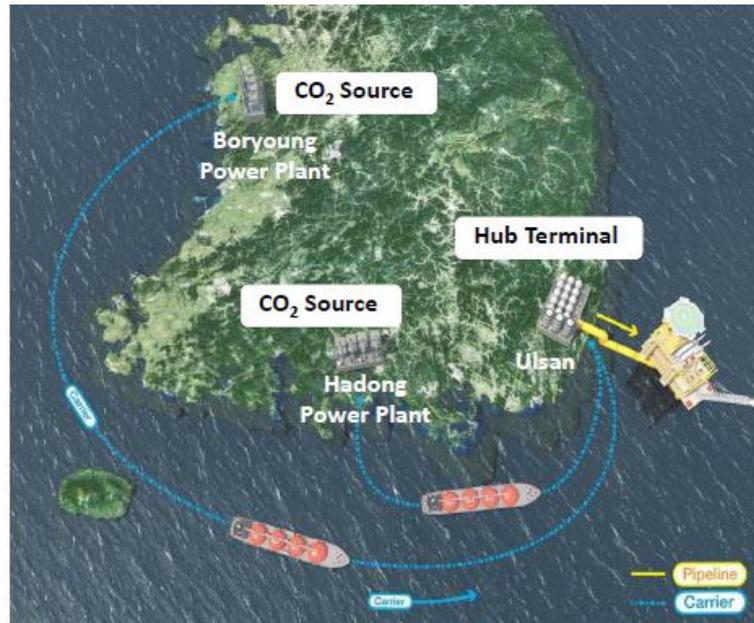


圖 3-3-12 挪威北海 Sleipner 示範計畫 CO₂ 輸送及封存示意圖²⁶

26

http://ieaghg.org/docs/General_Docs/IEAGHG_Presentations/GHGT_Panel_Offshore_CCS_for_other_Countries_3.pdf

(四) 溝通 (Communication)

CCS 已經被認為是一種相對成熟的技術，然而研究顯示，對大部分的民眾而言，它仍然存在未知的訊息；因此，在公共知識和技術理解之間的鴻溝，將阻礙了這項技術用以削減 CO₂ 排放的潛力。如果要及時發揮 CCS 的效力，將相關的科學資訊對大眾進行有效的傳播是有其必要且急迫的；然而以歐美經驗來看，在推廣 CCS 時往往會遇到困難，通常是由於過於技術性的原因，包括設備尺寸、部署規模、地質背景、以及地質封存對於能源策略和氣候變遷等方面重要性的概念，無法讓民眾深入了解而持反對立場。

義大利 Sapienza University of Rome 的工作團隊認為這是「人」的因素，執行 CCS 必須納入公眾 (public) 的參與，即使 CCS 對於減緩氣候變遷是重要的，但如果沒有公眾意見的支持，終將難以實現。因此實務上要尋求方法來與人們溝通這項技術，讓人們認知、評估及參與有意義的社會程序，如此即可形成決策的基礎。該團隊在發展一項歐洲海底 CO₂ 儲存計畫 (ECO₂ - Sub-seabed CO₂ Storage: Impact on Marine Ecosystems) 內容的同時，打算利用以科學為基礎的材料對年輕人宣傳 CCS 的概念，尤其是 CO₂ 儲存的方面。畢竟未來是現在的年輕人要把 CCS 投入在生活中，所以應該給他們更多的機會來接觸 CCS，並且學習 CCS。

針對新世代的溝通，視覺溝通是非常重要的，其中以短片最能帶來效果。所以義大利團隊決定製作一個主題接近「人」(尤其是青少年) 的 CCS 宣傳短片，刺激觀看者有意識或無意識地參與，喚醒個人潛在的學習動機，並願意採取行動。此外，該短片也可以輕易地被科學教師和其

他有興趣的團體使用；基於這個理念，一部名為「CCS - 連接未來能源的技術」（CCS - A Bridging Technology for the Energy of the Future）的短片已經被放在 Youtube 網站上（圖 3-3-13），並同時提供義大利文、英文、德文及法文等四種語言的版本。



圖 3-3-13 Youtube 短片：CCS - A Bridging Technology for the Energy of the Future（英文版）²⁷

製作這部短片的過程，涵蓋了不同種類與不同程度的研究與專業中的元素，並且將其整合為一，包括：

- 心理學的（Psychological）
- 地質學的（Geological）
- 科學溝通（Science communication）
- 劇本（Script）
- 影片指導（Film direction）
- 卡通及動畫（Cartoon and animation）

²⁷ https://www.youtube.com/watch?v=RDU_PTKil_g&feature=youtu.be

接著，義大利團隊以義大利的高中生進行試驗，當學生們看完短片後請他們填寫了一張問卷，以了解該短片的主題是否可以有效地鼓勵學生參與。問卷共有 13 題如下：

1. Are you satisfied with looking at this video? → 目的為確認學生們整體的滿意程度（結果有 74% 表示滿意或非常滿意，如圖 3-3-14 所示）

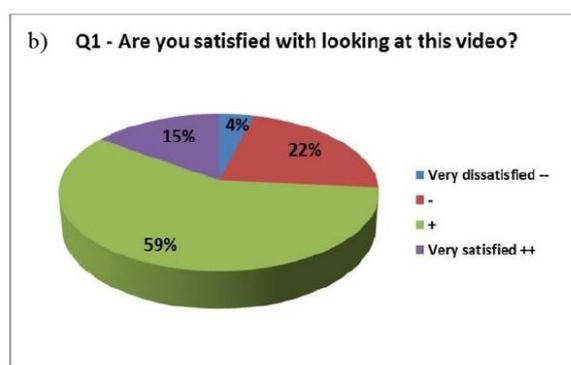


圖 3-3-14 高中生對觀看 CCS 短片的滿意程度統計

2. How do you feel after seeing this film? → 目的為了解此短片可能引起的感覺，並以情緒維度（emotional dimensions）相關的形容詞表達之（結果如圖 3-3-15 所示）

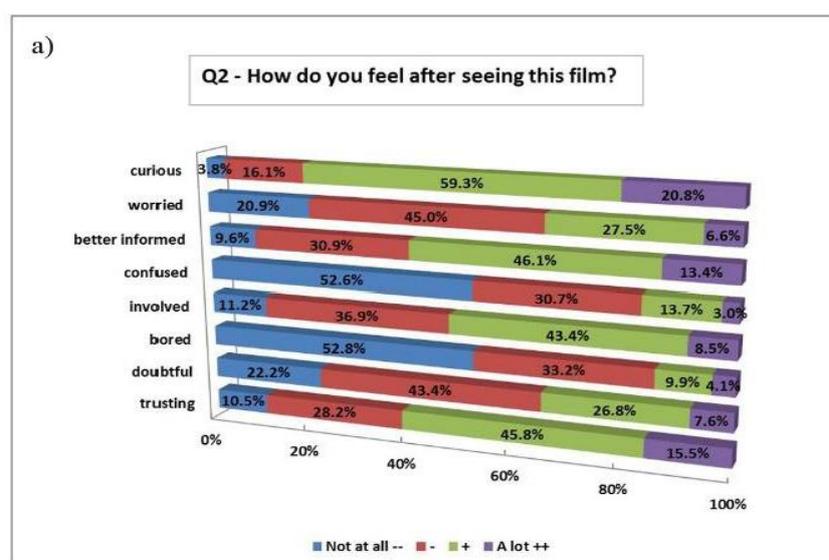


圖 3-3-15 觀看 CCS 短片後之感覺統計

3. To what extent has seeing this video been for you, enjoyable/important/interesting? → 目的為探討觀看此短片後之主要誘發出的動機（聯合 affiliation/enjoyable、權力 power/important、成就 achievement/ interesting），亦為人類為需要力量而產生情感上的關係，且此力量可以驅使致控制或影響他人的行為或周遭的環境（結果如圖 3-3-16 所示）

