

淨零排放之發展歷程與關鍵啟示

中央銀行

經濟研究處

馬雲龍、翁明祥

115 年 6 月

本文所有論點皆屬作者意見，不代表中央銀行及作者服務單位之立場。

摘 要

全球淨零排放路徑之確立，係科學實證與法治框架交互構建之結果。自 1988 年 IPCC 成立後，氣候變遷之嚴峻漸受國際重視，隨後於 1992 年《聯合國氣候變化綱要公約》(UNFCCC) 確立穩定大氣溫室氣體濃度之目標。雖 1997 年《京都議定書》之強制減排囿於各國利益分歧而告吹，但其建立之跨國合作機制已成為全球碳交易之重要啟發。

2015 年《巴黎協定》標誌氣候治理責任之轉向，各國藉「國家自主貢獻」，致力將升溫控制在 1.5°C 內。2018 年《全球暖化 1.5°C 特別報告》對淨零時間表之確立，進一步促成各國將目標法制化。2021 年 COP26 通過《巴黎協定》第六條，更為全球碳交易市場之統整提供制度性解決方案。

目前主要經濟體淨零排放採補貼引導、機制驅動與結構轉型等三種典型路徑。美國以《通膨削減法案》(Inflation Reduction Act, IRA) 為核心，透過財政補貼與稅收抵免激發本土潔淨能源技術競爭力。相較之下，歐盟採取以排放交易體系 (EU ETS) 為主之強制性立法，輔以碳邊境調整機制 (CBAM) 對高碳進口產品徵稅，防止碳洩漏並建立全球綠色貿易新準則。

在亞洲區域，中國由碳強度控制轉向總量與強度並重之「雙控制度」，展現其強大行政動員力，然電力結構對煤炭之依賴仍是轉型重大挑戰。日韓兩國則呈現高度技術導向特徵，日本強調核能與再生能源並行之穩定電力架構，韓國則側重產業技術創新與 ETS 有償分配深化，惟兩國均須面對高耗能產業轉型對社會與經濟之衝擊。

我國於 2022 年公布「臺灣 2050 淨零排放路徑」，構築能源、產業、生活與社會四大轉型策略。能源方面，規劃將再生能源占比提升至六成以上，並整合氫能與 CCUS 技術以達成電力淨零。監管部分則依據《氣候變遷因應法》，於 2026 年開徵碳費，採碳費先行，透過自主減量計畫與優惠費率誘導企業轉型，最終銜接總量管制交易制度。

為達淨零排放目標，主要透過科技創新、企業轉型及消費者行為的改變，

其中，科技創新是達成淨零排放之關鍵，且占比最高之電力部門尤為重要。IEA 預估 2050 年全球再生能源發電需達九成，其中主要之太陽能與風能發電，當前研發重點聚焦於突破矽電池轉換效率，及推動浮動式離岸風電技術，另為彌補兩者發電之間歇性限制，增強型地熱系統與氫能儲能技術之研發成為強化供電韌性之解方。

其次，企業端淨零轉型已超越其本體而轉向範疇三之全面管理。企業須藉數位化工具強化供應鏈透明度，減少無謂浪費。針對難減排產業，應透過跨領域策略聯盟與區域淨零聚落等策略，藉由資源循環利用與技術、風險共擔，降低轉型成本。此類由領銜企業驅動、公私夥伴關係共構之生態系統，是產業在淨零目標下維持競爭力之必然途徑。

最後，消費者行為端改變能有效減緩對低碳技術依賴之壓力，例如提高植物性飲食占比並減少浪費、推動永續時尚與回收系統、家庭能源智慧管理，以及倡導主動出行與縮減非必要飛航等。然而，縱然大多數民眾願為減緩全球暖化而付出更多努力，但行為改變仍需碳定價機制與法令引導，將永續價值轉化為生活新常態，並確保轉型過程之社會公平。

目 錄

一、全球淨零排放發展歷程.....	1
(一) 淨零概念之科學起源與確立 (1988 年至 2018 年)	1
(二) 自願承諾到立法目標之演進 (2019 年迄今)	3
(三) 國際機構擘劃淨零路徑與警示	6
(四) 全球氣候治理之結構性挑戰	10
二、主要國家淨零排放趨勢.....	15
(一) 美國：財政補貼驅動之淨零轉型	16
(二) 歐盟：全球氣候治理之領導典範	20
(三) 中國：碳強度控制邁向總量管制	25
(四) 日本：淨零目標入法與綠色轉型	30
(五) 韓國：高碳密集產業下之綠色新政	35
(六) 全球淨零競合之開端	39
三、我國之主要政策與規範.....	41
(一) 減碳政策目標與淨零轉型策略	41
(二) 碳定價與碳費 (稅) 政策	46
(三) 碳盤查與碳揭露政策	47
四、淨零排放之驅動與走向	50
(一) 能源供給之科技驅動因素	50
(二) 企業淨零轉型策略與發展	59
(三) 消費行為改變之終端效果	72
五、總結與建議.....	82
(一) 總結	82
(二) 建議	87
參考文獻	90

一、全球淨零排放發展歷程

（一）淨零概念之科學起源與確立（1988 年至 2018 年）

1. 聯合國氣候變遷綱要公約之奠基

80 年代末期，全球開始意識到氣候變遷之威脅，聯合國遂於 1988 年成立負責評估氣候變遷相關科學證據之「國際氣候變遷專門委員會」（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC），嗣於 1990 年決議設立「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/FCCCINC），該委員會於 1992 年聯合國大會上提出並通過《聯合國氣候變化綱要公約》（United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC），公約目的係「將大氣中溫室氣體濃度穩定在一個水平，以防止人類活動對氣候造成危險之干擾」，其後於 1994 年 3 月正式生效。公約生效隔年，每年召開一次「締約國會議」（Conference of the Parties, COP），以檢視 UNFCCC 執行狀況、更新政策指引與科學依據，並就後續行動方向達成共識。

2. 《京都議定書》對碳交易機制之啟發（1997 年）

1997 年，京都舉辦之締約國會議（COP3）所簽訂《京都議定書》（Kyoto Protocol）¹，目標在於「將大氣中溫室氣體含量穩定維持某適當水準，以保證生態系統之平滑適應、食物之安全生產和經濟之永續發展」。

另為補充各國境內減量行動不足，該議定書建立三種跨國合作之「京都機制」（Kyoto Mechanisms）：已開發國家間相互投資減量計畫並轉讓減量成果之「共同執行」（Joint Implementation）；已開發國家間買賣排放權之「國際排放交易」（Emission Trading）；允許已開發國家至開發中國家進行減碳投資，並取得可抵換國家減量承諾之認

¹ 該議定書雖於 90 年代末期即已通過，但基於生效條件須達到 55 個並占全球排放量 55% 以上之締約國簽署同意門檻，而遲至 2005 年俄羅斯同意後，才達到標準並正式生效。

證減量額度 (Certified Emission Reductions, CERs) 之「清潔發展機制」 (Clean Development Mechanism, CDM)。

《京都議定書》雖要求主要排放國家 (多為已開發國家) 各自減少 5% 以上之碳排放 (以 1990 年排放量為基礎)，惟美國及中國等排放大國並未同意執行²，加以其他參與國之執行成果不如預期，各國便轉而重新規劃新溫室氣體減量協議，使得 2015 年 11 月 30 日於法國巴黎所舉辦 COP21 作成之《巴黎協定》 (Paris Agreement)，成為承接《京都議定書》而具約束力之國際溫室氣體減量協定。

3. 《巴黎協定》設定全球共同目標 (2015 年)

《巴黎協定》設定了全球共同努力之目標：「將全球平均溫度至本世紀末之升幅，控制在低於 2°C (相對於工業化前水準)，並致力將溫度升幅限制在 1.5°C 內，使世界避免氣候變化帶來之危險影響」，此目標之設定，將科學界限轉化為政治共識。該協定自 2021 年起生效，為首次聯合所有國家，對影響氣候之行為具法律約束力之國際協定。

《巴黎協定》要求各國提交「國家自主貢獻」 (National Determined Contribution, NDC) 目標，且每 5 年檢視進展並更新，以強化減碳意志與透明度。然而，美國及中國在協定過程中表現出與對《京都議定書》截然不同之態度，積極參與談判而未迴避，顯示該協定之研議獲得廣泛認同及參與意願³。此外，為擴大全球溫室氣體減量之著力點，該協定開始將減量對象擴展到開發中國家，同時強調必須考量其「經濟發展」與「糧食安全」等問題，且應提供充足之資金與技術，以維護開發中國家權益，進而提升其參與淨零排放之意願。

² 美國認為《京都議定書》減量目標及「共同但有區別之責任」減量原則對美國不公平，會嚴重傷害美國經濟，且因協議並未要求中國和印度等發展中大國減少 CO₂ 排放量，因此，美國便於 2001 年退出《京都議定書》。此外，加拿大亦於 2012 年正式退出。

³ 川普於 2017 年首次宣布退出《巴黎協定》，惟受限於 2016 年生效之協議限制成員國 3 年內不得退出，及任何要退出國家都應在正式通知聯合國 1 年後才生效等規定，使美國到 2020 年，川普首任總統任期尾聲才正式退出。而川普已在第二任期之 2025 年初再度簽署美國將二度退出《巴黎協定》之行政命令。

4. IPCC 1.5°C特別報告之關鍵確立（2018 年）

《巴黎協定》將淨零之科學界限轉化為政治共識後，2018 年 10 月 IPCC 發表專門評估將升溫限制在 1.5°C 內可行性及影響之《全球暖化 1.5°C 特別報告》(SR15)，開啟淨零時間表之確立，以回應 COP21 之決議。該報告指出，應在 2030 年達到比 2010 年減少 45% 之碳排放量，並於 2050 年達到淨零排放之要求，方能實現將升溫控制在 1.5°C 以內之目標。

SR15 利用多種模型分析升溫限制在 1.5°C 目標之路徑，並警示全球暖化速度已超越人類掌控，1.5°C 與各國在《巴黎協定》所承諾 2°C 間之差異，對於數百萬人之家園、工作及生命至關重要，急切呼籲決策者需在社會各層面推動快速有效之變革。SR15 發布將「淨零」概念設定清晰、科學支持之目標（1.5°C）及時間表（2050 年），從而開啟全球淨零轉型時代。

（二）自願承諾到立法目標之演進（2019 年迄今）

IPCC 報告確立時間表後，國際社會迅即將淨零排放納入國家層面之政策及法規。

1. 歐盟之先導與立法（2019 年-2021 年）

歐盟是將淨零目標法律化之先行者，在全球氣候治理中扮演領導者角色。2019 年，歐盟提出《歐洲綠色新政》（The European Green Deal），以永續發展與人民福祉為公共政策核心，期能帶動歐盟轉型為公平包容、低碳永續、繁榮競爭之新經濟體，並承諾到 2050 年成為全球第一個氣候中和（Climate Neutrality）之大陸⁴。

嗣後歐盟於 2020 年 3 月提出《歐洲氣候法》（European Climate Law），亦將 2050 年氣候中和目標寫入法律，並將 2030 年之溫室氣

⁴ 王彬墀。周麗芳。盧芬絹(2022), 「2050 淨零排放新思維解析《歐洲綠色新政》」, 科學月刊, 487 期, 7 月 15 日。

體減排目標從 40%提高到至少 55%（相較於 1990 年）。藉此宣示其氣候中和之決心，並設定明確之淨零目標與路徑，要求所有歐盟政策與產業行為皆須遵循。

2. 亞洲大國與美國之加入

在歐盟引領下，全球主要排放國紛紛承諾淨零目標，擴展了淨零承諾覆蓋之全球經濟體：

- 中國：2020 年 9 月，中國在聯合國大會上宣布，力爭 2060 年前實現碳中和（Carbon Neutrality）。
- 美國：儘管政策有所反覆，但拜登政府在 2021 年 4 月之世界地球日全球領袖氣候峰會上，宣布致力於 2050 年達成淨零排放。
- 全球覆蓋率：根據 Net Zero Tracker 之數據，宣示淨零排放目標之國家涵蓋全球 GDP，已從 2019 年之 16%大幅提升至 2025 年 9 月之 77%，全球已有 137 個國家宣示淨零目標⁵。

3. COP26 對全球碳交易體系與減煤議題之奠基（2021 年）

(1)強化承諾與透明度

2021 年於蘇格蘭格拉斯哥舉行之 COP26 中，經過激烈爭辯和談判後達成協議，約 200 個國家共同簽署格拉斯哥氣候公約 (Glasgow Climate Pact)，重申將全球氣溫升幅限制在 1.5°C 之承諾，並呼籲各國提高其 NDC 目標，這項公約使淨零排放正式成為國際共識焦點。然而，對於協議過程所呈現之「利益、矛盾及政治意願衝突」，聯合國秘書長 Antonio Guterres 表示：「未來各國必須加速行動，否則毫無達成淨零目標之機會」。

(2)碳排放交易市場之轉型與整合

⁵ 美國聯邦政府的退出，使全球淨零排放覆蓋率從佔 GDP 之 93%下降到 77%。然而，美國仍有 19 個州堅持履行承諾，若將這些州級目標納入，全球覆蓋率將達到 GDP 之 83%。此外，在統計之 198 個國家和區域政府中，有 137 個（包括歐盟和台灣）已設定淨零排放目標。

COP26 中一項重大進展為《巴黎協定》第六條之通過，此條款目的在於建立全球碳排放交易體系，由市場機制推動減排以達成全球氣候目標。內容規劃建立全球適用之碳市場機制，讓各國或企業在自身減排成本過高時，可購買其他國家或減量計畫之「碳權」進行抵消，亦可藉由資助開發中國家減排取得額度，從而以較低成本履行 NDC 承諾，並促進資金與技術之流動。由於涉及各國經濟利益和高技術門檻，第六條之執行內容歷經數屆 COP 大會仍無法達成共識，直到 COP26 終取得一致，也為全球碳交易市場開創新里程碑。

1997 年之《京都議定書》雖已規劃碳排放交易原則，將碳市場區分為遵約市場（針對國家減排承諾）與自願性碳抵換市場（主要由私部門參與），但其市場機制因已開發與開發中國家責任分配爭議而無法付諸實行。《巴黎協定》第六條通過主要基於三個原因：減排義務擴大至發展中國家；越來越多國際組織要求私部門積極參與；第六條之關鍵條款「國際間可轉讓減緩成果」（Internationally Transferred Mitigation Outcomes, ITMOs）能解決過去減排效益重複計算之爭議，並加強管理自願碳市場⁶。這些因素促使遵約與自願市場之邊界逐漸模糊和重疊（圖 1），進而推動全球碳市場蓬勃發展。

