

## 本月專題

# 國際碳捕獲、再利用與封存技術發展概況

邱凡珩<sup>1</sup>

### 摘要

碳捕獲、再利用與封存為國際上公認有助於減少溫室氣體排放到大氣層的技術之一，WEO2019 推估至 2050 年 14% 全球累計減碳量為此技術的貢獻。本文係分別就碳捕獲、再利用與封存技術發展，以及 CCS 法制管制架構規範等，分別蒐整目前國際上發展概況。其中我國在捕獲、再利用等技術項目與各國現階段推動方向一致，甚至在部分捕獲技術發展上，處在全球領先地位。唯在建置二氧化碳封存場址過程中有所阻礙，進一步影響到國內相關法規的制定。因此向民眾提供透明的資訊與溝通，以取得民眾支持是國內在推動碳捕獲、再利用與封存技術的關鍵。

## 一、碳捕獲、再利用與封存技術和減碳

2015 年巴黎協定(Paris Agreement)訂定在 21 世紀末全球氣溫的上升幅度控制在較前工業化時期相比最多 2°C 的範圍，並努力追求前述溫度升幅限制在 1.5°C 內更艱難的目標。依據 IPCC(2014)發表第五次評估報告顯示，若全球平均氣溫要達到溫度上升低於 2°C 的目標，2050 年較 2010 年須減少排放量 40~70%，2100 年時則須達到零或負排放量。鑑於國際能源總署(International Energy Agency, IEA)最新出版的《2019 年世界能源展望》(World Energy Outlook 2019, WEO2019)報告推估在永續發展(Sustainable Development Scenario, SDS)情境<sup>2</sup>的減碳貢獻中(參見圖 1)，2018 年至 2050 年間全球累計減碳量的 14%

<sup>1</sup>財團法人台灣綜合研究院 副研究員。

<sup>2</sup>WEO2019 利用情境分析法，永續發展情境(Sustainable Development Scenario, SDS)為將永續發展做為此情境必須達成的目標。

為碳捕獲、利用與封存技術(Carbon Capture, Utilization and Storage, CCUS)的貢獻，僅次於能源效率(37%)與再生能源(32%)<sup>3</sup>，顯見 CCUS 技術亦是減少排放量，達成 SDS 情境的關鍵技術之一。

CCUS 是為了解決來自於使用工業產品生產、或是化石燃料轉換能源過程中，所產生的二氧化碳排放問題。CCUS 是透過各種不同捕獲技術(包括燃燒後捕獲、燃燒前捕獲、富氧燃燒、工業分離等<sup>4</sup>)，分別在各二氧化碳排放源(如鋼鐵業、石化業、發電業、化工業、天然氣處理、天然氣生產、氫氣生產等多種不同產業)捕獲二氧化碳。捕獲的二氧化碳透過高壓進行壓縮，轉換為液態，再透過管線、船舶等方式運輸，繼而進行再利用(分為直接利用和轉化利用<sup>5</sup>)或封存(即將二氧化碳儲存於地底下、海洋中、或與礦物進行化學反應形成固體<sup>6</sup>)等處置。

本文將就 CCUS 技術各環節包括：捕獲、再利用、運輸、和封存、以及相關法規制定等，國際上推動的進展分別作一概述，並就各面向歸整其對應之案例情況。

---

3能源技術為達成永續發展情景能於效率可貢獻 37%減碳量、再生能源可貢獻 32%減碳量、燃料轉換可貢獻 8%減碳量、核能貢獻 3%、CCUS 可貢獻 9%、其他 11%。

4二氧化碳捕獲技術可主要分為 2 種：燃燒後捕獲、燃燒前捕獲。燃燒後捕獲，指的是在燃料燃燒後，利用液態溶劑從煙氣中捕獲二氧化碳；燃燒前捕獲，則是先將燃料轉化為二氧化碳及氫氣的混合氣體，再將其分成二氧化碳流與氫流，氫流作為能源使用，二氧化碳流則進行捕獲；富氧燃燒、和工業分離基本上可歸屬於燃燒後技術的一種。

5目前全球於二氧化碳再利用的市場可區分為直接利用與轉化利用，「直接利用」如發泡劑、製備碳酸飲料、食品包裝、殺菌劑、滅火劑、焊接劑、超臨界 CO<sub>2</sub> 萃取及做為溶劑、生質作物(如生質柴油、合成氣)、微藻。「轉化利用」是以二氧化碳作為原料，進而轉換成高價值能源或化學產品，如尿素、水楊酸、碳酸酯、聚碳酸酯、甲醇、碳酸二甲酯、二甲醚氫化合物、一氧化碳及水泥替代物等。

6封存包括地質封存、海洋封存、和礦化封存。其中地質封存，意思是將二氧化碳注入到深部地層內的岩石孔隙內，如耗竭油氣層、深部鹽水層、煤層等；海洋封存，是指將二氧化碳注入海洋，使其溶解入海水中或是形成固態二氧化碳水合物、液態二氧化碳湖等；礦化封存，則是使二氧化碳與金屬氧化物(如氧化鎂、氧化鈣)進行反應，形成碳酸鹽類礦物(如碳酸鎂、碳酸鈣)。在三種方法中，礦化封存的安全性最高，但反應所需時間長，且需要大量原料，不適合大量封存二氧化碳之用。而海洋封存由於有導致海洋酸化的可能性，或因洋流擾動而使二氧化碳失去隔離狀態，對海洋生態系統造成危害，此項技術可以說風險極高。因此，地質封存為目前最接近實用且可行性高的封存方式。

