



2022 年全球 CCS 發展現況

作者：施沛宏

工業技術研究院綠能與環境研究所

(聯絡電郵：allenkan0914@itri.org.tw)

產出日期：中華民國 112 年 03 月 20 日



目 錄

一、前言.....	4
二、全球 CCS 設施與趨勢.....	4
三、碳移除(Carbon removals).....	8
四、CCS 於工業之應用現況.....	11
五、CCS 計畫開發時程.....	12
六、結語.....	13



中文摘要

國際能源總署於 2023 年發布的能源技術展望報告中指出，2030 年減碳目標可藉由目前既有技術來達成，但 2030 年後的深度減碳需依賴目前尚在研發與示範階段的創新技術。這些創新技術有水泥、鋼鐵及鋁的生產製程結合 CCUS、氫煉鋼技術及直接碳捕捉(DAC)等技術。另 IEA 於淨零排放情境(NZE)亦指出，在邁向淨零排放上，碳捕捉、封存與再利用扮演的角色也日益加重，CO₂ 捕捉量從 2021 年 0.4 億噸，至 2030 年增加為 12 億噸，並於 2050 年達到 620 億噸。

有鑑於 CCS 之重要性，全球碳捕捉與封存協會於 2022 年所公布之「全球 CCS 現況」表示：(1)全球 CCS 設施計畫共有 196 個(包含兩個暫停的計畫)，相較 2021 年大幅成長 44%，也維持了自 2017 年起的上升趨勢；(2)IPCC 指出若沒有二氧化碳移除(CDR)技術，大多數模型均無法找到將升溫限制在 1.5°C 的路徑。根據 GCCSI 最近的經濟模型發現，若欲達到淨零目標，則 BECCS 需最大程度的布署，而 DACCS 的布署則取決於其未來成本；(3)CCS 為工業達成淨零排放之必要措施之一，尤其是難以減排之產業(水泥業、鋼鐵業以及化學業)，由於其產業特性，需藉由 CCS 將難以避免的排放盡可能減少。

關鍵字：碳捕捉與封存、淨零排放、二氧化碳移除

英文摘要(Abstract)

The International Energy Agency (IEA) has released its Energy Technology Outlook report in 2023, stating that the 2030 carbon reduction target can be achieved with existing technologies, but deep decarbonization beyond 2030 will rely on innovative technologies that are currently in the research and demonstration phase. This includes key technologies, such as cement, steel and aluminium production with CCUS; hydrogen-based steel making; and direct air capture (DAC). In addition, the IEA's Net Zero Emissions (NEZ) scenario also highlights the increasing role of carbon capture, utilization, and storage (CCUS) in achieving net zero emissions. The amount of CO₂ captured is expected to increase from 0.04 Gt in 2021 to 1.2 Gt in 2030 and reach 62 Gt in 2050.

Given the importance of CCUS, the Global CCS Institute's "Global CCS Status" report in 2022 revealed that (1) there are a total of 196 CCS facility projects globally (including two suspended projects), a significant increase of 44% compared to 2021 and maintaining an upward trend since 2017; (2) the



IPCC stated that without carbon dioxide removal (CDR) technologies, most models cannot find a pathway to limit warming to 1.5°C. According to recent economic modeling by the GCCSI, if the net-zero target is to be achieved, BECCS deployment must be maximized, and DACCS deployment will depend on its future costs; (3) CCS is one of the necessary measures for industrial net zero emissions, especially for industries such as the cement, steel, and chemical industries, which require CCS to minimize unavoidable emissions due to their industry characteristics that make them challenging for decarbonisation.



