

臺灣推動碳捕捉與封存技術對淨零碳排之影響

左峻德¹ 尤晴韻² 陳映蓉^{3*} 鄭允勝⁴ 陳柏誼⁵ 于子嵐⁶ 林軒如⁷

摘要

近年來氣候變遷議題受到各國政府與企業重視，紛紛提出其減碳目標與一系列策略或法案，以加強其國內減碳力道，同時致力於能源轉型與淨零碳排的工程。根據政府間氣候變化專門委員會(IPCC)指出，能源部門約占當今四分之三的溫室氣體排放量，是造成氣候變遷影響的關鍵因素之一，這也可能是人類本世紀面臨的最大挑戰之一。因此，聯合國氣候變遷會議通過之巴黎協定(Paris Agreement)，設定目標將全球暖化幅度控制不超過2°C，且同時尋求將氣溫升幅進一步限制在1.5°C，這目標將要求各國與各企業對能源的生產、運輸和消費方式進行徹底的轉變，同時面對國際上一系列對於加強減排力道的法案或倡議，將促使企業面臨減碳壓力日漸增強。我國亦於2022年提出淨零轉型之階段目標與行動，其中在2050淨零路徑規劃中，規劃負碳技術將分別於2030年、2050年進入示範階段與普及階段，更針對燃煤與燃氣電廠依碳捕捉利用及封存(CCUS)技術發展進程導入運用設定階段里程碑。臺灣未來推動碳捕捉封存不僅使二氧化碳排放量大幅降低，另一方面也可確保電力供應無虞，維持電力、鋼鐵與石化等產業之永續發展，達到經濟繁榮及能源轉型之目標。

關鍵詞：淨零排放，能源轉型，淨零路徑，碳捕捉利用及封存

1. 前言

2050淨零碳排(Net Zero by 2050)已成為現今國際迫切關注與熱烈討論的議題。截至2023年4月，全球已有約130個國家宣示2050淨零為該國發展目標之一(Net Zero Tracker, 2023)。根據國際能源總署(International Energy Agency, IEA)於2023年發布之《2023能源技術展望》(Energy Technology Perspectives 2023)指出，全

球能源產業正處於一場關鍵性的變革，在未來幾十年內，原以化石燃料為主的產業將日益轉變為以再生能源和其他清潔能源技術為主導的產業。同時，隨著太陽能、風能、電動載具和一系列其他淨零技術(例如：氫能(Hydrogen)、碳捕捉利用及封存(Carbon Capture, Utilization and Storage, CCUS)等)的快速發展，新的全球能源經濟樣貌將更加清晰。而這些轉變將改變供應支撐能源系統的材料和產品的產業，預示著

¹財團法人台灣經濟研究院 研究員兼任副院長

²財團法人台灣經濟研究院研究一所 副研究員兼任副所長

³財團法人台灣經濟研究院研究一所 助理研究員兼任副組長

⁴財團法人台灣經濟研究院研究一所 助理研究員

⁵財團法人台灣經濟研究院研究一所 助理研究員

⁶財團法人台灣經濟研究院研究一所 助理研究員

⁷財團法人台灣經濟研究院研究一所 助理研究員

*通訊作者，電話：02-2586-5000#991，電郵：d32165@tier.org.tw

收到日期: 2023年05月09日

修正日期: 2023年07月18日

接受日期: 2023年08月16日

新工業時代—清潔能源技術製造時代的到來。

儘管承諾淨零的國家持續增加，IEA (2020)指出各國政府迄今做出的承諾即使完全兌現，仍遠未能達到將全球氣溫上升限制在1.5°C以內的要求。2021年IEA於《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)建議400多項減排路徑，並指出2030年前全球的淨零路徑所減少的二氧化碳排放中，大部分貢獻來自現今既有的技術；而到2050年之減排則有近半來自目前僅處於示範或原型階段的技術(例如：碳捕捉利用及封存(CCUS)、直接空氣捕捉二氧化碳與封存(Direct Air Capture with Carbon Storage, DACCS)、氫能等)。意即淨零不能僅僅從現今的技術求解，前瞻技術的發展實對未來淨零具有決定性貢獻。

IEA (2021)估計迄2050年全球電力需求將是2020年之2.7倍，88%來自再生能源，風力與太陽光電即占有需求之68%，其餘來源為配置CCUS之燃煤、燃氣與生質能(Bioenergy)發電、核能與氫能，而仍有0.4%仍為未經CCUS之化石燃料發電。各國對再生能源的重視自不殆言，IEA即發現5年前全球清潔能源與化石燃料的投資比率約為1：1，如今則約為1.7：1 (IEA, 2023b)。主要國家對多種能源布局亦考慮長期展望、過渡延續性，並兼顧多重國家發展目標。日本政府2023年6月通過氫能基本戰略(しました水素基本戦略)，未來15年官方與民間將聯手投資15兆日圓打造供應鏈，並訂定2040年氫能供應量擴增為目前6倍，同時兼顧去碳、能源穩定供應及經濟成長三大目標。2023年3月法國國會通過核能加速計畫(l'accélération du nucléaire)，能源部指稱此計畫旨在因應氣候變遷並保障國家能源自主權。本研究著重碳捕捉封存，亦對應我國發電占比最高之火力發電過渡至淨零之能源轉型。

碳捕捉利用及封存是IEA建議的重要淨零路徑之一，也是從化石能源蛻變為清潔能源為主時代變革中具有代表性之技術路徑。該技術路徑係指同為碳捕捉利用及封存之一系列技術，非指單一技術。又如IEA (2021)所說明，捕捉的二氧化碳僅有約8%用於利用或循環再利用，92%主要用於封存，2050年也約有95%用於永久地質封存，而封存才更具有隔絕二氧化碳避免溫室效應之主要意義，即為碳捕捉及封存(Carbon Capture and Storage, CCS)。本文以下所引依照出處來源使用，包括CCUS或CCS，不特為區分。

2. 2050淨零碳排趨勢

聯合國大會於1990年決議成立「政府間氣候變化綱要公約談判委員會」(Intergovernmental Negotiating Committee for a Framework Convention on Climate Change, INC/FCCC)，於兩年後由聯合國大會提出並通過《聯合國氣候變化綱要公約》(The United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)。該公約於1994年生效，截至2022年共有197國成為締約方。UNFCCC規定每年針對全球氣候變化議題召開一次締約方大會，即聯合國氣候變遷會議(Conference of Parties, COP)。第1屆聯合國氣候變遷會議(the First Conference of the Parties, COP 1)1995年3月在德國柏林舉行，至2022年共已舉辦27屆會議(COP 27)。其中，2015年12月在法國巴黎召開第21屆聯合國氣候變遷會議(21st Conference of the Parties, COP 21)上通過之《巴黎協定》(Paris Agreement)，是繼《京都議定書》(Kyoto Protocol)後最廣為人知之針對減少全球溫室氣體排放、遏止全球暖化所訂定的國際條約(林元傑，2019)。

《巴黎協定》為一部具有法律約束力的氣候變化條約，目標將全球暖化幅度控制不超過2°C，且同時尋求將氣溫升幅進一步限制在1.5°C，以避免引發更嚴重之氣候變化影響(UNFCCC, 2023)。為達成《巴黎協定》設立之目標，所有簽署《巴黎協定》之締約國國家須提出國家自主貢獻(Nationally Determined Contributions, NDCs)，並以五年為週期檢視各國對於減少溫室氣體排放所採取之行動，而當年締約國所提交之國家自主貢獻仍不足以將溫度上升控制在2°C。此外，政府間氣候變化專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)於2021年發表之《全球暖化1.5°C》(Global Warming of 1.5°C)特別表明，除非在未來十年內大幅減少全球二氧化碳以及其他溫室氣體的排放，否則全球暖化將遠遠超過《巴黎協定》所訂定之減碳目標；IPCC亦強調各國必須在2030年前將全球溫室氣體排放量減半，以在2050年實現「淨零」排放(Net Zero)；並且未來的10年會是關鍵期。

2021年10月在格拉斯哥(Glasgow)舉辦的第26屆聯合國氣候變遷會議(26th Conference of the Parties, COP 26)，以全球氣溫升幅限制在1.5°C內為核心目標(UN Climate Change Conference UK 2021, 2021)。各國在COP 26達成2050年實現淨零碳排之共識，並同意在2022年重新檢視NDCs以進一步於2030年制定中期減排目標。COP 26上簽署之《格拉斯哥氣候公約》(Glasgow Climate Pact)呼籲各國應以更實際之考量提交新的NDCs，以進一步降低全球溫度上升的風險(United Nations Climate Change, 2022)；強調需在這十年內大幅減少碳排，以及逐步減少化石燃料以及煤炭的補助。因此，COP 26也同時提出煤炭時代即將結束的

訊號。COP 26遵循四個總體目標，包含減緩(Mitigation)、適應(Adaptation)、金融(Finance)與合作(Collaboration)。其中在減緩(Mitigation)方面，所做出之承諾包含153個國家提出新的2030年排放目標(GOV.UK, 2022)。另根據Net Zero Tracker網站統計，共有151個國家、147個地區宣示淨零排放承諾，其涵蓋了全球溫室氣體排放量的88%，占全球國內生產毛額(Gross Domestic Product, GDP)的92%¹。

第27屆聯合國氣候變遷會議(27th Conference of the Parties, COP 27)在2022年11月於埃及舉辦，見證《格拉斯哥氣候公約》後，各國重新審視NDCs之實施情況，顯示目前的氣候目標與行動仍遠不足以達成《巴黎協定》之目標。是故COP 27期盼各國提出更具雄心的減排承諾、立即採取果敢行動，並迅速公正、公平地淘汰化石燃料。COP 27決議2030年前全球溫室氣體排放量必須減少45%才能將全球暖化限制在1.5°C內；同此也要求各締約國NDCs需具體說明其國家之減排目標量。

各國提交於UNFCCC之資料²顯示，2021年後各國提出之減排目標(如圖1)超過45%者，計有日本(46%)、巴西(50%)、紐西蘭(50%)、瑞士(50%)、美國(50-52%)、挪威(50-55%)、冰島(55%)、歐盟(55%)以及英國(68%)等，各國之減碳作為舉例如下：

- 日本：於2020年底公佈《綠色成長戰略》(Green Growth Strategy Through Achieving Carbon Neutrality in 2050)，在能源產業、運輸製造以及家庭職場等三大類中，視能源的應用為關鍵產業，並且預計於2050年將再生能源占總發電量的比例提高至50-60% (METI, 2022)。
- 紐西蘭：由政府與農業代表們共同制定的草

