

從全球 CCS 計畫發展趨勢反思我國 CCS 技術與產業之可行發展策略

秦安易

行政院原子能委員會核能研究所-能源經濟及策略研究中心

2016/01

壹、國際 CCS 技術發展與應用現況

由於世界人口持續增加，以及開發中國家經濟成長快速，導致全球煤、石油、天然氣等化石燃料能源需求不斷攀升，加速二氧化碳(CO₂)的排放與累積量，並加劇全球暖化。根據國際能源總署(International Energy Agency, IEA)在「World Energy Outlook 2015」報告中之預測，在現行政策情境下，自 2013 年至 2040 年間，全球化石能源需求將成長 45%，CO₂ 排放量將因而成長 40%，且全球平均溫度將上升超過攝氏 6 度，遠高於 450 情境下「於 2040 年 CO₂ 排放量約下降至 2000 年排放量之 80%，大氣中 CO₂ 濃度維持 450ppm，且全球溫度上升不超過攝氏 2 度」的目標(IEA, 2015b)。有鑑於此，為了防範氣候變遷惡化後對地球可能造成的巨大衝擊，各國均致力於發展替代能源，而碳捕獲與封存(Carbon Capture and Storage, CCS)為可應用於工業製程或電力部門中大規模減少 CO₂ 排放的關鍵技術。聯合國氣候變遷綱要公約(UNFCCC)第十七屆締約國會議(COP17)已將 CCS 技術列為清潔發展機制(CDM)之選項，代表該技術已受到國際多數國家認可。

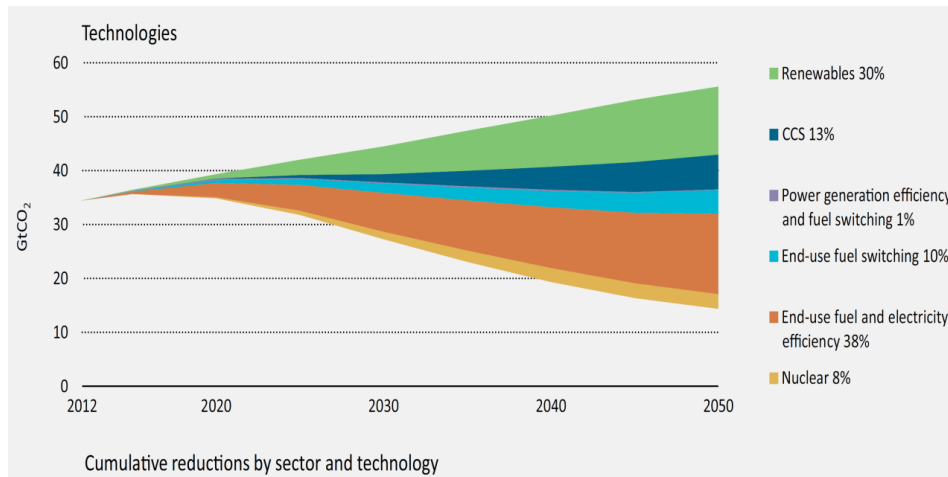


圖 1 至 2050 年全球 CO₂ 減量技術潛能占比

資料來源：IEA (2015)。

IEA 評估若未來至 2035 年全球溫度上升要控制在攝氏 2 度的水準時，全球 CO₂ 濃度必須維持在 450ppm 的水平(450 情境)。而為達成 450 情境之減碳目標，能源效率提升、終端燃料使用替換、再生能源、CCS 及核能等將是重要的減碳技術，如圖 1 所示。其中，至 2050 年，預估 CCS 將可累計貢獻約 13% 的減碳量，減碳貢獻僅次於節能技術與再生能源，因此須確保 CCS 技術能如期進場應用，否則如此大的減碳缺口將使減碳目標難以達成。然而，國際上大型 CCS 計畫[1]發展近來呈現趨緩，2013-2014 年間，全球大型 CCS 計畫數目更自原有的 65 個削減至僅餘 55 個，如圖 2 所示。終止或是暫時擱置的大型 CCS 計畫(約 12 個)多數為應用於發電廠的燃燒後捕獲大型計畫，主要原因包括：投資成本過高、資金不足、缺乏立法及政策的支持、投資誘因低、低碳政策不明確、低碳投資項目改變、發電成本巨幅增加等(GCCSI, 2013, 2014)。雖然如此，加拿大 SaskPower 邊界大壩(SaskPower's Boundary Dam)燃煤發電廠 CCS 示範計畫於 2014 年 10 月