一、前言

國際能源總署(International Energy Agency, 後簡稱 IEA)於 2023 年公布之能源技術展望報告(Energy Technology Perspectives 2023, ETP-2023)中指出，淨零轉型需要能源部門深度轉型，IEA 的 2050 淨零排放情境(後簡稱 NZE 情境)認為行為改變、能源效率提升與轉型使用再生能源，在經濟成長近 3 成的情況下，可讓 2030 年全球初級能源供給較 2021 年降低 10%，並使最終能源消費降低 9%。

NZE 情境指出，在邁向淨零排放上，碳捕捉、封存與再利用(Carbon Capture Utilization and Storage, CCUS)扮演的角色也日益加重，CO₂ 捕捉量從 2021 年 0.4 億噸，2030 年 12 億噸，至 2050 年增加為 620 億噸(40%來自工業與能源轉換部分，5%來自直接碳捕捉，其他來自電力與熱供應部門)。

在 ETP-2023 報告中指出，2030 年減碳目標可藉由目前既有技術來達成，但 2030 年後的深度減碳需依賴目前尚在研發與示範階段的創新技術。這些創新技術有水泥、鋼鐵及鋁的生產製程結合 CCUS、氫煉鋼技術及直接碳捕捉(DAC)等技術。根據過往科研經驗，從原型到商業化的研發期程通常花費 20 到 70 年，而大模組的技術又比小模組技術歷經更長研發時程。

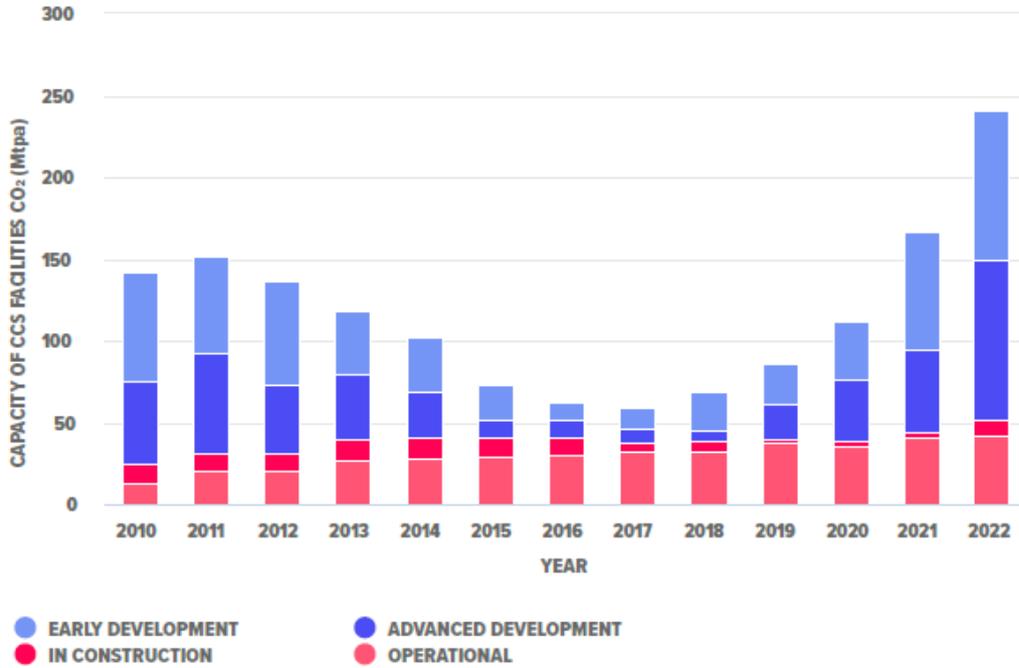
全球碳捕捉與封存協會 (Global CCS Institute, GCCSI) 每年均針對目前全球 CCS 發展現況進行研析並提出報告，下面章節將針對 2022 年所發布之報告進行摘述。

二、全球 CCS 設施與趨勢

根據全球碳捕捉與封存協會 (GCCSI) 2022 年所公布之「全球 CCS 現況(Global Status of CCS 2022)」報告統計，截至 2022 年 9 月，全球 CCS 設施計畫共有 196 個(包含兩個暫停的計畫)，相較 2021 年大幅成長 44%，也維持了自 2017 年起的上升趨勢(如圖 1 所示)。此外，運轉中的 CCS 設施共有 30 個、建造中有 11 個、以及進階開發(Advanced Development)的設施計



畫共有 78 個(詳如表 1)，其中進階開發意味著計畫獲得大量的工程開發資金，表示對計畫開發的承諾程度更高，未來有機會朝向資助審核與建造。



資料來源：GCCSI, 2022.