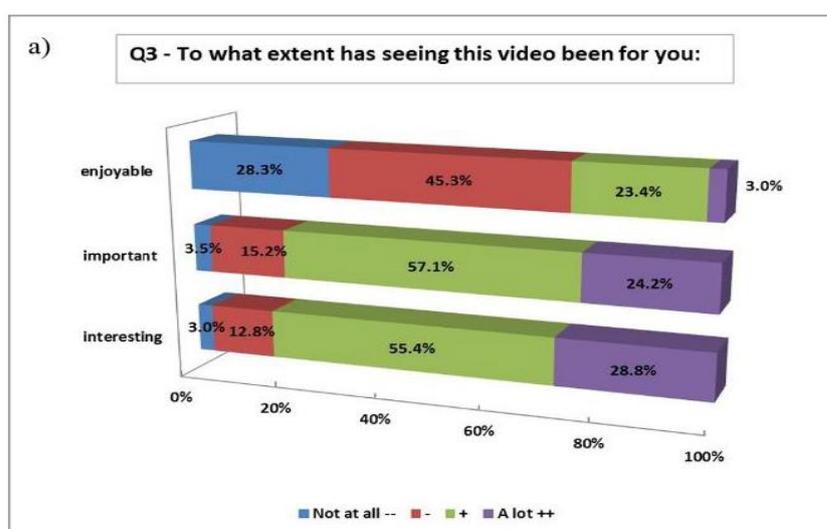


圖 3-3-16 觀看 CCS 短片後主要誘發出的動機需求統計

4. How understandable is the information presented in the film? → 目的為了解此短片所提供之資訊讓高中生可以理解的程度（結果有 86% 表示理解或非常理解，如圖 3-3-17 所示）

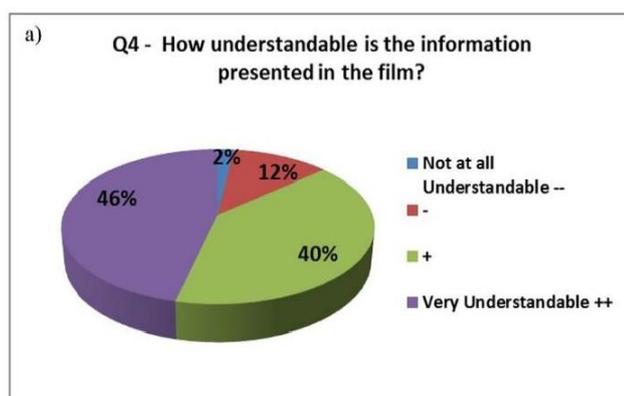


圖 3-3-17 高中生對 CCS 短片裡解程度統計

5. Had you ever heard about the geological storage of CO₂? → 結果發現 87% 的學生未聽過 CO₂ 之地質封存，聽過的只有 13%。
6. After seeing this film, do you think that you have understood what is the role of geological storage of CO₂?
7. Do you think that you have understood how the process of geological storage of CO₂ works?
→ 6 和 7 兩題的目的在了解回答者在觀看短片後對 CO₂ 地質封存的
角色和程序的理解程度，結果發現兩題均約 80% 的學生為理解或
非常理解。
8. Do you think that geological storage is an effective solution to reduce CO₂ emissions to the atmosphere?
9. Do you think that we should invest in the development of this technology?
10. Would you be in favour of the construction of CO₂ storage plants in Italy?
→ 8~10 這三題統計的結果令人興奮，超過 80% 的學生肯定 CCS 並且
願意投資開發（圖 3-3-18），雖然調查結果會因學生經驗不多及短
片中的資訊有限而有誤差，但反映出來的是此技術已經引起正面
的興趣，未來可以此為基礎加入其他的研究資訊，再對其他目標進
行評估。
11. Express your level of agreement with the following statements. The geological storage of CO₂... → 了解學生們對 CO₂ 地質封存的肯定在 9 個不同陳述中的程度（結果如圖 3-3-19 所示）