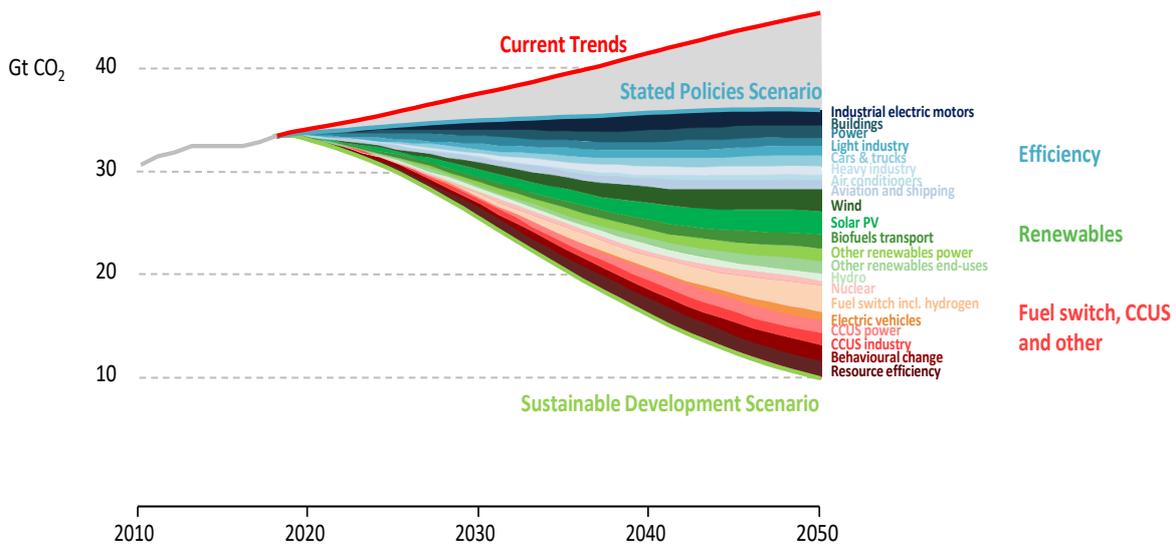


圖 1 永續發展情境各能源技術之減碳貢獻

資料來源：IEA, World Energy Outlook 2019。

## 二、國際碳捕獲、再利用與封存概況

根據 2019 年全球碳捕獲與封存協會(Global CCS Institute, GCCSI)統計資料顯示，全球大型碳捕獲與封存設施共有 51 個案例，分別處於進展階段(advanced development)、或運轉和建設(construction or operating)階段。其中正在運轉 CCS 設施(19 個)中，有 10 個位於美國，依次分別為加拿大、挪威、中國各 2 個、巴西、沙特阿拉伯和阿拉伯聯合酋長國等各 1 個，顯見 CCS 研發示範以美洲最為積極；而電廠二氧化碳捕獲示範廠僅有 2 個案例，分別是位於加拿大薩斯喀徹溫省埃斯特萬(Estevan, Saskatchewan)的邊界大壩電廠(Boundary Dam Power Station)、和美國德州的佩查諾瓦(Petra Nova)，其餘 17 個案例則為工業部門，現行 CCS 設施以工業應用居多，電力業仍占少數。

### (一) 二氧化碳捕獲

利用捕獲技術將二氧化碳從排放源中分離出來，經過濃縮及壓縮後輸送至特定地點進行封存，避免直接排放到大氣中，降低大氣中 CO<sub>2</sub> 的濃度，由於捕獲技術能去除 90% 以上在能源使用過程中所產生的 CO<sub>2</sub>，因此被視為最有效的減量技術之一。其捕獲型式可區分為：燃燒後捕獲、燃燒前捕獲、富

氧燃燒、及工業分離<sup>7</sup>。由於捕獲部分佔 CCS 技術總成本約 70%，因此研發重點在提高捕獲效率、規模、及降低成本。所有捕獲方法皆對應吸收、吸附法、和薄膜等分離技術，其中僅吸收、低溫純氧製造技術(用於燃燒前或富氧燃燒)已商業化，其他技術都仍在測試階段。

表 1 呈現不同部門所對應之捕獲技術。目前全球 19 個大規模商轉的 CCS 案例，17 個屬工業部門，2 個屬能源部門。其中，工業部門均是採工業分離捕獲型式，能源部門則是採用燃燒後捕獲方式。值得一提的是，加拿大的邊界大壩電廠 (Boundary Dam Power Station) 是為了提高石油採收率，才進行大量的 CO<sub>2</sub> 捕獲。

臺灣已建立幾項 CO<sub>2</sub> 捕獲平台包括：(1)花蓮的臺灣水泥公司建設全球最大的鈣迴路示範廠來捕獲 CO<sub>2</sub>。(2)台塑麥寮的化學吸收法及吸附法示範平台。(3)中鋼化學吸收法及吸附法捕獲示範廠。我國和國際案例之捕獲型式皆以燃燒後捕獲為主，如表 1 所示。而有關各種捕獲技術特徵和我國後續應用發展歸整如表 2 所示。

表 1 國際商轉之 CCS 及臺灣案例捕獲路徑(依部門區分)

