

本月專題

橋接全球減量缺口關鍵技術-CCS 技術與負排放技術

王俊凱¹

摘要

CCS 技術及負排放技術是達成巴黎協定 2°C 目標及 1.5°C 努力目標之重要組成策略之一，也是可以解決現有電力部門碳鎖定的關鍵技術。目前，2017 年 11 月全球共有 17 個大型 CCS 綜合專案(Large-Scale Integrated Projects, LSIP)商轉，4 個專案預定 2018 年商轉，總計二氧化碳捕捉量接近 3,700 萬噸/年，已展現 CCS 技術減量成效。但因 CCS 技術及負排放技術投資成本過高、高度技術風險及金融風險等因素，各國投資及補助意願不足，影響 CCS 技術短期無法大規模部署。2017 排放缺口報告指出，CCS 技術及負排放技術即使到 2060 年具有龐大的減碳效益，但仍存在極大風險，包括碳滯留的不確定性、大規模部署成本和可行性，如無法進行大規模部署，將影響達成巴黎協定目標的可能性。

目前，我國推動能源轉型，即使推動非核家園、積極擴大再生能源使用，未來電力結構仍以再生能源 20%、化石能源 80% 為目標，化石能源占比仍達 80%，面對「溫室氣體減量與管理法」所訂 2050 年溫室氣體排放量降至 2005 年以下目標，仍將有電力部門基礎設施碳鎖定問題。因此，建議政府應及早將 CCS 技術及負排放技術納入長期減碳策略規劃，並在政策面上宣示積極推動 CCS 發展方向，以做為我國 CCS 技術發展應用的基礎。

壹、前言

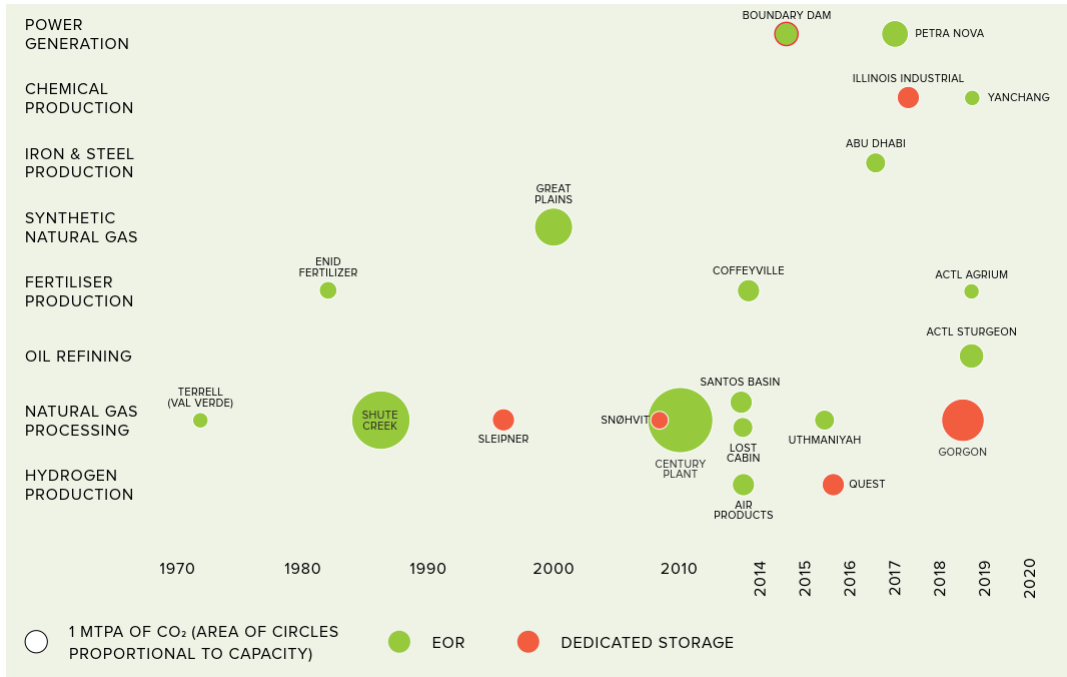
為減緩全球氣候變遷，甫於 2016 年生效的巴黎協定(Paris Agreement)明確訂定全球挑戰的氣候目標，儘快達到全球排放峰值，控制全球平均溫升低於 2°C，努力控制溫升在 1.5°C 以內，並進一步在本世紀下半葉，實現排放源和碳匯的平衡(即淨零碳排放(Net Zero Carbon Emission))。然依聯合國環境規劃