¹統計數據依2023年7月28日擷取自<https://zerotracker.net/>。

²引自2023年4月28日擷取<https://unfccc.int/NDCREG>及其所連結之各國資料。

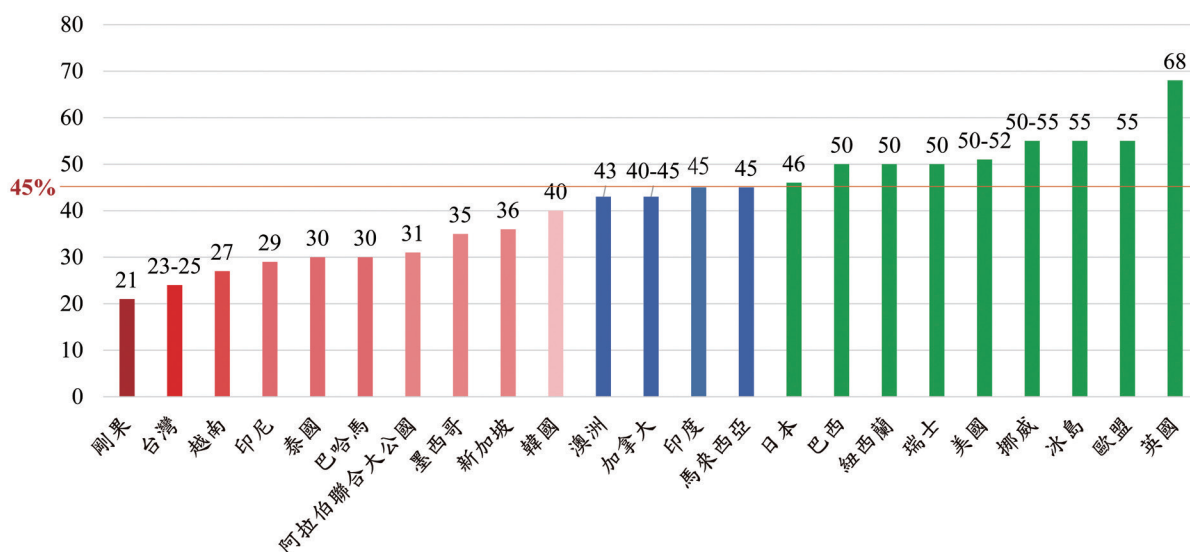


圖1 主要國家2030年減排目標

資料來源：UNFCCC, Nationally Determined Contributions Registry, <https://unfccc.int/NDCREG>。

案，規劃於2025年起，農民必須為牲畜排放的氣體付費而氣體將會依照在大氣中停留時間的長短分開定價(The Guardian, 2021)。

- 美國：致力於電力去碳化，並訂定2035年達到100%潔淨電能之目標，且針對海運、航空及部分工業製程推動轉換為氢能、永續生質能等較潔淨的燃料(United States Department of State and the United States Executive Office of the President, 2021)。
- 歐盟：以Fit for 55套案針對其27個成員國實現歐盟2030年氣候目標研擬方案，並基於十三個構面擬訂立法，其中，Fit for 55套案的重點措施包含完善「碳邊境調整機制」(Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM)，外國的鋼鐵或鋁等高碳排商品必須購買歐盟在其歐盟排放交易體系(European Union Emission Trading System, EU ETS)³下提供給特定行業的免費碳排放權，方能進入歐盟市場，以及2025年建築營造與公路運輸

的燃料供應者納入新的排放交易機制、2035年禁售燃油車等(鄒敏惠與吳宜靜，2021)。

- 英國：以排放交易系統(UK Emissions Trading System, UK ETS)明訂英國政府對發電廠和其他工業實體排放每噸二氧化碳的收費方法(倫敦台灣貿易中心，2021)。

3. 企業面臨國際淨零碳排趨勢之挑戰

除了《聯合國氣候變化綱要公約》、《巴黎協定》、《格拉斯哥氣候公約》之規範，包括COP 27決議之減排45%等對締約方/國家的減排承諾與減碳作為之約束以外，國際上也有許多非營利組織推出永續相關認證，例如碳揭露計畫(Carbon Disclosure Project, CDP)與百分百再生能源(指「RE 100」--100% Renewable Energy)等，主要規範與追蹤企業承諾與排放，不僅受到國際指標企業支持與響應。另一方

³ 歐盟排放交易體系主要限制各會員國的碳排放總量，再由各國自行分配其國內各產業的碳排放額度，若一企業未使用完自己的排放額度，可於此交易體系內販售未使用完之額度予有需求之企業，成交價格將由市場機制決定，政府不會特別限制，但碳排放總量將逐年減少，並於最終達到零碳排的目標。

面，主要國家政府對企業碳排放量管制亦趨嚴峻，例如歐盟於2023年開始實施碳邊境調整機制(CBAM)，而美國則將於2024年實施清潔競爭法案(Clean Competition Act, CCA)。

整體而言，全球的減碳要求正逐漸提高中，因此企業所面對的減碳壓力亦逐漸增強。以下分別為企業所面臨之永續認證、國際政策及供應鏈等減碳/淨零之機制與規範，說明企業之減碳壓力，以及企業淨零所需之外部資源。

3.1 企業面臨之減碳壓力

3.1.1 碳揭露計畫(CDP)

CDP的主要任務係向投資者、企業、國家等揭露其他企業與氣候相關之訊息，要透過三大類型的問卷(即氣候變遷(Climate Change)、森林(Forests)及水安全(Water Security))調查申請公司對環境的衝擊程度，並依據公司的填答結果將其區分成五個級別，分別為領導級別(Leadership)、管理級別(Management)、認知級別(Awareness)、揭露級別(Disclosure)與未能揭露(Failure to Disclose)⁴等。全球已有超過1.8萬家企業透過CDP揭露公司於氣候變遷、森林和水安全之管理成果，並有680家管理資產總和超過130兆美金之投資機構要求其所投資之企業需填寫CDP問卷。此外，亦已有280多家總採購能力達6.4兆美元的企業要求其供應商需透過CDP進行揭露。因此，企業剛開始或許僅為回應投資者的要求才加入CDP，後續便開始要求企業自身的供應鏈，包括企業之合作廠商亦須通

過CDP，足見CDP未來於全球之影響力更為龐大。

3.1.2 RE 100

RE 100是由CDP及氣候組織(The Climate Group)共同發起的氣候行動，主要倡議自電力需求端減緩氣候變遷，加入倡議之企業必須在2050年前達到百分之百再生能源使用的目標，並以公開透明的方式回報能源使用情況⁵(綠色和平(Greenpeace)，2021)。而透過參與RE 100除了可以提升企業本身形象之外，同時也符合國際市場的趨勢，例如安海斯-布希英博集團(AB InBev)在美國推出100%綠電生產的啤酒；Google推動企業內全時段使用綠電，而蘋果(Apple Inc.)則要求亞洲供應鏈需要採購綠電，因此企業使用綠電的需求正在逐年提升。迄今RE 100的成員已超過400家企業⁶，涵蓋了科技業、金融業、食品飲料、服裝流行、美妝保養產業等，影響範圍極廣。

3.1.3 碳邊境調整機制(CBAM)

歐盟於2021年提出CBAM草案，避免歐盟境內的產業因其較嚴格的管制條件而外移至管制較寬鬆的國家製造生產後，再將高碳排放產品販售回歐盟，目標係2030年降低55%的溫室氣體排放。故2023年至2026年間，歐盟將優先針對鋼鐵、水泥、肥料、鋁與進口電力等產品，要求其通報碳排放量，並於2026年至2035年將開始實施CBAM憑證(CBAM Certificate)，進口商品若已於出口國繳交碳費且未享有出口退稅

⁴ 根據官網(<https://www.re100.org.tw/>)說明，領導級別(Leadership)為A級，此類公司需基於科學目標，在氣候變遷、森林管理或水安全等方面訂定相關的策略，並有相對應的實踐行動；管理級別(Management)為B級，係公司已有良好的環境管理，但未如領導級公司一樣有實際的行動；認知級別(Awareness)為C級，即公司已認知到其業務內容將如何影響環境，但並未開始管理；揭露級別(Disclosure)為D級，意謂著該公司僅準備開始要推動環保；未能揭露(Failure to disclose)則被列為F級，表示被要求進行揭露之公司不願接受調查。

⁵ 轉寫自2023年4月28日擷取官網：<https://www.re100.org.tw/>。

⁶ 2023年7月28日擷取自<https://www.re100.org.tw/>。

或產品的含碳量低於歐盟核發的免費配額，便無需購買憑證，然而若超過免費配額，便需購買CBAM憑證，而此憑證的價格將依歐盟排放交易體系(EU ETS)每週碳拍賣的平均收盤價格計算(孫晉英，2021)。另自2035年起將全面取消免費配額，所有進口商皆需支付碳稅。影響所及之國家，包含美國、英國、日本、加拿大等亦將研議比照推出同等機制。

3.1.4 清潔競爭法案(CCA)

美國將於2024年實施CCA，主要目的為打擊碳密集產品，提升美國境內碳密集度低產業之競爭力，預計將針對超出該行業於美國國內平均的碳排放量之部分進行收費，且此費率將逐年提升。CCA與歐盟的CBAM不同之處，在於CCA適用於美國國內外所有廠商，所有碳密集產業皆需為超額排放繳納費用。目前主要針對的產業為初級產品，例如化石燃料、化肥、水泥、鋼鐵、鋁與氫等，自2026年起將擴大至下游廠商，所有碳密集原料超過500磅(約227公斤)之產品皆納入管制；而2028年標準則降至100磅(約45公斤)的碳密集原料(王茜穎，2022)，管制愈來愈趨嚴格。

3.1.5 氣候相關財務揭露工作組(TCFD)

隸屬於二十大工業國(Group of Twenty, G20)之國際金融穩定委員會(Financial Stability Board, FSB) 2015年成立氣候相關財務揭露工作組(Task Force on Climate-Related Financial Disclosures, TCFD)。TCFD提供企業一套應披露的資訊類型之建議，以支持投資者、貸方和保險承銷商對一組特定氣候變化相關之風險進行適當評估和定價。亦即協助將氣候變遷之風險與機會定價為財務資訊，提供利害關係人氣候風險相關的財務衡量資訊。

3.1.6 科學基礎減量目標倡議(SBTi)

科學基礎減量目標倡議(Science Based Targets Initiative, SBTi)由聯合國全球盟約(Global Compact)及CDP共同組成，主要目的為鼓勵全球企業設定具科學基礎的減碳目標，共同實現2050年升溫不超過1.5°C的願景，是國際具有公信力的減碳目標驗證組織。

3.1.7 供應鏈需求

除了國際各組織與政府的壓力之外，企業也面臨來自供應鏈的壓力。如上所述，愈來愈多企業要求其供應商需通過與永續相關的認證，例如蘋果公司其《Apple供應商行為準則》要求供應商皆需嚴格控管自身溫室氣體排放，並每年向蘋果總公司回報監控結果(Apple, 2022a)。另外，供應商也需提供溫室氣體排放清單，詳列溫室氣體的來源、用途、排放量等資訊，同時亦需每年針對「絕對減量」及「密集度減量」兩大主軸分別制定相對應之方案，並於每年回報執行成果予總公司，而未來蘋果也將終止不符其減碳規定的供應商，目前蘋果已要求其亞洲供應商皆需使用綠電進行生產，此外，2022年時蘋果更進一步呼籲全球供應鏈於2030年前採行必要措施，例如使用綠電，以達到全面碳中和目標(Apple, 2022b)。

除了供應鏈改革之外，亞馬遜(Amazon)、沃爾瑪(Walmart)等龍頭產業亦提出企業自主減排計畫。亞馬遜於2020年推出氣候友好承諾(Climate Pledge Friendly)標章，提供符合條件之產品專門頁面，使消費者得以迅速挑選此類商品；同時也與上百家企業共同簽訂《氣候宣言》(The Climate Pledge)，預計於2040年達到淨零碳排。而自2025年起，亞馬遜將全面使用再生能源，並於2030年達到半數產品皆

淨零排放，其供應商亦需提供更加精簡、環保之包裝。沃爾瑪則提出將減少生產端的碳排放量以及不必要的浪費，並積極投資風電與太陽光電，期望於2040年達到全面淨零(Amazon, n.d.；Walmart, 2020；食力，2021)。