圖 1、2010-2022 年商業化 CCS 設施計畫捕捉能力發展趨勢

表 1、商業化 CCS 設施計畫數與捕捉能力(統計至 2022 年 9 月中)

	運轉	建設中	進階開發	先期開發	暫停運轉	總數
設施數	30	11	78	75	2	196
捕捉能力(Mtpa)	42.5	9.6	97.6	91.8	2.3	243.9

資料來源：GCCSI, 2022.

三、主要國家 CCS 發展推動政策

(一)美國

美國淨零目標為 2035 年實現潔淨電力與 2050 年達成淨零排放，意味著對 CCS 的顯著依賴，其透過 2021-2022 年間的立法，承諾在碳捕捉技術上投入大量的投資，並同時解決環境正義議題。

美國政府 2021 年 11 月頒布基礎設施投資與就業法(Infrastructure



Investment and Jobs Act, IJJA)，未來 5 年將有超過 120 億美元用於 CCS，其中包含資助 CCUS 研發示範、CO₂ 運送與儲存基礎設施、碳利用市場開發與 4 個區域直接空氣捕捉與碳封存(direct air capture with carbon storage, DACCS)中心，以及 DAC 技術競賽。

另 2022 年所頒布的晶片法案(Creating Helpful Incentives to Produce Semiconductors for America, CHIPS)與降低通貨膨脹法案(Inflation Reduction Act, IRA)，亦分別提供資金增加碳移除(carbon removal)研發與示範與降低捕捉門檻。

(二) 歐盟

歐盟創新基金(Innovation Fund)的目標為在 2030 年前，投資約 380 億歐元於歐洲的創新潔淨技術，該基金 2021 年首次成功徵集的 7 個計畫中，有 4 個為 CCS 相關計畫，其分別為位於芬蘭、比利時、瑞典以及法國，範疇包含氫能、化學、生質能和水泥生產的 CCS 計畫。

而 2022 年的徵集結果顯示，有七個 CCS 與 CCU 計畫獲得資助，分別位於保加利亞、冰島、芬蘭、法國、瑞典以及德國，其範疇涵蓋低碳水泥生產、碳礦物儲存場地開發和永續航空燃料生產。

(三) 英國

在過去一年裡，英國政府將其 CCS 政策重點放在 CCS 資助計畫和 2020 年所發布的綠色工業革命 10 點計畫(10-Point Plan for a Green Industrial Revolution)政策上，該政策致力於投資碳捕捉的使用和儲存，這讓一些 CCS 特定政策與基金朝向支持 4 個 CCS 網絡的發展。

為了進一步突顯英國地區公司合作夥伴關係和資助工作的廣度，包含碳捕捉與封存基礎設施基金(Carbon Capture and Storage Infrastructure Fund, CIF)、CCUS 創新基金等，英國政府釋出一份 CCUS 投資者藍圖，闡明其

2021 年至 2035 年的 CCUS 交付計畫。

(四)日本

日本的船運公司在 CCS 的液化 CO₂ 運輸上越來越活躍，日本 CCS 正在與關西電力公司展開一個示範計畫，將關西電力公司位於京都的燃煤電廠所產生的 CO₂ 輸送至苫小牧市的 CCS 計畫，該項目將於 2024 年開始營運。另外日本郵船(Nippon Yusen Kaisha, NYK)與 Knutsen Group 成立了液化 CO₂ 運輸與儲存的業務，三井造船亦正在建造 CO₂ 示範船等。

J-Power 與 ENEOS 宣布了一項針對國內 CCS 計畫的可行性研究，預計 2026 年提出潛力的最終投資決策，隨後於 2030 年開始實行，該計畫目的在使日本西部的煉油、燃煤、生質能燃燒機組去碳並進行 CO₂ 封存。

日本政府於 2021 年底批准一項新的戰略能源計畫，規劃至 2030 年溫室氣體較 2013 年水準減少 46%，並於 2050 年達成碳中和的路徑圖，經濟產業省亦提出 CCS 長期路徑圖草案，並已於 2023 年 3 月 10 日發布最終報告，進一步推動 CCS 事業法與 CCS 行動計畫，以確保 2050 年 1.2-2.4 億噸的 CO₂ 儲存目標¹。