¹財團法人台灣綜合研究院 副研究員

署(UNEP)2017 年排放缺口報告指出，即使各國自訂減量責任(NDC)都能達成，相較 2°C 目標仍有 110-135 億噸 CO₂ 排放缺口差距，更遑論美國在 2020 年按計劃退出巴黎協定，減量缺口將更形擴大。為橋接減量缺口，聯合國環境規劃署、政府間氣候變化專業委員會(IPCC)和國際能源總署(IEA)強調必須把碳捕捉與封存(Carbon Capture and Storage, CCS)作為一項極其重要的溫室氣體減量技術，並需要進一步發展負排放技術(Negative Emissions)，達成全球溫室氣體排放，以達成溫升 1.5°C 內目標。有鑑於此，本文將說明 CCS 發展現況，並分析 CCS 技術與鋪排放技術重要性與面臨問題，俾作為能源局研提能源部門溫室氣體減量策略及作法之參酌基礎。

貳、CCS 發展現況

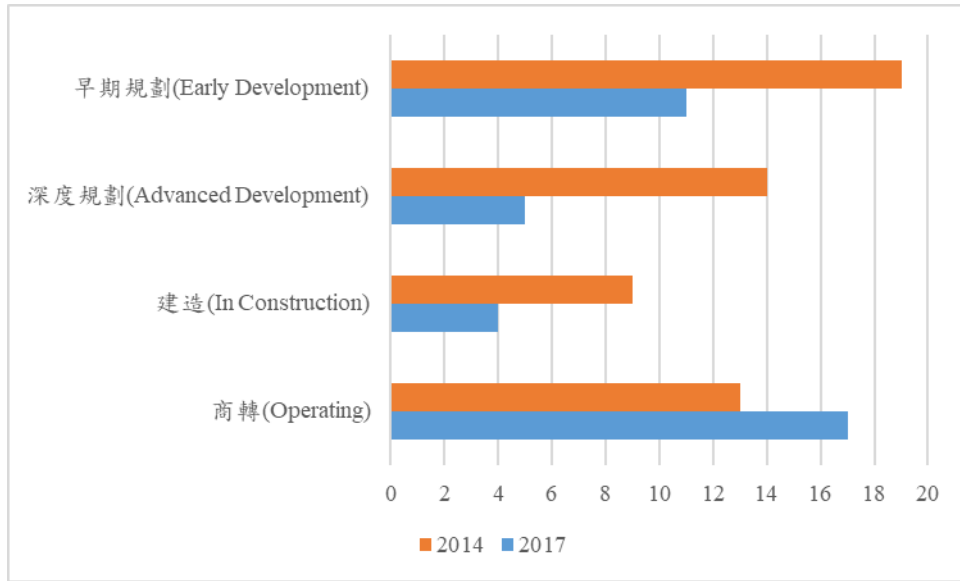
自 2005 年 IPCC 發表「二氧化碳捕捉與封存特別報告(Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage)」後，CCS 被視為重要的二氧化碳減量技術，各國開始發展 CCS 技術，G8 高峰更承諾在 2020 年之前部署 20 個大型 CCS 專案。依據全球碳捕捉與封存研究所(Global CCS Institute, GCCSI)於 2017 年 11 月發布之「2017 年全球碳捕捉與封存發展現況報告(The Global Status Of CCS 2017)」報告，至 2017 年 11 月全球共有 17 個大型 CCS 綜合專案(Large-Scale Integrated Projects, LSIP)商轉，另有 4 個大型 CCS 專案預定在 2018 年完工商轉，總計二氧化碳捕捉量接近 3,700 萬噸/年，如圖 1 所示。21 個大型 CCS 專案中共有 16 個採行增強石油產能技術(Enhanced oil recovery, EOR)有 6 個專案封存於陸地或海洋深層鹽水層，顯示現階段應用還是以 EOR 技術為主。另外，採行 CCS 產業包括電廠、化工業、鋼鐵業、天然氣處理、石化業、天然氣生產、氫氣生產等多種不同產業，顯示 CCS 技術可以有效減少來自電力和各種工業生產過程的碳排放。