(3)煤炭停用開始受到重視

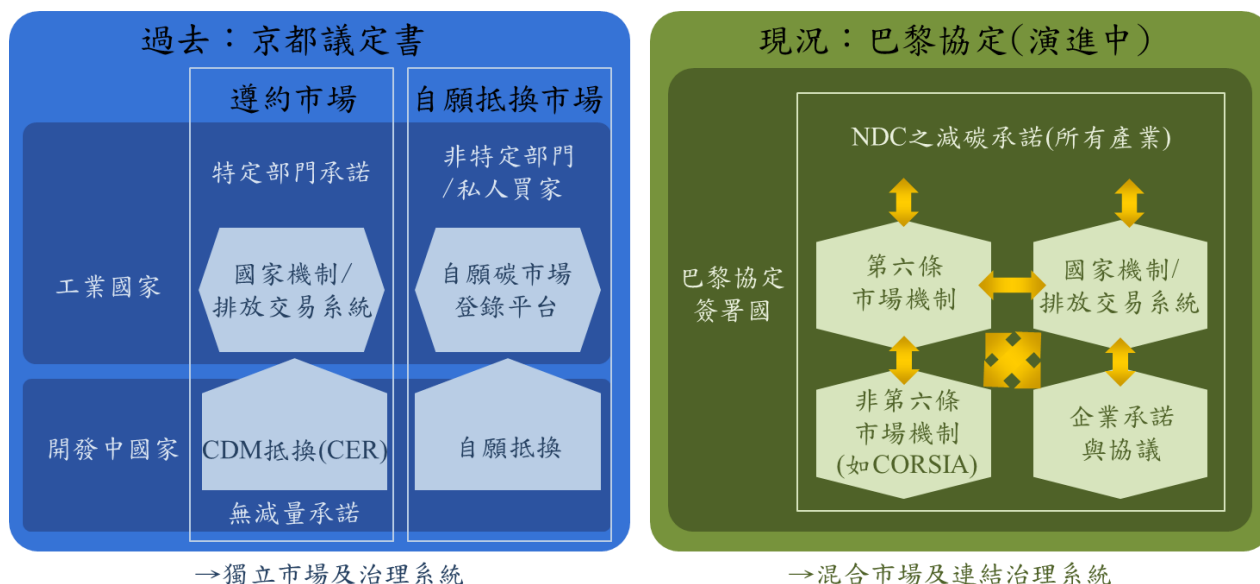
煤炭是全球主要之 CO₂ 排放源，停止使用煤炭也成為 COP26 重要議題，最終雖有 40 多國承諾逐步淘汰燃煤，但部分最大煤炭消費國卻缺席該協議，包括中國和印度（兩國合計消耗全球約 2/3 煤炭）、澳洲（世界第 11 大煤炭消費國和主要出口國），而美國仍有約 1/5 電力來自煤炭，因此也未簽署該協議。儘管如此，本次大會已成為全球探討逐步減少煤炭使用之濫觴⁷。而中國和美國也出人意料地在會中

⁶ 陳芷柔、蕭詠霖、廖佩瑄、莊湘緹(2024), 「巴黎協定是開啟碳市場的大門」, CSRone 永續智庫, January。

⁷ BBC 中文(2021), 「聯合國氣候峰會：COP26 的退煤協議與爭議」, November 5。

發表聯合聲明，承諾未來 10 年加強氣候合作，並就甲烷排放及脫碳等問題商議解決方案⁸。

圖 1 《京都議定書》及《巴黎協定》後碳交易市場環境示意圖



資料來源：Jacqueline Gehrig-Fasel(2021)。

(三) 國際機構擘劃淨零路徑與警示

隨著各國陸續將「淨零排放」納入國家氣候戰略目標，國際機構開始扮演制定該目標路徑之主要角色。由於能源部門是全球溫室氣體排放之最大來源，國際能源總署（International Energy Agency, IEA）和 IPCC 之報告，成為界定轉型要求與行動時程之權威性指引。

1. IEA 之能源轉型路徑圖（2021 年、2023 年）

(1)全球能源系統淨零排放之規畫

IEA 在 2021 年發布《2050 年淨零排放：全球能源部門之路徑圖》（*Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector*），首次為全球能源系統在 2050 年前實現淨零排放提供詳盡之技術、策略與時間表。隨後之 2023 年更新版，則基於最新之國際局勢與技術進展，

⁸ BBC 中文(2021), 「COP26：氣候變遷、淨零排放目標和達到目標的七條路」, November 13.

修訂實現 1.5°C 目標所需之嚴苛路徑⁹（表 1），全球淨零排放至此建立更明確之方向與更細緻之目標。

表 1 IEA 全球能源部門淨零路徑圖要項及變遷

主要項目	2021 年版	2023 年版
低排放電力	電力產業是 CO ₂ 排放最大單一來源： 2030 年前，全球年度潔淨能源 ¹⁰ 投資需增加逾兩倍，約達 4 兆美元。 2050 年，全球近 90% 電力來自再生能源，其中太陽能 and 風能發電合計近 70%。	2030 年，再生能源裝置容量將成長 2 倍（主要由太陽能和風能帶動），核能和其他能源也將成長，低排放能源在發電量占比將從 2022 年之 39% 提高到 71%。 2050 年，低排放能源在發電量占比達 100%。
產生電力之化石燃料	大幅降低化石燃料使用，例如在 2035 年停售新內燃機乘用車，在 2040 年逐步淘汰未減排之燃煤和燃油發電廠。 2040 年，全球電力生產實現淨零，並有望滿足一半能源需求。	2030 年，未經減排之化石燃料發電量將下降 40%。 2050 年將幾乎消失，因發電廠將減少運作、退役、改造為 CCUS 或重新改造為使用低排放燃料。
運輸	2045 年，道路上行駛之絕大多數汽車將使用電力或燃料電池，飛機將主要依賴先進之生物燃料和合成燃料。	2030 年，擴大電氣化和生物燃料之使用以實現道路運輸減碳。 2050 年，電力佔道路運輸能源 3/4。
		2030 年，生物能源、氫氣和氫基燃料在航運和航空能源消耗占比從目前不到 1% 增加至近 15%。 2050 年增加到 80%，並透過行為驅動之方式降低航空需求。
能源效率和行為改變	行為改變，尤其已開發經濟體—例如用步行、騎自行車或公共運輸代替駕車出行，或放棄長途飛行—可貢獻約 4% 之累計減排量。	2030 年，需再加速能源轉型，關鍵在於提高能源效率、改變行為方式和進行燃料轉換，因目前措施僅帶來微弱進展。

資料來源：IEA（2021, 2023）、本文整理。

(2) 實踐路徑圖之挑戰

⁹ IEA(2023), “Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach”, September 26.

¹⁰ 據 IEA 定義，潔淨能源包含再生能源、能源效率、低碳燃料、核能、儲能及碳捕獲與封存。

IEA 路徑圖雖為淨零轉型提供清晰步驟，但執行面臨巨大挑戰：

- 資金與技術轉移：實現此路徑需要大幅增加潔淨能源投資，且必須協助開發中國家獲得充足資金與技術，才能確保全球在合作互惠下同步達標，但極可能受制於開發中國家之政治穩定、市場監理與技術能力等之不足。
- 政治與社會阻力：停止化石燃料投資，對許多依賴能源出口之國家造成巨大衝擊。在經濟與就業深受影響下，轉型將引發政治爭議與社會阻力。
- 技術成熟度：路徑圖依賴尚未達到大規模商業部署之潔淨能源創新領域技術(約占 35%，包括碳捕捉、封存、再利用(Carbon Capture Utilization and Storage, CCUS) 技術及綠色氫能等)，其成本和規模化仍是關鍵難題。

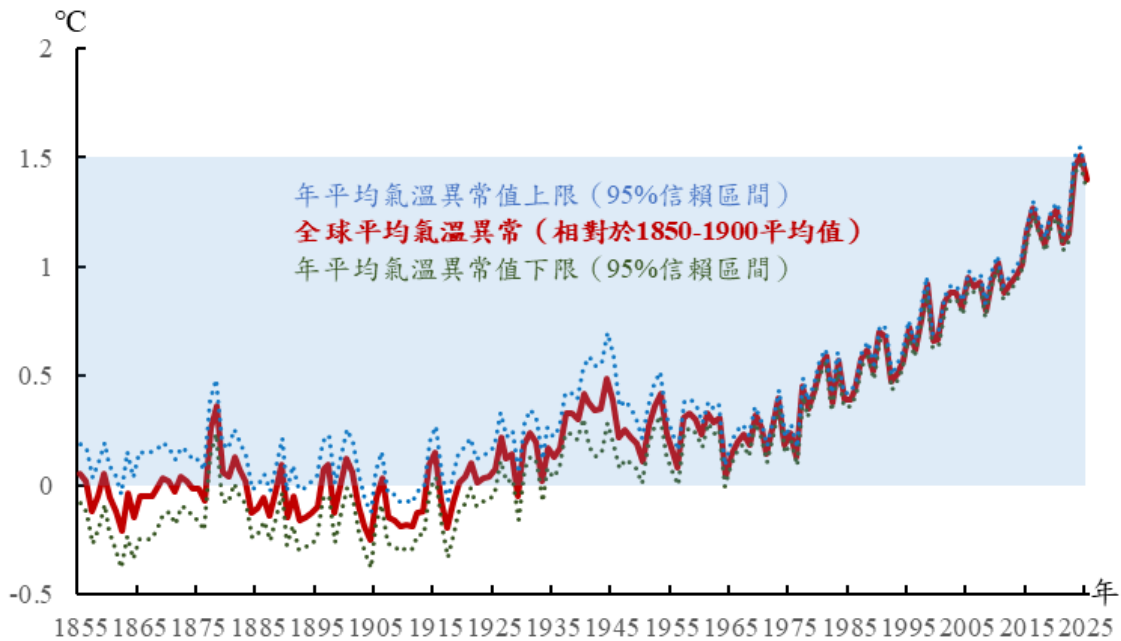
2. IPCC AR6 綜合報告之緊急警示 (2023 年)

IPCC 在 2023 年 3 月發布《第六次評估報告 (AR6) 綜合報告》(AR6 Synthesis Report)，彙整氣候變遷之影響和風險，為全球氣候行動提供具權威之科學資訊。該報告警示減排行動的緊迫性，強調當前減排速度與目標間存在巨大差距，即使達成各國 2021 年宣示之 NDC，21 世紀之升溫也可能超過 1.5°C，甚至很難將升溫限制在 2°C 以內。

(1) 氣候變遷的近程威脅

AR6 報告明確指出，全球氣溫上升在 2021 年至 2040 年間有大於 50% 之機率，將達到或超過 1.5°C (圖 2 之英國氣象局哈德利中心資料顯示，2024 年之全球平均氣溫已較工業化前升高逾 1.5°C)。這項預測將淨零轉型從「長期目標」轉變為「迫在眉睫之近程行動」，並以科學證據表明，任何行動之延遲都將不成比例地增加轉型成本與難度，並衍生更高之氣候風險。

圖 2 全球年平均氣溫異常趨勢（相對於工業化前水準）



資料來源：Met Office Hadley Centre HadCRUT5(2026)。

(2)實現 1.5°C 目標之嚴苛時間表

IPCC 之報告強調，若要將全球升溫控制在 1.5°C 之臨界值內，全球溫室氣體排放必須遵循極為緊迫之時間表：

- 排放峰值：全球溫室氣體排放必須在 2025 年前達到峰值。這一時間點比許多國家既有之承諾更為提前且嚴苛。
- 深度減排：排放量需在 2030 年和 2035 年，分別削減 43% 和 60%（相較於 2019 年水準）。代表必須進行前所未有之深度減排。

IEA 路徑圖為能源部門淨零提供技術性操作指引，而 IPCC AR6 則以科學數據強調更急迫之行動進程。兩份報告共同確立全球淨零轉型須立即終止新化石燃料投資並加速電力系統脫碳，以及 2025 年前達到全球排放峰值之必要。國際社會須儘快將這些科學與技術要求，轉化為具體之國家政策與跨國合作，以應對迫在眉睫之氣候危機。

（四）全球氣候治理之結構性挑戰

1. 淨零實踐之具體作為及誠信問題

隨承諾淨零之國家數量激增，國際社會關注焦點已從「是否承諾」轉向「如何實施」及「承諾之誠信」。截至 2025 年 10 月，全球約有 145 個國家宣布或正在考慮淨零目標，涵蓋全球近 77% 排放量¹¹。然而，淨零目標覆蓋率雖高，各國之規畫質量卻存在著巨大差異，多數目標尚缺乏具體之短中期減排目標和立法約束力。

在實施層面，淨零承諾之誠信度受到廣泛質疑。根據 Climate Action Tracker (CAT) 評估之 41 個國家中，僅少數國家之淨零目標規畫在範圍、架構和透明度方面被評為「可接受」，這些國家之排放量總和僅佔全球之 8%。大多數淨零承諾仍停留在意向 (Intention)，而缺乏具體之實施計劃 (Plan) 及誠信 (Integrity)。

同時，政策制定者傾向依賴未大規模部署之碳移除技術 (Carbon Dioxide Removal)，來抵消殘餘排放或彌補實質減排之不足，此種道德風險 (Moral Hazard) 被視為延遲當前行動之潛在藉口。政策實踐之風險緩解 (如英國在北海油氣上之平衡策略) 與能源安全之權衡，也持續考驗著國家政策之連貫性。

2. 氣候治理之政治分歧與經濟競爭

(1) 全球目標與國家利益之兩難

全球氣候治理機制處於從規範建立 (Norm-Setting) 向實施問責 (Implementation Accountability) 轉變之階段，同時也面臨結構性之地緣政治挑戰。2025 年在巴西舉行之 COP30，於最終協議未能納入化石燃料退出路線圖，突顯出南北國家與資源出口型國家在能源轉型成

¹¹ Climate Action Tracker(2025), “CAT net zero target evaluations”, October 27.

