

知識物件上傳表

計畫名稱：113年度「發電業減碳政策及發展路徑規劃」

上傳主題：探討國際低碳發電技術之發電業導入碳捕存技術發展趨勢

提報機構：財團法人台灣經濟研究院

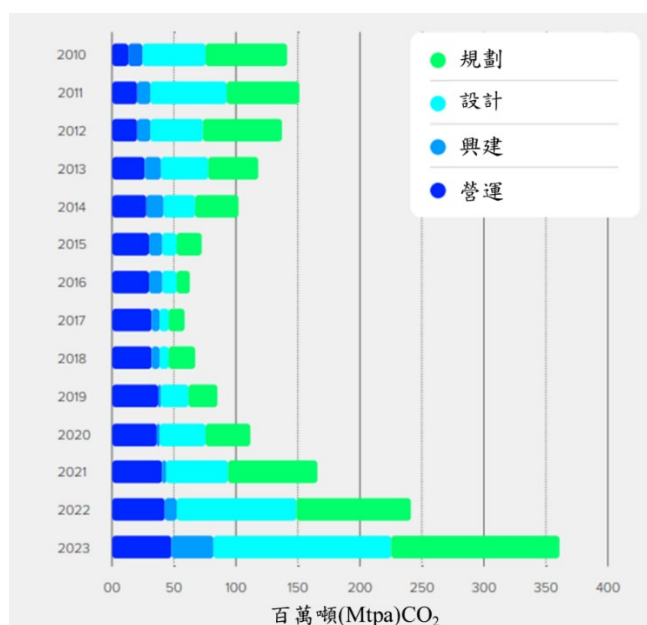
提報時間：113年8月23日

與計畫相關	<input checked="" type="checkbox"/> 1. 是 <input type="checkbox"/> 2. 否
國別	<input type="checkbox"/> 1. 國內 <input checked="" type="checkbox"/> 2. 國外
能源業務	<input type="checkbox"/> 1. 總體能源 <input checked="" type="checkbox"/> 2. 化石能源 <input checked="" type="checkbox"/> 3. 電力 <input type="checkbox"/> 4. 核能 <input type="checkbox"/> 5. 新及再生能源 <input type="checkbox"/> 6. 節約能源
能源領域	<input checked="" type="checkbox"/> 1. 政策與法規 <input type="checkbox"/> 2. 環境衝擊與調適 <input checked="" type="checkbox"/> 3. 經濟及產業 <input type="checkbox"/> 4. 科技 <input type="checkbox"/> 5. 統計資訊
決策知識類別	<input type="checkbox"/> 1. 建言(策略、政策、措施、法規) <input checked="" type="checkbox"/> 2. 評析(先進技術或方法、策略、政策、措施、法規) <input type="checkbox"/> 3. 標竿及統計數據：技術或方法、產業、市場等趨勢分析 <input type="checkbox"/> 4. 其他：
重點摘述	<p>為因應氣候變遷，2050年淨零碳排已成為全球共識，依據國際能源署(International Energy Agency，以下簡稱 IEA)於2021年報告指出，碳捕捉和封存(Carbon Capture and Storage，以下簡稱 CCS)技術為支持電力部門淨零轉型過程中關鍵淨零路徑之一。國際先進國家如加拿大、美國、英國等皆已制定相關推動策略，並投入大量資源發展。</p> <p>以加拿大為例，加拿大政府透過建立碳捕捉再利用與封存(Carbon Capture, Utilization and Storage，以下簡稱 CCUS)投資稅收抵免政策，以支持相關基礎設施建設之投資，並推動全球第一個配備 CCS 技術的商業規模燃煤電廠-Boundary Dam CCS 計畫。而美國</p>