資料來源：Global CCS Institute(2017), 2017 The Global Status Of CCS .

圖 1、大規模 CCS 專案二氧化碳捕捉能力

然全球大型 CCS 計畫發展近來呈現趨緩趨勢，依據全球 CCS 研究所大型 CCS 計畫資料庫 2017 年數據顯示，全球大型 CCS 計畫數目更由 2014 年 55 項削減至 2016 年 40 項，如圖 2 所示。中止及失敗案例包括 2016 年英國 White Rose CCS Project 因資金問題中止、2017 年美國密西西比州坎伯電廠(Kemper County Plant)因成效不彰且預算嚴重超支 40 億美元，宣布計畫失敗。彙整各專案終止或是暫時擱置的主要原因包括：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, 2014)。

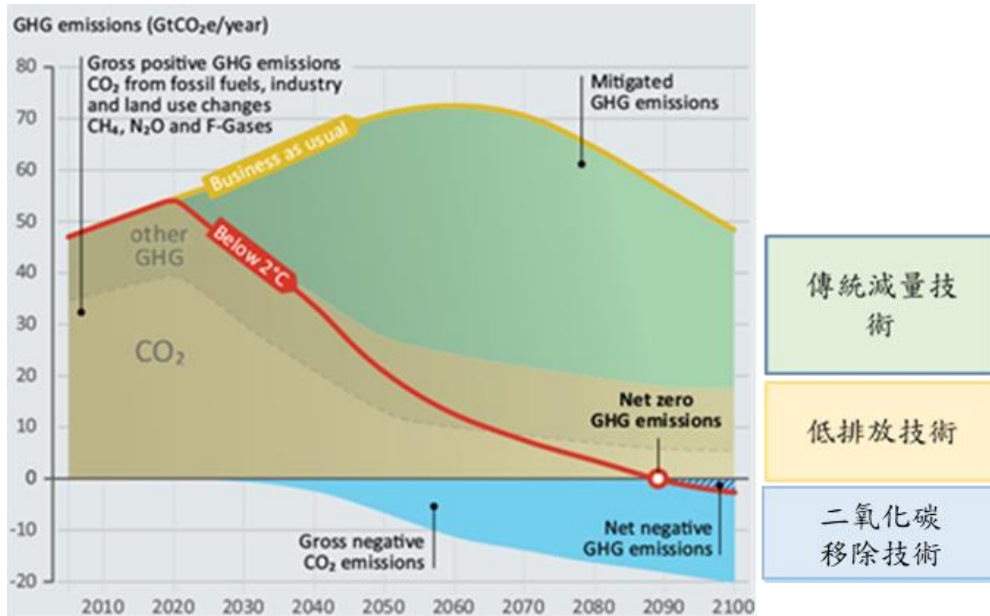


資料來源：1.Global CCS Institute(2014), 2014 The Global Status Of CCS；
2.Global CCS Institute(2017), Large Scale CCS Projects Database.