(五)中國

中國 CCS 計畫主要由大型國有能源公司進行主導：

1. 由中石化開發的首個百萬噸級(1 Mtpa)整合計畫，已於 2022 年 8 月全面投入營運。
2. 從齊魯石化廠捕捉的 CO₂ 被輸送至勝利油田以提高開採效率。
3. 華能集團已在鄂爾多斯盆地建設 1.5 Mtpa 的燃煤電廠 CCUS 計畫，預期其將為全球最大的煤電 CCUS 計畫。

¹ 日本經濟省，2023。 <https://reurl.cc/OVjW6r>

4. 中國海洋石油公司正在珠江口啟動中國首個 CO₂ 海上封存計畫。

2021 年中國宣布了其 30/60 氣候政策框架，目標為 2030 年實現排放峰值並於 2060 年前達成淨零目標，而其 1+N 框架為 CCUS 政策方向奠定部分基礎。此外，中國人民銀行啟動了碳減排機制，為金融機構提供低成本貸款以支持去碳計畫，其中即包含 CCUS。惟中國目前仍缺乏基於政策以及永續的 CCUS 商業模式，為其布署障礙。

(六) 韓國

韓國科學技術情報通信部於 2022 年 11 月召開「第 5 屆碳中和技術專家諮詢委員會議」，討論通過氫能供應、碳捕集與封存、無碳電力及電動汽車等領域之《碳中和技術創新履行方案》，以實現 2050 碳中和目標。其中 CCUS 相關政策包含：開發創新科技確保核心技術，以搶佔國際市場。其目標為 2025 年每年 7 萬噸；2030 年每年 400 萬噸；並於 2050 年後每年達到 1000 萬噸²。

韓國能源公司 SK E&S 與澳洲 Santos 亦於 2022 年 2 月簽訂合作備忘錄，以支持與合作在澳洲與東帝汶 Bayu-Undan 的 CCS 計畫與中心。另外韓國的石化產業亦持續研析與布署 CCUS 的可行性研究與示範。

三、碳移除(Carbon removals)

二氧化碳移除技術(carbon dioxide removal, CDR)可移除大氣中的 CO₂。政府間氣候變遷專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)發現，所有限制升溫不超過 1.5°C 情境均有布署 CDR 技術，此外，若沒有 CDR 技術，則大多數模型均無法找到將升溫限制在 1.5°C 的路徑。

CDR 技術包含直接空氣捕捉封存(Direct air carbon capture and storage,

² 韓國科技部，2022。 <https://reurl.cc/bG9NQy>

DECCS)以及生質能與碳捕捉封存(Bioenergy with carbon capture and storage, BECCS)。其中 DECCS 為直接從大氣中移除 CO₂，而 BECCS 則是從生質能燃燒中捕捉 CO₂。由於 BECCS 可提供 CDR 與可用能量，因此 BECCS 通常為相較 DECCS 成本較低的選擇，然而 BECCS 會受到可用於能源的永續生物質限制。

GCCSI 最近的經濟模型發現，若欲達到淨零目標，則 BECCS 需最大程度的布署，而 DACCS 的布署則取決於其未來成本，不確定性較大。為了探討 DACCS 在實現淨零排放的潛力，GCCSI 研析了 137 美元-412 美元/每噸 CO₂ 的可能成本，該模型產出結果與 IPCC 對 DACCS 和 BECCS 布署的預測相差不遠，如表 2 所示。