本與效益分配上之深層分歧¹²，更反映實踐全球氣候政策正義基石「公正轉型」（Just Transition）之困境。

與此同時，區域大國正採行多軌並進之策略：歐盟啟動《碳移除與碳農法規》（CRCF），旨在建立跨國碳移除活動之統一監測、報告與驗證（MRV）框架，係從承諾轉向實施誠信之制度創新；英國進一步宣布禁止北海新探勘，卻保留延伸開採以兼顧其國內就業。然而，主要經濟體領導人之缺席（美國、中國及其他約 160 個國家領導人未出席 COP30），顯示 COP 作為最高層次多邊協商平台之政治量能已開始動搖，也浮現氣候治理在國家核心利益前之脆弱性。

(2)綠色經濟競爭展開

能源轉型已從環境議題演變為綠色經濟競爭，尤其體現於再生能源技術領域。世界經濟論壇（World Economic Forum, WEF）指出：儘管全球環境日趨分化，氣候行動進度遲滯，氣候投資仍持續成長。全球綠色經濟市場規模於 2024 年已突破 5 兆美元，是繼科技業後全球最具活力之成長領域，預計到 2030 年將可超過 7 兆美元。

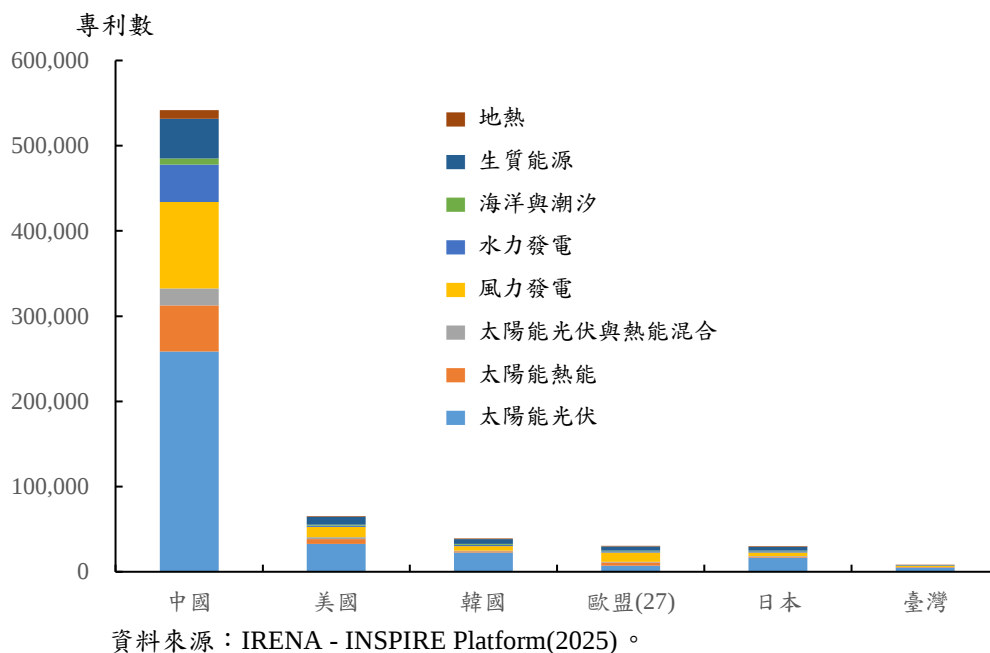
中國再生能源領域之投資規模領先全球，已從 2019 年之 3,720 億美元增加至 2024 年之 6,590 億美元，遠超過歐洲之 4,100 億美元和美國之 3,000 億美元¹³，為其建立太陽能、風能、電動車和先進電池等關鍵技術之主導地位（圖 3），不僅推動國內約 40%之經濟增長（2023 年）¹⁴，更使其在全球供應鏈獲得巨大之超額議價能力。這對歐盟等試圖透過《淨零產業法案》振興本土製造之經濟體構成直接挑戰。

¹² CNN(2025), “World strikes climate deal but fails to agree to a roadmap away from fossil fuels after contentious, chaotic summit”, September 23.

¹³ WEF(2025), “Already a Multi-Trillion-Dollar Market: CEO Guide to Growth in the Green Economy”, December 2.

¹⁴ BBC 中文(2025), 「習近平跟特朗普都不去，COP30 開來還有意義嗎？」, November 11.

圖 3 主要國家再生能源技術專利申請數（2015 年~2024 年）



3. 公正轉型核心理念、挑戰與實踐

「公正轉型」(Just Transition) 起源於 1970 年代之勞工運動，現已演變為氣候行動中確保社會公平之核心框架。其目標在應對氣候變遷及減排措施（如關閉化石燃料電廠）帶來之不對稱衝擊，力求在邁向淨零排放過程中，最大限度減少對勞工與弱勢社區之負面影響，並消弭國際間、世代間及貧富間之不平等。此概念獲得國際社會高度重視，從《巴黎協定》序言納入，COP24 宣言及 COP26 之原則，至 COP28 制定落實工作計畫，公正轉型已與「共同但有區別之責任」(Common But Differentiated Responsibility) 原則相輔相成，成為全球氣候政策不可或缺之正義基石¹⁵。

(1) 公正轉型之正義維度與必要性

公正轉型奠基於三大正義維度：分配正義（確保轉型成本與效益之公平分攤）、程序正義（確保所有利害關係人，特別是勞工和脆弱

¹⁵ LSE(2024), “What is the just transition and what does it mean for climate action?”, February 20.

社區，能實質參與決策）及肯認正義（識別並尊重現存之不公平與特定群體獨特需求）。當前公正轉型為涵蓋所有高碳排產業、社區、消費者及開發中國家之全面社會契約，係為避免特定地區經濟衰退、勞工大規模失業與技能過時。其不僅是道德義務，更是獲取社會支持、降低政治阻力、加速氣候政策實施之關鍵。

(2)公正轉型主要挑戰與風險緩解

公正轉型之實踐面臨多重複雜挑戰，主要集中於資金缺口、時間錯配與治理協調。首先，實現大規模技能再培訓、區域經濟多元化與社會安全網需投入之資金龐大，容易產生資金缺口，且如何公平分攤成本仍存在政治爭議。其次，高碳排工作消失與綠色工作機會新增之間，存在時間與地理錯配，若再培訓不足，可能加劇結構性失業。

此外，治理協調不足是政策實施之關鍵難點。公正轉型須能源、勞工、產業和社會福利等部門全面合作，而跨部門協調之效率不彰，對環境、勞工與產業政策之有效整合形成阻礙。為此，緩解風險之關鍵策略包括建立國家級別之公正轉型委員會與專門基金、透過社會對話平台讓工會和社區實質參與決策，並針對轉型熱點實施預測性技能需求分析與區域經濟多元化戰略，以創造優質綠色工作機會。

(3)策略實踐與前瞻意義

欲成功實踐公正轉型，需要系統性之策略框架。政策制定者必須將公正轉型原則法制化，並優先解決能源價格上漲對低收入家庭造成之能源貧窮問題，透過目標性補助和住宅能效改善保障能源正義。對於受衝擊之勞工，應提供過渡期收入支持及綠色技能培訓。同時，提供信貸與技術諮詢以支持中小企業低碳轉型。總體而言，公正轉型係將氣候行動視為一項包容性之社會經濟工程，透過確保程序透明與分配公平，將轉型挑戰轉化為建構更具韌性、更平等且更永續之全球社會經濟體系之契機。

4. 地緣政治角力使淨零排放演變為複雜賽局

地緣政治衝突所導致化石燃料價格劇烈波動與供應中斷，成為各國強化「能源主權」之關鍵誘因。多位國際領袖與學者指出，傳統化石燃料供應鏈易受地理瓶頸（如荷姆茲海峽）與政治干預所影響，本質較為脆弱。相較之下，潔淨能源具備本土化及難以被「武器化」之特性，能有效提升能源韌性¹⁶。儘管現階段各國仍面臨能源轉型之挑戰，但潔淨能源之優勢，已使能源安全從單純「供應穩定」，轉向以「供應自主」為核心。

然而，由此所推進之能源轉型也因關鍵礦產（如鋰、鈷及稀土等）及其加工產能高度集中於特定國家，形成不同於傳統油氣供應之「新依賴關係」而引發疑慮。為降低相關風險，主要國家紛紛建立本土產業鏈、推行戰略聯盟供應¹⁷及循環經濟¹⁸以強化能源韌性，但也因此使得既有技術專利與加工瓶頸構成之供應鏈碎片化並重組，不僅增加全球轉型之成本與時程，更使淨零排放演變為一場國家安全、貿易保護與氣候行動交織影響之複雜賽局。

¹⁶ Carbon Brief(2026), “Q&A: What does the Iran war mean for the energy transition and climate action?”, March 10.

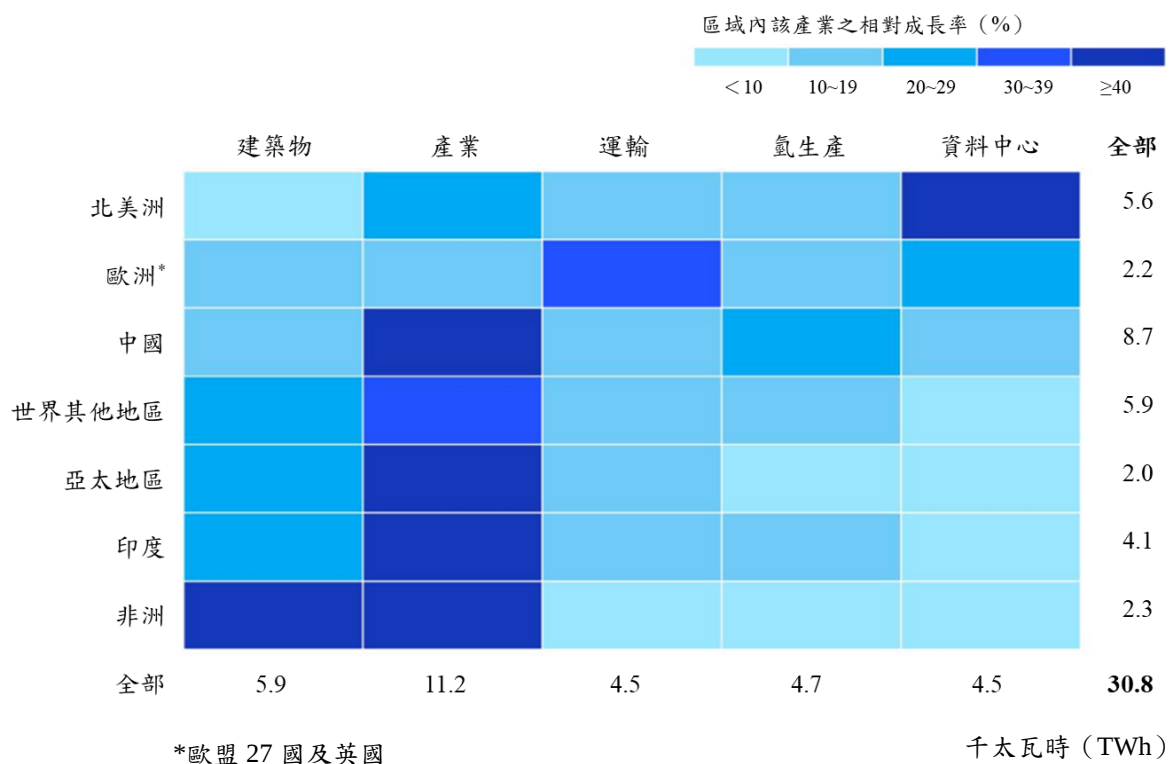
¹⁷ Reuters(2026), “US, Japan to focus rare earths cooperation on select group of minerals at first”, March 20.

¹⁸ European Court of Auditors(2026), “Special Report 04/2026: Critical Raw Materials for the Energy Transition—Not a Rock-Solid Policy”, March 2.

二、主要國家淨零排放趨勢

全球氣候治理已進入「淨零排放」為共同願景之關鍵時代。面對迫切減碳壓力，主要經濟體已形成目標法制化之共識，紛紛承諾具企圖心之 NDC 目標，並將減排承諾寫入國家法律，為長期轉型提供制度保障。然而在實現路徑與政策工具之選擇上，卻因政治型態與能源需求（圖 4）等差異，形成鮮明之治理模式競合與多元減碳路徑。

圖 4 全球電力在維持動能情境下之消耗成長率(2024~2050)



資料來源：Mckinsey(2025)。

美國以 IRA 為核心，樹立「補貼驅動」之市場激勵模式，將氣候行動與本土製造業回流緊密結合，但其政策持續性高度仰賴政治穩定。相較之下，歐盟則透過《Fit for 55》套案與碳定價機制，構建以「強制性立法與邊境調整」為特徵之典範，使碳成本藉全球貿易公平化。中國欲透過完善法律體系、加速能源轉型及產業結構低碳化改造達成淨零目標；日本推行以技術投資為導向之「綠色轉型」與漸進式碳定價；韓國則藉由《碳中和法》深化其排放交易體系。

本章分析此五大經濟體迥異之政策基礎、核心機制、所面臨之挑戰，以及如何在全球競合中確保淨零路徑公平性與實質效力。最終，歸納總結全球淨零政策發展趨勢，並評估其如何共同形塑未來之全球氣候治理格局。

（一）美國：財政補貼驅動之淨零轉型

美國氣候變遷政策，植基於其 NDC 所確立之嚴格減排目標，並以 IRA 確立獨特之轉型路徑。不同於側重行政監管之「總量管制」模式，IRA 主要透過大規模財政激勵和稅收抵免，形成「補貼驅動」之市場機制，旨在快速推動再生能源部署、電動車普及及本土潔淨能源供應鏈之建立。

1.以 IRA 引導市場行為之政策核心

(1)國家自主貢獻

美國氣候承諾體現不同於其他主要經濟體之路徑，NDC 同時包含電力和非二氧化碳溫室氣體減排之具體目標，認為減少甲烷等非二氧化碳溫室氣體排放，是未來幾十年控制全球暖化之最快途徑，同時也能改善公眾健康、增強糧食和能源安全：

- 中期目標（NDC 3.0）：拜登卸任前宣布全新減碳目標，承諾到 2035 年，溫室氣體淨排放量比 2005 年減少 61%至 66%，電力產業 100%為清潔電力，甲烷排放量比 2005 年減少 35%以上¹⁹。
- 長期目標：到 2050 年實現全經濟範圍之溫室氣體淨零排放。

(2)IRA 之角色與機制

美國氣候行動核心 IRA，期能透過大規模財政補貼與稅收抵免引導市場行為，刺激潔淨能源發展：

- 投資規模：約 3,700 億美元用於氣候變遷和潔淨能源領域。

¹⁹ The American Presidency Project(2024), “FACT SHEET: President Biden Sets 2035 Climate Target Aimed at Creating Good-Paying Union Jobs, Reducing Costs for All Americans, and Securing U.S. Leadership in the Clean Energy Economy of the Future”, December 18.