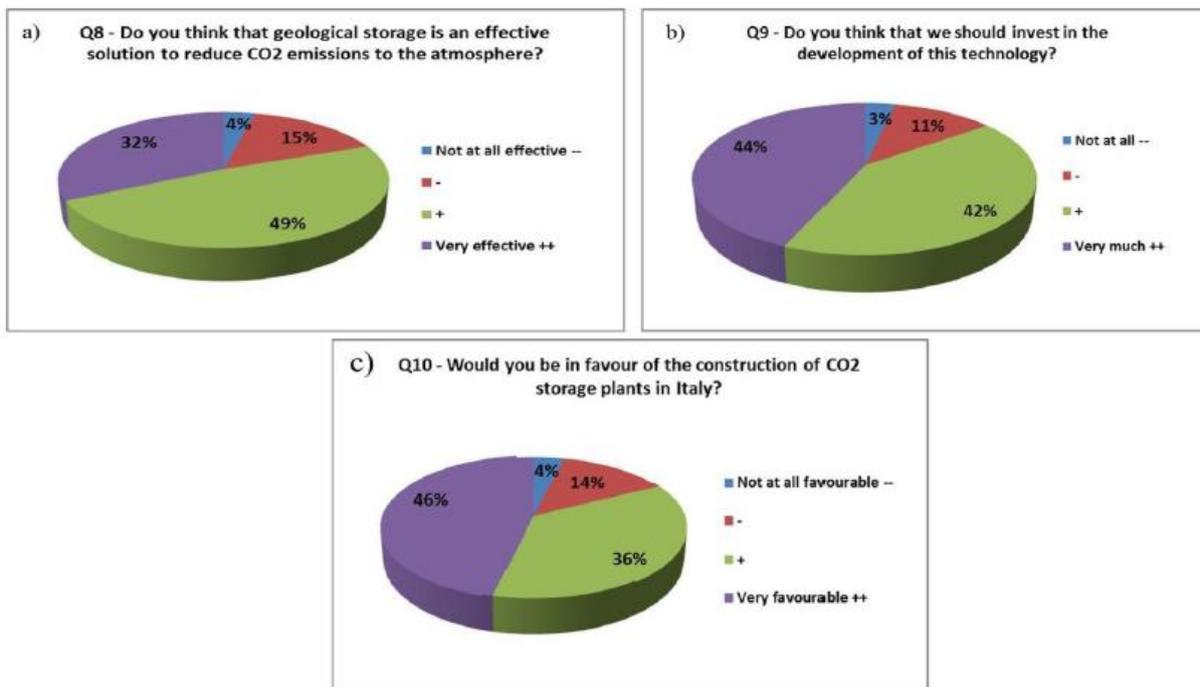


圖 3-3-18 學生們對 CO₂地質封存的肯定及投資興建意願統計

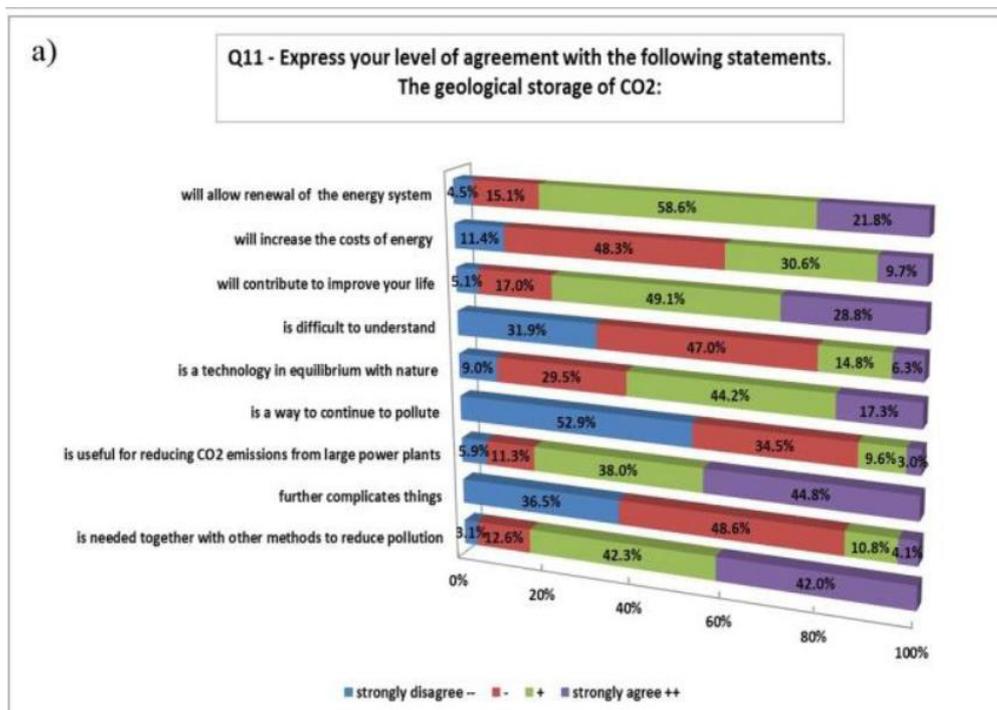


圖 3-3-19 學生們對 CO₂地質封存在不同陳述中的肯定程度

12. Thinking again about the themes discussed in the film, to what extent are you in agreement with the following statements? → 了解學生們對此短片題材的看法（結果如圖 3-3-20 所示）

13. Please indicate which of the following themes you are interested to learn more about → 了解學生們有興趣想要再學習的主題(結果如圖 3-3-21 所示)

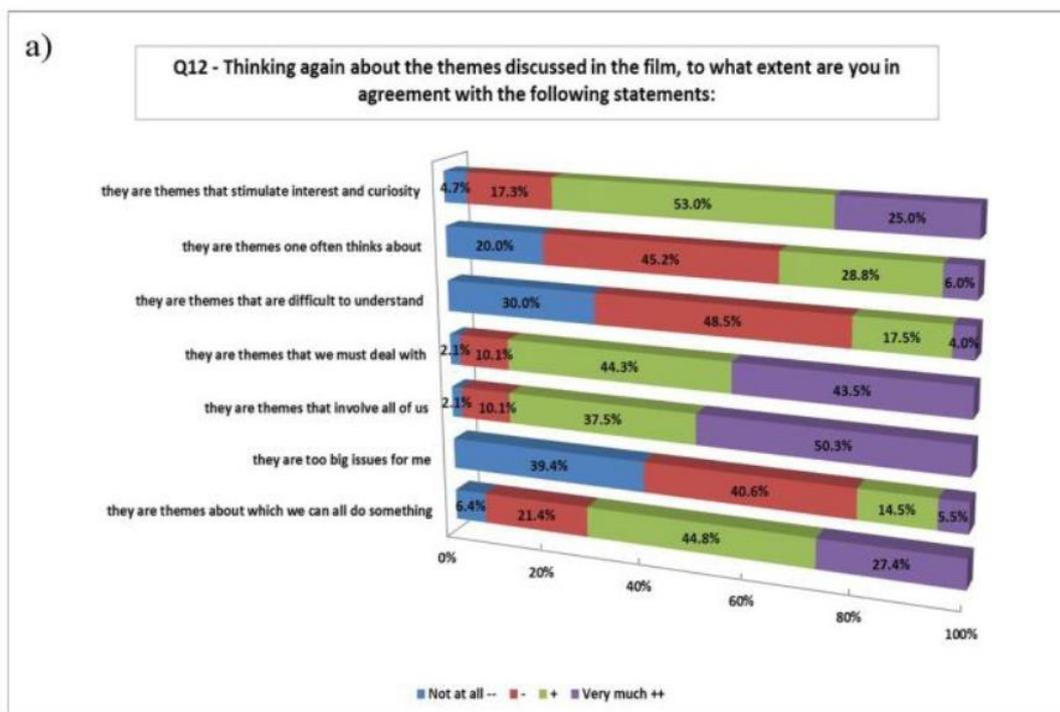


圖 3-3-20 學生們對 CCS 短片題材的看法

相對於義大利團隊針對 CO₂ 地質封存所進行的視覺溝通，德國的 Forschungszentrum Jülich GmbH 則運用統計方法進行了一項針對 CO₂ 運輸所做的問卷調查；結果顯示，一般德國民眾對於輸送 CO₂ 管線持中立立場，如果針對管線經過住家附近的情境，會出來抗議的民眾也只略高於持中立立場者，推測潛在會抗議的人在德國也不多。

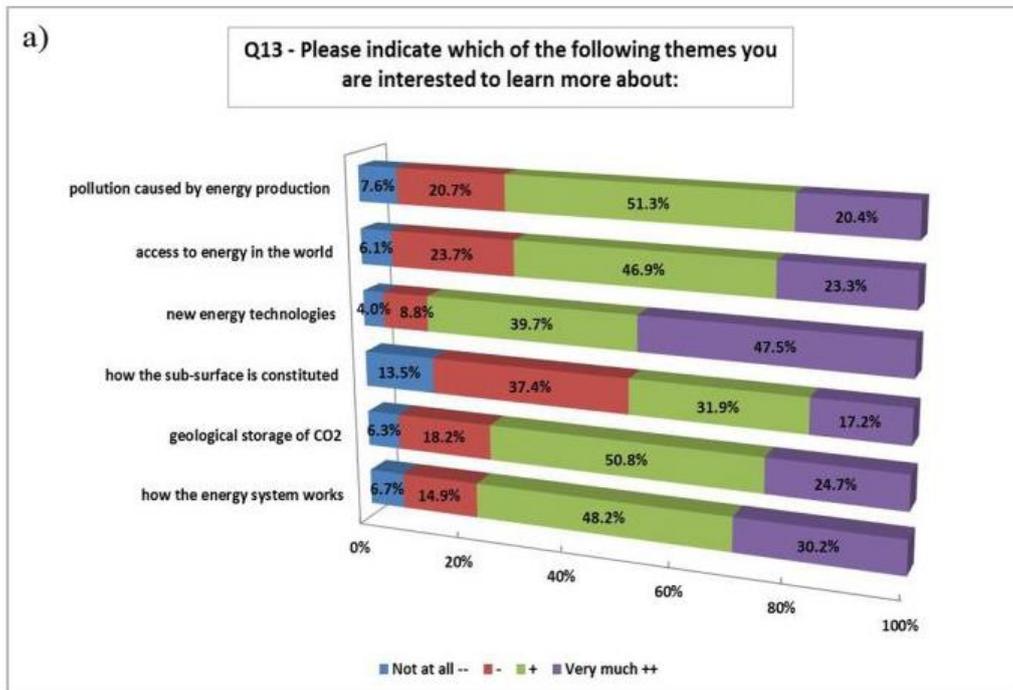


圖 3-3-21 學生們有興趣想要再學習的主題

雖然以往的研究顯示，CCS 計畫易因地方民眾反對被迫停止，但從 Jülich 公司的研究中可找出使民眾接受 CO₂ 管線輸送的因子：一般在大型基礎建設的計畫中，規劃階段包含了財務補償及民眾參與兩項研討議題，以利讓公眾接受；若針對 CO₂ 管線輸送，「環保團體參與安全及管線之環境相容性評估」和「具說服力的管線運維者之安全意識」會比財務補償及民眾參與更有效力。然而，Jülich 公司也強調這僅是研究的結果，不能依此認為只要加入上述因子，大眾就一定會接受 CO₂ 管線。