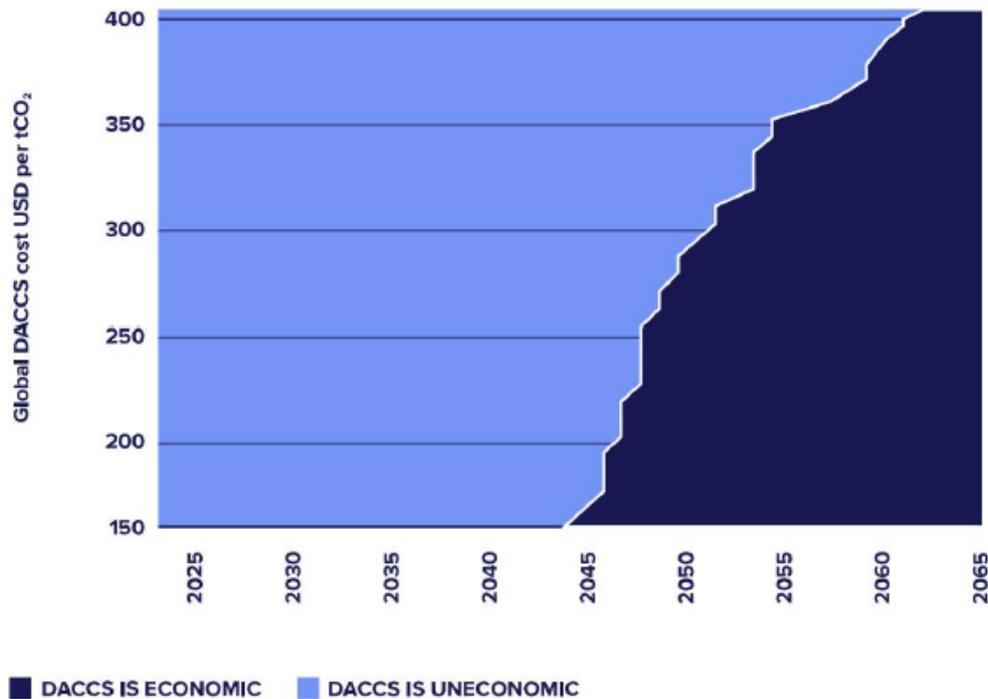
表 2、2100 年 CDR 技術累計捕捉量(GT CO₂)

	BECCS	DACCS	Total CDR
IPCC	226-842	109-539	333-1,221
GCCSI	491-510	1.2-786	511-1,277

資料來源：GCCSI, 2022.

若沒有 CDR 技術，在本世紀保持在剩餘的碳預算範圍內將更加困難與昂貴。能源使用上若欲轉型並達淨零排放，其涉及範疇相當廣泛，如先進的燃料以及對應的基礎設施需要開發、電力部門要去碳化、以及工業與運輸也一定要轉型，而 CDR 可以爭取時間，讓最難消除、成本最高的措施在轉換上較易於管理，此外，若其他去碳路徑出現非預期的限制，CDR 也可做為一道保險。

GCCSI 亦針對假設沒有任何專門的 DACCS 激勵措施情況下，進行模型的評估，如下圖所示。模型結果顯示，若沒有任何激勵措施，假設成本最低的情況下(137 美元/每噸 CO₂)，DACCS 最快將在 2043 年布署，若假設成本最低的情況下(412 美元/每噸 CO₂)，則將到 2062 年才會布署。



資料來源：GCCSI, 2022.

圖 2、DACCS 隨年變化之收支平衡成本(假設無特定激勵措施)

2050 年實現淨零排放的路徑為 CDR 技術發展的主要驅動力，由於 BECCS 可捕捉 CO₂ 亦可提供能源使用，因此所有可用的 BECCS 均可能被布署；DACCS 發展潛力取決於其成本，成本越低布署量也將越多，其捕捉的每噸 CO₂ 價格就越低，意謂轉型至淨零的成本就越低，若 DACCS 未來成本可降至 200 美元/每噸 CO₂，全球能源系統節省的淨現值將達 1 兆美元，若成本降至 137 美元/每噸 CO₂，則可節省約 3 兆美元左右。

為推動 DACCS 技術商業化以降低達成淨零排放的整體成本，各國政府亦正實施針對 DACCS 的相關政策，如美國能源部(Department of Energy, DOE)於 2022 年 5 月宣布，將在未來 5 年提供 35 億美元資助 4 個直接空氣捕捉(direct air capture)中心，DACCS 在美國每儲存一噸 CO₂ 亦有資格獲得 180 美元的稅額抵減；加拿大最近亦宣布，直接空氣捕捉設備的投資稅額抵減在 2030 年與 2040 年前分別為 60%與 30%。