- 主要機制：潔淨能源技術之長期投資稅收抵免（ITC）和生產稅收抵免（PTC）。例如將獨立儲能系統納入 ITC 補貼；中低收入家庭購買美國生產之電動車可享最高 7,500 美元稅收抵免。

- 目標：IRA 有助美國在 2030 年將碳排放量比 2005 年削減 40%。

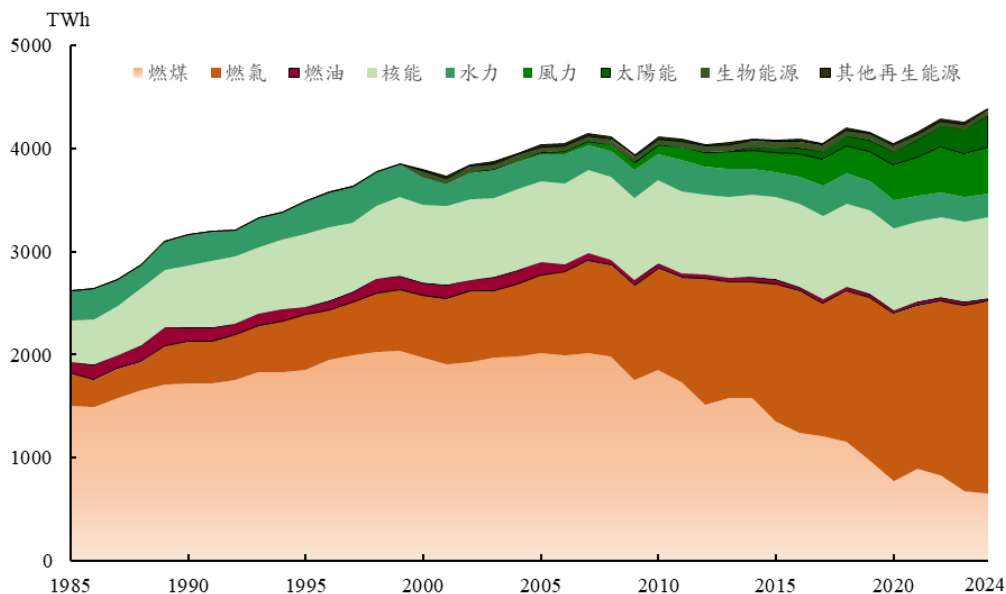
2.以補貼驅動能源轉型與碳定價機制

(1)能源轉型策略

美國能源轉型側重於電力部門快速脫碳與潔淨能源本土化，並結合終端能源使用部門之全面電氣化：

- 供電來源：由 IRA 提供長期、可轉讓之稅收抵免，支持零排放電力技術投資與生產，保障潔淨能源具經濟可行性和投資確定性，並以儲能為關鍵基礎設施。同時，將智慧電網與跨州輸電升級為能源轉型重心，確保電力穩定與調度彈性（圖 5，美國 2024 年太陽能與風能合計占全國發電量之 17%，首次超越燃煤之 15%）。

圖 5 美國電力來源組成趨勢



- 終端應用：透過電動車稅收抵免（IRA）和基礎設施投資（One Big Beautiful Bill Act, OBBBA），加速車輛電氣化，補貼建築用熱泵取代傳統化石燃料鍋爐，逐漸將終端能源使用與清潔電網連結。

- 負排放技術：淨零目標允許存在少量殘餘排放，聯邦政府遂大力支持 CCUS 和直接空氣捕捉（Direct Air Capture, DAC）等負排放技術商業化，其中 45Q 法案稅收抵免（如 DAC 捕捉補助金額最高達 180 美元/噸）為此資本密集型技術提供強勁財政激勵。
- 難減排部門：針對工業製程、重型運輸等難直接電氣化部門，美國著重國家級技術投資與產業鏈創新，策略係將清潔氫能定位為高熱工業、航空和海運之零碳替代燃料。政府通過 IRA 之 45V²⁰ 生產稅收抵免為清潔氫能提供高額補貼，並設立 7 個區域清潔氫能中心，以加速商業化與降低成本，從而創造氫能供需市場。

(2)美國碳排放交易體系

美國碳定價機制與中日韓等國家級體系截然不同，美國缺乏聯邦層級統一之碳定價機制（碳稅或排放交易系統），而是集中在州級或區域性排放交易市場，聯邦政府主要通過 IRA 等大規模補貼和投資，及制定行業監管標準推動減排（表 2）。

表 2 美國碳排放交易體系發展概要階段

階段	時間點	核心機制	特點
區域/州級先行	2009 年至今	區域溫室氣體倡議（Regional Greenhouse Gas Initiative）	涵蓋美國東岸 11 州，主要針對電力業排放。
		加州總量管制與交易（California Cap and Trade）	加州於 2013 年推出之 ETS，涵蓋電力、工業和運輸燃料，是美國最大且最全面之碳市場。
聯邦政府大規模投資	2022 年	《通膨削減法案》（IRA）	聯邦政府投入數千億美元之稅收抵免和補貼，重點在激勵潔淨能源、電動車、氫能、CCUS 等技術國內生產及部署，但不直接實施碳定價。
擬議中之碳邊境調節	提議中	碳邊境調節機制或碳關稅	參議院提出多個對進口和國內生產高碳產品徵收費用法案（如 CCA），以應對歐盟 CBAM 並提升產業競爭力 ²¹ 。

資料來源：本文整理。

²⁰ 該稅收抵免具體規定在《國內稅收法》（Internal Revenue Code）第 45V 節中。

²¹ Onye Dike(2025), “Clean Competition Act (CCA): Carbon Border Adjustment & Emissions Reporting”, Net Zero Compare, June 27.

3. 政策持續性之風險

(1) 政治風險與政策轉向

高度之政治不確定性為美國氣候政策主要問題，政府更迭對政策持續性構成嚴重影響：

- 政治立場調整：美國身為全球第二大排放國，卻因川普政府對氣候變遷抱持懷疑，不僅宣布再次退出《巴黎協定》，更大幅削減相關預算及再生能源計畫，轉向支持化石燃料。此外，儘管許多再生能源項目和投資已在共和黨執政州創造大量就業，使全面廢除 IRA 之機率降低，但政策削減或改革仍有高度可能。
- 聯邦補助生變：共和黨領導人已提出廢除或大幅改革 IRA 之計畫。眾議院 2025 年 7 月通過川普主導之預算法案，提前終止原訂至 2032 年之風能與太陽能稅收抵減、轉向支持核能與化石燃料。聯邦補助退場，再生能源發展將轉由各州政策與需求推動，形成分化之新局勢。也因為美國提前取消聯邦稅收優惠政策以及其他監管調整，導致 IEA 在 2025 年底對美國再生能源市場成長之預期較上年預測下調近 50%²²。
- 貿易保護主義：根據 IEA 估計，中國在全球關鍵再生能源技術與零件之佔比已高達 40%至 98%，因此，美國 2025 年施行之「對等關稅」將大幅推升其再生能源部署成本。此外，鋼鐵與鋁等基礎投入品稅率提高，不僅使再生能源技術之製造成本更高，更使得新建專用工廠及設備成本顯著增加。長期而言，關稅壁壘也將導致逆變器與變壓器等關鍵電力組件供應短缺，在電力需求持續擴張之背景下，恐誘發電網擴建滯後與韌性下降之系統性風險²³，延緩美國達成碳中和目標之進程。

²² IEA(2025), “Global renewable capacity is set to grow strongly, driven by solar PV”, October 07.

²³ CSIS(2025), “The Impacts of Tariffs on Clean Energy Technologies”, April 10.

(2)地方政府行動仍有挑戰

許多州及城市，無論政治立場，都繼續推進潔淨能源和氣候行動，發揮「氣候領導力」（例如許多「煤炭社區」開始轉型成再生能源或綠色製造據點）。然而，川普政府重啟燃煤電廠，削減用於扶植綠能與地方轉型預算（包括稅收抵免與綠色銀行投資基金），且重要政策（如甲烷排放新規定或 IRA 中對本土製造之要求）也可能面臨環保組織或產業利益團體反彈，影響最終實施效果。

4. 小結

美國藉 IRA 建立以市場激勵和產業補貼為核心之減排體系，並將氣候政策與經濟發展、製造業回流和就業創造緊密結合，為實現 2035 年之 NDC 目標奠定基礎。然而，政策之極端兩極化使其持續性高度依賴於未來政治選舉結果。美國是否克服「政治鐘擺效應」，將是決定其能夠在全球氣候治理中保持領導地位之關鍵。

此外，川普政府以 AI 與能源安全為由，支持傳統燃煤與燃氣發電（資料中心為北美未來主要電力消耗來源，見圖 3），長期而言，可能出現「加碼燃煤電力、同時高喊綠能投資」之雙軌政策結構，並影響全球 AI 產業之能源來源與供應鏈。

（二）歐盟：全球氣候治理之領導典範

歐盟在全球氣候治理中扮演領導者角色，其氣候政策以「全面性立法」和「碳定價擴大」為核心，透過《歐洲氣候法》使 2050 年氣候中和目標成為法律，並制定極具企圖心之 2030 年溫室氣體淨排放量減少 55%（較 1990 年）以上之中期目標。

為實現此目標，歐盟推出《Fit for 55》套案，深化歐盟排放交易體系（EU ETS），再引入碳邊境調整機制（Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM），防止「碳洩漏」（Carbon Leakage），並將碳成本公平擴展至進口產品，對全球貿易與供應鏈產生深遠影響。儘管歐盟有許多領先之規畫，但仍面臨能源效率進度落後、成員國政策協調困難，以及擴大碳定價機制對弱勢群體衝擊之社會公平挑戰。

1. 歐盟氣候政策之法律基礎與目標

(1) 《歐洲氣候法》與約束性目標

歐盟氣候行動是建立在具有法律約束力之基礎，透過歐盟執委會（European Commission）於 2020 年提出之《歐洲氣候法》，確立明確之淨零目標與路徑：

- 中期目標：2030 年，溫室氣體淨排放量比 1990 年水準減少 55% 以上。2035 年，溫室氣體淨排放量之減少達 66.25% 至 72.5%²⁴。
- 長期目標：到 2050 年實現氣候中和（淨零排放）。
- 中繼目標：環境部長會議已進一步達成協議，將 2040 年之減排目標設定為較 1990 年水準減少 90%，並允許區域內產業，將目標之 5% 使用國外碳信用進行抵免。

(2) 《Fit for 55》套案

為達成減排目標，歐盟執委會於 2021 年提出一系列綜合性政策：《Fit for 55》套案。該套案涵蓋對氣候、能源、交通、建築、土地利用、碳交易與稅賦等 13 項現有與新增法規之修訂或制定，並將碳定價作為關鍵政策，以及完善 CBAM，驅動經濟和社會之全面轉型。

2. 政策核心機制：碳定價與邊境調整

歐盟藉由兩大政策構建公平競爭環境並加速脫碳進程：EU ETS 採「總量管制與交易」原則，為歐盟碳排放總量設定上限；CBAM 確保進口商品與歐盟本土產品承擔同等碳價，防止企業通過轉移生產規避排放成本。兩者互補運作，可確保碳定價政策之全面性及有效性。此外，規劃 EU ETS2，將碳定價擴展至交通與建築領域，使民生排放與工業排放接受統一監管。政策著重於擴大且深化碳定價機制，係與中國「總量管制」及美國「補貼驅動」兩者最大之差異。

²⁴ 歐盟部長理事會於 2025 年 11 月 5 日針對修訂《歐洲氣候法》達成協議，將增加具約束性之 2040 年中期氣候目標，即相較於 1990 年減少淨溫室氣體排放 90%。同時依據該目標通過更新歐盟及其成員國之 NDC，至 2035 年相較於 1990 年減排 66.25% 至 72.5%。

(1)歐盟排放交易體系

歐盟碳定價體系以 2005 年啟動之 EU ETS 為核心，是全球歷史最悠久、規模最大之碳市場，也是最激進之氣候政策工具，可協助降低歐盟整體排放量，同時創造收入為綠色轉型提供資金（表 3）。

表 3 歐盟碳排放交易體系發展概要階段

階段	時間點	核心機制	特點
學習與準備	2005 年 ~2007 年	EU ETS 第一階段	為期 3 年「邊做邊學」試點，旨在為第二階段做準備。 啟動全球第一個國際排放交易市場，總量寬鬆且碳價極低， 目的在建立監測、報告與驗證（MRV）體系。 僅納入能源、石油冶煉、鋼鐵、水泥及玻璃等產業。 為提高參與意願，歐盟給予較高免費配額，甚至超過排放量。
	2008 年 ~2012 年	EU ETS 第二階段	ETS 中之國家均有具體減排目標。 免費分配比例略下降至約 90%，並根據實際排放量降低排放 配額上限（2008 年之經濟危機導致實際減排量超出預期，造 成排放配額和碳信用額大幅過剩，對碳價格構成沉重壓力）。
正式實施與 擴大改革	2013 年 ~2020 年	EU ETS 第三階段	以歐盟範圍內之「單一排放上限」取代先前各國各自獨立之 排放上限制度。 大幅收緊配額總量，引入拍賣機制，減少免費配額，同時納 入更多產業與氣體。 2019 年啟用「市場穩定儲備」機制，自動穩定碳價。
	2021 年 ~2030 年	Fit for 55 EU ETS 第四階段	將 2030 年減排目標提高到 55%。 ETS 配額每年收緊速度加快，推升碳權價格。 2024 年首次納入海運業，並準備建立獨立之 ETS2。
邊境調節與 制度完善	2023 年 ~2026 年	CBAM 啟 動	高碳洩漏風險產品之進口商須每季向歐盟申報產品碳排放數 據，暫無需繳交 CBAM 憑證，但在 2026 年後須購買 CBAM 憑證以支付與歐盟境內碳價之差額。
	2028 年~	ETS2 啟 動	新建獨立之 ETS 系統，針對建築物、道路交通和其他產業（主 要是現有歐盟 ETS 未涵蓋之小型工業）燃燒產生之碳排放， 建立新的、獨立於現有 ETS 之交易體系（ETS2） ²⁵ ，此為歐 盟首次將碳定價擴展至民生領域，影響更為深遠。

資料來源：本文整理。

²⁵European Commission(2025), “ETS2 Buildings, road transport and additional sectors”, Climate Action.