	<p>政府則透過政策支持與財政誘因，加速 CCS 技術發展，其中在美國德州的 Petra Nova CCS 計畫，已成功於燃煤電廠導入 CCS 技術捕捉電廠排放的二氧化碳，並封存於油田以強化採油回收(Enhanced Oil Recovery，以下簡稱 EOR)。英國則提出「清潔發展戰略(Clean Growth Strategy)」，強調低成本部署 CCUS 的重要性，其中包含「綠色工業革命十點計畫(Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution)」，規劃於2030年前建置四個 CCUS 工業集群(Industrial Cluster)，並積極與其他國家合作。</p> <p>因應國際減碳趨勢，我國國家發展委員會與環境部於2022年提出2030年國家自定貢獻(Nationally determined contribution, NDC)強化目標相較於基準年(2005年)為$24\pm 1\%$。然而，臺灣以能源、工業及運輸部門為主要碳排大戶，其中又以電力部門排碳量超過總排放量7成為最大宗，為達成能源部門減碳目標，CCUS 技術將扮演重要角色。建議可借鏡加拿大、美國與英國等先進國家推動發電業導入 CCUS 經驗，逐步完善我國 CCUS 相關法規與補助政策制定，以降低發電業導入 CCUS 技術之門檻，同時發展多元化具成本效益的商業模式，加速國內 CCUS 產業生態系佈局與發展。</p>
詳細說明	<p>一、 國際發電業導入碳捕存技術發展趨勢</p> <p>為因應解決氣候變遷挑戰，2050淨零碳排(Net Zero by 2050)已成為全球共識，聯合國於2023年12月舉辦第28次氣候變遷會議(28th Conference of the Parties, COP28)，會中明確決議承諾讓能源系統「轉型脫離(Transition Away)」化石燃料，加速減少未加裝減排設施之燃煤發電。然而，能源轉型非一蹴可及，短期內化石資源仍會是全球能源系統的重要組成部份，故基於化石燃料且對環境影響小的橋接技術(Bridge Technologies)的發展，將為現今重要研究方向。</p> <p>依據國際能源署(IEA)於2021年發布《2050年淨零排放：全球能源部門的路徑圖》(Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector)報告指出，CCS 為支持電力部門淨零轉型過程中最關鍵的淨零路徑之一。在現行電力以及清潔能源需求不斷增長的情況</p>

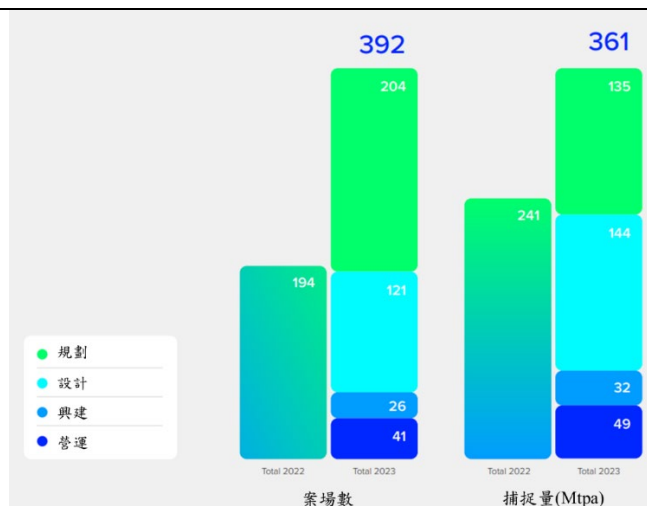
下，火力發電廠導入 CCUS 技術不僅可以降低電力部門的碳排放，同時可確保能源安全穩定供應，提供有減碳需求之企業所需的低碳或無碳電力，同時支持電力部門度過能源轉型過渡期，並達到全球2050淨零排放之目標。

在全球 CCS 案場發展趨勢方面，依據全球碳捕捉與封存研究所 (Global CCS Institute, GCCSI) 於2023年發布之《2023全球 CCS 概況》 (Global Status of CCS 2023) 報告，全球的 CCS 設施的數量與捕捉量自2017年起至今均有顯著增加趨勢(如圖1)。據此報告統計資料顯示，全球截至2023年已累積有392座 CCS 案場(如圖2)，其中包含41座營運中、26座興建中、121座設計中以及204座規劃中案場，其總捕捉量估計高達361百萬噸(Mtpa)。