已正式啟用，裝置容量為 110MW，此為世界第一個應用於發電廠的大型 CCS 計畫。另外，美國德州 Petra Nova CCS 計畫已達成最後投資決定(Final Investment Decision, FID)，為世界第三大規模之大型發電廠 CCS 計畫；以及阿拉伯聯合大公國的阿聯酋鋼鐵廠已決定將興建世界第一個應用於鋼鐵業的大型 CCS 計畫 (Abu Dhabi CCS Project)。而美國的 Sargass Texas 公司 CCS 專案、中國延長石油集團 CCS 示範計畫、英國的 White Rose CCS 專案及 Peterhead CCS 計畫已完成評估階段。

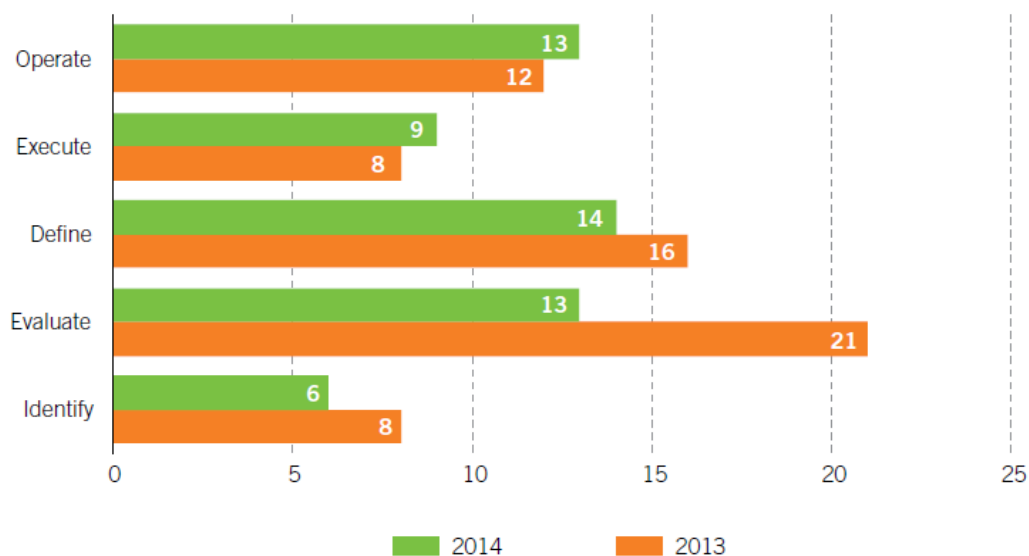


圖 2 大型 CCS 計畫數量之變化(2013-2014 年)

資料來源：GCCSI (2014)。

目前國際上 13 個已進入營運的大型 CCS 計畫(圖 2)總計約可捕獲 26Mtpa[2] 的 CO₂，未來 42 個大型 CCS 計畫若能進入 FID，總計 CO₂ 捕獲量可望於 2020 年達到 105.6Mtpa (GCCSI, 2014)。若依區域而言，北美、中國、歐洲與是目前較積極投入大型 CCS 計畫的國家，至 2020 年北美之 CO₂ 捕獲總量可達 60Mtpa，