圖2、2014-2017年大型CCS計畫變動情形

參、橋接減量缺口-CCS 技術與負排放技術之重要性

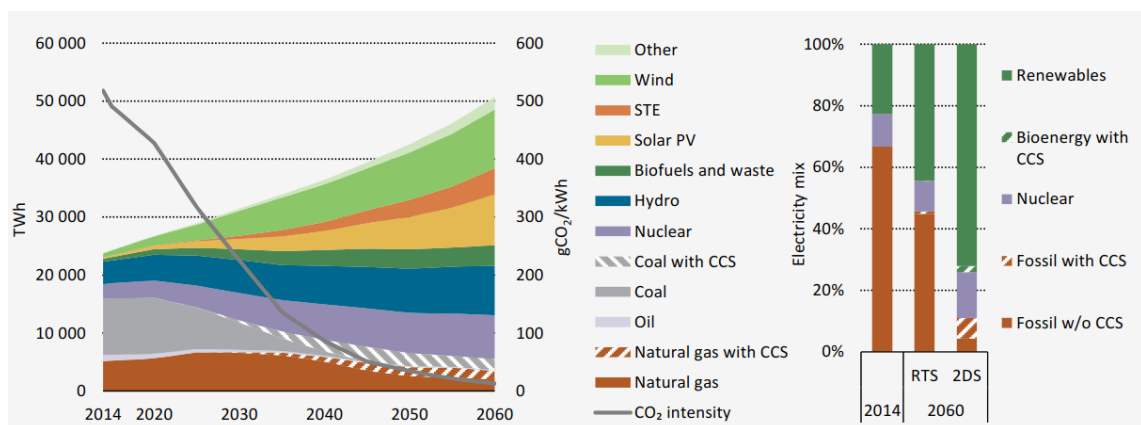
依據聯合國環境規劃署(UNEP)2017 排放缺口報告評估結果，即使締約國完全落實 NDC 目標，相較 2°C 目標缺口差距達 110(有條件)-135(無條件)億噸 CO₂，倘若美國在 2020 年按計劃退出巴黎協定，減量缺口將更形擴大。另 UNEP(2017)進一步評估至 2100 年控制溫升 2°C 碳預算約 1 兆噸 CO₂(1,000Gt)，2011 至 2030 年累積溫室氣體排放量已達碳預算之 76~81%的，易言之，目前碳預算耗用速度迫使我们尋求二氧化碳去除技術，形成淨零排放或負排放，以達成巴黎協定目標，如圖 3 所示。



資料來源：UNEP(2017), The Emissions Gap Report 2017.

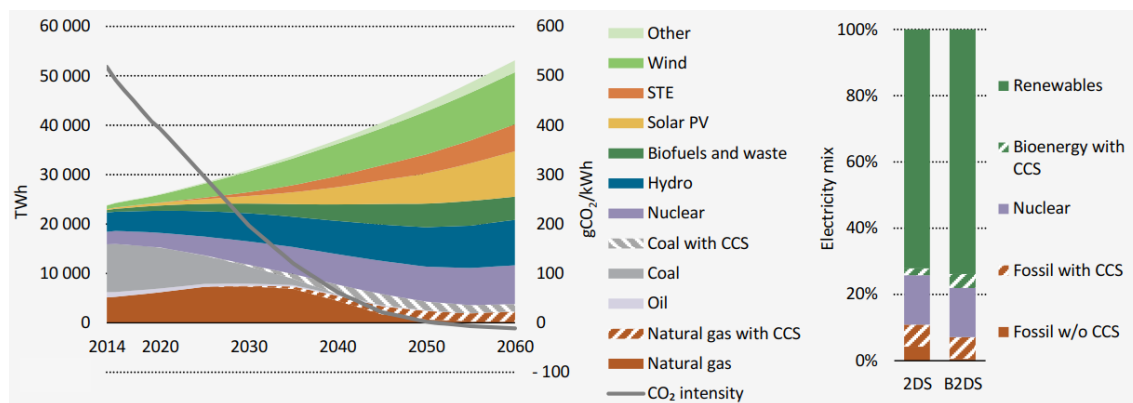
圖 3、2030 年部門排放減量潛力

國際能源總署(IEA)2017 年能源科技展望(ETP)也有類似評估成果，該報告指出要達成 2°C 目標，電力部門在 2060 年前幾乎脫碳，其中 98% 來自低碳源，所有化石能源加裝 CCS 技術，並導入生質能與碳捕集和儲存(BECCS)等負排放技術，預期累積負排放量達到 360 億噸 CO₂，如圖 4 所示。另倘欲達成 1.5°C 目標，則電力部門在 2060 年電力部門達成負排放，電力排放係數下降至每度-10gCO₂，在同時支援電力需求增長水準下，再生能源為近零排放發展空間有限，需要擴大使用生質能與碳捕集和儲存(BECCS)等負排放技術，預計 2060 年累積負排放量達到 720 億噸 CO₂，如圖 5 所示。



資料來源：IEA(2017), Energy Technology Perspectives 2017.