相較於西方國家偏重於以心理學、統計學等專業方式進行溝通，日本似採取更多元的做法，以北海道的 Tomakomai CCS 示範計畫為例，首先在 Tomakomai 市成立推動協會(Tomakomai CCS Promotion Association)，由市長擔任主席，成員為市內主要企業和產業協會（包括漁業合作社），辦理活動的內容著重在「發展 CCS 示範計畫讓 Tomakomai 更具吸引力」

和「對 Tomakomai 市民的 CCS 資訊溝通」，例如舉辦會議、論壇、演講、看板展示、場址參觀、市民及學校中的科學課程。在 Tomakomai 市以外地區，則由開發單位（Japan CCS 公司）負責推廣公眾參與，例如辦理環保展、國際會議、海外團體參觀，並在大學中開設相關課程。

此外，Japan CCS 公司藉由影像及出版品來教育民眾，在其網站中可以觀看 CCS 介紹影片及現場即時攝影（圖 3-3-22）；而最特別的是，Japan CCS 公司利用日本擅長的漫畫，印製兩份 CCS 推廣小冊，分別是「Beautiful Earth - Our Planet²⁸」和「Technology for the future of our planet²⁹」，以擬人化的卡通角色 CAP，帶領讀者去了解 CCS。

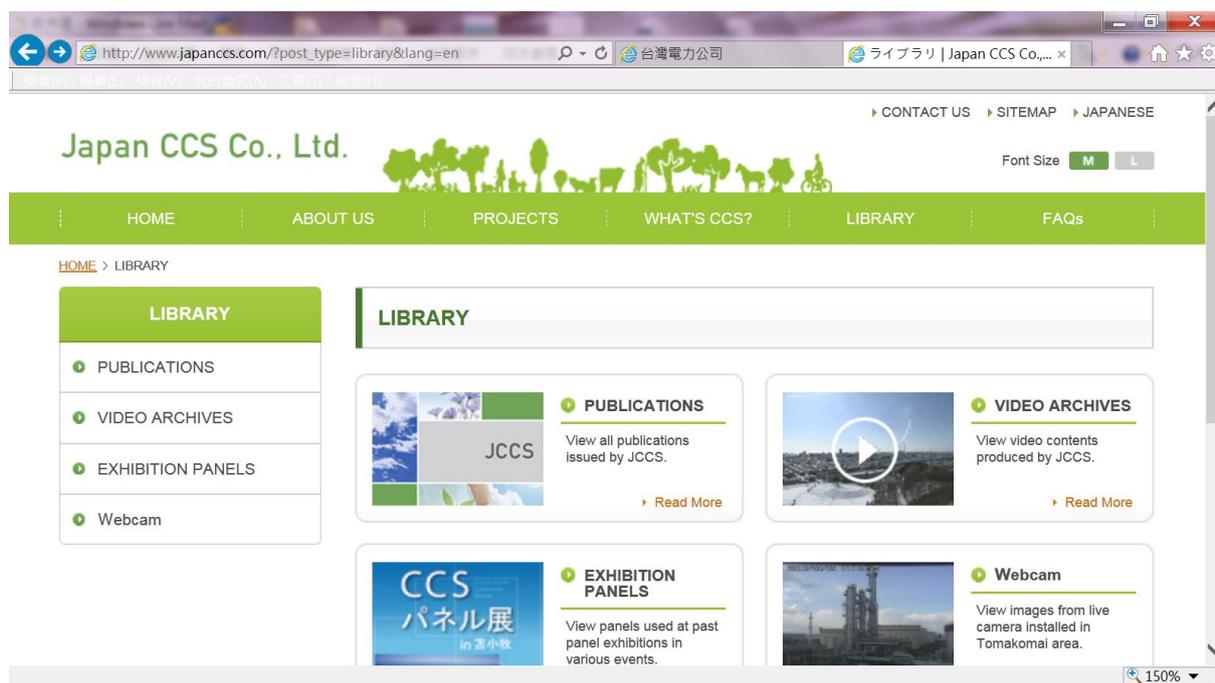


圖 3-3-22 日本 Japan CCS 公司網站中之影片及出版品

²⁸ http://www.japanccs.com/wp/wp-content/uploads/2016/08/CCS_manga_En_web_1607293.pdf

²⁹ http://www.japanccs.com/wp/wp-content/uploads/2016/10/CCS2_en_web_allpage1.pdf

四、展覽及海報

本次會議除了豐富的專題報告之外，還設置了展覽攤位及海報區。其中展覽攤位設於會議中心 1 樓（1 Campus），參展單位如圖 3-4-1 所示；海報區設於會議中心地面層（0 Garden），來自世界各地的論文以海報型式張貼於此，如圖 3-4-2 所示。

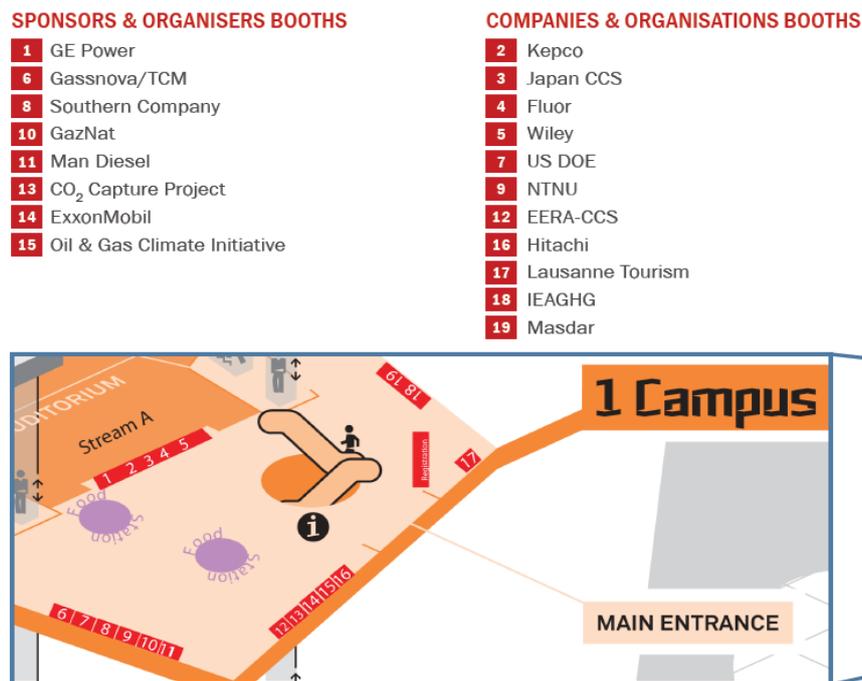


圖 3-4-1 參展單位一覽與攤位設置圖



圖 3-4-2 海報展示區³⁰

³⁰ 中興工程顧問社俞旗文先生提供

在十幾個展覽攤位中，我們一一瀏覽及洽詢（圖 3-4-3）；就展出單位之性質而言，主要可分為三類，一為技術專業之個別公司或組織，例如 FLUOR、Hitachi；二為電力公司，例如美國 Southern Company、韓國電力公司；三為具整合能力之協會/組織，例如 Japan CCS 公司、挪威 TCM、以及油氣氣候倡議（OGCI）等。從展出的內容中發現以往由歐美澳等國家領先的 CCS 研發工作，亞洲國家（日、韓）已經逐漸趕上，並且毫不遜色。