亞太地區的 CO₂ 捕獲總量則可達 27Mtpa；歐洲、中東與非洲地區之 CO₂ 捕獲總量則可達 19Mtpa。未來國際碳捕獲技術發展趨勢方面，以應用於電力部門之 CCS 計畫為比例最多，在 2020 年預估之 CO₂ 捕獲量中(105.6Mtpa)，來自 CCS 電廠之 CO₂ 捕獲量將占 39%；在 CO₂ 捕獲技術趨勢方面，未來將以燃燒前捕獲技術為大宗(占 71%)；CO₂ 封存則以 EOR 為主要之封存技術(占 58%)，如圖 3 所示。

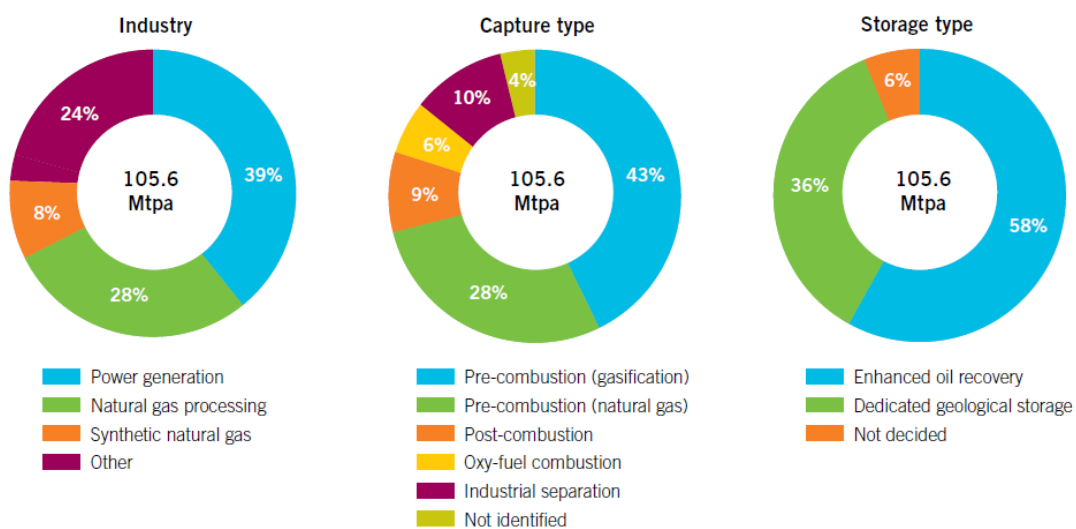


圖 3 至 2020 年 CCS 之發展與應用趨勢

資料來源：GCCSI (2014)。

以下分述各區域之大型 CCS 計畫發展現況：

1. 北美地區

北美一直以來被視為是大型 CCS 計畫之先驅者，加拿大於 2014 年 10 月啟用之 SaskPower 邊界大壩燃煤發電廠 CCS 示範計畫是全球首度應用燃燒後捕獲技術之大型 CCS 計畫，且為全球首度應用於發電廠之大型 CCS 計畫。美國預計於 2015 年開始運轉全球第二座大型 CCS 電廠(Mississippi Power's Kemper County

Energy Facility)，預計 CO₂ 捕獲量為 3Mtpa；第三座則規劃於 2016 年底前啟用(Petra Nova Carbon Capture Project)，預計 CO₂ 捕獲量為 1.4Mtpa。除此之外，北美亦有應用於工業之大型 CCS 計畫即將啟用：美國之 Archer Daniels Midland's Illinois Industrial CCS 計畫將於 2015 年第一季啟用，而加拿大預計於 2015 年啟用 Quest 與 ACTL 專案，分別針對 Agrium 化肥廠與 North West Sturgeon 精煉廠製程中所排之 CO₂ 進行捕集。

2. 歐洲地區

目前歐洲之大型 CCS 計畫發展聚焦於北海，在 8 個大型 CCS 計畫中，挪威、英國與荷蘭分占 2 個、5 個和 1 個，而若按計畫之發展階段劃分，僅有挪威 2 個大型 CCS 計畫已啟用，其餘 6 個尚處於定義或是評估階段。挪威 2 個大型 CCS 計畫(Sleipner and Snøhvit projects)均應用於天然氣製程中，Sleipner West project 於 1996 年啟用，平均每年可捕獲 1 百萬公噸的 CO₂，並封存於距地表 800 公尺深的地下鹽水層中[3]；Snøhvit project 則於 2008 年啟用，截至 2013 年止已成功地將 2 百萬公噸的 CO₂ 封存於 2500 公尺深的地下鹽水層中[4]。