3.2 企業自身無法達到淨零

國際標準組織(International Organization for Standardization, ISO)《淨零排放指南》(ISO Net Zero Guidelines)提供包括企業等組織淨零碳排放路線圖。該指南所稱企業淨零關鍵要素為：(1)減排(Emission Reductions)、(2)碳抵銷(Carbon Offsets)、(3)透明度與問責制(Transparency and Accountability)、(4)利益相關者參與(Stakeholder Engagement)以及(5)公平與正義(Equity and Justice)(ISO, 2022)。上述諸要素中，企業淨零之二氧化碳減少係直接來自於減排與碳抵銷。其中，減排包括提高能源效率、改用再生能源與創新流程。碳抵銷則是將外部減少的碳排放，移嫁用來抵銷本身的碳排放，例如購買二氧化碳排放權等以抵銷。

碳抵銷具體如企業申請碳標準認證(Verified Carbon Standard, VCS)，期望透過自然碳匯等方式減少或抵消碳排放量，並同時改善生態環境，或是透過購買碳權以獲得排放二氧化碳的權利。EU ETS即為歐盟透過碳排放量配額制度，促進企業的淨零轉型，因此，若企業轉型成功使其碳排放量低於配額，該企業便可出售多餘額度，提供碳排放量超過配額之企業購買碳權。所謂低於配額乃是門檻性目標，不代表該企業淨零；而後者亦可能透過購買碳權達成名義上的平衡以號稱碳中和(Carbon Neutrality)或氣候中性(Climate Neutral)，歐盟議會已禁止未經證實的氣候中性等用語(European Parliament, 2023)。各界關切的重點仍為碳抵銷

並未實值減少二氧化碳排放。

提高能源效率一直是產業界的既有課題。最熟喻者，是二次工業革命時代英國經濟能源的社會成本大規模外部化，Fouquet (2011)估計煤炭平均社會成本外部化比例從1820年代25%上升到1880年代的60%至70%。以法規制約促成效率提升方面，亦有長年發展，例如美國1975年通過第一個全國之企業平均燃油經濟性(Corporate Average Fuel Economy, CAFE)標準，十年內將客車效率提高一倍；1987年頒布國家電器節能法案(National Appliance Energy Conservation Act, NAECA)成為電器製造強制性標準。迄今，碳排放不再是過去可忽略的外部成本，而係有價的生產成本，故必須重新審視效率優化計算結果。各國用於控制溫室氣體排放的各種政策工具間儘管存在很大差異，但主要皆以自願減排為主(Voluntary Approaches, VAs)。OECD (2003)亦提醒審視整個整體排放非常重要，而非重點性減少部分生產系統的排放；這意謂需要更廣泛地研究如何減少排放，需要檢查整個生產鏈，包括修改產品等問題。此外，提高能源效率在技術發展上有其上限，Paoli and Cullen (2020)即發現能源效率的提高不足以實現節能目標(交通運輸除外)，同時對於大多數技術來說，更重要的是盡力採行最佳可用技術之效率水準，而不是研究推動轉換效率之極限。換言之，企業本身無法僅就提高能源效率真正達到淨零，能源效率的極限也不必然是最佳選擇。由此可知企業本身並無法完全淨零，未來需要達成淨零之解決關鍵是整體再生能源的來源與供應。

新氣候研究中心(New Climate Institute)《2022年企業氣候責任監測》(Corporate Climate Responsibility Monitor 2022)追蹤全球25大跨國企業⁷針對氣候變遷所擬定之策略的

⁷納入追蹤的25個企業分別為：埃森哲(Accenture)、亞馬遜(Amazon)、蘋果(Apple)、BMW、家樂福(Carrefour)、

執行情況，顯示整體而言除了企業本身急迫性不足外，亦指出企業雖已積極採購綠電，但綠電採購的整體完整性仍然偏低。Chalendar and Benson (2019)便指出會造成再生電力供應量不足的主要原因為與化石燃料發電相比，再生能源(例如：太陽光電或風電)的發電量更易受地點及時間影響，導致無法穩定供電，進而影響整體電力品質。

4. 淨零減碳技術之趨勢

為實現淨零排放目標，全球對於到2050年將二氧化碳排放量減少至淨零，以及將全球平均溫度長期升幅限制於1.5°C的努力是一致的。在IEA 2021年「Net Zero by 2050」淨零排放路徑規劃提及，至2030年全球大部分的二氧化碳排放量之減少係來自現有市場上的成熟技術，僅少部分來自於開發中技術以及行為改變；而

至2050年，幾乎一半的二氧化碳排放量則來自目前示範或原型階段的開發中技術(如圖2)。因此，欲實現2050年淨零排放，則需要快速部署可用技術，更需要開發尚未商業化的技術。尤其針對重工業與交通運輸等高碳排部門，未來更需要依靠目前仍處於開發中之技術，達到更進一步的減排。

IEA (2021)提到最大創新機會涉及先進電池、電解氫以及直接空氣捕捉與封存，在這三個技術領域中，將有助於2030年至2050年期間減少二氧化碳排放。未來十年的創新，不僅透過技術研發與示範，還需佈署技術所需基礎設施，包含用於運輸捕捉的二氧化碳管道，以及在港口與工業區周圍之間的運輸氫氣系統。因此，政府研發支出需要增加與確認投入優先順序，在電氣化(Electrification)、氫能、生質能與碳捕捉利用及封存(CCUS)等關鍵項目上，目前僅占研發資金的三分之一左右，仍需政府支持

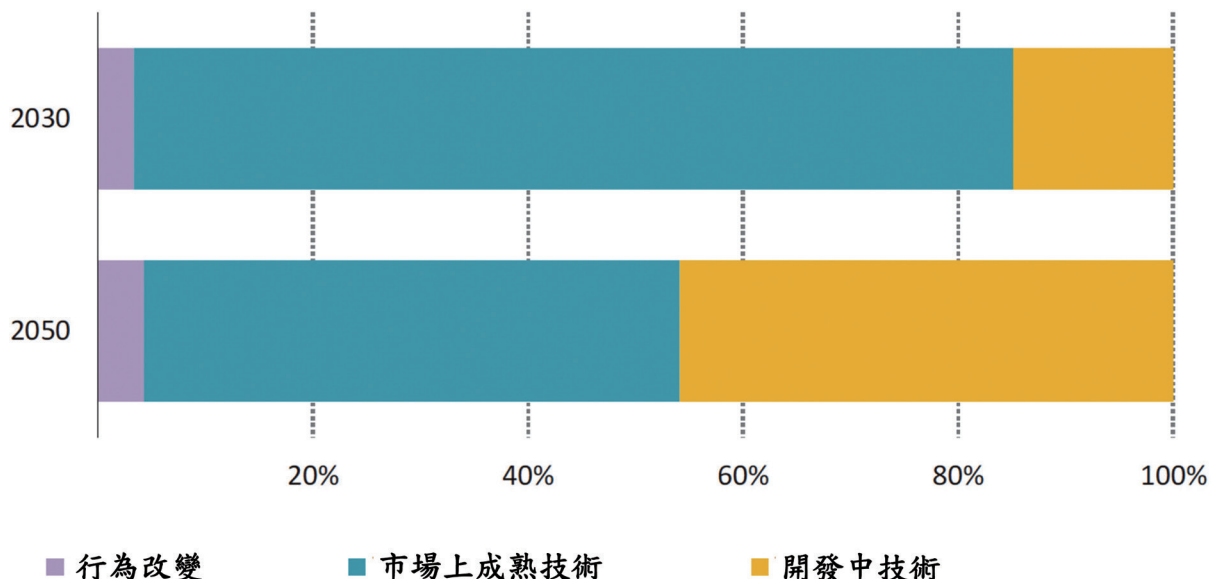


圖2 市場上成熟技術與開發中技術等2030年與2050年淨零路徑中減少之二氧化碳排放量

資料來源：IEA (2021). Net Zero by 2050- A Roadmap for the Global Energy Sector.

CVS Health、德國郵政(Deutsche Post DHL)、德國電信(Deutsche Telekom)、義大利國家電力公司(Enel)、意昂集團(E.ON)、葛蘭素史克藥廠(GlaxoSmithKline)、谷歌(Google)、日立製作所(Hitachi)、宜家家居(IKEA)、JBS股份(JBS)、快桅股份有限公司(Maersk)、雀巢(Nestlé)、諾華(Novartis)、聖戈班先進材料(Saint-Gobain)、索尼(Sony)、聯合利華(Unilever)、Vale金屬、沃達豐電信(Vodafone)、福斯汽車(Volkswagen)、沃爾瑪(Walmart)等。

與加速推動相關技術示範計畫，以期於2030年之前完成示範。

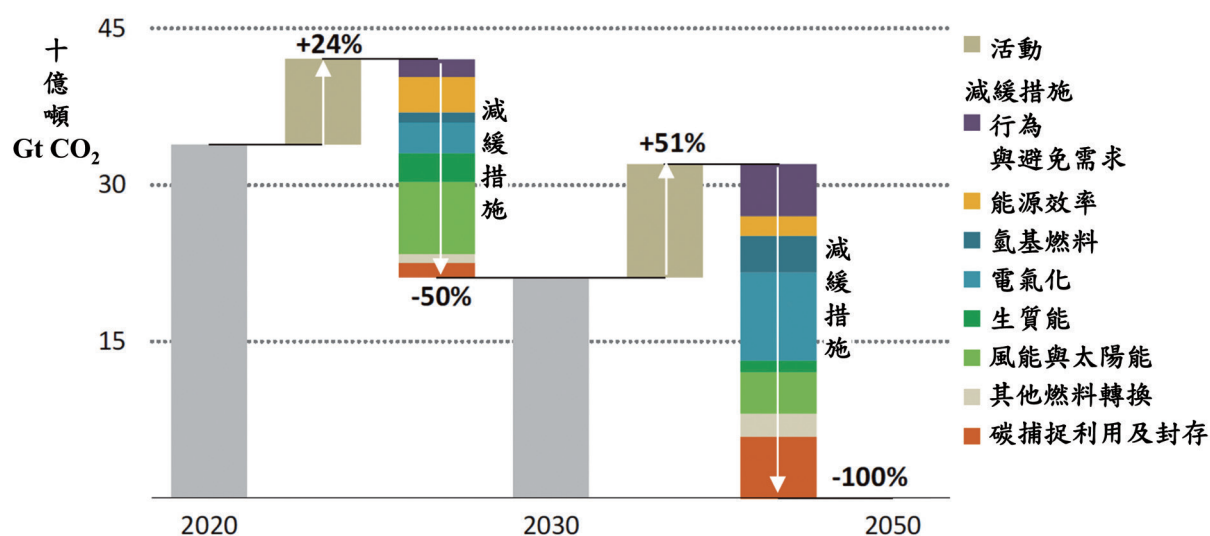
4.1 CCUS必要性

在IEA (2021)規劃淨零路徑情境(The Net-Zero Emissions by 2050 Scenario, NZE)中，從2030年起，每個月有10個重工業需配備CCUS設備，以及新建3座氫基(Hydrogen-based)工業工廠，並於工廠線增加2百萬瓩(GW)裝置容量的電解槽；到2035年停止銷售新的內燃機汽車，並推動電氣化政策以支持交通部門大幅減少二氧化碳排放；到2050年，全球汽車將透過電力或燃料電池運行。在電力無法具經濟性地滿足能源需求的情況下，低排放燃料則是不可或缺的。上述為透過所有機會(包含所有燃料與所有技術)促使能源部門去碳，另IEA (2021)特別指出，若未能開發用於化石燃料的CCUS技術與設備，將可能會延遲或阻止用於水泥生產和去碳技術過程排放的CCUS開發，將使得實現2050年淨零排放變得更加困難。

4.2 CCUS是全球能源系統去碳關鍵支柱之一

要在2050年實現淨零排放，需要廣泛的政策方法與技術，全球能源系統去碳的關鍵支柱包含能源效率、行為改變、電氣化、再生能源、氫與氫基燃料、生質能與CCUS等。到2030年之後，能源效率、太陽能與風能將減少約一半的二氧化碳排放量，然而電氣化、CCUS與氫能將在2030年之後逐步增加減排的幅度。同時在其他燃料轉換部分，亦有少許增加減排的效益，未來將從燃煤以及石油等化石燃料，轉為應用天然氣、核能、水力、地熱、太陽能或海洋能等其他替代燃料(如圖3)。

CCUS可透過下列4種方式邁向淨零排放：(1)解決現有設備之二氧化碳排放問題；(2)提供對於減碳最具挑戰性的產業解決二氧化碳排放的方法；(3)提供具有成本效益的方式快速擴大低碳氫的生產；(4)透過生質能源與碳捕捉與儲存(Bio-Energy with Carbon Capture and Storage, BECCS)與DACCS去除大氣中的二氧化碳。但



註：「活動」係指能源服務需求因經濟與人口成長而發生變化；「行為」係指用戶決策導致的能源服務需求變化；「避免需求」係指能源服務需求因技術發展而發生變化。

圖3 2020-2050年淨零排放情境減排之減緩措施

資料來源：IEA (2021). Net Zero by 2050- A Roadmap for the Global Energy Sector.