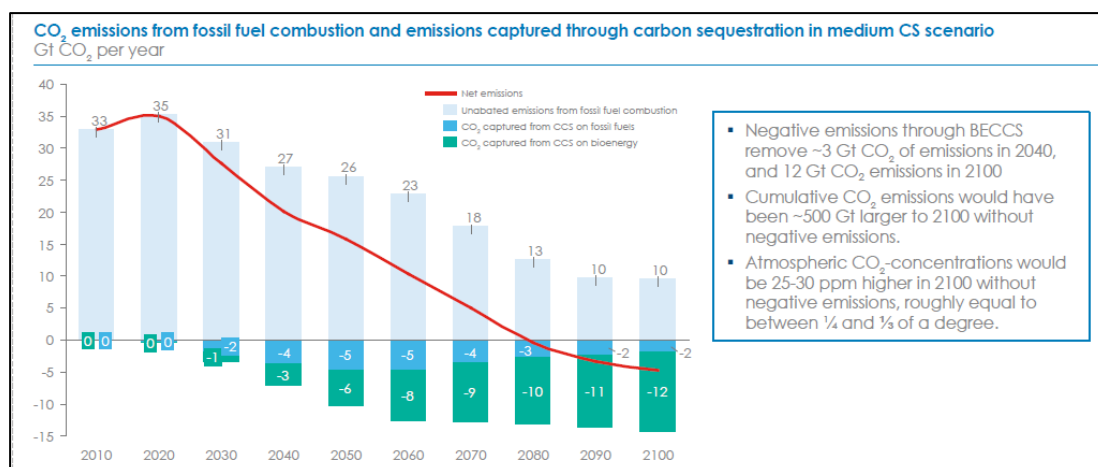
圖 4、實現 2°C 目標之 2060 年全球電力供給結構



資料來源：IEA(2017), Energy Technology Perspectives 2017.

圖 5、邁向 1.5°C 目標之 2060 年全球電力供給結構

「全球能源轉型委員會」(Energy Transitions Commission, ETC)之「更好的能源，更興盛的繁榮：可行之低碳能源體系路徑報告」(Better Energy, Greater Prosperity: Achievable pathways to low-carbon energy systems)觀點與「2017 年能源技術展望」報告一致。全球要邁入平均升溫幅度不超過 2°C 以內之低碳路徑，全球必須在 9,000 億噸 CO₂ 排放量之全球碳預算限制下研擬化石能源發電之最適配置，以碳預算限制研擬化石能源發電之最適配置，持續降低煤炭使用，並要求既有燃煤發電必須引入 CCS，否則即必須提前除役除役，以確保全球碳預算的警戒閾值不被逾越。並推動生物能源結合碳捕獲與封存 (Biomass Energy Carbon Capture and Storage, BECCS) 技術，以達到全球燃料燃燒 CO₂ 排放為負排放(negative emissions)，如圖 6 所示



資料來源：Energy Transitions Commission (2017), “Better Energy, Greater Prosperity: Achievable pathways to low-carbon energy systems.”。