3. 中東地區

中東為全球最大的石油盛產區域，由於經濟的發展，以及區域內自用之化石燃料價格偏低，自 2000 年起至今，波斯灣六國[5]之能源總消費巨幅成長逾 80%，其 CO₂ 排放量亦隨之劇增(CO₂ 排放量達 800Mtpa)，如何減少 CO₂ 排放遂成為現

今中東重要的議題。考量區域內之能源供給仍以化石燃料占大比例，導入 CCS 以作為中東能源轉型之先期方案是有效抑制 CO₂ 排放量成長的做法。

阿拉伯聯合大公國 Abu Dhabi CCS 計畫為世界第一個應用於鋼鐵業的大型 CCS 計畫，目前正處於建造階段，並規劃於 2016 年第一季啟用。此計畫應用直接還原鐵過程(Direct Reduced Iron process, DRI)於 Emirates 鋼鐵廠中並進行 CO₂ 捕集，預計 CO₂ 捕獲量為 0.8Mtpa，而捕獲之 CO₂ 將運輸至 Rumaitha 油田進行 EOR 應用。

沙烏地阿拉伯王國 Uthmaniyah CO₂-EOR 示範計畫即將於 2015 年啟用，為一應用於天然氣製程之大型 CCS 計畫，預估 CO₂ 捕獲量為 0.8Mtpa，封存方式則採 EOR。

4. 亞太地區

由於經濟高速發展，使中國成為能源消耗與 CO₂ 排放大國，且其電力供應有大比例來自燃煤發電，故近年中國 CCS 發展重點在於 CCS 電廠之應用，目前共計有 12 個發展中的大型 CCS 計畫，其中有 6 個應用於燃煤電廠。2013 年 4 月 13 日中國與美國簽訂「氣候變遷中美聯合聲明(US-China Joint Statement on Climate Change)」，並宣布成立氣候變遷共同工作小組(US-China Climate Change Working Group, CCWG)，加深中美之間對於改善全球環境衝擊之合作與對話，其中 CCS 為 CCWG 五大行動計畫之一，目前中美 CCS 合作項目共有 4 個，範疇涵蓋燃燒後捕獲技術、燃燒前捕獲技術、富氧燃燒技術與煤化工(Coal-to-Chemical)

等再利用技術。

貳、我國 CCS 技術發展與應用現況

我國現有之 CCS 技術發展與推動組織分別為國科會於 2009 年發起「淨煤主軸專案計畫」之研究團隊、經濟部於 2010 年發起成立的「CCS 研發聯盟」，以及環保署於 2011 年成立的「CCS 策略聯盟」。「淨煤主軸專案計畫」研究團隊之主要任務為推動 CCS 產業聚落，發展技術產業化以確保我國 CCS 產業國際競爭力；「CCS 研發聯盟」協助推動國內 CCS 技術資訊與技術交流，研擬 CCS 技術實施策略與對應做法，同時協助推動經濟部 CCS 整體示範試驗計畫，累積 CCS 操作經驗，建立 CCS 本土化及產業化之基礎，協助達成政府設定之 CO₂ 減量目標；「CCS 策略聯盟」則是希望透過汲取國際經驗，藉由技術研發和配套法規之建立，協助國內推動 CCS 策略，整合國內研發能量，以彌補我國時程落差並推動國際合作，逐步提升國內 CCS 發展(淨煤主軸專案計畫，2012a)。