資料來源：GCCSI (2023), Global Status of CCS 2023。

圖1 全球 CCS 案場發展趨勢圖



GCCSI (2023), Global Status of CCS 2023。

圖2 全球 CCS 案場數與總捕捉量圖

在各國的電力部門減碳路徑中，已有許多國家將 CCUS 視為實現淨零排放的重要策略，並制定其相應的政策框架，先進國家如加拿大、美國以及英國等皆已規劃具體的 CCUS 發展路徑，並積極推動相關建設與計畫，相關實際經驗皆對我國未來發展發電業導入 CCUS 技術方面，提供值得借鏡之處。為此，本文整理上述國家之 CCUS 相關政策與實際案場發展情況，詳細說明如後。

(一)加拿大碳捕存技術發展政策背景與案例

加拿大政府為配合《巴黎協定(Paris Agreement)》訂定的減排目標，積極推動電力部門的淨零轉型，其在加拿大全境建立清潔、可負擔且可靠的電力系統，亦制定2030年前逐步淘汰境內未減排的燃煤發電機組，以期2035年使電網系統完全去碳化，2050年使其他經濟領域之各階段電氣化目標亦逐步實現淨零排放。

在 CCUS 發展方面，加拿大擁有全球約14%的碳封存潛能容量，且目前是全球發展 CCS 案場數第二多的國家，在技術發展及投資方面均處於全球領先地位。加拿大政府透過制定一系列的投資稅收抵免(Investment Tax Credits，以下簡稱 ITC)政策，加速對零碳發電和輸送基礎設施的投資，其中亦包括 CCUS 投資稅收抵免(CCUS-ITC)政策，將針對直接空氣捕捉(Direct Air Capture, DAC)、二氧化

碳捕捉設備、二氧化碳運輸、再利用與封存等提供可退還信用率(Credit Rate)，預計五年內將投入約5.2億美元(新臺幣約166億元)。

在實際案例方面，位於加拿大薩斯喀徹溫省(Saskatchewan，以下簡稱薩省)的邊界水壩碳捕捉計畫(Boundary Dam CCS Project)是全球第一個配備 CCS 技術的商業規模燃煤電廠，該計畫由 SaskPower 電力公司營運。為了支持加拿大的低碳電力系統發展，SaskPower 公司與薩省政府皆承諾會達到電力系統淨零目標，並規劃於2030年前將傳統的燃煤電廠退役，以及將投資新的創新技術(例如：擴展輸送設施(Expanded Transmission)、小型模組化反應器(Small Modular Reactors, SMRs)、天然氣搭配碳捕捉與封存(CCS)、儲能等)。

薩省的 Boundary Dam 為一座總裝置容量為824百萬瓦(MW)的燃煤電廠，電廠內共有6組機組，1、2號機組已退役，4至6號機組則仍維持運轉，其中3號機組(Boundary Dam 3)於2014年進行鍋爐改建與汽機更換，並同時導入 CCS 設備(如圖3)，其機組原總裝置容量為139百萬瓦(MW)，經改造後升級至160百萬瓦(MW)，以提供 CCS 設施額外用電需求。

該計畫自2014年開始營運至2024年第2季已累計捕捉超過626萬噸二氧化碳，捕捉到的二氧化碳約有90%是透過管線輸送至 Weyburn 附近由 Cenovus Energy 營運的強化石油回收區進行 EOR，其餘10%則輸送至距離電廠3公里外之 Aquistore 碳封存場址進行永久封存，該封存場址由石油技術研究中心(Petroleum Technology Research Centre, PTRC)負責管理與進行碳封存長期監測，據該單位研究顯示，至今皆無二氧化碳洩漏之狀況發生。