圖 3-4-3 與參展單位進行討論

韓國在韓電的主導下，已經建立 2 座 10MW 級燃燒後（post-combustion）捕捉的示範廠，分別位於 Boryeong（採用 Advanced Amine CO₂ Capture 製程）及 Hadong（採用 Dry CO₂ Capture 製程）；根據韓國發展 CCS 之 Roadmap（圖 3-4-4），2018 年將進入 100MW 級之大規模試驗，而韓電本身甚至將該目標擴大為 300MW。

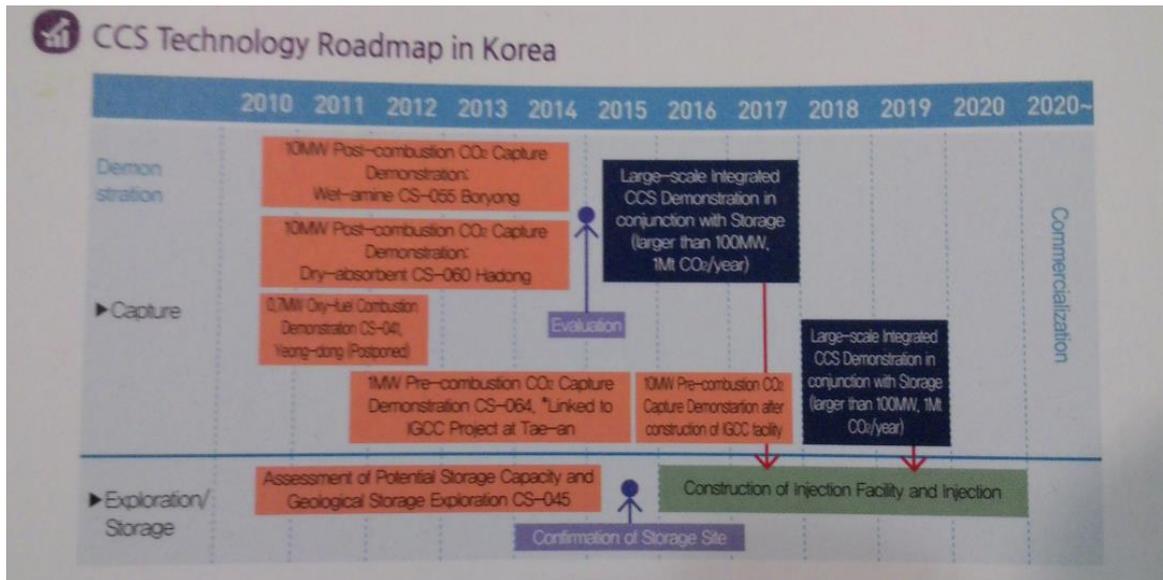


圖 3-4-4 韓國發展 CCS 之 Roadmap

日本則是在其經產省（METI）之主導下，由 Japan CCS 公司彙集相關業者之力（圖 3-4-5），於 2015 年在北海道 Tomakomai 設置完成一座示範廠（年注入量為 10 萬噸 CO₂），其計畫排程如圖 3-4-6 所示。此外，日本環境省（MOE）亦在 2 年的可行性研究後，於 2016~2020 年在九州的 Mikawa 電廠進行另一項示範計畫，預計每天捕捉 CO₂ 量為 500 公噸。

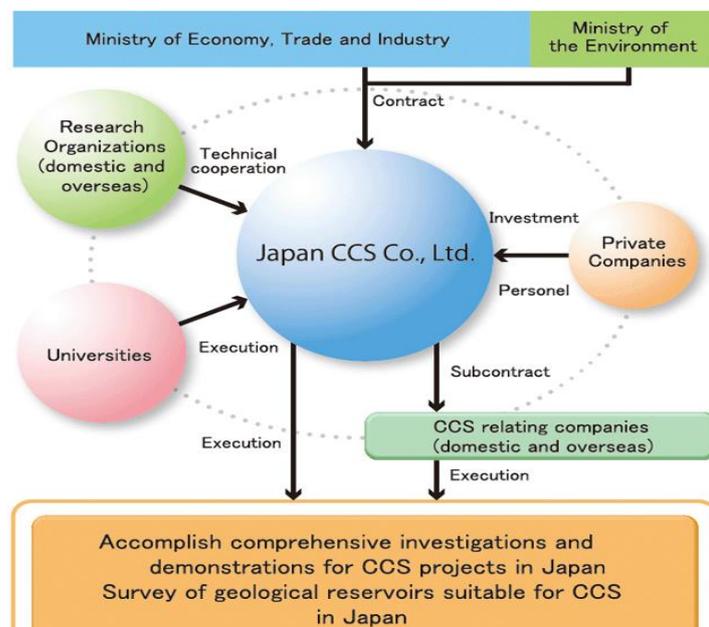


圖 3-4-5 日本 Tomakomai CCS 示範計畫架構³¹

³¹ <http://www.japanccs.com/en/business/diagram/>

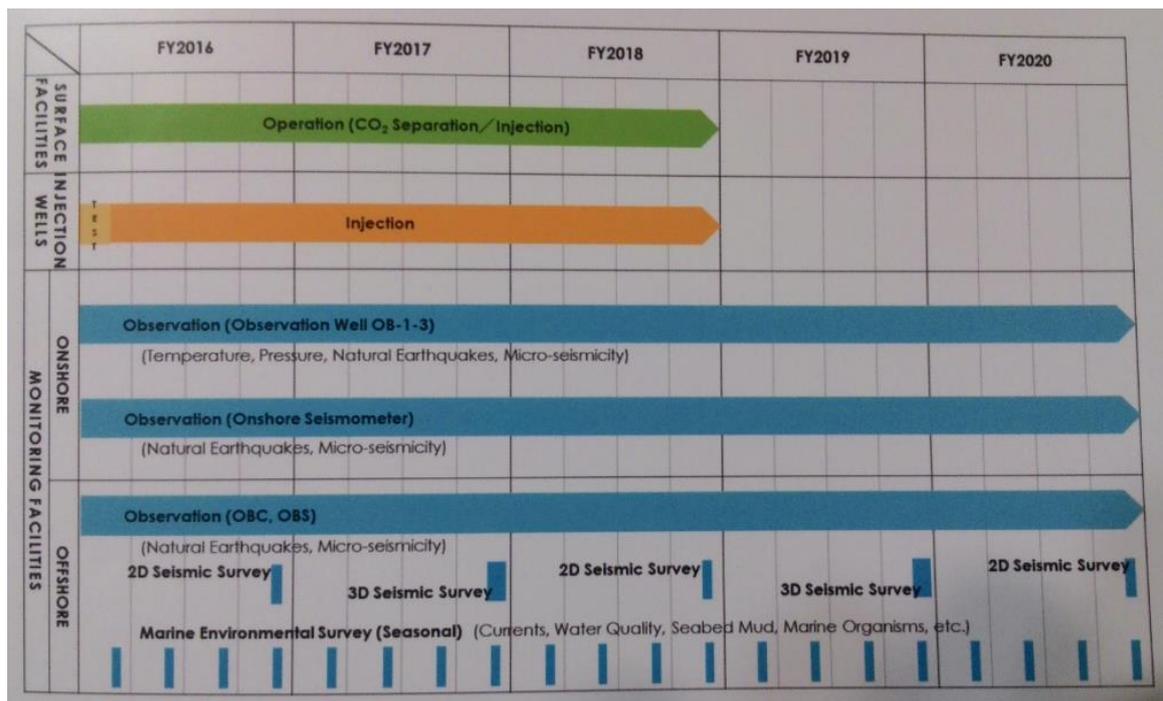


圖 3-4-6 日本 Tomakomai CCS 示範計畫進度排程

海報區的論文多達 463 篇（論文列表詳見大會之 Programme³²），在狹窄的張貼區域中很難仔細閱讀其內容。主辦單位遂將海報置於 APP -- 「Poster in my Pocket」中，個人可以透過行動裝置下載閱讀。本次我國中興工程顧問社發表一篇論文「Assessment of Rock Injectivity by Comparing the Open-hole Well Logging Data with Continuous Rock Core Logging Data」，作者為該社碳封存研究計畫執行人員與本公司相關同仁共同列名發表。接著以此論文為例，說明在手機上閱讀的程序（圖 3-4-7）如下：