(2)CBAM 之目的與實施

歐盟是全球首個實施碳邊境調節機制之經濟體，對全球貿易和製造業影響巨大，促使其他國家必須重新審視自身碳定價和減排政策。CBAM 為其應對氣候變遷最具突破性之政策工具，旨在對進口到歐盟之高碳產品徵收碳關稅，以推動歐盟產業去碳化並防止碳洩漏：

- 機制目的：為歐盟製造商建立公平競爭機制，防止歐盟內高碳排產業因嚴格之碳價壓力而外移到環保標準較低之國家。
- 運作模式：要求進口至歐盟之特定高碳排產品（目前涵蓋水泥、鋼鐵、鋁、肥料、電力與氫氣）之進口商，須購買 CBAM 憑證。
- 定價原則：CBAM 憑證價格與 EU ETS 配額市場平均拍賣價格掛鉤，以確保進口與本地產品承擔同等碳成本，體現國民待遇原則。
- 實施時間：2023 年 10 月開始為期三年之過渡期（僅報告排放量，無需繳費）；2026 年正式實施後，進口商需購買憑證繳納碳稅。

(3)跨部門之減排策略

歐盟透過多項指令，以確保減排在非 ETS 部門之落實：

- 再生能源：《再生能源指令》（Renewable Energy Directive）設定歐盟再生能源使用率之目標，力爭到 2030 年，能源結構中之再生能源佔比至少達 42.5%。
- 能源效率：2023 年《能源效率指令》（Energy Efficiency Directive）是《Fit for 55》套案之重要組成，旨在藉提升能源效率推進氣候目標，其中要求公部門每年節省 1.9% 能源消費，並要求所有成員國中央政府每年須對擁有和使用之建築物總面積進行至少 3% 翻新²⁶。

²⁶ European Commission(2023), “New Energy Efficiency Directive published”, Energy, September 20.

3. 面臨之挑戰

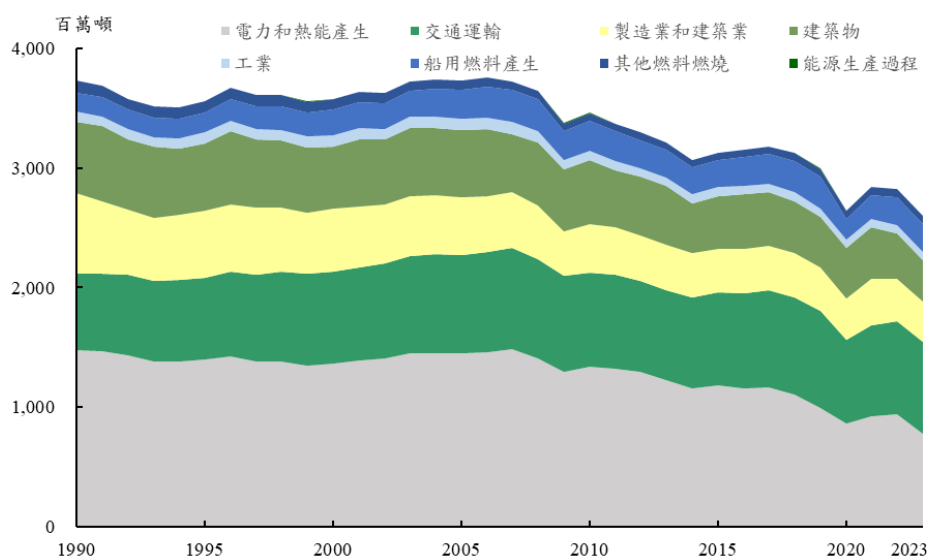
(1)政策分歧與資源差異

儘管歐盟整體目標明確，但 27 個成員國談判過程中，部分目標（如 ETS2 啟動時間、2040 年減排目標之國際碳權使用比例）被妥協或推遲，顯示成員國因受不同經濟影響與社會衝擊而造成主張分歧。加以各國間於再生能源潛力（如風能、太陽能）、電網基礎設施及財政能力均存在巨大差異，如何確保轉型之公平與一致為主要難題。

(2)社會公平與國家安全

2005 年啟動 EU ETS 後，除交通運輸及船用燃料等來源外，歐盟 CO₂ 排放明顯下降（圖 6），新建立之 ETS2 針對交通（交通運輸為歐盟未來主要電力消耗來源，見圖 4）和建築業燃料定價雖為上策，但可能導致燃料價格上漲，衝擊弱勢群體和微型企業之開銷成本，應設立配套措施（如社會氣候基金），確保轉型之公平正義。此外，歐盟高度依賴進口鋰與稀土等關鍵原材料以支持電動車和電池產業發展，使綠色供應鏈安全成為重要議題，歐盟因此正透過《關鍵原材料法案》等方式，試圖建立更具韌性之供應鏈。

圖 6 歐盟 CO₂ 排放來源與趨勢



資料來源：Climate Watch、Our World in Data(2025)。

4. 小結

歐盟以嚴密之法律規範、強大之碳定價機制及對貿易之影響力，構建全球最複雜且領先之氣候治理體系。《Fit for 55》套案、EU ETS 擴大及 CBAM 實施，不僅深刻影響歐洲產業結構，亦對貿易夥伴施加實質減排壓力，促進全球產業鏈之低碳化。然而，如何在保持高企圖心目標之同時，有效克服內部協調困境、加速能源效率進展，並確保轉型之公正性，將是歐盟實現氣候中和願景之關鍵。

（三）中國：碳強度控制邁向總量管制

中國氣候政策從「碳強度控制」逐步轉向「絕對總量管制」，正透過完善法律體系、加速能源轉型及產業結構之低碳化改造，發揮中國特色社會主義之執行力優勢，支持其 NDC 目標。尤其是 2027 年起對特定產業引入排放上限，標誌減排思維之重大轉折，預計對高排放產業有更嚴格之約束。

1. 中國氣候政策之基礎與目標

（1）全球最大排放國之減排承諾

中國作為全球最大之溫室氣體排放國，其氣候行動對全球碳中和進程至關重要：2021 年向 UNFCCC 秘書處提交「30-60」之雙碳目標（NDC），即 2030 年前實現碳排放達峰值，並力爭 2060 年前實現碳中和；2025 年 11 月再確定 2035 年 NDC 目標，為中國全經濟範圍溫室氣體排放量比峰值下降 7%~10%。

（2）自主貢獻之核心指標

為實現 NDC 目標，中國設定更具體之細部指標，且部分 2030 年之指標已於 2024 年底提前完成（表 4）：

表 4 中國 NDC 細部指標

指標	2030 年目標	2035 年目標	2024 年底進展
碳強度較 2005 年降幅	逾 65%	—	（目標推進中）

非化石能源佔一次能源消費比重	25%左右	30%以上	初步測算達 19.8%
森林蓄積量較 2005 年增加	60 億立方米	240 億立方米以上	70 億立方米
風電、太陽能總裝機容量	12 億千瓦以上	2020 年的 6 倍以上， 力爭達 36 億千瓦	14.1 億千瓦

資料來源：整理自「2035 年中国国家自主贡献报告(2025)」。

2. 政策核心轉變：從強度控制邁向總量管制

(1) 雙碳目標下之「雙控制度」演進

中國碳排放管理體系從過往以「碳強度」（單位 GDP 之碳排放）為主，轉向「總量控制」與「強度控制」並重之「雙控制度」：

- 「十五五」時期（2026-2030）：實施以強度控制為主、總量控制為輔之雙控制度。
- 碳達峰後：實施以總量控制為主、強度控制為輔之雙控制度。

(2) 全國碳排放交易之結構性收緊

中國碳市場體系，是全球覆蓋溫室氣體排放量最大之 ETS，包括強制性「碳排放權交易市場」和自願性「減排交易市場」，前者對重點排放單位嚴格管控，後者鼓勵全社會廣泛參與，二者各有著重、獨立運行且互為補充，亦透過配額清繳抵銷機制相互銜接。

中國 ETS 採「先行業、後全國」之分階段策略，目前已進入更嚴格且結果導向之管理方式，可加速高排放產業之綠色技術採用，推動碳排放與經濟增長逐步脫鉤，進而達成雙碳目標（表 5）。

表 5 中國碳排放交易體系發展概要階段

階段	時間點	核心機制	特點
地方試點	2013 年 ~2020 年	「碳交易市場」 地方試點	為建立全國 ETS 累積經驗，奠定基礎 ²⁷ 。 陸續於北京、上海、廣東、深圳等七個試點省市進行。

²⁷ 陳文孝、王集忍(2021), 「磨劍十載，中國啟動全國碳排放權交易」，會計研究月刊第 430 期第 90 頁。

			覆蓋電力、鋼鐵、水泥等 20 多個行業，包括近 3 千家重點排放單位。
啟動實施	2021 年 ~2023 年	「全國碳排放權交易市場」正式啟動	2021 年 7 月啟動全國碳排放權交易市場，覆蓋 2,200 多家發電業企業，排放量約 50 億噸，是全球最大碳市場。配額主要採逐步下降之基準線法免費分配，屬強度控制。
	2024 年 ~2026 年	「全國溫室氣體自願減排交易市場」正式啟動	培育市場主體、夯實碳排放管理基礎、改善市場監理。 2024 年 1 月，全國溫室氣體自願減量交易市場啟動。 2025 年 3 月，將鋼鐵、水泥及鋁冶煉業等約 1,300 家企業（排放量約 30 億噸）納入全國碳排放權交易市場。
深化完善	2027 年 後	市場愈加成熟，逐步加大政策力道	全面提升各方參與市場能力，研究配額總量收緊機制，將碳市場功能充分發揮。 國務院 2025 年 8 月發布《關於推動綠色低碳轉型加強全國碳市場建設的意見》，為碳市場首份中央文件： – 2027 年，全國碳排放權交易市場涵蓋工業主要排放產業，全國溫室氣體自願減排交易市場覆蓋重點領域； – 2030 年，完成以配額總量控制為基礎、免費和有償分配結合之全國碳排放權交易市場。

資料來源：本文整理。

3. 減排支撐與保障體系

(1) 法律制度體系之完善

為落實各項 NDC 目標，中國持續推動法規之修訂與創新：

- 氣候法規專項化：制定應對氣候變化與碳中和之專項法規。
- 修訂既有法律：加速推進《節約能源法》、《電力法》、《煤炭法》等法律修訂工作。
- 健全管理體系：建立健全地方碳考核、行業與企業碳管理、項目碳評價、產品碳足跡等政策制度與管理機制。

(2) 能源結構之低碳轉型

中國能源轉型採取兼顧發展與安全之「雙軌並行」策略：

- 非化石能源加速部署：建設以沙漠、戈壁、荒漠為重點之大型風電光伏基地。目標到 2025 年底，全國非化石能源發電量佔比達 39%。目前已建成全球規模最大之清潔發電體系和輸電網絡。
- 化石能源高效利用：嚴格合理控制煤炭消費，實施煤電之「三改聯動」（節能降碳改造、供熱改造、靈活性改造），以提高煤電之清潔與調峰能力。2024 年煤炭消費佔比已降至 53.2%。
- 氫能戰略地位提升：2024 年將氫能列為「前沿新興產業」並納入《能源法》。目前超過 90% 氫氣雖來自化石燃料，但政策鼓勵積極轉向以再生能源製造之綠氫。

(3) 產業轉型並完善排放統計

推動鋼鐵與水泥等高碳排產業進行清潔生產改造，大力發展光伏與鋰電等新質生產力。並且完善全國及省級溫室氣體排放統計核算制度，建立產品碳足跡管理體系與碳標誌認證制度，以強化數據品質。

4. 面臨之挑戰

(1) 經濟發展與減排之矛盾

中國仍處於經濟發展階段，電力、熱能及製造業等排放急遽增加（圖 7），政府期望 2035 年實現人均 GDP 翻倍，也代表能源需求和碳排放量在達峰後仍可能維持高位。

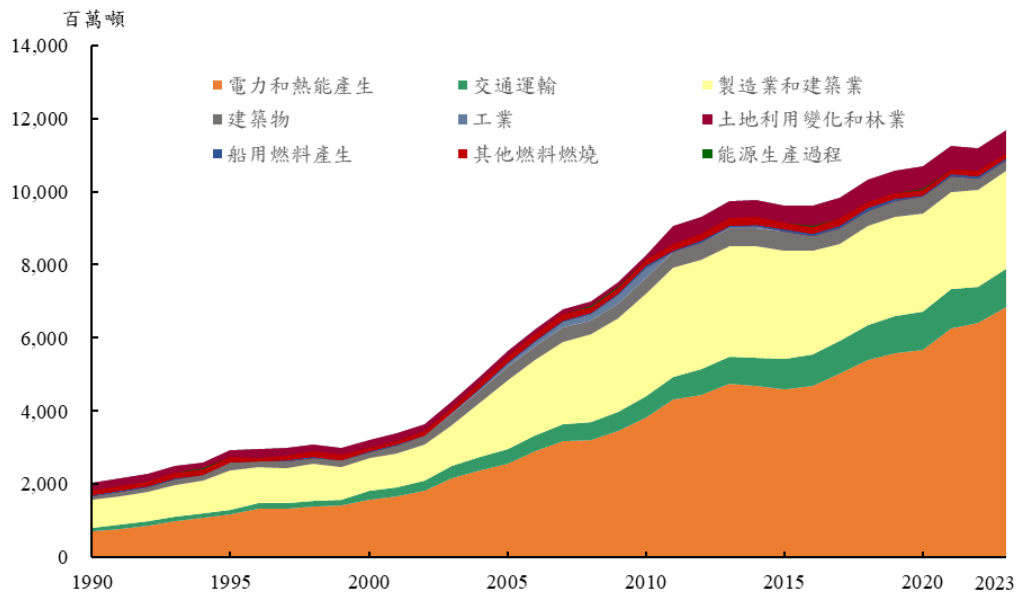
(2) 產業低碳轉型之困難

中國工業結構偏向鋼鐵、水泥、石化等高排放之重工業，這些產業之低碳轉型技術成本高、成熟度低，難以快速大規模運用。此外，中國正由降低「碳強度」逐步轉向「總量控制」（能耗雙控），這種轉變需要鋼鐵和水泥等產業實施絕對減排，如此恐對其產能與就業造成巨大衝擊，影響經濟穩定。