而當前我國 CCS 技術發展與應用現況，在 CO₂ 捕獲技術上，以工研院與台泥公司合作興建的 1.9MW 鈣迴路 CO₂ 捕獲試驗場，以及經濟部能源局委辦工研院開發之中孔徑吸附材 CO₂ 捕獲技術較受矚目，而台泥公司亦將花蓮和平水泥廠所捕獲之 CO₂ 應用微藻固碳法提煉蝦紅素，大大提高興建 CO₂ 捕獲試驗場之外部效益；在 CO₂ 封存技術上，我國自 2007 年開始進行地質封存基礎研究，2010 年擴

大為研發與先導試驗兩個發展主軸，第一部份包括「地質封存潛能評估與 CO₂ 傳輸與反應模擬技術發展」以及「CO₂ 注儲與封存監測技術發展」，自 2013 年開始，由於搭配大型國際合作，研究內容增列「風險與長期穩定性評估」研究項目；第二部份為 CO₂ 注儲與地質封存先導試驗」，由台電公司及中油公司進行，預計在 2014-2017 年間開始進行注儲試驗。而 NEP 淨煤主軸計畫評估台灣深部鹽水層封存至少有四大系統，分別為北台灣桂竹林-錦水、中台灣桂竹林-錦水、中台灣北寮-打鹿、以及中台灣木山-碧靈等封存系統，深部鹽水層封存潛能合計可達 176.6 億噸，若加上 14 處陸域構造的 22 億噸潛在封存量，全台總封存潛能至少 198.6 億噸，可滿足我國至 2100 年之封存需求；最後，在 CO₂ 再利用技術部份，國內已有許多公司利用超臨界 CO₂ 做為綠色溶劑以進行萃取，如五王糧食是全球第一家使用超臨界 CO₂ 純淨稻米的公司；東聯化學引進 Asahi Kasei 技術，現已有一年產量 4 萬噸以 CO₂ 與環氧乙烷製得碳酸乙烯酯(Ethylene Carbonate, EC)之工廠，這是世界第一座以 CO₂ 為原料生產 EC 之工廠；長春石化投資 30 億元捕獲 CO₂，每年可捕獲約 15 萬噸的 CO₂，將之還原成 CO，又再投資 100 億元將 CO 與甲醇反應生成醋酸，2012 年時之年產量達 60 萬噸，為全球首例以 CO₂ 為原料並大規模量產醋酸之工廠(行政院國家科學委員會，2013；談駿嵩，2010，2011，2014)。

依據行政院國家科學委員會於 2013 年 9 月公布之第二期能源國家型科技計畫

(NEP-II)總體規劃報告書，NEP-II 於 2014 年 1 月啟動，基於第一期計畫所建立之基礎與成果，NEP-II 減碳淨煤主軸計畫聚焦於幾個較具產業效益的方向，以開發國內 CCSU 技術為主，建立相關工廠；另亦專注於開發新燃燒系統以提升發電效率及降低 CO₂ 捕獲成本，並於 CO₂ 排放源建立示範工廠。

全球氣候變遷導致人類能源消費將發生結構性的改變，由傳統化石能源世代逐步跨入新能源世代(低碳+再生能源)，但受到日本 311 福島核災之影響，已衝擊我國核能的後續發展，導致我國低碳能源之供應將面臨全新且嚴峻之挑戰，當再生能源尚無法完全替代核能的這時刻，有必要思考讓燃煤發電可以於低碳排放的情況下被繼續使用，於能源轉型的過渡時期可有穩定的能源供應。CCS 已被國際間公認為有效的減碳技術，因此 CCS 技術若能有效地應用於電力部門減碳，對於達成全球減碳目標將有很大的貢獻。雖然國際大型 CCS 計畫發展呈現趨緩，但仍有新的 CCS 電廠完工商轉，而淨煤相關之產業方興未艾，因應未來減碳的需求，仍具發展的商機，是值得我國能源產業投資的領域。