資料來源：SaskPower CCS。

圖3 加拿大薩斯喀徹溫省的 Boundary Dam 碳捕捉計畫廠域

(二)美國碳捕存技術發展政策背景與案例

美國為達成2050年淨零排放目標，規劃電力部門於2035年實現100%潔淨電能。2023年美國總統拜登於「主要經濟體能源與氣候論壇」(Major Economies Forum on Energy and Climate, MEF)中宣布國家能源去碳化措施，以減少電力的碳排放，並擴大清潔能源規模。而美國國家環境保護署(United States Environmental Protection Agency，以下簡稱 EPA)亦於同年(2023年)針對燃煤與天然氣發電廠提出新的碳污染標準，並推動燃煤與天然氣發電廠導入 CCS、天然氣混氫燃燒發電以及高效能發電等技術，以提升清潔能源供應規模。

此外，美國 EPA 於2024年發布減少化石燃料發電廠污染的標準，目標係以合理的成本實現大幅降低電力部門的碳排放，EPA 認為針對運轉老舊的燃煤機組和使用頻率較高的燃氣渦輪機導入 CCS 技術是最佳的減排策略，因 CCS 技術成熟且成本可控，能直接應用於發電廠，並減少至少約90%的碳排放量。同時，由於近年 CCS 技術的成本逐漸降低，若再搭配美國政府推動《降低通膨法案(Inflation Reduction Act, IRA)》所提供的稅收優惠，以及《基礎設施

法案(Infrastructure Investment Act)》對於 CCS 技術和基礎設施的建設投入，皆可大幅降低發電業者採用 CCS 技術的投資成本。綜上所述，美國 EPA 預測，由於 CCS 等減排技術的成本下降，對電價的影響將微乎其微，同時也能確保電網供電的可靠性。

在美國較具指標性之發電業導入 CCS 的案例為位於德州 W.A.Parish 燃煤電廠的 Petra Nova CCS 計畫，該計畫由美國 NRG 能源公司(NRG Energy)以及日本 JX 石油天然氣探勘公司(JX Nippon Oil & Gas Exploration)於2014年共同開發，並於2017年完工開始營運，目前由 JX 石油天然氣探勘公司作為營運商，此計畫為目前世界最大的 CCS 燃煤電廠(如圖4)。Petra Nova CCS 計畫採用三菱重工(Mitsubishi Heavy Industries, MHI)的碳捕捉技術，從該電廠8號機組捕捉二氧化碳，每天約可捕捉4,776公噸，捕捉率達90%，捕捉之二氧化碳經壓縮後，由約130公里長之管線運輸至德州傑克遜縣的 West Ranch 油田進行 EOR。

該計畫之主管機關美國能源部(The Department of Energy, DOE)在其2020年報告指出，Petra Nova 計畫從2017年至2019年間共捕捉約390萬噸二氧化碳，且藉由該計畫執行，West Ranch 油田的總增油產量超過420萬桶，最高日產量達到6,000桶(均為總產量)。

Petra Nova 計畫資金來源包括美國能源部的補助、營運商的融資以及贊助商的投資等。其中約60%的經費應用於碳捕捉與發電設施以及相關資本支出，而剩餘的投資款項則用於營運、管理與監測、二氧化碳運輸管線以及 West Ranch 油田改善工程等。

此外，Petra Nova 曾於2020年5月因受新冠疫情、石油和電力價格低迷、全球經濟衰退等因素影響暫時閉廠，以降低衝擊，然而，在經濟狀況改善後，已於2023年9月5日重新啟動營運。



資料來源：POWER Magazine (2023).