(3)能源汰舊換新之困境

中國能源側重燃煤，雖積極發展再生能源，使燃煤占總發電量由 2007 年之 81% 高峰下降至 2024 年之 58%，但仍高於其他主要國家，且在電力需求高峰或再生能源不足時，燃煤發電仍為穩定基載電力，煤炭退場速度遂成為實現淨零之主要挑戰。此外，再生能源裝置雖快速增長，但也面臨電網容量與管理之限制，再生能源之間歇性，需更強大之儲能系統和智慧電網整合調度，以確保供電之穩定性。

圖 7 中國 CO₂ 排放來源與趨勢



資料來源：Climate Watch、Our World in Data(2025)。

5. 小結

中國氣候政策正經歷定性到定量、相對指標到絕對指標之轉變，此轉變預示未來企業和地方政府將面臨更嚴格之減排壓力。然而，在確保能源安全、追求 GDP 增長之同時，如何平衡經濟發展速度與能源轉型成本，是中國減排路徑上最大挑戰。此外，儘管部分發達城市積極表態，但在全國範圍內，特別是依賴重工業和煤炭之地區因轉型成本高昂，可能出現中央政策與地方執行間之落差。

（四）日本：淨零目標入法與綠色轉型

身為全球第五大碳排放國（2024 年）之日本，2021 年即通過《地球暖化對策推進法》修正案，是第一個將 2050 年淨零排放目標明確寫入法律之亞洲國家，展現其穩定執行政策之企圖。面對迫切之減碳壓力，日本政府自 2022 年積極推行綠色轉型（Green Transformation, GX），旨在透過改變工業革命迄今以化石燃料為中心之經濟、社會及產業結構，向潔淨能源為中心轉變，從而同時實現穩定之能源供應、經濟增長和減排，進而改造經濟結構與社會體系。

日本重視氫能、電動車等未來產業之投資與技術創新。政策上則逐步推動「成長導向型」之碳定價體系，採取自願性試點到全面實施之漸進式路徑，預計於 2026 年全面推動排放交易制度，並在 2028 年和 2033 年分階段引入化石燃料附加費和電力配額付費拍賣。

1. 日本氣候政策之基礎與目標

（1）長期願景與國家自主貢獻

日本氣候承諾體現對國際趨勢之回應與對高難度目標²⁸之追求：

- 中期目標：2035 年溫室氣體淨排放量較 2013 年減少 60%，2040 年則為減少 73%。
- 長期目標：到 2050 年實現淨零排放/碳中和（此目標已列入《地球暖化對策推進法》修正案）。

（2）《綠色成長戰略》之經濟驅動

日本政府於 2020 年 10 月宣布 2050 年碳中和目標後，隨即在 2021 年 4 月進一步展現減碳決心，將 2030 年減排目標從原定之 26% 大幅提升至 46%，並挑戰 50%。為實現此高標準，並重振受疫情影響之經濟，日本政府提出各領域邁向碳中和之最高政策指引《綠色成長戰略》

²⁸ 日本選擇 2013 年（其排放高峰之一）作為基準年，使得達成減排目標的門檻極高，需要進行徹底、快速之減排。

（Green Growth Strategy）。此政策核心理念為「兼顧減少碳排與經濟成長之良性循環」，創造將減碳挑戰轉化為驅動經濟轉型與成長之綠色契機。將離岸風電、氫氣及汽車等 14 個領域設定為重點產業，期透過大規模綠色投資，為企業營造有利之轉型與創新環境，並引導民眾改變生活習慣，最終創造龐大經濟效益。

為助力《綠色成長戰略》並加速關鍵新興技術之研發與商業應用，日本政府於 2021 年設立「綠色創新基金」（或稱「碳中和基金」），基金規模達 2 兆日圓，由經濟產業省下屬之新能源產業技術綜合開發機構（NEDO）負責管理，提供 10 年期融資補助，專用於支持企業進行關鍵技術研發與商業化應用測試。日本政府希望以這 2 兆日圓為催化劑，吸引企業進行總額達 15 兆日圓之研發和資本投資，以確保戰略目標實現，有效引導產業綠色轉型²⁹。

2. 政策核心：穩定供應零碳電力與成長導向型碳定價

(1) 確保穩定供應之零碳電力

GX 政策強調漸進式導入市場機制，並結合財政支持，引導企業自願轉型。該政策由經濟產業省主導，藉《GX 推進法》與《GX 零碳電力法》推動能源轉型，及「確保穩定供應能源」、「建構成長目標型碳定價」兩個方向。核心策略包括：

- 確保穩定供應之零碳電力：日本能源高度依賴進口石化燃料，能源轉型強調擴大再生能源與核能使用，同時平衡能源自主性與安全性，目標在 2035 年實現 100% 零碳電力。
- 積極推動再生能源：為能在實現脫碳目標之前提下，將能源自主率由 2025 年之 15.2% 提升至 2040 年之 30%~40%，日本政府積極發展次世代太陽能技術，預計 2040 年達 20GW 裝置容量，並

²⁹ Sustainable Japan(2020)，「【日本】政府、「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」採択。ほぼ全業種でロードマップ提示」，12 月 25 日。

擴大參與離岸風電計畫，目標在 2030 年發電 10GW，達成 2040 年將再生能源發電占比提升至 40%~50%之目標。

- 重新以核能為支柱：因應日本半導體製造與資料中心等高耗能產業發展，2040 年電力需求將比當前增加 1.2 倍，日本遂於 2025 年初通過新版「能源基本計畫」與「GX 2040 願景」，大幅調整能源政策，將核能定位為與再生能源並行之重要支柱，2040 年核能發電占比提升至 20%。另為確保電力穩定，日本已修正核能延役措施（將核電運轉年限從 40~60 年延長至 60 年以上）。
- 以氫能及 CCS（Carbon Capture and Storage）為重要輔助：日本於 2017 年制定全球首部《基本氫能戰略》，2020 年因應減碳趨勢而擴大至整體產業。2023 年內閣通過綠色轉型基本方針，陸續推動許多氫能措施，並藉 2023 年 7 月更新《國家氫能戰略圖》、2024 年 5 月通過《氫能社會促進法》，逐步將目標轉向低碳氫氦建置³⁰。此外，日本積極推動 CCS 之法律《CCS 事業法》與技術發展，將其視為達成減排目標之重要輔助。

(2)建構成長目標型碳定價

日本正推動「以成長為導向之碳定價體系」（GX-ETS），要求企業將碳排放資料公開與數位化，並透過 2020 年啟動之東京碳交易機制（Tokyo Cap and Trade Program）進行總量管制，限制企業排碳，以及 2020 年公布之綠色成長策略修訂版推動特定產業減排。目的在以市場誘因、數據透明、金融連結引導企業行為，階段策略如表 6。

³⁰ 2025 年 2 月，日本內閣批准第七次能源戰略計劃，該計劃概述日本能源政策基本方向，氫及其化合物、氨、合成甲烷和合成燃料等下一代能源（日本政策統稱為「氫等」）預計將在鋼鐵、化學、運輸、工業供熱和發電等眾多領域中廣泛應用。在技術方面，日本在氫氣生產、運輸和燃燒技術等多個領域也處於世界領先地位，在 2025 年 9 月 15 日舉行之氫能部長級會議上，日本確認將繼續與世界各國和國際組織合作，持續發揮其先進技術優勢，力爭「技術取勝，商業取勝」。

表 6 日本碳排放交易體系發展概要階段

階段	時間點	核心機制	特點
試點準備	2023 年	企業自願性參與之碳排放交易試點	鼓勵企業設定目標並參與試行自主排放交易制度，為全面推動積累經驗。
全面推動	預計 2026 年	全面實施排放交易制度（ETS）	強制要求年排放量超過 10 萬噸之大企業參與，初期為企業免費發放排放配額，再逐年減少配額，逐步從自願走向強制。
碳稅引入	預計 2028 年	碳稅（賦課金）導入	針對化石燃料進口業者徵收化石燃料附加費，費用根據其進口化石燃料產生之 CO ₂ 量計算。
	預計 2033 年	電力公司需分階段取得付費排放配額	針對發電業者碳排放配額，將分階段從免費轉為有償（付費拍賣），提高發電業者碳排放成本，促其加速脫碳。

資料來源：本文整理。

3. 財政支持與地方動員

(1) 藉財政支持引導脫碳

為支持 GX 前期投資，日本財務省於 2024 年 2 月開始發行 GX 經濟轉型債券（GX 經濟移行債），計劃在 10 年內發行 20 兆日圓，籌集資金優先投資於具產業競爭力或成長潛力、且能有效削減排放量之企業，過程中結合公部門與民間力量，期望在日本創造超過 150 兆日圓之綠色投資，體現「以投資引導脫碳」之財政策略。

(2) 地方實踐與社會動員

日本碳中和目標之達成，強調地方與民眾扮演不可或缺之角色：

- 推動零碳城市：地方政府被環境省指定為導入再生能源之「促進區域」，鼓勵其利用當地特色實現碳中和。2030 年預計有 100 個脫碳示範區，以地方政府、企業與金融機構為核心推動，由中央政府給予支持。截至 2025 年 9 月底，已有東京都、京都市及橫濱市等 1,188 個地方政府響應並宣布 2050 年零碳目標³¹。

³¹ 環境省(2025), 「地方公共団体における 2050 年二酸化炭素排出実質ゼロ表明の状況」。

- 促進國民參與：藉推廣淨零能耗住宅（Net Zero Energy House）、「創造連結脫碳新豐足生活的國民運動」、節能家電與環保駕駛等官民合作計畫，促進消費行為改變，以在生活型態達成減碳。

4. 面臨之挑戰

(1)減排目標達成及碳定價效果待觀察

作為高度依賴燃煤和燃氣等化石燃料之國家，日本要達成 2030 年減排 46%之目標被許多專家認為可能性很低，而需徹底、快速之政策變革³²。此外，ETS 實施初期為自願性，且碳稅設計為漸進式低稅率，其對企業減排之實質約束力是否足夠，仍是國際關注焦點³³。

(2)核能之安全疑慮及對再生能源排擠

為實現電力脫碳目標，日本政策發生重大轉折，將核能視為重要電力來源並規劃建造新一代核反應爐及修正核能延役措施，甚至成為 GX 基本政策一環。此舉恐使再生能源部署被擱置，並引發對核安全之疑慮³⁴。

(3)天然氣之過渡角色成退場難題

日本在淘汰煤炭之同時，仍將天然氣視為過渡性燃料，大力推動對上游化石天然氣和液化天然氣之投資³⁵（圖 8，燃氣於近年已成為日本最主要發電來源。另外，2011 年急遽縮減之核能發電已漸回增）。如何加速其天然氣在 2050 年前順利退場，並發展 CCS 技術處理殘餘排放，是日本能源轉型之主要難題。

³² Wood Mackenzie(2021), “Japan unlikely to meet 46% emissions reduction by 2030”, June 15.

³³ 日本碳定價負擔較輕，全面引入制度後每噸僅約 2,000 日元，遠低於歐洲之 1.5 萬日元。另外，根據世界銀行估計，為實現《巴黎協定》目標，2030 年每噸 CO₂ 價格約需 50~130 美元，而日本之碳稅為每噸 289 日元，低於韓國和中國。

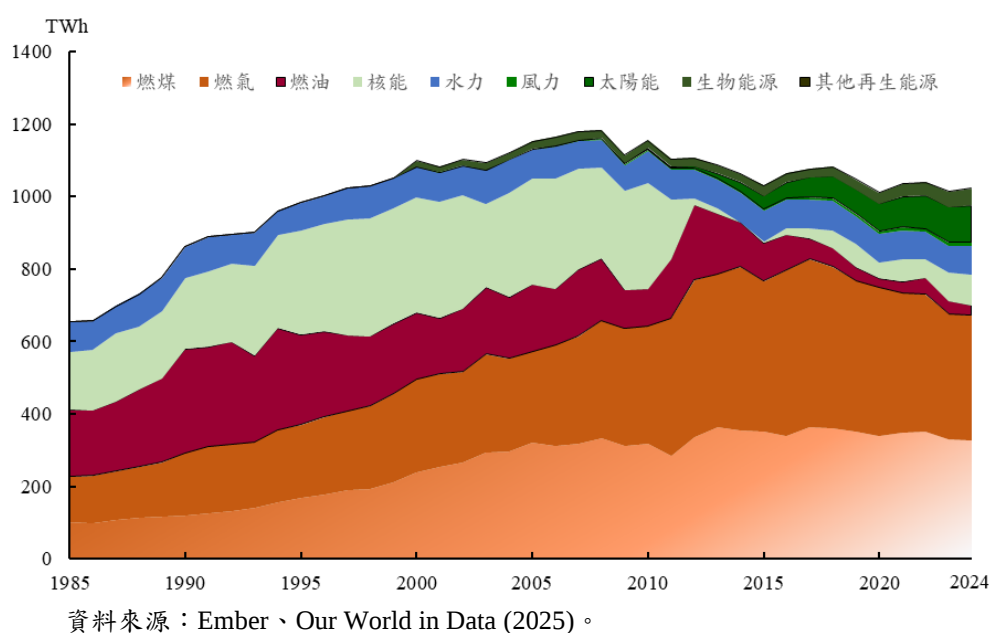
³⁴ Climate Action Tracker(2024), “Japan Overview”, November 4.