部門	型式	燃燒前捕獲	燃燒後捕獲	工業分離
	產業別			
工業部門	化工業	—	—	美國：Illinois Industrial
	水泥業	—	—	臺灣：臺泥
	石化業	—	臺灣：長春、麥寮	—
	鋼鐵業	—	臺灣：中鋼	阿拉伯聯合大公國：Abu Dhabi Phase 1
	氫氣生產	—	—	美國：Air Products、Great Plains 加拿大：Quest
	化肥生產	—	—	美國：Enid Fertilizer、Coffeyville
	天然氣加工	—	—	美國：Shute Creek、Century Plant、Lost Cabin、Terrell 挪威：Sleipner、Snøhvit 巴西：Petrobras Pre-Salt 沙烏地阿拉伯：Uthmaniyah 澳洲：Gorgon 中國：CNPC Jilin

<sup>7</sup>國際間多以區分為燃燒後、燃燒前、和富氧燃燒等 3 個型式為主要研究的方向，工業分離被歸類為燃燒後捕獲技術。

部門	型式 產業別	燃燒前 捕獲	燃燒後捕獲	工業分離
能源部門	電廠	—	加拿大：Boundary Dam 美國：Petra Nova	—

資料來源：2019 全球碳捕獲與封存協會(Global CCS Institute, GCCSI)暨本研究整理。

表 2 二氧化碳捕獲技術與應用

捕獲型式	適用電廠	分離技術	特點	臺灣可應用之產業	我國發展方向
燃燒後	傳統電廠(PC) 超臨界電廠 (SC/USC) 燃氣複循環發電廠 (NGCC)	溶劑吸收法 薄膜分離法 固體吸附劑吸附 法(物理吸附法)	高成本、能量損失較高 <sup>8</sup>	電廠、石化廠、 鋼鐵廠	1.鈣迴路處於領先階段， 政府投入資金，以持續 改善技術 2.燃燒後捕獲技術較成熟 <sup>9</sup> ， 且較易結合現有發電 的燃燒製程
燃燒前	氣化複循環發電廠 (IGCC)	溶劑吸收法 薄膜分離法 固體吸附劑吸附 法(物理吸附法)	低成本、能量損失較 低	天然氣發電廠	僅適用於新建設發電廠， 所需成本高
富氧 燃燒	傳統電廠(PC) 超臨界電廠 (SC/USC) 燃氣複循環 (NGCC)	冷凍分離法 薄膜分離法	低成本、節 能	電廠、能源密 集型工業(鋼 鐵、石化、水 泥、發電)	1.薄膜分離技術具簡易、 經濟性，國內在測試階 段 2.國際合作提升能力

資料來源：黃韻勳(2010)暨本研究整理。

## (二)二氧化碳再利用

二氧化碳再利用分為直接利用、和轉化利用，直接利用如培育微藻，其過程可以直接固碳外，也可淨化水質，並可萃取獲得作為生質能源(如生質柴油)之前趨物、溫室栽培等；而轉化利用即是將捕獲的 CO<sub>2</sub> 與氫或含氫物利用化學反應，轉化成化學品及燃料，例如甲烷、甲醇、尿素、水楊酸、一氧化碳、及水泥替代物等，以上皆可增加 CO<sub>2</sub> 再利用的途徑，不僅較封存具有經濟效益，且不會造成如封存的安全疑慮。在研發二氧化碳再利用的技術

<sup>8</sup>能量損失高此處是指，在同等 CO<sub>2</sub> 捕獲比例(90%)下，能量損失(~20%)小於燃燒後捕獲(~30)。但實際上燃燒前捕獲技術能量損失仍然極高，需進一步降低。

<sup>9</sup>根據 Global CCS Institute 於 2014 年，美國、歐洲等地區的 CCS 發展皆以燃燒前捕獲為主流(約占 70~80%)，而亞太地區則三種捕獲方式皆有，但仍以燃燒前捕獲為主(43%)。

時，如何純化二氧化碳以利工業上再利用，或同時兼顧優異之碳捕獲效率與廢棄物安定化程度，在「技術面」研發與「成本效益」評估皆相當重要。

荷蘭廢棄物再生能源公司(AVR Afvalverwerking)開始在其 Duiven 工廠中建造大規模的二氧化碳捕獲系統，捕獲的 CO<sub>2</sub> 將被運往荷蘭的溫室園藝區。日本東芝公司也有類似的計畫在進行，在 2016 年已完成佐賀市(Saga City)垃圾焚燒發電廠的 CO<sub>2</sub> 捕獲設施，捕獲的 CO<sub>2</sub> 則用來做藻類培養。美國的 Illinois Industrial 在 1979 年建置玉米轉製乙醇的工廠，2017 年開始把 CO<sub>2</sub> 灌入深部鹽水層，是世界第一個大型生質能源的碳捕獲與封存案例。

臺灣目前研究項目包括(1)微藻固碳示範平台(將微藻產製生質燃料及化學品)。(2)捕獲 CO<sub>2</sub> 做為藻礁，以培育海藻之系統。(3)研究 CO<sub>2</sub> 再利用與氫反應生成甲醇、二甲醚及碳酸二甲酯等能源產品。(4)於戶外 20 噸 WCCU 微藻循環養殖模組以天然氣為燃料所產生的廢氣和以鹼性魚塢排放水進行微藻固碳，效率約 0.5 公斤/噸/天等，這些項目亦符合各國推動方向，例如全球最主要重點在生產甲醇、化學品及能源產品、和微藻研究等。