- 進入 APP 後，依日期找到提供海報的會議名稱
- 點選該會議後，搜尋欲閱讀之論文名稱
- 點選搜尋到的論文後，畫面出現「下載海報」（Download Poster）按鍵
- 點選下載後，儲存於行動裝置內，再透過閱讀程式開啟

³² <http://www.ghgt.info/images/GHGT13/GHGT-13%20Programme.pdf>



圖 3-4-7 以「Poster in my Pocket」閱讀 GHGT-13 之海報論文

此次在海報區的眾多論文中，發現到中國不僅在 CCS 研發上已有突出的表現(已規劃 12 個 CCUS 示範項目，部分項目可達到百萬噸等級)，且亦考慮環境風險，因此其環境保護部轄下之環境規劃院與環境工程評估中心、中國科學院武漢岩土力學研究所、中國地質調查局水文地質環境地質調查中心等單位共同編製《二氧化碳捕集、利用與封存環境風險評估技術指南(試行)》³³，於 2016 年 7 月 1 日起實施。

³³ http://www.moe.edu.cn/s78/A16/s8213/A16_sjhj/201606/W020160628578855014231.pdf

五、閉幕專題演講

閉幕式由 IEAGHG 負責人 John Gale 引言，以「Driving CCS Forward in a below 2°C World」(驅使 CCS 技術進入低於 2°C 的世界中) 為題開場 (圖 3-5-1)，並接續 5 位與談人的簡報如下：

- Jean-François Gagné, Head of Energy Technology Policy Division, IEA, spoke to the question “Has Policy failed CCS to date and what more work in this area is needed?”
- Jonas Helseth, Bellona, (on behalf of ZEP) spoke to the question: “CCS has not taken off in Europe what new efforts/initiatives are needed?”
- Tim Bertels, Head of CCS, Shell, spoke to the question: “What more can the oil and gas industry do to stimulate the deployment of CCS?”
- Jarad Daniels How can technology Innovation (Mission Innovation) contribute to the deployment of CCS?”
- Niall MacDowell presented the 'Perspectives on the role and value of CCU in climate change mitigation'



圖 3-5-1 IEAGHG 負責人 John Gale 為閉幕式引言

John Gale 指出，2016 年已成為有紀錄以來最熱的一年，在兩極冰帽不斷縮減的情形下，人類必須立即採取行動；COP21 之巴黎協定所設定的 2°C 目標，儼然是一個艱困的目標，要達到此目標，CCS 無疑地是必需運用的工具之一，無論是 IPCC 的第五次評估報告（AR5），或是 UNFCCC 出版的「Climate Action Now, Summary for Policy Makers 2015」，都將 CCS 技術列入其中。此外，在 COP21 前各國所提的 INDCs，有 12 個國家（包括 Bahrain, Canada, China, Egypt, Iran, Norway, Malawi, Saudi Arabia, Egypt, South Africa & UAE）及歐盟（代表 28 個國家）將 CCS 納入為未來的減量措施。

IEA 能源技術與政策部的主管 Jean-François Gagné 則回顧 CCS 在過去 20 年的發展進展緩慢，主因為國家政策波動所致（圖 3-5-2），往往因為資金、碳價、風險…等因素，使得 CCS 發展欠缺目標而緩步。依據 IEA 的 2DS 情境模擬，2050 年前應有 940 億噸的 CO₂ 藉由利用生質能及 CCS 技術捕集和封存，但過去 20 年的成果僅約 0.66 億噸。



圖 3-5-2 IEA 能源技術與政策部主管 Jean-François Gagné認為政策導致 CCS 發展緩慢

但 Jean-François Gagné 也認為這個情況在 COP21 後可望改善，重點仍在政策的穩定度，包括：

- Targeted financial incentives will be essential
- Prioritise development of CO₂ storage sites
- Support coordinated infrastructure development
- Continue collaborative R&D and innovation work

歐盟 Bellona Foundation 旗下的 Bellona Europa 領導者 Jonas Helseth, 認為歐洲在過去雖然有一些 CCS 的成就，但並未建立完整的基礎架構；因此，還需要繼續努力，將每個部分或環節連接在一起，獲取最大的效益。以 Bellona 在 2015 年對挪威設定的 CO₂ 經濟 6 步驟為例，包括：

1. Set up a market maker to buy CO₂
2. Capturing CO₂ from existing sources
3. Transporting and using CO₂ for developing commercially profitable CO₂ storage
4. The role of EOR
5. Develop hubs
6. Contribute nationally and internationally

在 Bellona 的規劃中，推動 CCS 並非是一個燒錢的事情，相反地，它可為歐洲諸多設備廠商帶來龐大的商機，包括封存、運輸及捕集各程序，到 2020 年之前，投資金額達數百億歐元，如圖 3-5-3 所示。因此，Bellona 建議應該設置國營的 CCS Delivery Company (CCSDC) 來建構 CCS 供應鏈，同時建立完整的 CCS 經濟法規，以做為配套。