³⁵ 同附註 33

5. 小結

日本氣候政策是將技術創新、經濟增長與漸進式法規結合之複雜戰略。其《綠色成長戰略》是轉型藍圖之核心，旨在透過對脫碳技術巨額投資，維持其全球淨零領先地位。然而，要實現高門檻之 NDC 目標，日本須克服對化石燃料之依賴，並確保其「成長導向型」之碳定價機制，能在未來對高排放產業施加足夠壓力以達成實質轉型。

圖 8 日本電力來源組成趨勢



（五）韓國：高碳密集產業下之綠色新政

韓國為重要工業化國家和第九大溫室氣體排放國（2024 年），其氣候政策核心是將碳中和目標法制化，於 2021 年頒布《應對氣候危機的碳中和與綠色發展基本法》（簡稱《碳中和法》），正式確立 2050 年達碳中和之國家目標，並將 2030 年減排 40%（較 2018 年）也寫入法律。政策工具上，韓國主要依賴其排放交易體系（K-ETS），逐步提高有償分配比率以強化市場約束力。

1. 氣候政策之法律基礎與企圖心

(1) 法制化之淨零目標與 NDC 提升

韓國是東亞地區中較早透過立法將氣候目標確立之國家：

- 中期目標：2030 年碳排放較 2018 年減少 40%，2035 年減少 53%~61%。
- 長期目標：透過《碳中和法》明確提出 2050 年實現碳中和。

(2) 綠色新政為關鍵政策

為因應新冠疫情衝擊與氣候變遷議題，韓國 2020 年推出新政計畫作為疫後復甦之國家戰略，預計投資 1,440 億美元，到 2025 年創造 190.1 萬個就業機會。綠色新政（Green New Deal）為該計畫核心，涵蓋綠色交通、智慧醫療等領域之 10 個重點項目，政策基礎包括：

- 《碳中和法》施行：制定國家碳中和綠色成長戰略且每五年進行檢討，從而確立國家和地方層級計畫之制定與評估體系。
- 行政體系重組：2025 年 10 月將環境部擴編更名「氣候能源環境部」，並將原屬產業部門之能源業務納入氣候能源環境部管理，目標是加速能源轉型並推動碳中和。

2. 排放交易體系之深化與擴大

韓國 2012 年通過排放權分配及交易法案（ETS ACT）後，於 2015 年 1 月施行，目標是以國家級排放交易體系（K-ETS）為主要工具，透過碳交易機制對企業排碳進行總量管制與交易（Cap and Trade），並結合綠色新政與特定產業技術創新，達成 NDC 目標。

K-ETS 參與門檻是年排放量超過 12.5 萬噸當量之企業，或年排放量超過 2.5 萬噸之單一設施，包括電力、鋼鐵、石化、水泥、化工、建築、廢棄物處理及交通運輸等產業，以總量管制方式運行（表 7）。

表 7 韓國碳排放交易體系發展概要階段

階段	時間點	核心機制	特點
第一計畫期	2015 年 ~2017 年	制度建立與試行	涵蓋五大行業，給予 100%免費碳權配額，主要採取企業過去的排放量基準分配
第二計畫期	2018 年 ~2020 年	擴大涵蓋範圍	加入廢棄物處理業，給予 97%免費碳權配額，3%透過拍賣取得，同時擴大「排放效率基準分配」之標竿法適用範圍，以鼓勵技術創新和效率提升
第三計畫期	2021 年 ~2025 年	減碳壓力逐漸提升	涵蓋韓國約 73.5%碳排放量，最多給予 90%免費配額，其餘至少 10%從拍賣取得，且標竿法比例提升至 60%
改革期	2030 年		將有償分配比率提升至 50%，以增加碳市場之價格信號，推進企業主動減排

資料來源：本文整理。

3. 能源結構之淨零轉型

韓國為全球主要煤炭進口國和第三大海外煤炭計畫投資國，鑑於其 2050 年將淘汰所有燃煤機組或改造為專燒氫氣，需大幅加快能源之技術發展³⁶與結構轉型：

- 在《碳中和法》要求下，劃分能源部門管制目標，其中，電力部門承擔最大減排責任，目標到 2030 年碳排放需較 2018 年縮減 44.4%，主要策略係逐年淘汰燃煤機組運作，之後擴大再生能源與核電，除役老舊燃煤機組，並引入氫氣混燒發電。
- 大幅擴增再生能源發電占比，總和比例（再生能源與燃料電池）預計由 2020 年 6.6%，提升至 2030 年 30.2%及 2050 年 72.1%³⁷。
- 韓國於 2021 年「氫經濟實施第一次基本計畫」即制定潔淨氫氣發展目標，另定期召開「氫經濟委員會」(수소경제위원회)，檢驗與修正階段性目標，將氫能視為未來最大單一能源，預計在 2050 年取代石油。

³⁶ UNDP(2021), "South Korea's Green New Deal in the year of transition", February 8.

³⁷ 陳立衡、施沛宏、郭昱賢、張景淳(2022), 「韓國能源政策評析報告(2022 年版)」, 11 月, P.22。

4. 產業轉型困境與社會期望調和

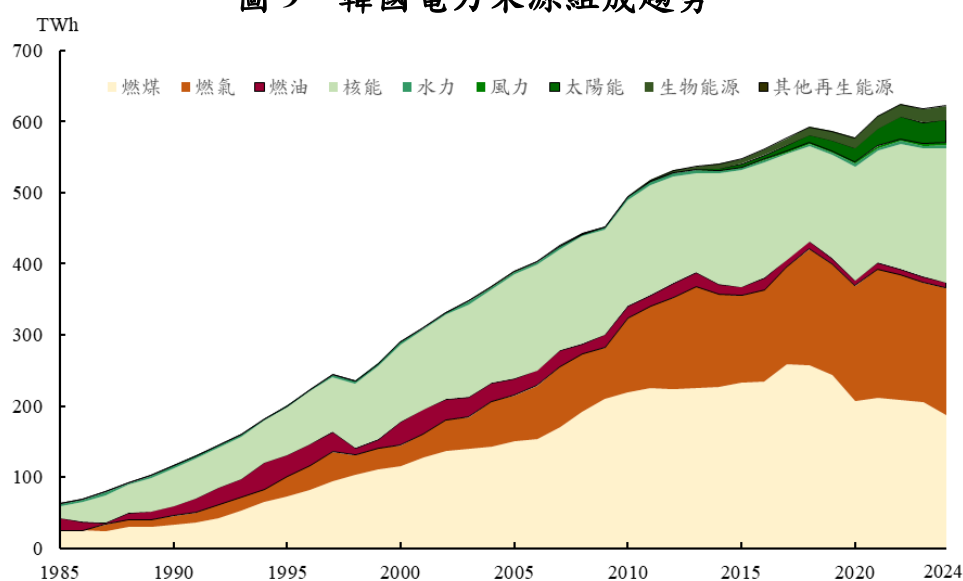
(1) 重工業轉型困難加以能源結構慣性

韓國經濟支柱如鋼鐵、石化等皆為高碳排產業，這些產業轉型成本與技術門檻極高（如氫能煉鋼）。此外，儘管有轉型決心，燃煤發電在 2024 年仍高達近 30%（圖 9），韓國承諾停止所有海外燃煤電廠之公共投資，並推動國內燃煤發電轉型，將使電力部門面臨巨大壓力。

(2) 政府政策不符社會期望

韓國民眾對政府氣候行動之消極應對表達強烈不滿，進而引發大規模抗議活動，要求政府對抗氣候變遷之政策更有系統性且更堅定，甚至聯合提出憲法訴訟，韓國憲法法院其後宣判該國氣候法律違憲，顯示社會期望與政策實踐間之巨大落差³⁸。

圖 9 韓國電力來源組成趨勢



資料來源：Ember、Our World in Data (2025)。

5. 小結

韓國氣候政策係藉《碳中和法》實現國家目標之法制化，為其淨零路徑提供堅實制度基礎。K-ETS 深化和有償分配比例提升，表現韓

³⁸ Reuters(2024), “Tens of thousands in South Korea protest lack of climate progress”, September 7.

國從目標管理模式轉向更具市場約束力之總量管制模式。然而，身為高碳排放經濟體，韓國面臨之結構性減排挑戰極為嚴峻，未來成功關鍵在於能否有效整合行政資源、推動電力部門和產業結構實質轉型，並在政策實施中顧及社會公平，以滿足日益高漲之公眾訴求。

（六）全球淨零競合之開端

1. 氣候保護主義與綠色貿易戰興起

當前全球氣候治理之特徵為「氣候政策」與「貿易政策」之合流。隨著美國於 2025 年簽署《大而美法案》（One Big Beautiful Bill Act, OBBBA），將政策重心由財政激勵轉向「能源主導」與「去管制化」，並大幅削減綠色補貼，以及歐盟於 2026 年正式啟動 CBAM 之財務義務階段，透過布魯塞爾效應（Brussels Effect）強制進口產品承擔與歐盟國內對等之碳成本，國際貿易已不再遵循傳統自由化邏輯，而是圍繞著碳排放強度建立起新「邊境牆」。

ECB 研究顯示，以美國為中心之西方和以中國為中心之東方間綠色供應鏈脫鉤，恐導致全球綠色產品貿易減少達 20%，並使全球溫室氣體年排放量增約 5 千萬噸³⁹。這種競爭不僅影響減排，更關乎綠色技術標準之定義權。美國試圖以受關注外國實體（Foreign Entity of Concern, FEOC）規則將中國排除於關鍵價值鏈；中國憑再生能源研發能量與對關鍵礦產加工壟斷，藉規模效應定義全球轉型路徑，更展現將氣候行動轉化為地緣政治籌碼之戰略方向。歐盟雖因社會公平考量將 ETS2 推遲至 2028 年，但配套之社會氣候基金（Social Climate Fund, SCF）已於 2026 年啟動⁴⁰，顯示其維持氣候領導地位之強烈意圖。

全球「公正轉型」議題也因主要經濟體間博弈而更顯嚴峻。歐盟 CBAM 被印度與印尼等國指控為違反國際法之「保護主義」，更導致這些國家出口成本大幅上升；美國氣候撥款縮減也減少對開發中國家

³⁹ ECB(2026), “Green Supply Chains at Risk: Measuring the True Economic and Environmental Costs”, Research Bulletin, No. 141, March 24.

⁴⁰ SCF 於 2026 年 3 月正式啟動。目前正在積極資助成員國項目，以幫助弱勢家庭在 2028 年碳價生效之前投資熱泵和電動車。

之氣候融資。因此，國際社會正討論「CBAM-Plus」框架⁴¹，提議將碳關稅收入重新投入到出口國之清潔能源建設，以兼顧環境公平與發展權。然而，在全球治理結構轉向「俱樂部式」⁴²合作之趨勢下，低收入國家被進一步邊緣化之風險依然存在。

2. 動盪中重構之全球淨零版圖

綜上，2026 年全球氣候治理格局展現出一種「既競爭又依賴」之詭譎局勢，去碳化已從全球公共財轉化為某種國家核心競爭力。美國之轉向提醒世界，氣候政策在民主國家內部之脆弱性與對經濟成本之敏感性；歐盟之堅持展現如何透過法規創新將環境目標轉化為貿易門檻；中國之擴張證實工業規模在能源轉型中之決定性作用；而日韓之發展則揭示技術細分市場與法律框架在維持轉型動力之關鍵角色。

未來，全球氣候治理將不再依賴於單一之多邊條約，而是由一系列複雜之雙邊貿易協議、區域性氣候俱樂部，以及基於供應鏈安全之競爭性政策共同定義。雖然碎片化之治理可能增加全球脫碳總成本，但這種競爭也激發前所未有之技術創新與產能競賽。各大經濟體優勝劣敗將取決於能否在保障能源安全之前提下，以最低社會成本完成從化石燃料向零碳系統之轉型躍進。

⁴¹ Thang Nam Do(2025), “Reimagining carbon border adjustment mechanisms: A path to climate and development synergy”, *Global Transitions*, Vol. 7, Pages 144-147, March 14.

⁴² 氣候俱樂部為一種透過各國積極合作、加強全球氣候治理之新框架，其採用小型多邊機制，旨在規避多邊談判之低效，並利用市場機制鼓勵各國採取更積極之減碳措施。然而，該機制也面臨許多挑戰，尤其是在公平性和包容性方面。批評者指該機制可能偏離「共同但有區別的責任」和「肯認正義」原則，並引發開發中國家被邊緣化之擔憂。

三、我國之主要政策與規範

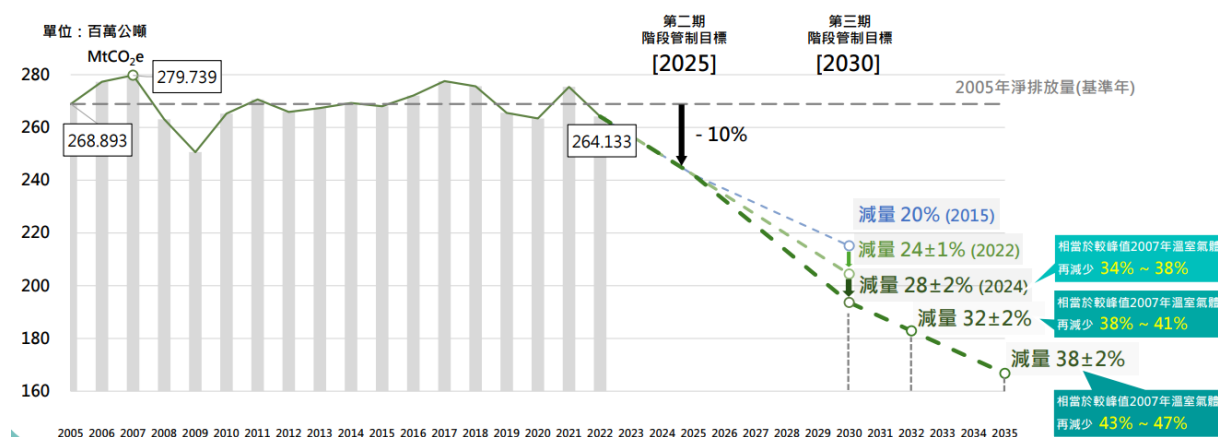
(一) 減碳政策目標與淨零轉型策略

我國雖未受聯合國氣候變遷相關協議及會議決議所約束，近年氣候政策之制定，亦開始朝向與國際接軌，以 2050 年淨零排放為政策目標。2022 年 3 月，政府公布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」，闡述國家長期減碳路徑及邁向淨零排放之規畫與策略。同年 12 月，再公布「淨零轉型之階段目標及行動」，揭櫫 4 大轉型策略、2 項治理基礎及 12 項關鍵戰略計畫。

1. 我國減碳政策目標－國家自主貢獻（NDC）

早在 2015 年，我國即依據《巴黎協定》，以每 5 年為一期，訂定 NDC 目標，以 2005 年為基準年，目標依序在 2020 年將淨排放量減少 2%、2025 年減少 10%、2030 年減少 20%。2022 年 12 月修訂 NDC 目標，在 2030 年將淨排放量減少 23%~25%。至 2025 年 1 月再次修訂 NDC 目標，依序在 2030 年將淨排放量減少 26%~30%、2032 年（增設目標）將淨排放量減少 30%~34%、2035 年將淨排放量減少 36%~40%（圖 10）。