圖 6、碳捕獲與封存技術對燃料燃燒 CO₂ 排放之貢獻

肆、CCS 技術與負排放技術面臨問題

近年，因全球溫室氣體濃度屢創新高，劇烈氣候災害促使各界呼籲達到巴黎協定氣候目標，需要採取重大行動。然大型 CCS 專案因規模較大，具有高度技術風險(如無法商轉等)及金融風險(如無法獲利等)等潛在風險，削弱項目籌資能力，而需要較高的資金成本(通常超過 10 億美元)，若無強化石油採收利用需求，將使財務風險更形擴大。此外，大型 CCS 專案均面臨成本昂貴且會降低效率的問題，依據能源技術研究所(2016)報告，搭配 CCS 技術之每千度均化發電成本由 56 歐元上升至 87 歐元，增加 55%，嚴重影響 CCS 專案財務自償能力，如表 1 所示。這些因素導致各國領袖和能源產業主管的普遍觀點為 CCS 技術尚在研發之中，現階段耗時持久和成本昂貴，影響各國政府不願大幅援助發展成效並不明顯的 CCS 專案，轉向發展再生能源，而且再生能源技術成本持續快速降低，具有明顯政策成效，又進一步激勵政府高層和支持者，持續擴大援助。依據 GCCSI(2016)報告、ETC(2017)報告，全球對再生能源累積投資金額接近 1.8~2.5 兆美元，對 CCS 技術的投資額僅為 200 億美元，相差約百倍，影響 CCS 技術發展時程及大規模部署時程。

表 3、燃煤、燃氣機組(搭配 CCS)之各項成本

項目成本	燃氣機組	燃氣機組 搭配 CCS	燃煤機組	燃煤機組 搭配 CCS
建設成本(歐元/kW)	550	1,240	1,480	2,560
效率(LHV,%)	58.8	49.9	42.4	32.8
均化發電成本(歐元/MWh)	48	69	56	87
均化燃料成本(歐元/MWh)	34	40	21	26

資料來源：Energy Technologies Institute(2016), Reducing the cost of CCS - Developments in capture plant technology.

負排放技術近年因氣候問題受到廣泛討論，然負排放技術的成本與部署將建立在 CCS 技術基礎之上。倘若各國不採行強有力的激勵措施或課徵碳稅，將無法將低 CCS 成本，擴大 CCS 部署，那麼負排放技術如生質能源搭配碳捕集、封存技術(BECCS)也將繼續成本高昂。簡而言之，負排放技術面臨困難與 CCS 技術類似，解決之道也類似，2017 年排放缺口報告指出儘早投資 CCS 技術與負排放技術是最具成本效益的。此外，2017 排放缺口報告也指出，CCS 技術及負排放技術短期無法大規模部署，即使

到 2060 年具有龐大的減碳效益，但仍存在極大風險，包括碳滯留的不確定性、大規模部署成本和可行性。如果二氧化碳去除技術無法進行大規模部署，將影響達成巴黎協定目標的可能性。因此，2017 排放缺口報告建議其他減緩措施不應延宕，以降低達成氣候目標的可能風險。

伍、結語

CCS 技術及負排放技術是達成巴黎協定 2°C 目標及 1.5°C 努力目標之重要組成策略之一，也是可以解決現有電力部門碳鎖定的關鍵技術。我國發電結構高度仰賴化石能源，即使推動能源轉型、非核家園、積極擴大再生能源使用，未來電力結構仍以再生能源 20%、天然氣 50%、燃煤 30% 為目標，化石能源占比仍達 80%，面對「溫室氣體減量與管理法」所訂 2050 年溫室氣體排放量降至 2005 年以下目標，仍將有電力部門基礎設施碳鎖定問題。因此，建議政府應及早將 CCS 技術及負排放技術納入長期減碳策略規劃，並在政策面上宣示積極推動 CCS 發展方向，加強法律和監管發展、推廣 CCS 教育和宣傳，以做為我國 CCS 技術發展應用的基礎。

陸、參考資料

1. Energy Transitions Commission(2017), Better Energy, Greater Prosperity: Achievable pathways to low-carbon energy systems.
2. Global CCS Institute (2016), 2016 The Global Status Of CCS .
3. Global CCS Institute (2017), 2017 The Global Status Of CCS .
4. Global CCS Institute (2017), Large Scale CCS Projects Database, <https://www.globalccsinstitute.com/projects/large-scale-ccs-projects>, 2017 年 12 月查詢.
5. Grantham Institute 網站(2017), <https://granthaminstitute.com/2017/11/28/what-to-do-with-all-the-carbon-dioxide/>, 2017 年 12 月查詢.
6. IEA (2016), 20 Years of Carbon Capture and Storage.
7. UNEP(2017) , The Emissions Gap Report 2017.