依據國內外 CCS 技術與產業發展現況，本研究反思我國欲發展 CCS 技術與相關產業之可行策略如下：(1)政府與國人的支持是 CCS 技術應用之關鍵，建議我國應優先健全國內 CCS 相關法規，並加強對民溝通，透明化地質封存安全性評估結果，以提升我國 CCS 之社會接受度；(2)目前我國實際 CCS 技術應用皆以小規模之工業應用為主，尚無燃煤 CCS 電廠示範計畫，然國際間均公認 CCS 是

一可大規模降低 CO₂ 排放之關鍵技術，IEA(2015a)更預估至 2050 年 CCS 技術之減碳貢獻將達 13%，我國將進入燃煤電廠逐一更新階段，又燃煤電廠應用燃燒後捕獲技術具原地改建之成本優勢，建議應優先推廣燃煤/燃燒後 CCS 電廠示範計畫；(3)我國 CCS 產業聚落發展條件佳，CCS 相關零組件有相對應之供應廠商，建議我國可採國際合作的方式，引進 CCS 關鍵設備系統整合能力，以提升我國 CCS 電廠建置能力。

附註

[1]GCCSI 將大型 CCS 計畫定義為：「年均 CO₂ 排放量大於 0.8 百萬噸的燃煤電廠」或是「年均 CO₂ 排放量大於 0.4 百萬噸的其他工業(包括燃氣電廠)」。

[2]Mtpa 表示「每年百萬噸(Million Tonnes Per Annum)」。

[3]數據參考自：

<http://www.statoil.com/en/TechnologyInnovation/NewEnergy/Co2CaptureStorage/Pages/SleipnerVest.aspx>

[4]數據參考自：

<http://www.statoil.com/en/TechnologyInnovation/NewEnergy/Co2CaptureStorage/Pages/Snohvit.aspx>

[5]波斯灣六國又稱海合會，為海灣阿拉伯國家合作委員會之會員國，包括：巴林、科威特、阿曼、卡達、沙烏地阿拉伯和阿拉伯聯合大公國。

參考文獻

1. GCCSI (2013). The Global Status of CCS: 2013. Canberra, Australia.
2. GCCSI (2014). The Global Status of CCS: 2014. Melbourne, Australia.
3. IEA (2013). Technology Roadmap: Carbon Capture and Storage. Paris, France.
4. IEA (2015a). Energy Technology Perspectives 2015. Paris, France.
5. IEA (2015b). World Energy Outlook 2015. Paris, France.
6. 行政院國家科學委員會 (2013)。第二期能源國家型科技計畫總體規劃報告書。
7. 淨煤主軸專案計畫 (2012a)。台灣發展碳捕獲與封存技術藍圖與產業聚落發展策略芻議。能源國家型科技計畫。核能研究所。
8. 淨煤主軸專案計畫 (2012b)。台灣發展二氧化碳地質封存技術藍圖暨產業化策略之芻議。能源國家型科技計畫。核能研究所。
9. 談駿嵩 (2010)。二氧化碳捕獲及再利用。2010 台灣化學科技產業高峰論壇，台北市。
10. 談駿嵩 (2011)。國內 CCSU 技術研發現況與成本分析暨國內產業具體扶植政策報告。檢自：
<http://deti.tri.org.tw/content/LibraryDoc/%E8%83%BD%E6%BA%90%E7%A7%91%E6%8A%80%E7%94%A2%E6%A5%AD%E7%AD%96%E7%95%A5/%E5%9C%8B%E5%85%A7CCSU%20%E6%8A%80%E8%A1%93%E7%A0%94%E7%99%BC%E7%8F%BE%E6%B3%81%E8%88%87%E6%88%90%E6%9C%AC%E5%88%86%E6%9E%90%E6%9A%A8%E5%9C%8B%E5%85%A7%E7%94%A2%E6%A5%AD%E5%85%B7%E9%AB%94%E6%89%B6%E6%A4%8D%E6%94%BF%E7%AD%96.pdf>
11. 談駿嵩 (2014)。CCUS 技術發展。行政院環保署推動碳補存技術資訊網-專題探討。檢自：<http://ccs.gov2.tw/node/1851>