各種方式技術成熟度不一，影響遠程與近程布局。IEA (2021)淨零排放情境中，建議政府政策應有相關支持的措施，以期建立CCUS投資市場，並鼓勵氫及生質燃料生產的工廠、工業區以及現有燃煤電廠進行改造，共享二氧化碳運輸與封存的基礎設施。

透過目前正在開發的CCUS技術，IEA (2021)預期未來五年內每年約4,000萬噸二氧化碳捕捉量將逐年略微增加，並隨著政府政策推動CCUS行動計畫成果，接下來25年內的捕捉量將快速擴大。到2030年，全球每年二氧化碳捕捉量達16億噸，到2050年二氧化碳捕捉量將增加到76億噸，其中從化石能源與製程捕捉二氧化碳高達約52億噸，而捕捉後的二氧化碳總量中約95%為永久性地質封存，5%用於合成燃料。另外，透過生質能與直接空氣捕捉二氧化碳將達到24億噸，其中19億噸將進行封存，5億噸將用於航空的合成燃料(如圖4)。

在IEA的淨零排放情境中，2050年所捕捉的二氧化碳量，將有近40%來自於工業的能源應用以及工業製程所排放之二氧化碳；20%來自於電力部門，其中主要包括燃煤電廠45%、生質能發電廠40%，以及燃氣電廠15%。其餘

30%來自於燃料轉換，包括製氫、生產生質燃料以及煉油等，以及10%來自於直接空氣捕捉，並且此技術的捕捉量將從2030年9,000萬噸提高至2050年9.85億噸(如表1)。另外，在電力部門方面，目前許多新興工業化國家與開發中國家，近年正如火如荼的興建燃煤電廠，因此未來CCUS技術將為此類國家之減排發揮重要的作用。同時已開發國家的50百萬瓩(GW)燃煤電廠(目前占電廠總數的4%)以及30百萬瓩(GW)燃氣電廠(占電廠總數1%)，將在2030年加裝CCUS設施。而2050年，則要求220百萬瓩(GW)燃煤電廠(占電廠總數約一半)以及170百萬瓩(GW)燃氣電廠(占電廠總數7%)加裝CCUS設施，以推動電廠的淨零轉型。

4.3 CCUS成熟之捕捉與再利用技術

根據全球碳捕捉與封存研究所(Global CCS Institute, GCCSI)在其2021年的《CCS技術準備與成本》(Technology Readiness and Costs of CCS)中指出，目前全球主要運用的碳捕捉技術包括液態溶劑(Liquid Solvent)、固體吸附劑(Solid Adsorbent)、薄膜(Membrane)、固態迴路(Solid-looping)及固有二氧化碳捕捉

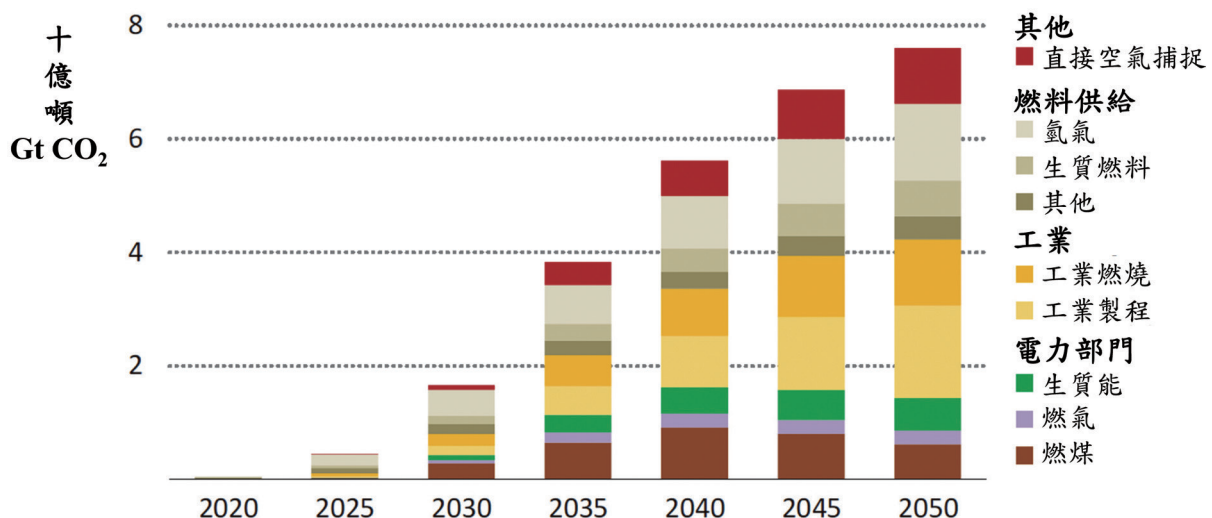


圖4 淨零排放情境下之全球二氧化碳捕捉的來源

資料來源：IEA (2021). Net Zero by 2050- A Roadmap for the Global Energy Sector.

表1 CCUS全球關鍵里程碑

單位：百萬噸二氧化碳

項目	2020年	2030年	2050年
總二氧化碳捕捉量	40	1,670	7,600
化石能源與製程之碳捕捉量	39	1,325	5,245
電力	3	340	860
工業	3	360	2,620
氫能	3	455	1,355
非生質燃料	30	170	410
生質能碳捕捉	1	255	1,380
電力	0	90	570
工業	0	15	180
生質燃料	1	150	625
直接空氣捕捉	0	90	985
移除量	0	70	630

資料來源：IEA (2021). Net Zero by 2050- A Roadmap for the Global Energy Sector.

(Inherent CO₂ Capture)等。其中成熟的技術為液態溶劑、固體吸附劑以及薄膜，技術成熟度(Technology Readiness Level, TRL)已可達到9。其中化學液態溶劑胺吸收過程(包括乙醇胺(Monoethanolamine, MEA)、N-甲基二乙醇胺(Methyldiethanolamine, MDEA)、二乙醇胺(Diethanolamine, DEA)通常可以在煙道排氣(Flue Gas)中回收約90%或以上之二氧化碳。

而碳再利用部分，根據聯合國歐洲經濟委員會(the United Nations Economic Commission for Europe, UNECE)於2021年推出的《技術簡介-碳捕捉利用與封存》(Technology Brief - Carbon Capture, Use and Storage (CCUS))報告中指出，目前主要以二氧化碳為原料生產相關產品，以開發更具經濟與環保的途徑。其中最具潛力的產品為粒料(Aggregate)以及混凝土(Concrete)，全球市場規模可達2兆5,000億美

元。另外，亦可生產甲醇與乙醇等化學品。

5. 臺灣淨零碳排規劃與現況

綜觀國際對於減碳的迫切性，臺灣目前亦正面臨二氧化碳排放過多之問題，尤其能源部門及工業部門已成為現今的碳排大戶，根據經濟部能源局(2023)統計2022年我國初級能源供給結構(如圖5)，化石能源占我國能源總供給的91.15%，其中包括原油及石油、煤炭以及天然氣，這將加重國家溫室氣體減量壓力，而再生能源目前在我國能源供給中僅占3.06%，因此加強低碳或無碳能源發展為重要課題。

而根據2022年電力系統發電結構(如圖6)，臺灣目前仍依靠化石能源進行發電，約占82.4%，其中包括燃煤42.07%、燃氣38.81%以及燃油1.54%，導致電力部門排碳占比高，而