附件 1、商轉及 2018 年預定商轉之大規模 CCS 專案

計畫名稱	國別	年別	階段	部門別	技術別	規模 (百萬噸/年)	運輸方式	封存方式
Val Verde Natural Gas Plants	United States	1972	商轉	天然氣加工	燃燒前 (天然氣加工)	1.3	管線	EOR
Enid Fertilizer CO2-EOR Project	United States	1982	商轉	化肥生產	工業分離	0.7	管線	EOR
Shute Creek Gas Processing Facility	United States	1986	商轉	天然氣加工	燃燒前 (天然氣加工)	7	管線	EOR
Sleipner CO2 Storage Project	Norway	1996	商轉	天然氣加工	燃燒前 (天然氣加工)	0.9	無需輸運 (直接注入)	地層封存
Great Plains Synfuels Plant and Weyburn-Midale Project	Canada	2000	商轉	天然氣合成	燃燒前 (gasification)	3	管線	EOR
Snøhvit CO2 Storage Project	Norway	2008	商轉	天然氣加工	燃燒前 (天然氣加工)	0.7	管線	地層封存
Century Plant	United States	2010	商轉	天然氣加工	燃燒前 (天然氣加工)	8.4	管線	EOR
Air Products Steam Methane Reformer EOR Project	United States	2013	商轉	氫氣生產	工業分離	1	管線	EOR
Coffeyville Gasification Plant	United States	2013	商轉	化肥生產	工業分離	1	管線	EOR
Lost Cabin Gas Plant	United States	2013	商轉	天然氣加工	燃燒前 (天然氣加工)	0.9	管線	EOR
Petrobras Santos Basin Pre-Salt Oil Field CCS Project	Brazil	2013	商轉	天然氣加工	燃燒前 (天然氣加工)	1	無需輸運 (直接注入)	EOR
Boundary Dam Carbon Capture and Storage Project	Canada	2014	商轉	電廠	燃燒後	1	管線	EOR
Quest	Canada	2015	商轉	氫氣生產	工業分離	1	管線	地層封存
Uthmaniyah CO2-EOR Demonstration Project	Saudi Arabia	2015	商轉	天然氣加工	燃燒前 (天然氣加工)	0.8	管線	EOR
Abu Dhabi CCS Project (Phase 1 being Emirates Steel Industries (ESI) CCS Project)	United Arab Emirates	2016	商轉	鋼鐵業	工業分離	0.8	管線	EOR
Petra Nova Carbon Capture Project	United States	2017	商轉	電廠	燃燒後	1.4	管線	EOR
Illinois Industrial Carbon Capture and Storage Project	United States	2017	商轉	化工業	工業分離	1	管線	地層封存
Alberta Carbon Trunk Line ("ACTL") with Agrium CO2 Stream	Canada	2018	執行	化肥生產	工業分離	0.3 - 0.6	管線	EOR
Alberta Carbon Trunk Line ("ACTL") with North West Sturgeon Refinery CO2 Stream	Canada	2018	執行	石化業	工業分離	1.2 - 1.4	管線	EOR
Gorgon Carbon Dioxide Injection Project	Australia	2018	執行	天然氣加工	燃燒前 (天然氣加工)	3.4 - 4.0	管線	地層封存
Yanchang Integrated Carbon Capture and Storage Demonstration	China	2018	執行	化工業	工業分離	0.4	管線	EOR

註：增強石油產能技術(Enhanced oil recovery, EOR)：指將二氧化碳注入油田，提高石油採收率並能封存二氧化碳的技術。

資料來源：整理自 Global CCS Institute(2017), Large Scale CCS Projects Database。