四、CCS 於工業之應用現況

CCS 為工業達成淨零排放之必要措施之一，特別是針對水泥業、鋼鐵業以及化學業，由於其產業特性，使得他們在去碳過程中充滿挑戰，也被稱作難以減排之產業，故更需要藉由 CCS 將難以避免的排放盡可能減少。

鍛燒反應為水泥業製造的核心，而 CO₂ 為鍛燒反應不可避免的副產物。其中水泥生產所需溫度超過 600°C，通常是燃燒化石燃料所產生，因此，即使在水泥窯中使用生質燃料或其他低碳熱源，這中間產生的二氧化碳仍需要進行管理，此外，由於全球對建築用水泥的龐大需求，這雙重效應使得水泥業的碳排密集度非常高，約占全球人為溫室氣體排放量的 8%。

全球首個水泥業 CCS 計畫正在挪威布雷維克(Brevik)的 Norcem 水泥廠建設，該計畫預計每年捕捉 40 萬噸 CO₂ 並於 2024 年開始營運，而其捕捉之 CO₂ 將以液化方式透過船舶運送至 Naturgassparken 的 CO₂ 設施，最終在北海下進行封存。此外，美國與英國也都正在進行大型水泥 CCS 計畫的先期開發。

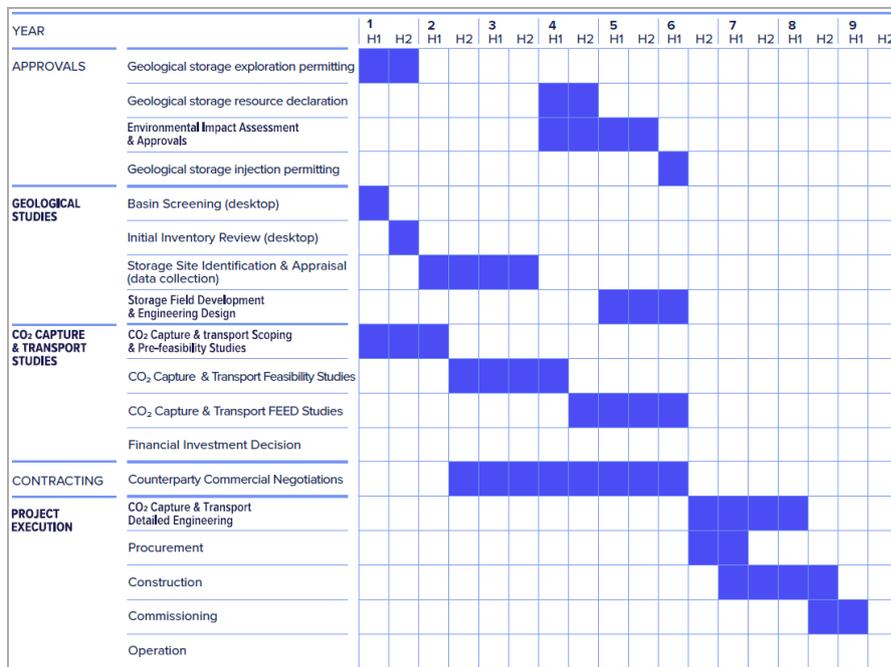
鋼鐵業同樣也是全球 CO₂ 排放的主要貢獻者，從鐵礦到鐵的過程中，碳基還原劑(如煤)與礦石中的氧氣產生反應進而形成 CO₂。目前在阿布達比(Abu Dhabi)的 Emirate 鋼鐵廠已有一個 CCS 設施正在營運，其每年捕捉能力為 80 萬噸 CO₂，顯著的減少該廠直接還原鐵(Direct Reduced Iron)設施的碳排放。另外，以氫做為還原劑的替代性非碳基煉鐵方法亦正在開發中，這將為未來新的鋼鐵生產設施奠定基礎，若成功開發，將成為去碳氫的另一種使用途徑，這也包含了天然氣加裝 CCS 所產生的藍氫。

化學產業為全球另一個主要的排放源，尤其是氨和氨衍生肥料(如硝酸銨)的生產。氨為氮氣與氫氣反應後的產物，目前用於氨生產的氫氣幾乎都是由化石燃料生產而來，未來氫氣來源若能以轉至去碳氫(包含藍氫)，將有助於該部門實現深度減碳。