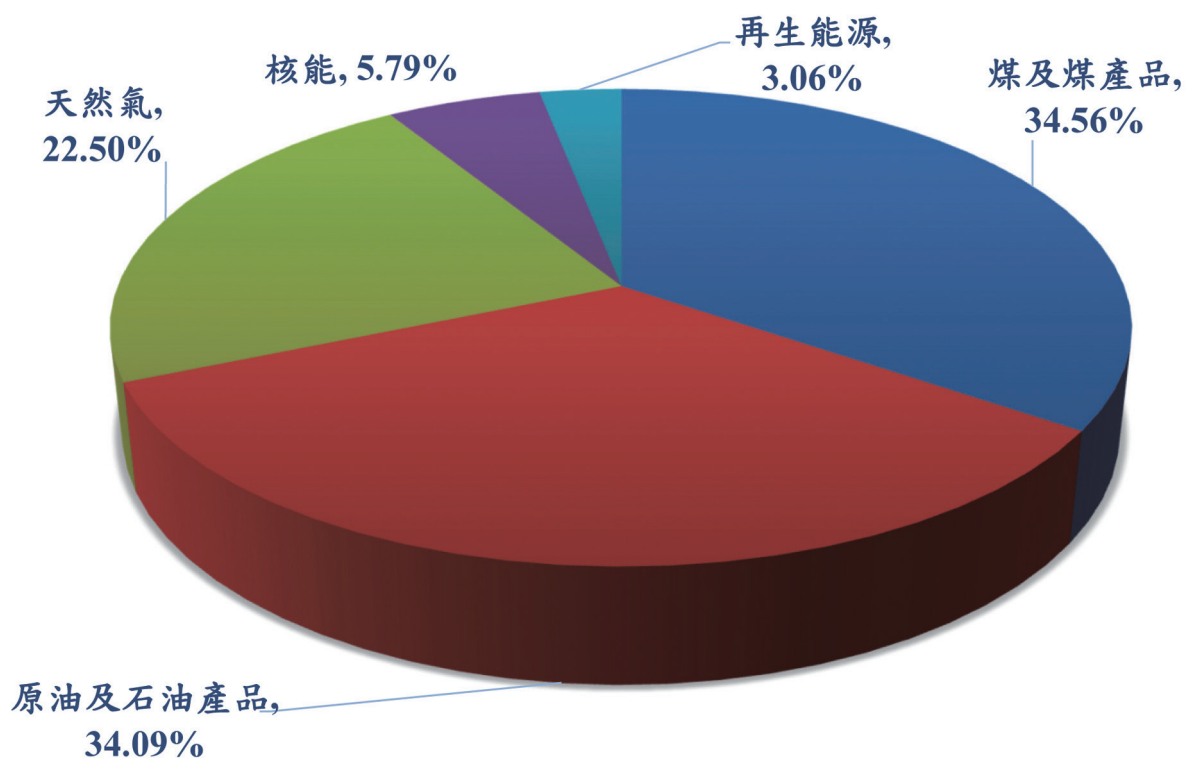


圖5 2022年我國初級能源總供給

資料來源：經濟部能源局能源統計資料，2023年3月1日。

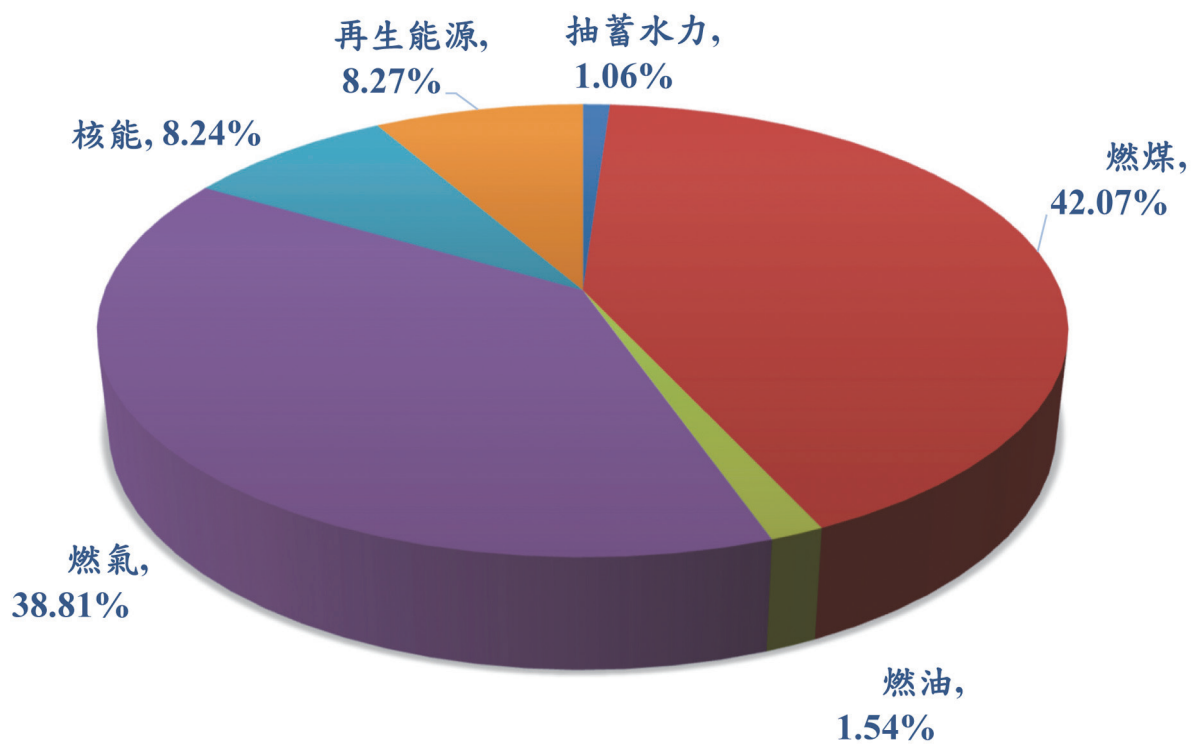


圖6 2022年電力系統發電結構

資料來源：經濟部能源局能源統計資料，2023年3月1日。

再生能源及核能分別占8.27%及8.24% (經濟部能源局，2023)。未來在落實2025年非核家園政策後，我國期望運用再生能源搭配儲能系統，以及精進智慧電網技術，將有機會逐步提高穩定綠電之占比，預計再生能源發電占比能夠提高至20%，但燃氣與燃煤仍將各占50%及30%。針對此一問題，期望在不影響供電安全的情況下，屆時將需搭配運用碳捕捉利用及封存(CCUS)技術及氫能發電，以減少工廠及電廠的二氧化碳排放，同時降低燃煤使用的比例。

此外，臺灣目前除了能源部門及工業部門為碳排大戶外，運輸部門亦是主要的排碳源之一。根據經濟部能源局(2022)公布110年度(2021年)我國燃料燃燒二氧化碳排放統計與分析(如圖7)，運輸部門之二氧化碳排放量占12.7%，僅次於能源以及工業部門。為了因應運輸部門

之碳排放，未來將推動載具電動化及電力無碳化，以有效降低其碳排放。

5.1 臺灣2050年淨零排放路徑

為了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之負面衝擊，臺灣於2022年3月30日由行政院國家發展委員會(以下簡稱國發會)率同行政院環境保護署⁸、經濟部、國家科學及技術委員會(以下簡稱國科會)、交通部及內政部等部會，公布我國「2050淨零排放路徑」(2022a)(如圖8)，並規劃2030年及2050年預期達到的淨零轉型目標。2030年以達到低碳為目標，並針對能源部門先行進行減碳措施，將透過能源轉型、增加綠能，並優先推動風電與光電等較成熟之技術，亦布局地熱與海洋能等前瞻技術研發，同時增加天然氣之

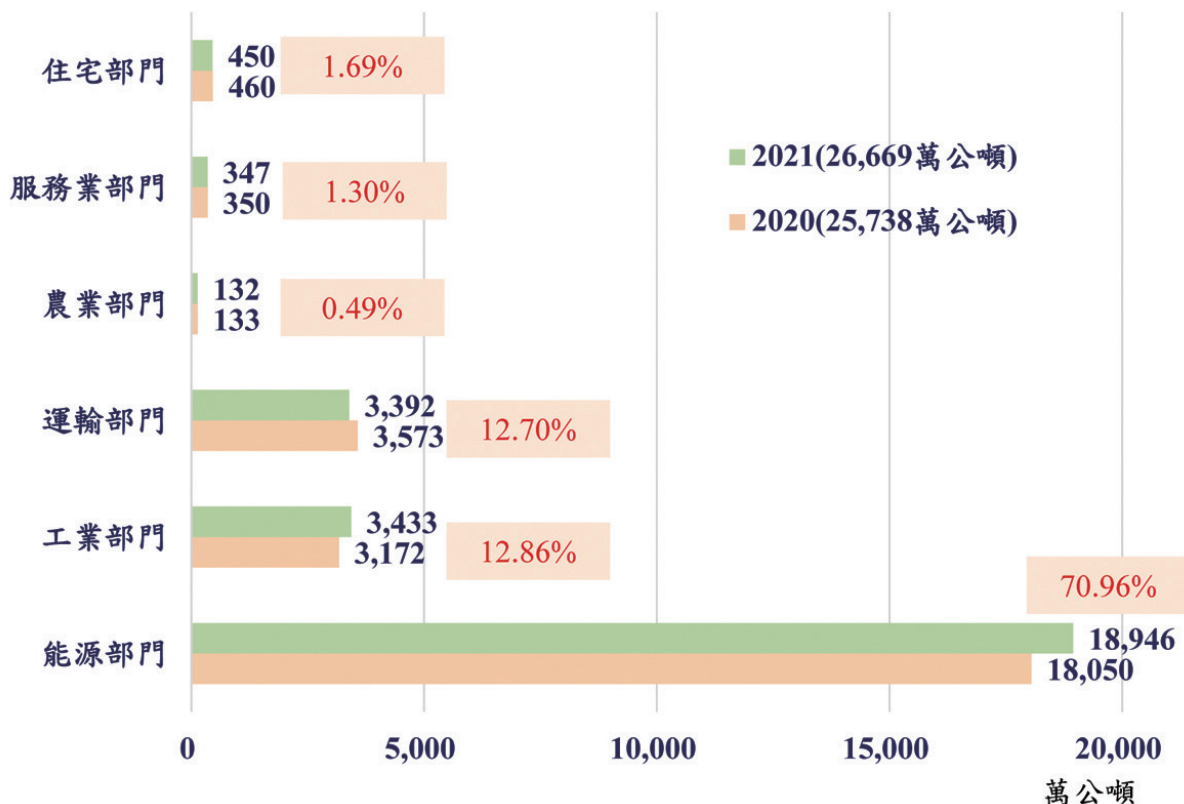


圖7 近2年各部門燃料燃燒二氧化碳直接排放量比較

資料來源：經濟部能源局，2022年9月。110年度我國燃料燃燒二氧化碳排放統計與分析。

⁸ 2023年8月22日升格為環境部，以下同，並簡稱環保署。

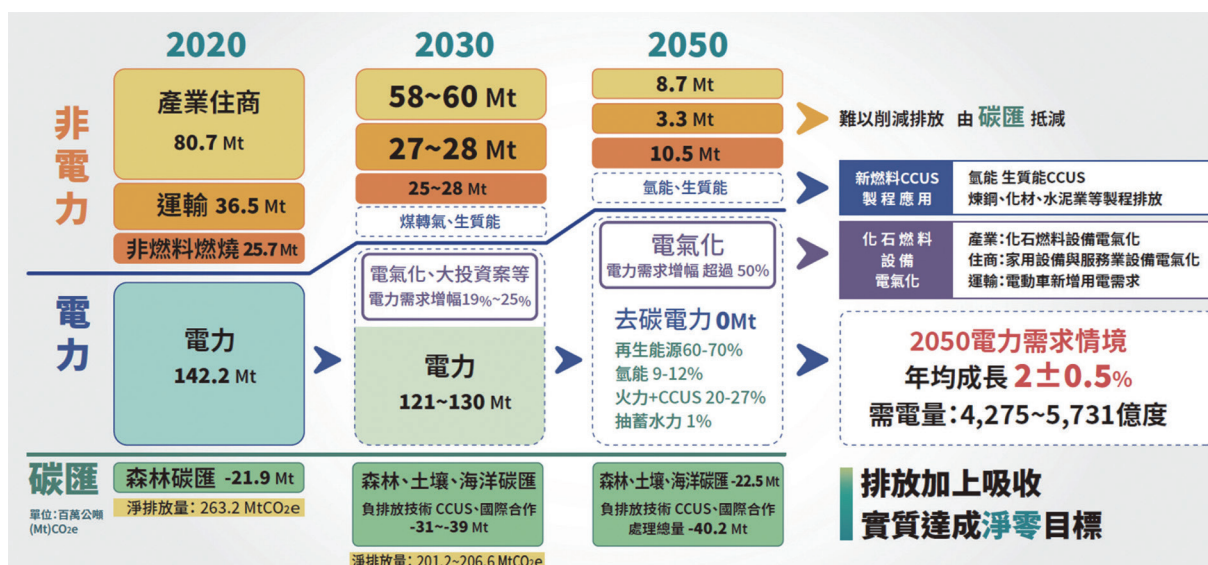


圖8 2050淨零排放規劃

資料來源：行政院國家發展委員會，2022b。臺灣2050淨零排放路徑及策略總說明。

使用，進而降低對燃煤的依賴。而長遠的目標則設定於2050年邁向零碳發展，故規劃將能源部門極大化佈署再生能源，並透過火力電廠搭配CCUS技術或電廠導入氫能發電，以產生零碳電力。而各工業部門之設備、運輸部門以及家用設備皆朝向電氣化邁進，並運用氫能及生質能取代化石燃料，工廠搭配CCUS技術等，同時投入各式創新技術發展，以期達到預定目標。

藉由上述兩階段之規劃，預計2050年我國將達到全面去碳電力使用，在能源供給結構方面，再生能源將達到60%至70%，並搭配氫能占9%至12%，同時若考量能源安全穩定供應情況下，將使火力發電加裝CCUS技術，提供20%至27%的能源，另尚有部份能源來自抽蓄水力(占1%)。另外，亦搭配山林溼地及海洋保育，擴增森林、土壤及海洋等，以協助達成2050淨零排放目標。

儘管全球已有碳捕捉封存應用實例，在國內尚無直接可商業化應用之資源。為求火力發電加裝CCUS達到能源供給20%至27%，根據《臺灣2050淨零轉型「碳捕捉利用及封存」關