目前各先進國家都致力於開發 CO<sub>2</sub> 的再利用技術。全球碳捕獲與封存協會(GCCSI, 2019)指出，未來 CCS 將扮演二氧化碳再利用技術應用之關鍵角色，範疇包括 CCS 產氫、直接空氣捕獲 CO<sub>2</sub>、生物能源與碳捕獲和封存(Bio-energy with carbon capture and storage, BECCS)、二氧化碳轉化為可用產品(carbon to value, C2V)應用，如肥料原料、蘇打灰、磚塊和水泥等。

### (三)二氧化碳運輸

#### 1.運輸方式

運輸技術為 CCS 技術供應鏈中商業化程度最高的部分。二氧化碳由捕獲點運輸至封存場址方式，主要分為陸運運輸和船舶運輸(圖 2)，目前國際間運輸技術以管線為主(適合大量、長程)，槽車運輸主要透過鐵路和公路方式進行，其可以運送少量二氧化碳，且使用槽車運送個案主要是因為二氧化碳捕獲和儲存兩地之間相距不遠；然而在部分管線無法輸送、或長

途運輸，船舶運輸方式則較具經濟效益，目前在歐洲已有小規模案例，乘載約 1,000 噸 CO<sub>2</sub>。由於相對於管線其他運輸方式較不具經濟效益，因此依靠管線將 CO<sub>2</sub> 送到合適的儲存地點是目前最常見的方式。

## 2.運輸的安全性

目前世界各國的管線或船舶運輸技術，皆廣泛應用於運送天然氣、石油等液體，這些模式顯示在管線和船舶運輸技術上的安全與可靠度；依據 2019 年 GCCSI 資料顯示，美國有 50 條 CO<sub>2</sub> 管線在運送，每年輸送約 6,800 萬噸 CO<sub>2</sub>，和具多年管理經驗的天然氣和石油等輸送相比，二氧化碳管線和船舶運送 CO<sub>2</sub> 並未帶來更高的風險。

## 3.運輸的基礎設施需求

全球陸地或各大海域已鋪設龐大的輸送管線網絡，例如美國，就有約 80 萬公里輸送危險液體(hazardous liquids)和天然氣的管線，以及 350 萬公里的天然氣配氣管線，大約有 6,500 公里的二氧化碳管線輸送 CO<sub>2</sub>。依據全球碳捕獲與封存協會(Global CCS Institute, GCCSI)估計，若要控制全球升溫於攝氏 2 度以內，2040 年時將需要逾 2,000 個 CCS 設施，未來 30~40 年內須再擴增 100 倍的 CO<sub>2</sub> 運輸基礎設施規模，顯示長期來看全球 CCS 部署所需的管線基礎設施規模相當可觀。

## 4.運輸與封存聚落

隨著二氧化碳提高石油採收率(Enhanced Oil Recovery, EOR)技術的進展，及 CO<sub>2</sub> 輸送需求增加，大型 CCS 後續發展將以樞紐和聚落(hub & clusters)的特徵方式發展，即排放 CO<sub>2</sub> 之工業或電力業逐漸形成產業聚落，並透過共同的輸送管線網絡，與潛在二氧化碳儲存場址連結起來，形成集群式分布。此新興聚落形式可達規模經濟，有助於降低每噸 CO<sub>2</sub> 之封存成本，同時減少 CO<sub>2</sub> 捕獲、輸送、和封存過程中的斷鏈風險，提高商業可行性。

澳洲 CarbonNe 案例，正在研究在維多利亞州拉特羅布河谷(Victoria's Latrobe Valley)建立商業規模 CCS 網絡的潛力，擬將多個 CO<sub>2</sub> 捕獲案例

整合，利用共通管道運輸二氧化碳，並將其注入吉普斯蘭(Gippsland)區的海洋封存場址。規劃在 2020 年代期間捕獲，達到每年 100~500 萬噸運輸和封存能力。