圖4 NRG Energy WA Parish 發電站的 Petra Nova 碳捕捉廠域

(三)英國碳捕存技術發展政策背景與案例

為達到大規模減碳之目標，英國政府早於2017年提出「清潔發展戰略」(Clean Growth Strategy)，其中包含三項 CCUS 的未來規劃，分別為(1)強調 CCUS 部署成本效益之重要性，並檢視國內 CCUS 建置與投資模型，以增加導入 CCUS 的可能途徑；(2)開展 CCUS 國際合作計畫，如英國積極與挪威、美國、加拿大和澳洲等國家合作，共擬二氧化碳運輸與封存的解決方案；(3)積極投入 CCUS 技術創新研發，並參加歐洲區域研究網絡(European Research Area Network)，召集部署 CCUS 跨境計畫。期望以在國內大規模部署低成本的 CCUS 計畫，並使英國成為全球領先者。

另外，英國能源安全和淨零排放部(Department for Energy Security and Net Zero，以下簡稱 DESNZ)依據政府於2020年發布之「綠色工業革命十點計畫」(Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution)提出 CCUS 願景(CCUS Vision)，規劃於2023年部署國內工業集群(Industrial Cluster)導入 CCUS 技術，預計在2020年代中期(即約2025年)，將於境內建立兩個 CCUS 工業集群(即為英格蘭西北部與威爾斯的 HyNet Cluster，以及 Net Zero Teesside 與 Humber Industrial Cluster 的東岸集群(East Coast Cluster))，且其中至少包括1個 CCUS 發電廠，並於2030年再增加建置兩個 CCUS 集群(Acorn 和 Viking)。

近期英國財政部更宣布設立73億英鎊(約新台幣2,920億元)的國家財富基金(National Wealth Fond, NWF)，其中包含10億英鎊(約新台幣400億元)將用於加速 CCS 技術部署。

位於英國特茲河畔米德爾斯堡的大型氫能源和二氧化碳捕捉場域 Net Zero Teesside (以下簡稱 NZT)(如圖5)，即為英國推動 CCUS 集群計畫之一。該集群計畫由 DESNZ 作為主管機關，當中將建置世界上首個新設商業級規模的 CCS 燃氣電廠-NZT Power，該計畫是英國石油公司 bp 和挪威國營石油公司 Equinor 的合資企業投入，bp 作為營運商，其將新建一座860百萬瓦(MW)聯合循環燃氣渦輪發電廠(Combined Cycle Gas Turbine, CCGT)，年發電量可供約130萬戶家庭使用，相當於英國家庭總用電量的5%，預估每年二氧化碳捕捉封存量可達200萬噸。

NZT Power 和 Northern Endurance Partnership (以下簡稱 NEP)已於2024年3月選定9個工程、採購和建設之承包商作為合作夥伴。NZT Power 位於 Teesside 去碳工業區的減碳中心，預計2027年開始營運，將為東海岸集群提供二氧化碳運輸與封存服務，將捕捉後之二氧化碳運送至北海145公里外的海域封存場址，永久封存在 NEP 的地底下1公里深之二氧化碳封存設施中。



NZT Power, Delivering a Net Zero Teesside。

圖5 Net Zero Teesside 去碳工業區

二、 國際發展情況予我國之借鏡

我國目前雖積極推動再生能源、儲能、綠氫等相關淨零科技，然而自然資源的不穩定性，相較於再生能源受限於不同年間、季節、時序發電特性，CCS 火力電廠可以提供企業更穩定的供電，亦符合聯合國於2021年倡議的24/7全時使用無碳電力(Carbon Free Energy, CFE)，亦可滿足國際大廠如 Apple、Google、Microsoft 等實現2030年供應鏈及其產品100%碳中和的承諾。

為因應全球淨零排放趨勢、供應鏈減碳壓力以及極端氣候所帶來衝擊，國家已立法設定淨零轉型目標，並於2022年由行政院國家發展委員會與環境部公布「國家自定貢獻目標(NDC)」，目標2030年減排達24±1%。此外，政府亦於2024年5月宣布將發展多元綠能、推動深度節能、科技儲能及智慧電網，以確保供電穩定與電力去碳化之目標，同時將啟動第二次能源轉型，加速開發多種再生能源，並透過 CCS 技術，加快減碳速度，建立低碳安全共享的能源新結構。