鍵戰略行動計畫(核定本)》(以下簡稱「CCUS核定本」)，政府已編列2023至2024年碳捕捉利用及封存關鍵戰略行動計畫預算—包含國科會於技術研發之投入、經濟部在示範驗證投入，以及環保署為完善法規配套之投入。其中，國科會著重在前瞻研究，前期預算尚屬實驗規模；經濟部相對著重於規模性、具經濟效益產能者。俟技術成熟度提高，實際可以大規模推廣使用，經濟部相關預算及民間投資也將投入。因此預算將逐年視技術發展情形及國家整體資源狀況評估投入。環保署將推動包含完備碳封存相關法規架構與管理機制、研議碳封存場址生態與環境影響面、建立負碳技術監測機制及績效認定等工作，以期建立碳捕捉封存評估指引及管理機制。

5.2 臺灣2030年國家自訂貢獻目標

目前我國雖已擬定淨零排放路徑及策略，但仍落後於國際趨勢。根據前述提及的COP 26上所簽署的《格拉斯哥氣候協議》，各國應於2022年底前提出更新檢討2030年NDCs目標，國發會於2022年底於「淨零轉型之階段目標及行

動」的報告中公布臺灣2030年NDC強化目標相較於基準年(2005年)為 $24\pm 1\%$ ，雖然已高於過去《溫室氣體減量及管理法》設定減量20%之目標，但相較於各國提出之NDCs，以亞洲區其他國家為例，日本設定將於2030年減少46%，韓國則為40%，由此可見，我國目標設定仍相對過於保守。

5.3 臺灣之減排挑戰

近幾年臺灣之碳排放量未有下降之趨勢，反而不斷地增加。根據經濟部能源局於2022年發布的110年度(2021年)我國燃料燃燒二氧化碳排放統計與分析，臺灣2019年的二氧化碳排放量為25,882萬公噸，而人均二氧化碳排放量為10.77公噸/人。2021年，二氧化碳排放量增長至26,699萬公噸，而人均二氧化碳排放量更成長至11.38公噸/人。

氣候追蹤(Climate Trace)(2023)運用人工智慧算出全球「最髒」(Dirtiest)的7萬多個排放源，在所特別公布500大排放源中，便有臺灣的臺中發電廠(19名)、麥寮發電廠(36名)、興達發電廠(113名)、中鋼(141名)與林口電廠(151名)等5處上榜。2023年氣候變遷績效指標(Climate Change Performance Index, CCPI 2023)則針對全球63個主要國家之減碳成績進行評比，在前3名從缺之情況下，臺灣名列第57名。從上述資料可說明，臺灣在因應氣候變遷方面的政策訂定仍過於保守，有違淨零趨勢，甚至距離淨零碳排之目標已日益遙遠，政府應盡快執行更積極之措施，使臺灣不落人後。

6. 碳捕捉、封存是臺灣不可迴避之技術選擇

企業淨零策略首要步驟必須準確描繪其經營與產業鏈中之碳足跡，奠基於淨零基線上的數據勾稽與科學管理，通過科學與第三方問責制度，例如透過前揭CDP與RE 100等永續認證獲得公信力。如前揭3.2所述，企業本身無法僅就提高能源效率真正達到淨零，需要達成淨零之解決關鍵是整體再生能源的來源與供應。

6.1 臺灣再生能源未敷企業淨零需求

獲得再生能源的途徑可以是(1)自行購置再生能源設備自行使用⁹；或是(2)與再生能源開發者直接洽購，亦及透過雙邊購售電合約而獲得；另外則是(3)從自由市場獲得。各國國情不同，再生能源發展迥異，企業獲得再生能源途徑之比例亦有所差異。我國《一定契約容量以上之電力用戶應設置再生能源發電設備管理辦法》即規定再生能源義務用戶¹⁰應設置再生能源發電設備、購買再生能源電力及憑證或設置儲能設備擇一或混合方式履行義務，其義務裝置容量為該用戶前一年度平均契約容量之10%，這是以強制方式規範用電大戶的小部分容量。或是《再生能源發電設備設置管理辦法》設置第二型、第三型再生能源發電設備，將所發電能躉售予公用售電業，即躉售予台電公司，或是直供或轉供予電力用戶，價格由買賣雙方議定。上述既有作法對增加再生能源、減少來自傳統化石燃料所發電力有所助益，但畢竟僅占極小的百分比。目前臺灣用電量大的企業如莊昇勳等(2023)所述，多採用簽訂購電合約(Power Purchase Agreements, PPA)及臺灣再生能源憑證(National Renewable Energy Certification, T-REC)所有權的方式達到其綠電目標。經濟部標準檢驗局自2017年推動再生能源憑證制度，迄今我國截至2023年7月，T-REC

⁹ 自行購置再生能源設備自行使用即我國《電業法》之「自用發電設備」使用者。

¹⁰ 指與公用售電業簽訂用電契約，其契約容量達五千瓩以上。

已發放約300萬張，成交張數超過270萬張，但成交筆數1.2萬筆¹¹，絕大多數係由大企業所獲得。再生能源憑證應該是企業仰賴綠電，也應該是大多數企業，包括大多數製造業與服務業，尤其是中小企業所可以獲取再生能源的最便利且最主要途徑。T-REC目前之成果不可謂不豐碩，但T-REC目前之發展僅僅算是仍處於初期規模，遠遠未敷市場眾多且殷切之需要。

6.2 電網無碳化需要CCS及其實踐

更宏觀的增加憑證來源的思維，應是電網無碳化，亦即實現電網去碳。此意謂一系列的具體行動，包括實現商業化無碳電力發電、需求最適化技術布局及技術商業化、開發或支持整合無碳能源的電網基礎設施或技術、開發或採用促進電力部門去碳軟體解決方案(台經社論，2023)，此即是全時無碳能源(24/7 Carbon-Free Energy)之倡議。聯合國「24/7無碳能源契約(24/7 Carbon-free Energy Compact)」所揭櫫者，即「全球需要堅決努力加速世界電力系統之去碳，以緩解氣候變化，並確保人人皆可獲得符合永續發展清潔且負擔得起的電力」。拜登政府亦已訂定2035年實現100%無碳污染電力、2050年實現溫室氣體零排放之目標。所有行動的首要步驟即為商業化無碳電力發電，不僅除了增加風能、太陽能之再生能源來源，亦要將現有燃氣、燃煤之以化石燃料為來源之發電廠實施碳捕捉與封存(CCS)。

根據IPCC於2014年發布之第五次評估報告(Fifth Assessment Report)指出，現行燃氣電廠發電每度碳排放約為490公克，燃煤電廠發電每度碳排放約為820公克，透過導入CCS，若以捕捉率90%計算，可分別減少至大約49公克與82公克二氧化碳排放。相較於風力發電9至37公克，太陽光電約為48公克，即便各種計算全生命週

期之結果仍有差距，CCS已將傳統火力電廠由高碳排轉變為低碳排，與太陽光電、風電相比已有限。所減少之碳排放所產生之電力，應可視為無碳電力(Carbon-Free Electricity)，可以依照其額度計算發行無碳電力憑證(Carbon-Free Electricity Certificate, CFEC)，以補償現有再生能源憑證之不足。

透過CCS可解決燃氣與燃煤等以化石燃料為來源之火力電廠未來發展或去化之問題。因為依照IEA路徑圖建議，至2040年應淘汰未實施減少排放(Unabated)之燃煤電廠(IEA, 2021)。依照台電「全國各火力發電廠簡介」及「長期電源開發規劃，2040年時我國約有24座燃氣機組(其中新設機組11座、既設機組13座)與14座燃煤機組(其中新設機組2座、既設機組12座)(台灣電力公司，2022a；台灣電力公司，2022b)，若未導入碳捕捉與封存技術，只能將燃氣與燃煤機組逕行淘汰，此亦意謂價值數兆之既有資產形同荒置。因此，未來臺灣若要建構去碳能源系統，勢必需導入碳捕捉與封存技術，以達到淨零轉型目標。

6.3 CCS本為淨零藍圖不可迴避之技術

國際再生能源機構(International Renewable Energy Agency, IRENA)《2022世界能源轉型展望》(World Energy Transitions Outlook 2022)認為，為達成2050淨零，需仰賴六大科技共同清除369億噸二氧化碳，包括能源效率貢獻25%、再生能源貢獻25%、電氣化貢獻20%、氫能10%、CCS與BECCS各為6%與14%。

美國能源部2022年《產業去碳路徑圖》(DOE Industrial Decarbonization Roadmap)則指出，儘管去碳三大支柱—能源效率、低碳燃料/原料與能源(Low-Carbon Fuels, Feedstocks, and

¹¹ 2023年7月26日擷取自國家再生能源憑證中心(T-REC) <https://www.trec.org.tw/>。

Energy Sources, LCFES)與電氣化—可較CCUS更快佈署，並且總共可減少40%的目標排放量。然而，這三種方法不足以實現淨零排放。在路線圖模型中，CCUS預料將成為長期減排的最大來源。CCUS對於實現最終的碳減排至關重要，這是透過其他去碳技術及策略所無法實現的。

依照國發會規劃2050淨零排放初步藍圖，如前揭5.1所述，仍需要顧及能源安全使用下，搭配碳捕捉之火力發電20–27%，以達成整體電力供應的去碳化，並搭配CCUS技術，其中封存(CCS)才是大宗且長久之途徑。因此，即使不論再生能源的建置是否及時達成60–70%，即以藍圖目標「2050年加裝CCUS設備之火力發電廠將提供占比20–27%電力」來看，其實也已經直喻若未導入碳捕捉技術則仍無以淨零，亦即眾多企業或各部門眾多單位無法達成淨零。

因此，碳捕捉與封存是臺灣不可迴避之技術選擇，火力電廠需要導入CCS，方能達成淨零目標的完善解決之道。相關技術、法規配套、社會迴響等，亦可根據「CCUS核定本」

以及2022年11月國科會偕同經濟部與環保署舉辦「碳捕捉、利用及封存關鍵戰略社會溝通會議」予以簡短綜整作為標記(國家科學及技術委員會，2022)。

「CCUS核定本」所規劃CCUS目標及推動期程：2030年前「開發低成本二氧化碳捕捉技術」，內容包括「精進產業計有技術，如低溫脫附/長壽命的捕捉劑」、「與高碳排企業及國營事業合作進行二氧化碳捕捉場域驗證」、「協助業者開發最佳系統整合效率，並逐級放大至百萬噸級的產線」，2030年後逐步擴大規模。另外，2025年前完成「碳捕捉技術研發」之「推動化學吸收、鈣迴路技術示範驗證」，2030年前完成「碳捕捉技術研發」之「推動化學吸收、鈣迴路技術示範驗證」。其後亦皆擴大規模，逐步商業化。

除技術研發外，相關法規之配套同等重要。「CCUS核定本」指稱「有關碳捕捉利用及封存係為新興議題，爰現行法規均未予規範，並衍生主管機關疑義」，《氣候變遷因應法》已於2023年1月10日通過，2023年2月15日