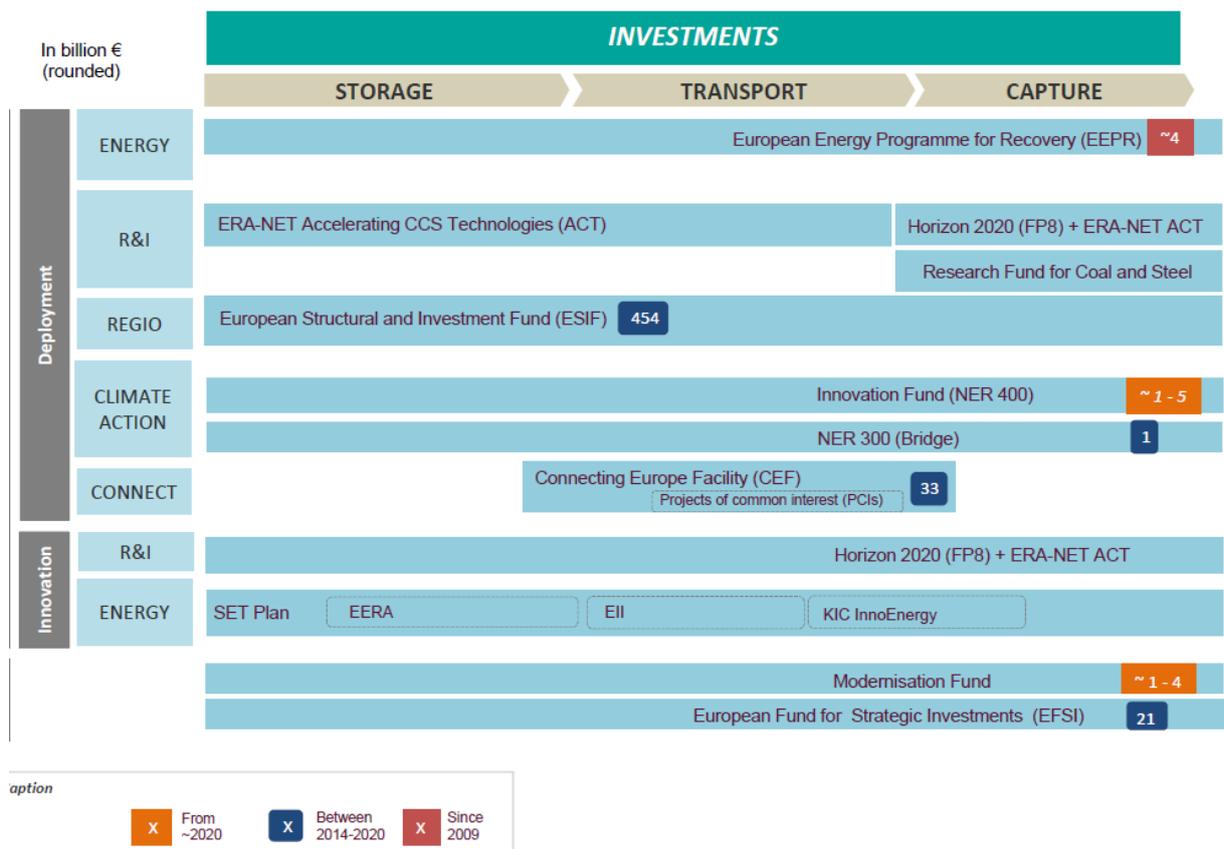


圖 3-5-3 Bellona 預估歐洲設備支援 CCS 之策略發展的投資金額

Shell 公司 CCS 主管 Tim Bertels 從業者的角度出發，認為要建立 CCS 市場機制，有賴於立法者、業者、客戶及其他利害相關者的投入，現階段要做的事情如下：

- 能力建構、培植專業、知識分享
- 整合一加入全球產業的力量
- 推動近零排放的燃氣發電+CCS 示範計畫
- 能源轉型到零排放的過程中，強化 CCS 角色的重要性
- 說明執行 CCS 所要付出的代價
- 支持碳封存容量調查
- 投資研發及創新，複製成功經驗

美國能源部之全球戰略規劃辦公室主任 Jarad Daniel 期待技術創新能對 CCS 進展有所貢獻，呼應了歐巴馬總統在 COP21 會議時對挑戰氣候變遷及為下一代保護地球的承諾。而倫敦帝國學院的環境政策中心資深講師 Niall MacDowell 博士則接續發表對碳捕捉再利用（CCU）—將 CO₂ 轉換為能量的看法，不同於 CCS 是將 CO₂ 存在地底下，CCU 利用捕捉下來的 CO₂，人類因此可以減少製造額外的 CO₂，故在 IEA 的 2DS 情境中，轉換 CO₂ 亦有 0.49~0.6% 的減量貢獻；目前的推動機會有兩處，一是拜耳公司的 DREAM 製程（將 CO₂ 轉化為塑膠），二為工業廢棄物的礦物碳化（Mineral carbonation）。

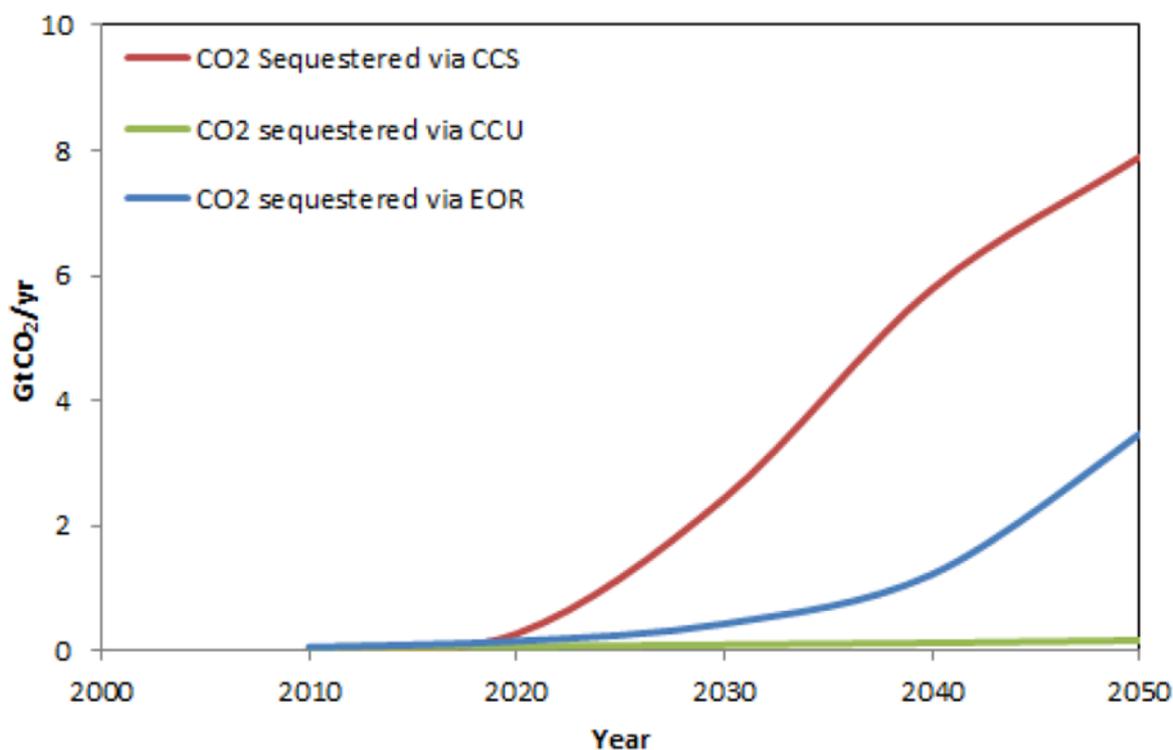


圖 3-5-4. Niall MacDowell 比較未來 CO₂ 捕捉後不同處置方式的貢獻度

肆、心得與建議

本次赴瑞士出席第 13 屆溫室氣體控制技術研討會 (GHGT-13)，經過完整四日的參與，並與相關領域的人士討論，已初步認知目前發展 CCS 對於努力追求達成減量目標的國家而言，有其必要性與急迫性。惟 CCS 涉及領域過於廣泛及專業，需要大量專業人力方能在未知的世界中小有成就，足見人類之渺小；但見到某些政府與相關產業界之跨領域合作，整合性的組織紛紛成立，這種積極對抗氣候變遷、為能源轉型鋪路、以利永續發展的精神，不禁令人動容。

從近四屆（歷時 7 年）GHGT 分組技術報告的主題（表 4-1）來看，主辦單位—國際能源總署 IEA 似乎更將專注於技術面的發展，並鼓勵大家投入在實際應用面，所以在前兩屆中的教育 (Education)、商業議題 (Commerical issue) 及系統整合 (Intergrated system) 等主題被取消，取而代之的是技術評估 (Technical assessment) 及工業排放源 (Industrial sources)；這點在專家們發表的簡報中可以看出有志之士為了溫室效應加劇感到憂心，部分政府政策的搖擺及民眾因不了解技術本質而抗拒，成了延緩 CCS 技術發展的一項主因，也因此在全面運用此項技術前必須進行更完整的評估以降低風險和成本，同時將未來的目標擴及工業，甚至持續發展負排放 (Negative emission) 的技術，例如將 CCS 技術應用在生質燃料燃燒後的 CO₂ 捕集，使得能為地球去除更多的 CO₂ 負擔。

以下針對此次在分組技術報告中有關「示範計畫」、「政策與政治」、「封存及運輸」及「溝通」等主題，簡述出國人員之心得，並提出相關建議供本公司未來規劃或參閱本報告者參考。