目前國內已有 CCS 小型示範計畫進行中，包含台電公司自2019年起投入捕捉二氧化碳的測試研究，並規劃在台中火力發電廠設立「減碳技術園區」，將建置小規模碳捕捉試驗廠，選定9號與10號機組試驗，目標於2025年年碳捕捉量達2,000噸，以及預計2026年開始將在臺中外海的鹽水層中進行小規模注儲試驗，設定15年累積總灌注量為3萬噸。此外，中油公司亦規劃將利用苗栗通霄鎮之鐵砧山注產區的井坪用地，建置小規模二氧化碳封存試驗場址，將從碳源取得二氧化碳，經液化後以槽車運輸至封存場址，預計自2025年開始連續灌注3年，年注入10萬噸二氧化碳，總灌注量達30萬噸。

綜觀國際減碳趨勢以及加拿大、美國與英國等國家擬定 CCUS 推動策略與相關法規配套措施，建議我國可藉由火力電廠導入 CCUS 設備，以減少電力部門碳排放以及確保供電穩定，同時可規劃與推動 CCUS 相關大型計畫，形塑具成本效益之創新商業模式與形成 CCUS 產業生態系，亦可透過建立適用於證明 CCS 環境效益之

無碳電力憑證制度等措施，以加速推動我國發電業導入 CCS 作為其他零碳電力備援，同時協助國家淨零轉型下追求經濟永續發展之目標。

三、參考資料：

- [1] Department for Energy Security and Net Zero and Department for Business, Energy & Industrial Strategy (2019), UK carbon capture, usage and storage, <https://www.gov.uk/guidance/uk-carbon-capture-and-storage-government-funding-and-support#contents>
- [2] Department for Energy Security and Net Zero, Prime Minister's Office, 10 Downing Street, Department for Business, Energy & Industrial Strategy, The Rt Hon Sir Alok Sharma KCMG MP, and The Rt Hon Boris Johnson MP (2020), The ten point plan for a green industrial revolution. <https://www.gov.uk/government/publications/the-ten-point-plan-for-a-green-industrial-revolution>.
- [3] DOE(2020), Technical Report on Petra Nova, <https://enchantenergy.com/doe-final-scientific-technical-report-on-petra-nova-march-31-2020/>
- [4] East Coast Cluster, <https://eastcoastcluster.co.uk/#timeline>.
- [5] EPA (2024), Biden-Harris Administration Finalizes Suite of Standards to Reduce Pollution from Fossil Fuel-Fired Power Plants, <https://www.epa.gov/news-releases/biden-harris-administration-finalizes-suite-standards-reduce-pollution-fossil-fuel>
- [6] Global CCS Institute (GCCSI) (2023), Global Status of CCS 2023.
- [7] Government of Canada (2024), Powering Canada Forward: Building a Clean, Affordable, and Reliable Electricity System for Every Region of Canada, <https://natural-resources.canada.ca/our-natural-resources/energy-sources-distribution/electricity-infrastructure/powering-canada-forward-building-clean-affordable-and-reliable-electricity-system-for/25259>