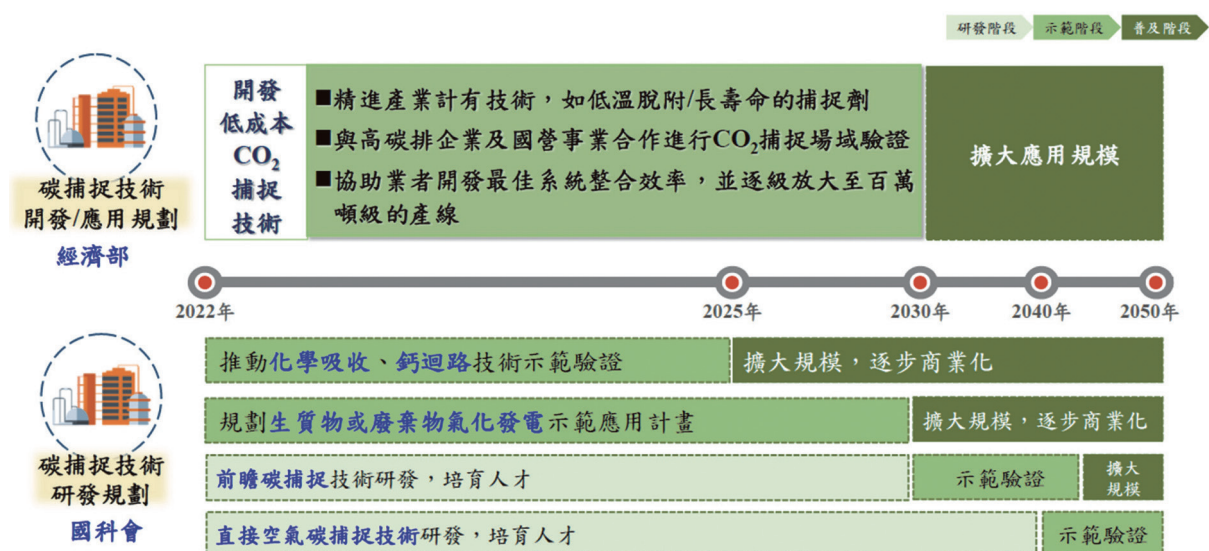


圖9 碳捕捉技術推動架構及工作規劃

資料來源：國科會，2022年2月7日負碳技術工作圈-政策配套第2次研商會議；經濟部(2022)，2050淨零排放路徑關鍵戰略：戰略6碳捕捉利用及封存；國科會彙整。轉引自行政院國家發展委員會(2022c)，「臺灣2050淨零轉型「碳捕捉利用及封存」關鍵戰略行動計畫(核定本)」，p.9。

正式公告，其中明定行政院環境保護署為中央主管機關之權責，且為後續推動相關工作之法源依據」。為使二氧化碳封存能在安全的環境下長期儲存並與大氣隔離，環保署對於場址評估及風險評估、輸送管線安全評估、二氧化碳注儲的量測、監測與驗證等，除須透過本土試驗計畫，以驗證封存的安全性，並取得相關監測數據，將透過修法及相關前置工作推動，逐步建立碳封存技術發展之法規配套制度。「CCUS核定本」並臚列2025年前CCS相關法規與前置工作機制作業期程規劃如表2，以即早因應CCS技術發展之所需。

2022年11月國科會偕同經濟部與環保署舉辦「碳捕捉、利用及封存關鍵戰略社會溝通會議」，可謂近期跨部會對CCUS揭露與溝通活動，也可為未來進程提供部分補充。根據會議表示，在「技術」方面，短期將投入較成熟之碳捕捉技術擴大應用規模、轉化二氧化碳為高附加價值化學品技術精進，及地質封存與監測等基礎調查與評估，長期則與國際同步持續投入前瞻CCUS技術開發。在「產業應用」方

面，將透過國營事業帶頭進行示範驗證，並將經驗及效益擴散至相關產業其他廠商。在「法規」方面，目前環保署已進行跨部會討論並新增CCUS相關條文於《氣候變遷因應法》，後續將依據法案授權，完備國內碳封存相關法規。

6.4 CCS法規環境之發展方向

《氣候變遷因應法》已於2023年1月10日通過，此為國內首次將二氧化碳捕捉後之封存正式立法，之後審查程序、廢止、監測、記錄、申報、管理等辦法，仍待各主管機關進一步訂定。

美國能源部曾為瞭解制訂二氧化碳地質封存法規可行性，委請州際石油暨天然氣協定委員會(The Interstate Oil and Gas Compact Commission, IOGCC)邀集法制與地質專家、相關代表諮詢，並於2002年成立地質二氧化碳封存工作小組(Geological Carbon Sequestration Task Force)。研究議題包括封存技術、政策與法規等，內容涵蓋二氧化碳安全、有效地質

表2 CCS完善法規配套之工作重點期程規劃

工作重點	2023	2024	2025
研議氣候變遷因應法CCS管理子法及相關規範			
研訂CCS測試計畫管理機制			
負碳計畫鼓勵機制與技術驗證機制建立			
碳封存場址環境生態關鍵議題分析			
碳封存場址生態調查與監測指引建立			
碳封存生態調查與監測指引實證基線調查規劃及基線監測資料庫建立			
碳封存監測機制建立			
減碳績效認定機制(三方查驗證機制)			

資料來源：國科會，2022年2月7日負碳技術工作圈-政策配套第2次研商會議；經濟部(2022)，2050淨零排放路徑關鍵戰略：戰略6碳捕捉利用及封存；國科會彙整。轉引自行政院國家發展委員會(2022c)，「臺灣2050淨零轉型「碳捕捉利用及封存」關鍵戰略行動計畫(核定本)」，p.11。

封存、提升油氣回收(Enhanced Oil Recovery, EOR)與長期二氧化碳封存作業等。其指出工作之原則為：

- 周全(Seamless)：建立全生命週期架構，將經濟與環境效益極大化，以提供法規整合性綜覽，並明確識別產業風險參數。
- 簡明(Keep It Simple)：不對新穎事務過度監管。初期應解決最可能發生之情況，並根據經驗修改法規。
- 靈活應變(Flexible and Responsive)：應汲取不斷變化的技術與知識經驗，並非所有計畫可以放諸四海皆準。
- 可行(Doable)：現制法規固有其問題，但大多應可解決。無需在啟用法規前耗盡全力以圖解決所有可及的問題。
- 積極公開(Positive Public Presentation)：二氧化碳地質封存是一種具有經濟與環境效益的解決方案，而非廢棄物問題。

在可見的未來，我國仍有法規、標準、社會共識等工作待齊備，此係一連續進行以不斷完善的過程。CCS在技術與經驗上已有主要國家成功案例可借鑒，而法規與政策推展，亦有IEA之《CCUS法規架構》與各國相關法規可參考，有待各界有關單位秉持開放與周全等原則，朝向淨零目標持續努力。

7. 結論與建議

「2050淨零轉型是全世界的目標，也是臺灣的目標！」¹² 碳捕捉利用及封存是IEA建議的重要淨零路徑之一，也是從化石能源蛻變為清潔能源為主的時代變革中具有代表性之技術路徑。聯合國氣候變化峰會第26次及第27次氣候變遷會議(COP 26、COP 27)分別要求各國在

2050年達到淨零碳排(Net-Zero Emission)目標，並提出至2030年二氧化碳減排45%的目標規劃。我國政府已於2022年3月提出2050年淨零排放目標與路徑，12月再提出2030年NDC強化目標為24±1%，但此目標仍遠低於COP 27所建議45%之減碳目標。不僅如此，2019年至2021年臺灣二氧化碳排放量由2.57億噸增加至2.67億噸，有違減碳趨勢。另一方面，企業面臨的減碳壓力愈來愈大，企業減碳已非僅社會責任或節約成本，實已經面對國際市場客戶強烈要求具體減碳規劃，否則限制業務發展，例如2023年歐盟試行CBAM以及2024年美國推出CCA，眾多企業也受國際RE100客戶(例如：蘋果供應鏈)要求遵守氣候相關財務揭露(TCFD)與科學基礎減量目標倡議(SBTi)等清潔生產之規定，企業界對於爭取無碳能源做為清潔生產的動力，已是普遍接受的共識。

此外，我國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，導致即便近年綠電大幅成長，仍無法滿足業界的強烈需求，目前我國已加入RE100的25家企業之綠電需求量約為330億度，遠高於我國2023年可提供之19.8億度，故在綜合考慮國際2050淨零、我國2022年電力結構以及2025年非核家園政策等面向後，在我國火力電廠加裝CCUS配備即為最有效的減碳與穩定供應電力之手段。目前COP 26已於會議上對全世界燃煤電廠提出必須搭配CCUS配備之要求(Phase-Down of Unabated Coal Power)，且IEA建議2040前各國應淘汰未實施減排之火力發電廠。然而，我國能源部門目前主要有六座燃煤電廠與十二座燃氣電廠，2021年碳排放量約為1.89億公噸，約占全國總排放量的70.96%，故為減少碳排放量以及確保供電問題，應先針對北部燃

¹² 2021年4月22日地球日蔡總統臉書貼文。

煤與燃氣等電廠導入CCUS設備，以提供更多
的無碳電力。

CCUS為IEA提出的多項部門減排路徑之一，也是從化石能源蛻變為清潔能源為主的時代變革中具有代表性之技術路徑。國發會規劃2050淨零排放初步藍圖，亦搭配CCUS技術，以達成整體電力供應的去碳化。在追求2050淨零排放之目標下，建議政府針對我國二氧化碳直接排放占比超過83%的能源部門及工業部門，依照IEA的建議優先採取CCUS減排設施。一方面可將二氧化碳排放量大幅降低，另一方面也可確保電力供應無虞，維持電力、鋼鐵與石化等產業之永續發展，達到經濟繁榮及公正轉型之目標。

參考文獻

- Apple, 2022a。溫室氣體排放管理。Apple供應商行為準則，頁137-140。
- Apple, 2022b。Apple 呼籲全球供應鏈2030年前實現脫碳。<https://www.apple.com/tw/newsroom/2022/10/apple-calls-on-global-supply-chain-to-decarbonize-by-2030/>
- RE 100 (n.d.)。實現全球 100% 綠電革命。<https://www.re100.org.tw/>
- 王茜穎，2022。美國最快2024實施CCA碳關稅，歐盟CBAM也將上路，合計台灣每百美元出口就有21美元將面臨碳關稅規範，哪些產業最該注意？CSR @天下，2023年3月27日取自<https://csr.cw.com.tw/article/42725>
- 公開資訊觀測站，企業ESG資訊揭露，2023年3月27日取自<https://mops.twse.com.tw/mops/web/t214sb02>
- 台經社論，2023。建立支持24/7全時綠電與符合誠信原則的再生能源電能市場。<https://www.tier.org.tw/comment/tiermon1000.aspx?GUID=57c6124e-e99c-4459-a83c-ebc9d303ca62>
- 台灣電力公司，2022a。長期電源開發規劃。2023年3月27日取自<https://www.taipower.com.tw/tc/page.aspx?mid=212&cid=122&ch=260a432c-fc0e-47e0-a90e-2bc0cc52cb61>
- 台灣電力公司，2022b。全國各火力發電廠簡介。2023年3月27日取自<https://www.taipower.com.tw/tc/page.aspx?mid=202&cid=130&cchk=f8fb50ec-6465-4637-a2d6-97c05646ada6>
- 外交部(n.d.)。「聯合國氣候變化綱要公約」(UNFCCC)成立之背景、目的、成員責任及基本原則為何？2023年3月27日取自https://subsite.mofa.gov.tw/igo/News_Content.aspx?n=C60A5AF9E8F638E0&sms=FD69E2823D9785AA&s=0F2AF4C227A2C81C
- 全球碳規範指引(n.d.)。俄羅斯淨零排放政策。2023年3月27日取自<https://netzeropolicy.com.tw/country/%E4%BF%84%E7%BE%85%E6%96%AF/>
- 行政院國家發展委員會，2022a。淨零轉型之階段目標及行動。
- 行政院國家發展委員會，2022b。臺灣2050淨零排放路徑及策略總說明。
- 行政院國家發展委員會，2022c。臺灣2050淨零轉型「碳捕捉利用及封存」關鍵戰略行動計畫(核定本)。
- 林元傑，2019。巴黎協定(Paris Agreement)。彰銀資料(月刊)，第68卷(12期)，頁30-63。
- 莊昇勳、廖佩瑄、林雨璇、莊湘緹、陳秋桑、譚懿靈、林于筑、李亭萱與吳彥緯，2023。綠電市場總整理！台、新企業不可不知道的再生能源趨勢。<https://rsprc.>