五、CCS 計畫開發時程

建造全新的 CCS 設施或是對既有設施進行 CCS 改造均為一項重大的計畫，需要在細部工程研究開始之前，進行從概念、前期可行性到可行性的全套研究。後面包含與交易對象確認及協調商業協議、完成環境影響評估流程、以及必要的封存場域並從監管機構取得批准，這些過程約通常需要好幾年才能完成，而這還是假設該國家或地區已頒布合適的 CCS 規範。CCS 計畫的開發與礦產、石油或天然氣的生產有許多相似之處，一個大型複雜的 CCS 計畫從概念到營運可能需要花費 10 年的時間才能完成。



資料來源：GCCSI, 2022.

圖 3、高複雜性 CCS 計畫簡化甘特圖

圖 3 為一個高複雜性的 CCS 計畫開發的高度簡化甘特圖，其假設所有合適的 CCS 規範已就位，且沒有特別強烈的社區抗爭發生。若是相關的先期研究已備妥(如封存場址評估或捕捉工程研究)，則有機會在更短的時間進行交付。另一方面，複雜性較低的 CCS 計畫可在 5 年內完成開發，這些計畫通常需要 CO₂ 捕捉過程中包含，易於整合 CO₂ 來源、使用既有的基礎設施、以及取得的地質儲存資源已充分表徵且不面臨任何社區反對的重大風



險。

在過去幾年裡，隨著 CCS 網絡的出現，CCS 計畫的規劃與複雜性顯著增加，這些計畫絕大多數均利用既有的研究，最常見的就是地質儲存資源相關研究，而取得既有先期研究成果的計畫通常有機會在 9 年內到達營運階段。而若為達成具雄心的氣候目標，大多數在 2030 年代可實現每年上百萬噸減排的計畫必須在 2020 年代就開始開發，此外，亦應緊急推動可在 5 年內甚至更短時間內交付的複雜性較低的計畫。政策制定者應將這些計畫時程納入考量並制定相關政策來激勵各種 CCS 計畫，以支持淨零戰略。

六、結語

在本世紀中葉達成溫室氣體淨零排放已被多數國家接受並成為全球氣候變遷討論的主要議題，為達成淨零排放目標，須加速各部門所有類型的淨零排放技術投資與開發，而這趨勢在 GCCSI 的報告中也顯而易見，例如正在開發的 CCS 項目在過去一年就成長了 44%。

對難以減碳的產業而言，CCS 為其有效降低生產過程所產生的碳排量的重要工具，尤其近年來許多國家對於產品碳足跡的管制逐漸嚴格，這將有助於這些產業降低其成本與風險。

由於 CCS 技術開發投入成本龐大，計畫從概念到正式營運的時程長，若欲有效推動 CCS 進程，政府除了應盡快制訂清楚且合適的 CCS 規範，讓業者有所依循，也應投入資金，進行相關技術研發與示範。在實現淨零目標上，各國政府均將所有減緩方案納入考量，而 CCS 除了可搭配其他技術進一步減碳(如 BECCS)，亦可做為備援選項，為其他高門檻技術發展或部門轉型爭取更多時間。



参考文献

- [1] International Energy Agency (IEA), 2023. Energy Technology Perspectives 2023.
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/a86b480e-2b03-4e25-bae1-da1395e0b620/EnergyTechnologyPerspectives2023.pdf>
- [2] Global CCS Institute (GCCSI), 2022. Global Status of CCS 2022.
https://status22.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2023/03/GCCSI_Global-Report-2022_PDF_FINAL-01-03-23.pdf
- [3] 経済産業省，2023。CCS 長期ロードマップ検討会最終とりまとめ説明資料。
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/ccs_choki_roadmap/pdf/20230310_2.pdf
- [4] 과학기술정보통신부，2022。과학기술정보통신부。
<https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&mId=113&mPid=112&pageIndex=&bbsSeqNo=94&nttSeqNo=3182376&searchOpt=ALL&searchTx>
[트](#)