- [8] IEA (2021), Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector, <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>.
- [9] NET Power (2020), System Value to UK Power Market of Carbon Capture and Storage June 2020.
- [10] NET Power, Delivering a Net Zero Teesside, <https://www.netzeroteesside.co.uk/project/>.
- [11] Net Zero Teesside (2024), Net Zero Teesside Power and the Northern Endurance Partnership select contractors for c.£4bn construction contracts, <https://www.netzeroteesside.co.uk/news/net-zero-teesside-power-and-the-northern-endurance-partnership-select-contractors-for-c-4bn-construction-contracts/>
- [12] POWER Magazine (2023), Petra Nova, Pioneering Power Plant Carbon Capture Unit, Is Up and Running Again, says JX Nippon, <https://www.powermag.com/petra-nova-pioneering-power-plant-carbon-capture-unit-is-up-and-running-again-says-jx-nippon/>
- [13] SaskPower (2024), BD3 Status Update: Q2 2024, <https://www.saskpower.com/about-us/our-company/blog/2024/bd3-status-update-q2-2024>
- [14] SaskPower (2024), Boundary Dam Carbon Capture Project, <https://www.saskpower.com/our-power-future/infrastructure-projects/carbon-capture-and-storage/boundary-dam-carbon-capture-project>
- [15] Sidhi Mittal (2023), Government reveals next two locations for CCUS clusters, <https://www.edie.net/government-reveals-next-two-locations-for-ccus-clusters/>.
- [16] The CCUS Hub (2023), East Coast Cluster. https://ccushub.ogci.com/focus_hubs/east-coast-cluster/
- [17] The White House (2021), National Climate Task Force, <https://www.whitehouse.gov/climate/>.
- [18] 台大風險中心(2024)。2023台灣能源情勢回顧。 <https://rsprc.ntu.edu.tw/zh->

[tw/m01-3/en-trans/open-energy/1857-2024-openenergy.html#:~:text=%E4%B8%80%E3%80%812023%E5%B9%B4%E5%8F%B0%E7%81%A3%E7%99%BC%E9%9B%BB%E9%87%8F%E8%88%87%E7%99%BC%E9%9B%BB%E8%A3%9D%E7%BD%AE%E5%AE%B9%E9%87%8F&text=2023%E5%B9%B4%E7%99%BC%E9%9B%BB%E9%87%8F%E5%8D%A0,%E9%83%A8%E8%83%BD%E6%BA%90%E7%BD%B2%E5%BC%8C2024a%E5%BC%89%E3%80%82](https://www.taipower.com.tw/m01-3/en-trans/open-energy/1857-2024-openenergy.html#:~:text=%E4%B8%80%E3%80%812023%E5%B9%B4%E5%8F%B0%E7%81%A3%E7%99%BC%E9%9B%BB%E9%87%8F%E8%88%87%E7%99%BC%E9%9B%BB%E8%A3%9D%E7%BD%AE%E5%AE%B9%E9%87%8F&text=2023%E5%B9%B4%E7%99%BC%E9%9B%BB%E9%87%8F%E5%8D%A0,%E9%83%A8%E8%83%BD%E6%BA%90%E7%BD%B2%E5%BC%8C2024a%E5%BC%89%E3%80%82)

- [19] 台電月刊(731期)。碳捕集計畫讓 CO₂找新去處。
<https://tpcjournal.taipower.com.tw/article/6580>
- [20] 左峻德、陳彥豪、尤晴韻、陳映蓉、陳柏誼(2024)。電網級碳捕捉貯存利用現況與展望，台灣電力企業聯合會113年度專刊，頁249-271。
- [21] 左峻德、陳彥豪、尤晴韻、陳映蓉、鄭允勝、陳柏誼、林軒如(2024)。發展無碳電力憑證支持24/7全時無碳能源市場，標準、檢驗與計量期刊第一期，頁4-16。
- [22] 經濟部國際貿易署(2021)。加拿大碳捕獲技術與投資居全球領先地位。
https://www.greentrade.org.tw/purchasing_info/content?id=VDRmVERkalZRL3J5eGVncE1tL0F2QT09
- [23] 環境部氣候變遷署，2024。氣候變遷因應政策。
<https://www.moeenv.gov.tw/cca/D2B61B18C99F9C47>
- [24] 環境資訊中心(2024)。未湊足10萬噸碳！中油鐵砧山計畫明年啟動 還得「把碳找出來」。 <https://e-info.org.tw/node/239674#:~:text=%E4%B8%AD%E6%B2%B9%E9%A0%90%E8%A8%882025%E5%B9%B4%E5%95%9F%E5%8B%95,%E5%B0%81%E5%AD%98%E8%A8%88%E7%95%AB%E6%8E%A8%E5%8B%95%E7%B6%93%E9%A9%97%E3%80%82>