表 4-1 近四屆 GHGT 分組技術報告主題

分組主題	GHGT-10 阿姆斯特丹	GHGT-11 京都	GHGT-12 奧斯汀	GHGT-13 洛桑
Capture	◎	◎	◎	◎
Storage	◎	◎	◎	◎
Negative CO2 emission		◎	◎	◎
Other storage options		◎	◎	◎
Demonstration	◎	◎	◎	◎
Panel discussion	◎	◎	◎	◎
Utilisation of CO2	◎	◎	◎	◎
Legal issues	◎	◎	◎	◎
Policies	◎	◎	◎	◎
Transport	◎	◎	◎	◎
Technical assessment				◎
Industrial sources				◎
Public reception of CCS	◎	◎	◎	◎
Integrated system		◎	◎	
Education		◎		
Commercial issues		◎	◎	
R&D/China	◎			

● 有關「示範計畫」部分一

觀察 2013 至 2015 年大型 CCS 示範計畫總數量呈現減少趨勢，最主要的原因在於財務困難。目前全球已於營運中及建造中，且規模達每年 100 萬噸以上的大型 CCS 示範計畫約有 22 個，有 16 個藉由 EOR 市場來提供資金；僅有 3 個屬於電力部門，包含加拿大的 Boundary Dam 燃煤電廠、美國的 Kemper 及 Petra Nova 燃煤電廠，而它們所捕集的 CO₂ 均可進入 EOR 市場，其中 Kemper 獲得批准將一些成本計入費率基準，Boundary Dam 則可將所有成本計入。此外，Boundary Dam 還獲得加拿大政府提供了 2.4 億加元的技術直接補貼。未來我國要發展 CCS，因缺乏 EOR 市場，初期需要政府資助龐大的研發費用，並請政府制定確切的政策和法規，允許將 CCS 成本計入費率，否則終將因財務問題而停止計畫。

- 有關「政策與政治」部分一

IEA 指出政策支持 CCS 的關鍵驅動力取決於國情，在不同國家及地區間有所不同，然而可以確定投資 CCS 的政治理由有 4 個方面，包含為實現對長期氣候目標貢獻的承諾、持續使用化石燃料具有經濟或能源安全相關利益、CCS 技術新市場出口機會，及地方經濟因素。就我國而言，由於屬島嶼型獨立電力系統，電力供應難以得到其他國家之外援，從能源安全的角度來看，在非核家園政策下，確保化石燃料在內的能源結構多元化是極為重要的；因此，政府宜在大力推動綠能之外，給予台灣發展 CCS 的機會，提供政策及資金等實質上的協助，不僅建構我國因應氣候變遷的能力，更能兼顧能源安全，同時藉由技術發展帶動經濟成長，真正邁向 3E 調和之永續發展的道路。

- 有關「封存及運輸」部分一

CO₂ 封存條件與地域特性息息相關，需要長時間的觀測及建立模式分析驗證，以 Sleipner CCS 示範計畫而言，持續灌注 20 年僅約 1,600 萬噸，仍在持續監測，並有不斷的研究內容進入；因此建議本公司洽請政府協助突破僵局，簡化行政作業流程，俾在展開示範計畫前先行投入封存場址相關研發作業，以評估場址之可行性。而此研發單靠本公司努力是不足夠的，國內各界可將開發 CCS 場址之目標設為一致，共同針對選定的場址進行各式的研發工作，亦可師法日本 Tomakomai CCS 示範計畫，於當地推動觀光建設。此外，未來在 CO₂ 運輸方面，我國可仿照 Sleipner 計畫，藉由船運將大排放源產出之 CO₂ 輸送到集中站，再灌注至深鹽水層中。在政府主導下打造 CCS 成為一個產業鍊，即有助於降低減碳成本，更可將研發實力帶上國際舞台，成為台灣的亮點。

● 有關「溝通」部分一

無論是碳封存或是運輸，安全問題始終是民眾最關心的議題，由國際案例來看，一個 CCS 計畫的成功，必須要得到民眾的接受；CCS 計畫如果可行，將會由現在的年輕人在未來去執行，因此對高中以上的學生進行教育宣導也是必要的工作項目。研究顯示，傳統的溝通方式，包括財務上的補貼，並不適用於發展 CCS 計畫，也不見得會增加支持度；若計畫內容將環保團體納入，一起參與各項風險評估作業，將有利於後續封存作業的推動。此外，應由專業團隊以科學為基礎籌劃及採用適當的行銷方式，例如具有視覺效果的短片，讓民眾確實認知 CCS 技術與對減緩溫室效應的重要性，並了解其潛在風險，方能讓此技術在本土生根。

總結

氣候變遷已是世界各國無可避免的議題，要達成巴黎協定的目標，IEA 認為這將需要快速和廣泛地部署包括 CCS 在內的所有低碳排放技術，發電業和工業若要繼續使用化石燃料，CCS 將是唯一能夠實現有效減量的技術解決方案；如果沒有 CCS，要達到氣候目標將大幅提高困難度。

我國雖無法參與聯合國氣候變化綱要公約，但基於地球村一分子的責任，已於 2015 年 7 月 1 日公告施行「溫室氣體減量及管理法」，並於法中明定國家長期減量目標為 2050 年溫室氣體排放量降為 2005 年溫室氣體排放量 50% 以下。要達到如此巨額減量的需求，發展 CCS 技術實為必須走的道路；但這有賴政府帶頭推動，建立能夠激發 CCS 熱情的市場，並提供關鍵性的協助。回顧過往幾年，我國經濟部邀集部屬機構及相關事業成立我國 CCS 研發聯盟，隨後行政院環境保護署成立我國 CCS 策略聯盟，比照先進

國家之推動期程，期使我國 CCS 於 2020 年時正式商轉³⁴。如今 CCS 雖仍列為我國達成「國家自主決定預期貢獻」(INDCs) 減量目標的工具之選項，但相較於國際間務實之作法與進程，尚未看見國內 CCS 發展的曙光。

此次會議中大會安排就近參觀洛桑聯邦理工學院之土壤力學實驗室 (Laboratory of Soil Mechanics)，該系採用的儀器設備已參與地質封存的相關研究計畫，無形中散發出瑞士傳統製錶精密工藝的精神；而中國為用煤大國，在 CCS 的研發上也急起直追，並訂定風險評估指南供研發團隊在一致性的基準上向前邁進。當許多國家都在善用其特性及專長發展 CCS 之相關技術的同時，我們應該深思我們要的是什麼，龐大的天然氣和極大化的綠能是否能滿足減碳目標的實現並確保供電安全，當國際間要求進行更嚴苛的減量時，我們還有什麼工具可以因應？

對於本公司目前規劃中的新燃煤發電廠（甚至燃氣電廠）而言，預期至 2050 年時仍在運轉期間，未來加裝燃燒後 CO₂ 捕集系統若是必須的，本公司宜及早擘劃後續發展藍圖。本公司長期關注 CCS 發展議題，惟未來如何走出實驗室，如何尋求政府支持並與其他業者合作，都將面臨重大挑戰。國際間每年的大型 CCS 會議均在持續舉辦（如歐美地區、澳洲及 IEA 所主辦之會議），應可適時提供本公司相關人員最新資訊；由於各會議中的主題繁多，建議本公司可組團定期參與這些會議，分配各出國人員聽取的內容，了解各議題之發展進度與趨勢，俾減少與國際間之落差，並作為發展 CCS 技術之基礎。

³⁴ <http://enews.epa.gov.tw/enews/Newsdetail.asp?InputTime=1000328165203>