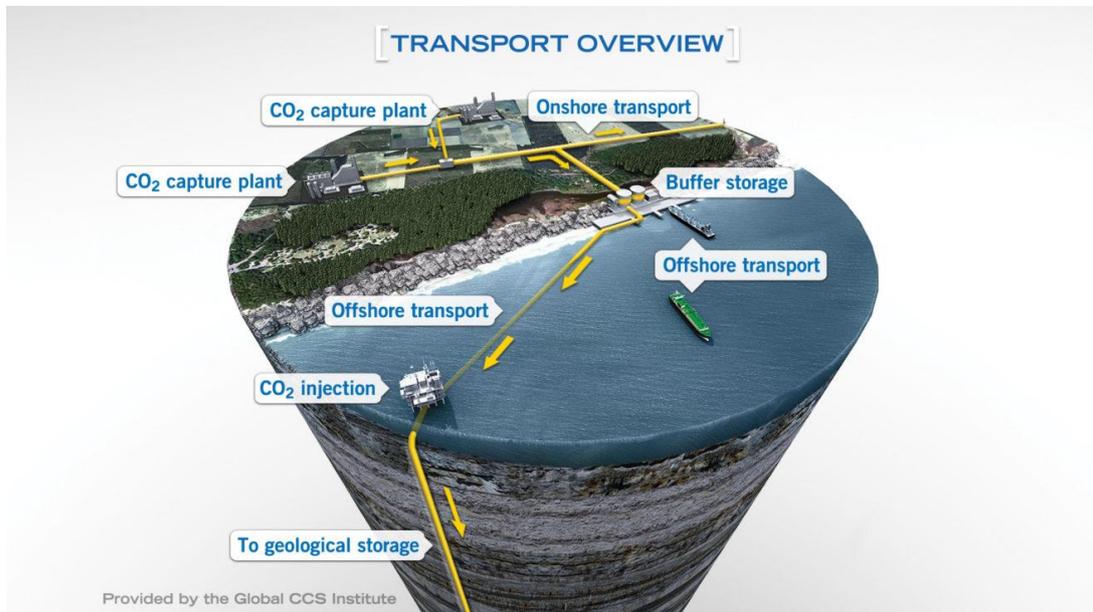


圖 2 陸運運輸和船舶運輸

資料來源：2019 全球碳捕獲與封存協會(Global CCS Institute, GCCSI)。

#### (四)二氧化碳封存

二氧化碳封存的目的是使二氧化碳在安全的環境下長期儲存並與大氣隔離，而封存技術可區分為：礦化封存、生物封存、海洋封存、和地質封存等。由於礦化及生物封存方式因反應速率緩慢且成本高昂，不易商業化，短期內難具經濟效益；海洋封存因其對海洋生態影響的考量而難以被國際公約(如倫敦議定書(London Protocol))接受；因此國際間以地質為現階段最佳選擇。

地質封存技術中，可分為 EOR、EGR(Enhanced Gas Recovery, EGR)、已開採煤層(Enhanced Coal Bed, ECBM)、及深層地下水鹽水層等<sup>10</sup>。地質封存相關的注儲技術已趨成熟，最主要是自 1970 年起，已有許多石油業者注入 CO<sub>2</sub>

<sup>10</sup>EOR 係將 CO<sub>2</sub> 注入生產能力衰竭低落的油田，將由田中殘存的油氣擠注開採出來，如加拿大 Weyburn；深層地下水鹽水層若具備良好及封閉構造，亦為二氧化碳地下封存之首選目標，以挪威 Sleipner 最為知名，其利用深層地下鹽水層，將天然氣中所伴產之 CO<sub>2</sub> 進行地質封存，以減少碳稅的課徵，已有 20 年以上經驗。EGR 和已開採煤層的 CO<sub>2</sub> 注儲-CH<sub>4</sub> 生產則尚處於實驗示範階段。

至地下以提升石油產量(EOR)、天然氣產量(EGR)，或是增加煤層氣的採收(ECBM)，因而已累積許多 CO2 注入經驗。

鹽水層封存潛力大且適合做為商轉場址，但其地質的不確定性高，需要進行完善的場址評估及風險評估。枯竭油氣田構造雖然總封存量不如鹽水層大，但因其地質構造在油氣開採時已有完善的評估及規劃，要轉為 CO2 封存，相對快速且安全。

國際上已有許多 CO2 地質封存的案例，包括挪威、加拿大、澳洲、和日本(參見表 3)，由這些案例可歸納出執行二氧化碳封存(含油氣層、鹽水層)所需要進行的工作項目及研究工作。由於是否具備 CO2 封存場址，為 CCS 能否發展之關鍵條件，亦即，除非可以將 CO2 封存，否則，捕獲的 CO2 是沒有益處的。因此，國內 CCS 發展當務之急，應為確立是否具備 CO2 地質封存場址。

國內自 2009 年已開始進行區域性的二氧化碳地質封存潛能評估，表 4 呈現評估後可能做為潛在二氧化碳封存場址的選項。目前則選以彰濱 3,000 公尺深之觀測井做為先導封存試驗場址，並規劃於 2020 年注儲 1 萬噸/年，初步評估此地區具有足夠、有效的容量來進行大規模 CO2 儲存，後續將建立注儲之標準程序及監測系統(亦即如仿照國際上目前風險評估，包括輸送管線安全評估、CO2 注儲的量測、監測與驗證(measurement, monitor, verification, MMV)、場址功能安全評估技術(performance/safety assessment, PA/SA)、及降低民眾疑慮等後續作業)。

表 3 國際著名二氧化碳封存案例

案例	Sleipner	Gorgon	Nagaoka	Weyburn	Otway
國家	挪威	澳洲	日本	加拿大	澳洲
案例類型	示範	示範	研發	示範	示範
封存型態	鹽水層	鹽水層	鹽水層	EOR	EOR
	海域	陸上	陸上	陸上	陸上
起始時間	1996	2004	2000	2000	2004
年封存量	1Mt	3.3Mt	0.1 Mt	1 Mt	0.1 Mt
總封存量	20 Mt	23 Mt	1 Mt	20 Mt	N/A
二氧化碳來源	天然氣伴產	天然氣伴產	工業來源	工業來源	天然氣伴產

		(製氫工廠)	(煤炭氣化工廠)	
封存需進行之工作項目	盆地及區域地質適宜性分析, CO2 排放源資料庫建立, 可能封存場址研究調查, CO2 封存安全性評估, 封存場址篩選, CO2 封存潛能評估, 場址選定及細部研究, 工程建設及場址運作, 以及 CO2 封存監測等。			

資料來源：國科會(2011)。

表 4 國內二氧化碳地質封存場址潛能

地區選項 項目	彰濱工業區	苗栗永和山
執行單位	台電	中油
計畫類型	先導試驗	先導試驗
封存類別	鹽水層	EGR
	陸地	陸地
起始時間	2017	2012
年封存量	10,000	10,000
預計總封存量	100,000	-
主要排放源	火力發電廠	火力發電廠
地區歸屬	西部沿岸	西部麓山帶
風險評估	具封閉構造與完整的蓋岩層	具有良好的封閉構造與完整的蓋岩層
公眾接受度	居民反對	居民反對, 於 2013 年暫停