- ntu.edu.tw/zh-tw/m01-3/en-trans/1778-2023-green-energy.html
- 倫敦台灣貿易中心，2021。英國減碳政策與計畫。綠色貿易資訊網。https://www.greentrade.org.tw/purchasing_info/%E8%8B%B1%E5%9C%8B%E6%B8%9B%E7%A2%B3%E6%94%BF%E7%AD%96%E8%88%87%E8%A8%88%E7%95%AB
- 孫晉英，2021。從歐盟碳邊境調整機制(CBAM)談我國碳定價之研析，立法院專題研究，2023年3月27日取自<https://www.ly.gov.tw/Pages/Detail.aspx?nodeid=6586&pid=214805>
- 經濟部能源局，2022。110年度我國燃料燃燒二氧化碳排放統計與分析。2023年3月27日取自https://www.moeaboe.gov.tw/ecw/populace/content/ContentDesc.aspx?menu_id=21909
- 經濟部能源局，2023。電力供需概況。能源統計專區。2023年3月27日取自https://www.esist.org.tw/publication/monthly_detail?Id=12618ab72d
- 鄒敏惠與吳宜靜，2021。歐盟提氣候變遷大計 Fit for 55 草案：社會與經濟的全面轉型(2021)。擁抱低碳世，2023年3月27日取自<http://ddpp.ntu.edu.tw/selected-articles/foreign-news/1387-new-1100721-3.html>
- 綠色和平(Greenpeace)，2021。品牌大廠相繼宣示RE100，臺灣如何應對全球產業「潔淨供應鏈」需求？。https://www.greenpeace.org/taiwan/update/28052/%E5%93%81%E7%89%8C%E5%A4%A7%E5%BB%A0%E7%9B%B8%E7%B9%BC%E5%AE%A3%E7%A4%BAre100%E5%BC%8C%E8%87%BA%E7%81%A3%E5%A6%82%E4%BD%95%E6%87%89%E5%B0%8D%E5%85%A8%E7%90%83%E7%94%A2%E6%A5%AD%E3%80%8C%E6%BD%94/?gclid=CjwKCAiAu5agBhBzEiwAdiR5tMwTRWy9x1cjNcwMIWngNC-m_zAe8Z3VJNQfH1D8urNPY9-IJjE5KxoCCUAQAvD_BwE
- 簡佑庭，2023。淨零排放浪潮下全球金屬加工產業發展趨勢與應用。經濟部技術處。https://www.moea.gov.tw/MNS/doit/bulletin/Bulletin.aspx?kind=4&html=1&menu_id=13553&bull_id=10252
- 國家科學及技術委員會，2022。啟動碳捕捉、利用及封存關鍵戰略社會請益之旅。<https://www.nstc.gov.tw/folksonomy/detail/ede2f796-168b-4093-8f1b-21656531f024?l=ch>
- 日本經濟產業省(METI)，2023。西村經濟產業大臣の閣議後記者会見の概要。<https://www.meti.go.jp/speeches/kaiken/2023/20230606001.html>
- CDP, n.d.. Why disclose as a company. Retrieved March 27, 2023, from <https://www.cdp.net/en/companies-discloser>
- Climate Change Performance Index (CCPI), 2023. CCPI 2023: Ranking and Results, <https://ccpi.org/>
- Climate TRACE, n.d.. Map of Emissions. Retrieved March 27, 2023, from <https://climatetrace.org/map>
- European Parliament, 2023. Parliament backs new rules for sustainable, durable products and no greenwashing. <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20230505IPR85011/parliament-backs-new-rules-for-sustainable-durable-products-and-no-greenwashing>
- Federative Republic of Brazil Paris Agreement

- Nationally Determined Contribution (NDC), 2022. <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/Updated%20-%20First%20NDC%20-%20%20FINAL%20-%20PDF.pdf>
- Global CCS Institute, 2021, Technology Readiness and Costs of CCS. <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2021/03/Technology-Readiness-and-Costs-for-CCS-2021-1.pdf>
- GOV.UK, 2022. COP 26 Presidency Outcomes. <https://www.gov.uk/government/publications/cop26-presidency-outcomes/cop26-presidency-outcomes#cop26-ceo-introduction-and-operating-context>
- Government of Iceland- Ministry for the Environment and Natural Resources, 2021. Update of the Nationally Determined Contribution of Iceland, https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/Iceland_updated_NDC_Submission_Feb_2021.pdf
- IEA, 2020. Energy Technology Perspectives 2020. <https://www.iea.org/reports/putting-co2-to-use>
- IEA, 2023a. Energy Technology Perspectives 2023, <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2023>
- IEA, 2023b. World Energy Investment 2023. <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2023>
- IEA, 2021. Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector, <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- IPCC, 2014. Fifth Assessment Report (AR5 Reports).
- IPCC, n.d.. Global Warming of 1.5°C. Retrieved March 27, 2023, from <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- IRENA, 2022. World Energy Transitions Outlook 2022. <https://www.irena.org/Digital-Report/World-Energy-Transitions-Outlook-2022>
- ISO, 2022. ISO Net Zero Guidelines. <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:iwa:42:ed-1:v1:en>
- J. A. de Chalendar and S. M. Benson., 2019. Why 100% renewable energy is not enough, *Joule*, Vol.3(6), pp.1389-1393.
- Ministry of Economy, Trade and Industry (METI), 2022. Green Growth Strategy Through Achieving Carbon Neutrality in 2050. https://www.meti.go.jp/english/policy/energy_environment/global_warming/ggs2050/index.html
- Net Zero Tracker (beta), n.d.. Retrieved March 27, 2023, from <https://zerotracker.net/>.
- New Climate Institute, 2022. Carbon Market Watch, Corporate Climate Responsibility Monitor 2022.
- OECD, 2003. Policies to Reduce Greenhouse Gas Emissions in Industry -Successful Approaches and Lessons Learned: Workshop Report. <https://www.oecd.org/env/cc/2956442.pdf>
- Paoli and Cullen, 2020. Technical limits for energy conversion efficiency. *Energy*, Volume 192, 1 February 2020, 116228. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116228>
- Fouquet, R , 2011. Long run trends in energy-related external costs. *Ecological Economics*, 70(12): 2380-2389. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2011.07.020
- Switzerland's information necessary for clarity, transparency and understanding in accordance with decision 1/CP.21 of its updated and

- enhanced nationally determined contribution (NDC) under the Paris Agreement (2021–2030), 2021. https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-11/Swiss%20NDC%202021-2030%20incl%20ICTU_0.pdf
- The Guardian, 2021. New Zealand pledges to halve greenhouse gas emissions by 2030. <https://www.theguardian.com/world/2021/oct/31/new-zealand-pledges-to-halve-greenhouse-emissions-by-2030>
- UN Climate Change Conference UK 2021, 2021. COP26 The Glasgow Climate Pact. <https://ukcop26.org/wp-content/uploads/2021/11/COP26-Presidency-Outcomes-The-Climate-Pact.pdf>
- UN Energy, n.d.. 24/7 Carbon-free Energy Compact. Retrieved on July 26 from <https://www.un.org/en/energy-compacts/page/compact-247-carbon-free-energy>
- UNFCCC, 2022. Update of Norway's nationally determined contribution. https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-11/NDC%20Norway_second%20update.pdf
- UNFCCC, n.d.. Conference of the Parties (COP). Retrieved March 27, 2023, from <https://unfccc.int/process/bodies/supreme-bodies/conference-of-the-parties-cop>
- UNFCCC, n.d.. Maintaining a clear intention to keep 1.5°C within reach. Retrieved March 27, 2023, from <https://unfccc.int/maintaining-a-clear-intention-to-keep-15degc-within-reach>
- UNFCCC, n.d.. The Paris Agreement. Retrieved March 27, 2023, from <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>
- United States Department of State and the United States Executive Office of the President, 2021. The Long-Term Strategy of the United States : Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/10/US-Long-Term-Strategy.pdf>
- Department of Economic and Social Affairs United Nations (UN DESA) (2022). UN DESA at UNFCCC/COP27 7–18 November 2022 Sharm el-Sheikh, Egypt -Summary Report. https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/desa_at_cop27_summary_report_13_dec_2022.pdf
- Amazon, n.d.. Driving Climate Solutions. 2023年9月6日取自<https://sustainability.aboutamazon.com/climate-solutions>
- Walmart, 2020. 2020 Regeneration Speech - Doug McMillon, President and CEO, Walmart. https://corporate.walmart.com/media-library/document/2020-regeneration-doug-mcmillon-speech-transcript/_proxyDocument?id=00000174-b6f4-da00-a7fd-ffded3a0000
- 食力，2021年8月1日。挽救全球暖化已不能只減少碳排放！沃爾瑪和亞馬遜預計2040年做到「淨零排放」。 <https://www.foodnext.net/news/newsnation/paper/5470612487>

The Effect of Promoting Carbon Capture and Storage Technology on Taiwan's Net Zero Carbon Emissions

Chunto Tso¹ Ching-Yun Yu² Ying-Jung Chen^{3*} Yeum-Sheng Cheng⁴
Po-Yi Chen⁵ Tzu-Lan Yu⁶ Hsuan-Ju Lin⁷

ABSTRACT

In recent years, climate change has been a major concern for governments and companies worldwide, with many proposing carbon reduction targets and a series of strategies or acts to strengthen their domestic carbon reduction efforts, as well as committing to energy transformation and projects aimed at achieving net zero carbon emissions. According to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the energy sector accounts for about three-quarters of current greenhouse gas emissions and is one of the key contributor to climate change – one of the greatest challenge humanity faces this century. Therefore, the Paris Agreement adopted by the United Nations Climate Change Conference, sets the goal of limiting global warming to below 2°C, and seeking to limit the temperature increase to 1.5°C. This target will require countries and companies to thoroughly transform their production, transportation, and consumption of energy, while facing a series of international laws and initiatives to strengthen emission reduction efforts, which will increase the pressure on businesses to reduce their carbon footprint. The Taiwan government also proposed the phased goals and actions toward net-zero transition in 2022. In the 2050 Net-Zero Emission plan, negative emission technologies are planned to enter the demonstration and at scale stages by 2030 and 2050, respectively. In addition, milestones are set for the installation of CCS in coal and gas-fired power plants. Through the promotion of CCS technology, Taiwan not only greatly reduces CO₂ emissions, but also ensures a safe power supply, maintains the sustainable development of power, steel and petrochemical industries, and ignites economic prosperity and energy transformation.

Keywords: Net Zero Emissions (NZE), Energy Transition, Pathway to Net Zero, Carbon Capture, Storage and Utilization.

¹ Research Fellow, Vice President, Taiwan Institute of Economic Research.

² Associate Research Fellow, Deputy Director, Research Division 1, Taiwan Institute of Economic Research.

³ Assistant Research Fellow, Deputy Chief, Research Division 1, Taiwan Institute of Economic Research.

⁴ Assistant Research Fellow, Research Division 1, Taiwan Institute of Economic Research.

⁵ Assistant Research Fellow, Research Division 1, Taiwan Institute of Economic Research.

⁶ Assistant Research Fellow, Research Division 1, Taiwan Institute of Economic Research.

⁷ Assistant Research Fellow, Research Division 1, Taiwan Institute of Economic Research.

*Corresponding Author, Phone: +886-2-2586-5000 #991, E-mail: d32165@tier.org.tw

Received Date: May 09, 2023

Revised Date: July 18, 2023

Accepted Date: August 16, 2023