註：臺灣具有巨量的 CO2 封存潛能，粗估封存量可達數百億噸。其 CO2 封存模式有 4 類，二氧化碳封存量粗估，(1)陸上封閉構造 28 億噸；(2)濱海開放鹽水層 48-317 億噸；(3)海域開放鹽水層和(4)海域封閉構造 90-680 億噸。上述 4 類封存模式一班皆能安全地封存 CO2，唯若考慮萬一滲漏可能的環境與健康衝擊，應以海域封存為首選。

資料來源：國科會(2011)、科技部(2019)暨本研究整理。

### 三、國際 CCS 相關法規配套制度

#### (一)國際商轉之大型 CCS 相關配套措施

表 5 顯示在國際上商轉的 CCS 案例中，其所需在財務面、和法規政策面等多方面配套措施，顯示出推動 CCS 發展，需要政策的大力支持和持續性的實質性協助，例如：歐盟設立了地質封存指令(Directive 2009/31/EC)，對於碳捕捉、運輸與封存等規則進行規範；美國政府通過 45Q 租稅抵減計畫，擴大 CCUS 稅收抵免規定，以搭配經濟誘方式來促進相關技術的發展；挪威則是設立碳稅制度以期降低排放。相較於國際而言，我國在碳捕獲、再利用與封存技術整體法規、制度等等尚不完備，包括碳捕獲時一些化學吸附劑之使用以及與封存有關的環評規範也仍有待進一步詳細討論與制定。

表 5 國際商轉之大型 CCS 相關配套措施

CCS 案例	 碳稅	 稅收抵免	 補助金	 政府法規	 法規	 EOR	 低捕獲成本	 低運/儲成本	 垂直整合
<b>美國</b>									
Terrell						•	•	•	
Enid Fertiliser						•	•	•	
Shute Creek					•	•	•	•	
Century Plant		•				•	•		
Air Products SMR		•	•			•			
Coffeyville		•				•	•		
Lost Carbin		•				•	•		
Illionois Industrial		•	•				•	•	•
Petra Nova		•				•			
Great Plains						•	•		
<b>加拿大</b>									
Boundary Dam			•	•	•	•		•	
Quest		•	•						•
ACTL Agrium			•			•	•		
ACTL Sturgeon			•			•	•		
<b>巴西</b>									
Petrobras Santos				•			•	•	•
<b>挪威</b>									
Sleipner	•			•			•	•	•
Snøhvit	•			•	•		•		•
<b>阿拉伯聯合大公國</b>									
Abu Dhabi Phase 1				•		•			
<b>沙烏地阿拉伯</b>									
Uthmaniyah				•		•	•	•	•
<b>中國</b>									
CNPC Jilin				•		•	•	•	•
Sinopec Qilu				•		•	•	•	
Yanchang				•		•	•		
<b>澳洲</b>									
Gorgon					•		•	•	•

資料來源：2019 全球碳捕獲與封存協會(Global CCS Institute, GCCSI)。

## (二) IEA 之 CCS 法規架構發展藍圖

由於 CCS 各階段之技術發展，必需要有明確相關法律規範(例如電廠灌注 CO<sub>2</sub> 後，其使用權是歸屬於電廠還是政府?)，否則無法吸引大型 CCS 技術部署的展開。國際能源總署(IEA, 2009)依據國際間 CCS 的發展，在 2009 年規劃了國際 CCS 法規發展藍圖，如圖 3 所示。並於 2010 年公布對於 CCS 管制架構的模範法規，其主要目的是提供有意發展 CCS 技術的國家一個方針，並點出各階段首要解決的法律議題(圖 3 的下半部分為 IEA 設計之 CCS 法規架構發展模範，上半部分則為依循底下 IEA 之法規架構，各國可進一步去擬定的法規發展)；其中，主要關鍵時間為 2020 年配合 CCS 商業規模發展，各國皆必須完備符合商業行為之 CCS 專屬法規。我國為推動 CCS 發展，可依循此 IEA 之 CCS 法規架構發展藍圖，遵循國內 CCS 技術研發與試驗計畫推展，逐步建立示範計畫運轉綱要，進而完成國內 CCS 技術發展相關法規之立法工作。

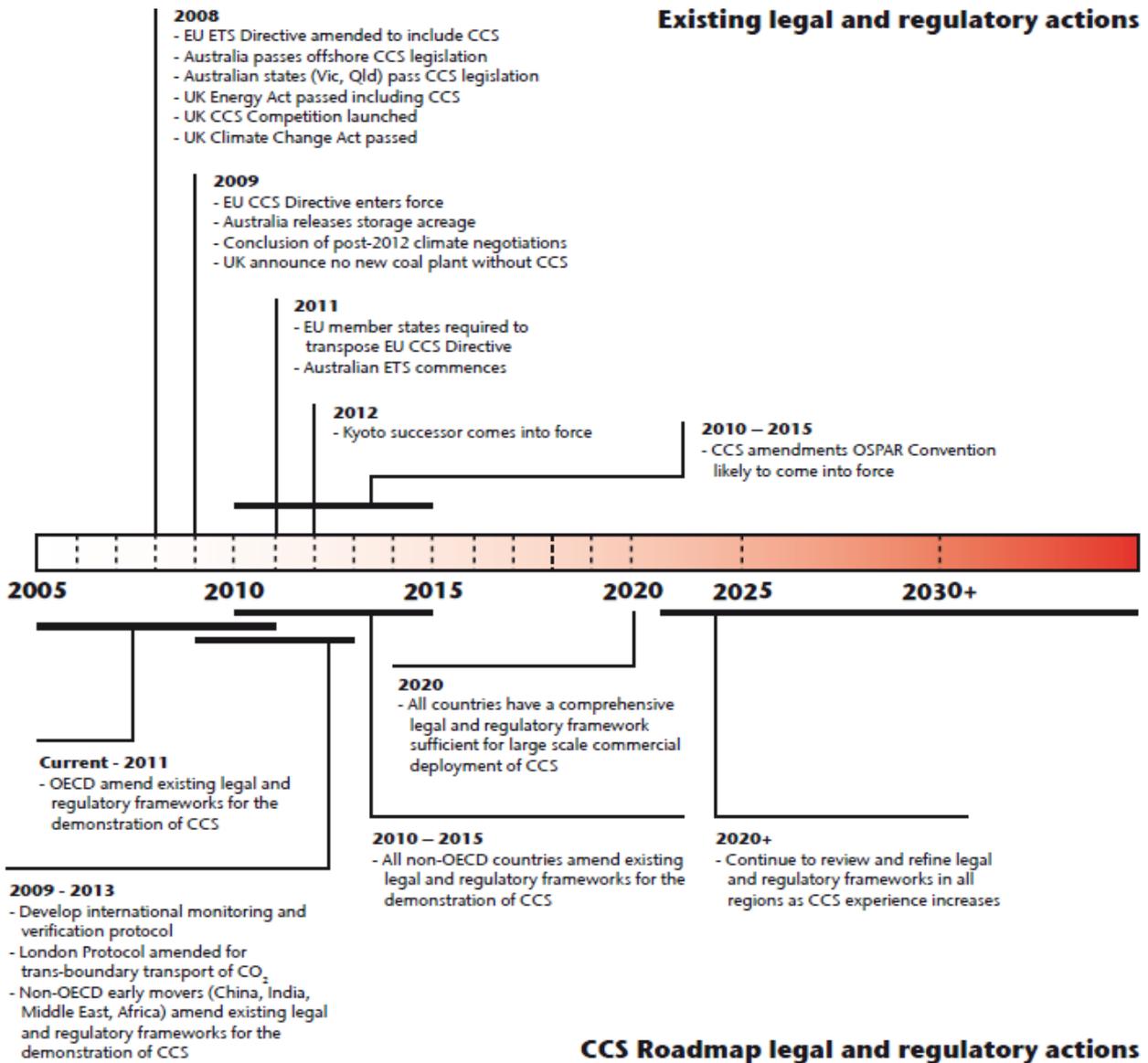


圖3 IEA法規架構推動藍圖

### (三)國內 CCS 配套法規發展規劃

我國在 CCS 推動相較部分國家起步稍晚，以致於相關法律規範建置付之闕如。例如國外已有發展成熟的 EOR 技術，相對上，雖然國內的中油具有地下儲氣窖的建置之經驗及能力，但仍沒有建置 CO<sub>2</sub> 地質封存的完整技術及經驗。因此在缺乏相關的專業知識與經驗下，難以產生對應的法律規範，導致日後投資廠商於真正施行時，無法可遵循，恐將遭遇不少阻礙。

除此之外，我國有部分有關適用於 CCS 之法規規定，卻散見於各部法規中，例如在公害防制法類方面，在發生大量高濃度之二氧化碳外洩時，可依據「行政院環境保護署未管制污染物健康風險評估諮詢作業規範」處理公害事件。另一個例子是，礦業法也可對應 IEA 模範管制架構與歐盟 CCS 指令中所涉及的封存許可議題，但仍有其不足之處。因此，國內有在 CCS 法規制定的首要工作為，詳細盤點各部會現行法規與國際上推動 CCS 發展管制法規後，進而彙整歸納出政府單位與產業單位間職責分工，並針對國內在 CCS 欠缺法規管制的部分進一步提供修改或加強。

#### 四、結論與建議

##### (一)結論

臺灣的化石燃料業占工業部門相當比例，所以 CCUS 成為減碳的重要選項之一，綜整國際上 CCUS 技術進展如表 6 所示。未來國內在執行 CCUS 技術發展時，可依據國際技術進展，適時引進已成熟之技術、或尋求國際合作機會。例如未來國內在執行二氧化碳地質封存計畫時，可依照前述國際上著名封存案例之工作項目模式與程序，進行地質封存場址之選址與調查、風險與安全評估、監測、...等作業程序，即可確保地質封存的安全及完整性。另一方面，在法規制定上宜以先導性試驗作為建立二氧化碳封存法的依據。從試驗中所得之數據與相關技術問題，皆可納入二氧化碳封存法之法規之中，才能避免日後商轉廠商無相關配套措施可依循。

表 6 CO<sub>2</sub> 捕獲及封存技術發展現況

型式	CCS 技術	研究階段	示範階段	示範運轉	成熟階段
CO <sub>2</sub> 捕獲	燃燒後			○	
	燃燒前			○	
	富氧燃燒		○		
	工業分離程序(天然氣、安生產程序)				○
CO <sub>2</sub> 運輸	管路				○
	船舶			○	
地質封存	石油增加生產(EOR)				○
	枯竭油氣田(Depleted Oil or Gas Field)			○	

型式	CCS 技術	研究階段	示範階段	示範運轉	成熟階段
	深層地下水層(Deep Saline Formation)			○	
	煤層天然氣增量生產(ECBM)		○		
海洋封存	溶解式直接注入 (Direct Injection by Dissolution Type)	○			
	直接注入(Direct Injection by Lake Type)	○			
礦化封存	CO <sub>2</sub> 與天然矽酸礦物之礦化封存		○		
CO <sub>2</sub> 再利用	CO <sub>2</sub> 工業使用				○

資料來源：經濟部(2009)。

## (二)建議

由各國 CCUS 技術發展過程來看，政府法律規範、民眾關心程度與封存安全仍影響 CCUS 相關計畫之進展，政府的法規及財務支持是邁向成功不可或缺的關鍵。我國在實施 CCUS 技術時應學習國際經驗，早日制定相關法規與技術規範，並適時給予開發業者財務支持，始可加速 CCUS 技術於我國早日實施。

- 1.二氧化碳捕獲建議：**國內在碳捕獲已具示範工廠的研發量能，應持續著力於碳捕獲的改善技術，特別是 CO<sub>2</sub> 捕獲處於領先地位的水泥生產部門，政府應重視，並協助國內發展具國際競爭力的技術。
- 2.二氧化碳封存建議：**(1)綜觀國外利用地下水層開發為天然氣地下儲氣窖之經驗，自地下水層之調查、探勘、施工至注儲，往往需費時 6~10 年。事實上，地下封存從尋找適當的地下構造、輸送以至注儲，在技術上不成問題，有待克服的是降低 CO<sub>2</sub> 收集純化(從煙道氣中分離 CO<sub>2</sub>)之成本；CO<sub>2</sub> 地下封存成本費用之 65~75%來自於 CO<sub>2</sub> 的分離與收集，因此，若能有效降低此部分成本，則在經濟上將更具成本效益。(2)民眾的意見確能影響該計畫是否繼續施行。許多國家意識到民眾意見的重要性，於是將強制告知民眾或民眾意見諮詢等等的規定納入規範中。在開發場址、選址時，建議由政府建立妥善的管道，提供機會給民眾參與法規訂定的過程，以確保計畫順利進行。
- 3.CCS 相關制度建立建議：**建議以 CCS 生命週期，從研發、示範專案與商轉各階段，來檢視適用各階段不同的制度。例如(1)臺灣目前對於 CCS 發展推動，需要龐大資金的援助，在我國現有的法規中，著重在研發階段，

而中、大規模的示範計畫政府的資助卻付之闕如。(2)運輸和封存 CO<sub>2</sub> 技術國際上都證明具可行性，但任何封存案例，其相關步驟都應該量身訂作，是以應確立中央和地方政府的管轄權；著手規劃制定與國際通用技術標準接軌指南，包括制定明確的選址、使用、監測和查核二氧化碳的指導方針。(3)在進行 CO<sub>2</sub> 海洋封存時，遵守適當的國際海洋環境保護公約。(4)確認 CCS 技術納入以市場為考量的碳排放交易系統之可能性(如依減排量給予核配獎勵)。

## 參考文獻

- 1.行政院國家科學委員會專題研究計畫(2011)，臺灣二氧化碳地質封存研究。
- 2.李元亨(2017)，二氧化碳捕獲技術介紹(一)燃燒後捕獲，科技大觀園，取自：  
<https://scitechvista.nat.gov.tw/c/sfgu.htm>。
- 3.林海珍(2019)，碳捕捉、封存及再利用之國際產業與政策趨勢，科技政策觀點，國研院科政中心，取自：  
[https://portal.stpi.narl.org.tw/index/article/10547?utm\\_source=Facebook\\_PicSee](https://portal.stpi.narl.org.tw/index/article/10547?utm_source=Facebook_PicSee)。
- 4.黃韻勳(2010)，我國發展二氧化碳捕獲與封存技術對電力結構的影響評估，碳經濟第十六期，p.30-43。
- 5.科技部(2019)，第二期能源國家型科技計畫全程結案總計畫成果效益報告，取自：  
<http://www.nepii.tw/language/zh/%E7%AC%AC%E4%BA%8C%E6%9C%9F%E8%83%BD%E6%BA%90%E5%9C%8B%E5%AE%B6%E5%9E%8B%E7%A7%91%E6%8A%80%E8%A8%88%E7%95%AB%E5%85%A8%E7%A8%8B%E7%B5%90%E6%A1%88%E7%B8%BD%E8%A8%88%E7%95%AB%E6%88%90%E6%9E%9C%E6%95%88/>
- 6.經濟部(2009)，我國二氧化碳地質封存技術研究發展規劃。
- 7.Directive 2009/31/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the geological storage of carbon dioxide
- 8.European Commission(2011),Implementation of Directive 2009/31/EC on the Geological Storage of Carbon Dioxide, Guidance Document 1 CO2 Storage Life Cycle Risk Management Framework,
- 9.Global CCS Institute (2019), 2019 The Global Status Of CCS.
- 10.Global CCS Institute (2019), Large Scale CCS Projects Database, May 25, retrieved from <https://co2re.co/LegalRegulatoryDatas>.
- 11.IEA, World Energy Outlook 2019.
- 12.IEA (2009), Technology Roadmaps.
- 13.IPCC(2005), IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds. Metz B, Davidson O, de Coninck HC, Loos M, Meyer LA). Cambridge University Press, Cambridge.