圖 10 台灣減碳目標



資料來源：環境部(2022)。

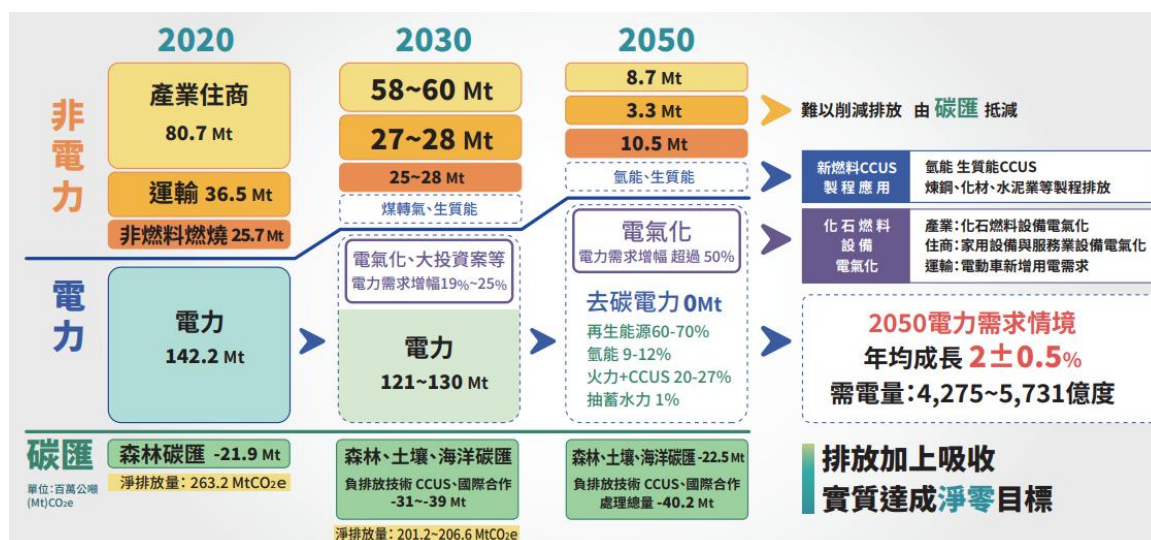
我國溫室氣體淨排放量在 2005 年為 268.9 百萬噸二氧化碳當量 (CO₂e)，高峰值為 2007 年的 279.7 百萬噸 CO₂e。若將 NDC 目標以高峰值為基準年表示，相當於在 2030 年將淨排放量較高峰值減少

34%~38%、2032 年將較高峰值減少 38%~41%、2035 年將較高峰值減少 43%~47%。

2. 我國淨零轉型規劃及策略

依我國淨零排放規畫（圖 11），至 2050 年，整體電力將去碳化，其中之 60%~70%來自再生能源發電，9~12%來自氫能發電，1%為水力發電，而火力發電雖仍占剩餘之 20%~27%，但輔以碳捕捉技術，將可達成零碳發電。非發電排放部分，產業、住商、運輸及非燃料燃燒仍有 22.5~40.2 百萬噸 CO₂e 難以減少，須利用自然碳匯及 CCUS 加以抵減，達成實質淨零排放目標。

圖 11 臺灣 2050 淨零排放規畫



資料來源：國發會(2022)。

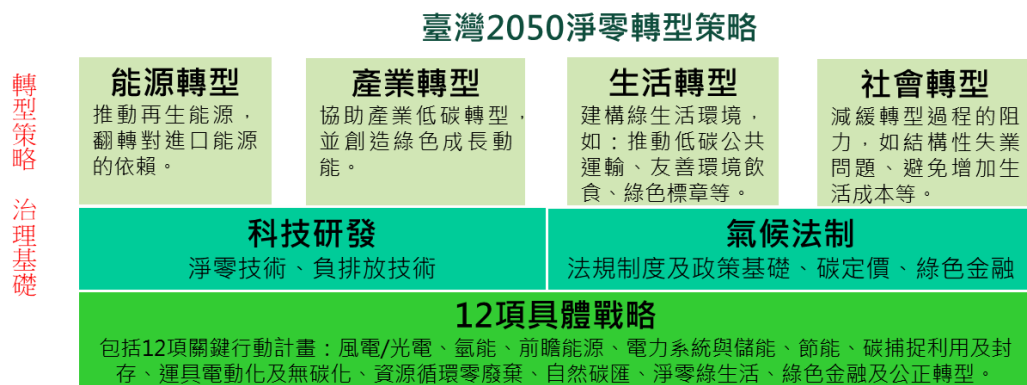
我國 4 大轉型策略包括能源轉型、產業轉型、生活轉型及社會轉型（圖 12），說明如下：

- **能源轉型**：能源燃燒排放之 CO₂，占各類溫室氣體排放量達 95.28%而為最大宗。因此，能源轉型將致力於打造零碳能源系統、最大化再生能源，包括建置技術已成熟之太陽能、風能發電，扶植地熱發電、海洋能技術，擴大生質能使用、燃氣、燃煤逐步去煤、去碳，以及導入氫能混燒、搭配碳捕捉技術等。另為提升能源系統韌性、確保供電穩定、精進再生能源預測技術，可布建智

慧電表，透過人工智慧強化發電、儲能及用電端資源整合，以進行智慧調度。發展氫能方面，建構氫能供需體系、拓展進口氫能供應來源，以確保氫能供應穩定，並建設氫能輸儲基礎設施、強化氫能技術發展及應用。

- 產業轉型：致力於產業製程改善、設備更新及導入智慧節能數位化管理；能源轉換方面，短期以擴大使用天然氣及生質燃料為主，長期則以 100%使用綠電及無碳能源為目標；另外，發展運具電動化、增用廢鋼材、循環再生材料等循環經濟，及 CCUS 技術。
- 生活轉型：提高建築物、家電及設備能源效率，推動綠建築與低碳運輸等行為改變。
- 社會轉型：強化公正轉型與公民參與，建立淨零轉型過程協調、衝突與爭議處理機制，讓利害關係人參與轉型政策規劃與監督。

圖 12 臺灣 2050 淨零轉型策略



資料來源：國發會(2022)。

3. 淨零轉型關鍵戰略計畫及中期（2030 年）目標

淨零轉型策略透過科技研發、氣候法制等兩項治理基礎，包括 12 項關鍵戰略計畫，以邁向 2050 年淨零排放為目標，分階段訂定中期（2030 年）目標（圖 13、14），重點如下：

- 風能、光能、氫能及前瞻能源：大幅擴增再生能源發電裝置，至 2030 年，離岸風電目標為 13.1GW、太陽能目標為 31GW、氫能目標為 891MW、生質能目標為 805~1,329MW 等。整體再生能源

發電裝置容量將達到 45.46~46.12GW，是 2020 年 9.6GW 之 4.7 倍；至 2050 年，離岸風電目標為 40~55GW、太陽能目標為 40~80GW、氫能目標為 7,300MW、生質能目標為 1.4~1.8GW、地熱發電目標為 3~6.2GW 等，使整體再生能源發電占比超過 60%。

- 電力系統、儲能及節能：強化電力系統、增加儲能裝置、節電及節能綠建築，至 2030 年，儲能系統容量目標為 5,500MW，將增加節電 345.7 億度及節能 227.3 萬公秉石油當量，另外，公有新建建築物將達到建築能效 1 級或近零碳建築；至 2035 年，將全面換裝智慧電錶；至 2040 年，50%建築物將達到建築能效 1 級或近零碳建築；至 2050 年，85%建築物及所有新建建築物將達到建築能效 1 級或近零碳建築，以及全面建置智慧變電所。
- 運具電動化及無碳化：至 2030 年，市區公車及公務車將全面電動化，電動小客車及機車市售比，分別將提升至 30%及 35%；至 2035 年，電動小客車及機車市售比，分別將提升至 60%及 70%；至 2040 年，小客車及機車將全面電動化。
- CCUS 及自然碳匯：持續進行技術開發、示範驗證計畫及法規增修，至 2030 年增加碳捕捉目標為 176~460 萬公噸。自然碳匯目標至 2030 年增加 136 萬公噸，至 2040 年增加 1,000 萬公噸。
- 資源循環、綠生活、綠色金融及公正轉型：至 2030 年，目標提升再生粒料使用比率達 70%、民眾民眾淨零綠生活認知比率達 90%、全體上市櫃公司及合併子公司完成碳盤查等量化目標，另外，訂定確保受淨零轉型影響勞工之就業權益等質性目標。

4. 小結

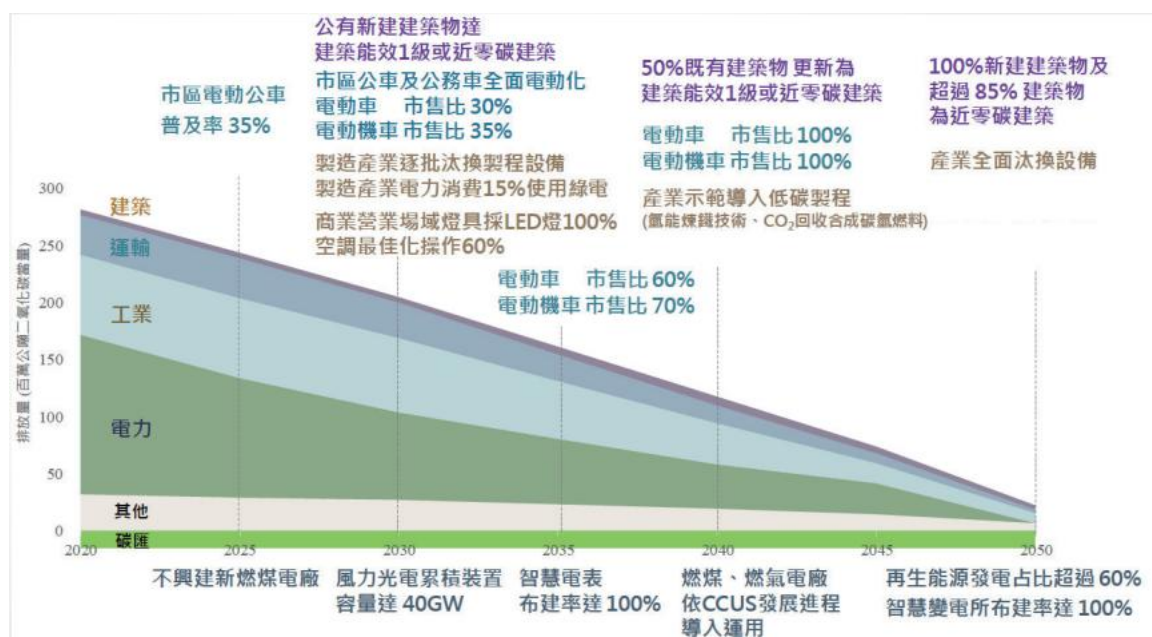
我國以 2050 年淨零排放為政策目標，分階段訂定 NDC 目標，規劃能源轉型、產業轉型、生活轉型及社會轉型等 4 大轉型策略。主要挑戰係發展再生能源替代大量進口能源，以及推動產業低碳轉型，並於降低經濟衝擊之前提下，同步推動低碳生活環境、減緩轉型過程之社會阻力。

圖 13 我國淨零路徑 12 項關鍵戰略之中期(2030 年)目標

風電、光電	2030年設置目標 離岸風電13.1GW、太陽光電31GW	運具電動化 及無碳化	2030年達公車100%電動化、 小客車市售30%、機車35%
氫能	2030年達891MW	資源循環 零廢棄	2030年達資源生產力104元/公斤 人均物質消費量10.7公噸/人
前瞻能源	2030年設置 生質能805-1329MW 地熱56-192MW；海洋能0.1-1MW	自然碳匯	2040年增加1000萬公噸碳匯量
電力系統 與儲能	2030年儲能系統容量達5500MW	淨零綠生活	2030年民衆淨零綠生活認知90%
節能	2030年節電量345.7億度	綠色金融	2029年完成全體上市櫃公司 溫室氣體盤查的查證
碳捕捉 利用與封存	2030年目標減碳176-460萬噸	公正轉型	提出公正轉型路徑圖

資料來源：國發會、環境資訊中心。

圖 14 臺灣 2050 淨零路徑規畫之階段里程碑



資料來源：國發會(2022)。

（二）碳定價與碳費（稅）政策

目前全球有超過 75 個國家或地區實施碳定價，其中半數採用碳費（稅）徵收制度，半數採用排放總量管制下之碳交易制度。我國推動碳定價政策，是以碳費制度先行，並透過差別費率鼓勵排碳者自主減量，中長期則逐步發展總量管制下之碳交易制度。依據 2023 年 1 月修正通過之《氣候變遷因應法》(原《溫室氣體減量及管理法》)，環境部陸續訂定《碳費收費辦法》、《自主減量計畫管理辦法》、《碳費徵收對象溫室氣體減量指定目標》等 3 項法規，並自 2025 年開徵，推動我國邁入碳定價時代。

1. 我國碳費政策

- 徵收對象：為溫室氣體年排放量達 2.5 萬公噸 CO₂e 以上之電力業、燃氣供應業及製造業，自徵收費率公告生效次年起，於每年 5 月底前，將前一年度全年排放量，依公告費率繳費。
- 繳費時程：自費率公告生效次年起，於每年 5 月底前，將前一年度全年排放量，依公告費率繳費。(費率係 2025 年 1 月公告生效，2026 年 5 月須繳交 2025 年全年排放量之碳費)。
- 碳費計算：碳費=收費排放量×徵收費率（圖 15）。
- 過渡配套機制：係參考國際評估方法，並考量貿易密集度及排放密集度。企業若屬高碳洩漏風險行業，且提出自主減量計畫經審查核定，收費排放量=年排放量×排放量調整係數值。初期排放量調整係數為 0.2，未來第二期及第三期分別為 0.4 及 0.6；企業非屬高碳洩漏風險行業，收費排放量=年排放量 - K 值，即年排放量扣除碳費起徵門檻 K 值，初期為 2.5 萬公噸，未來分階段調整。
- 提出自主減量計畫與優惠費率：碳費徵收對象因轉換低碳燃料、採行負排放技術、提升能源效率、使用再生能源或製程改善等措施，能有效減少溫室氣體排放量並達指定目標者，得提出自主減量計畫申請核定優惠費率。依「徵收對象溫室氣體減量指定目標」

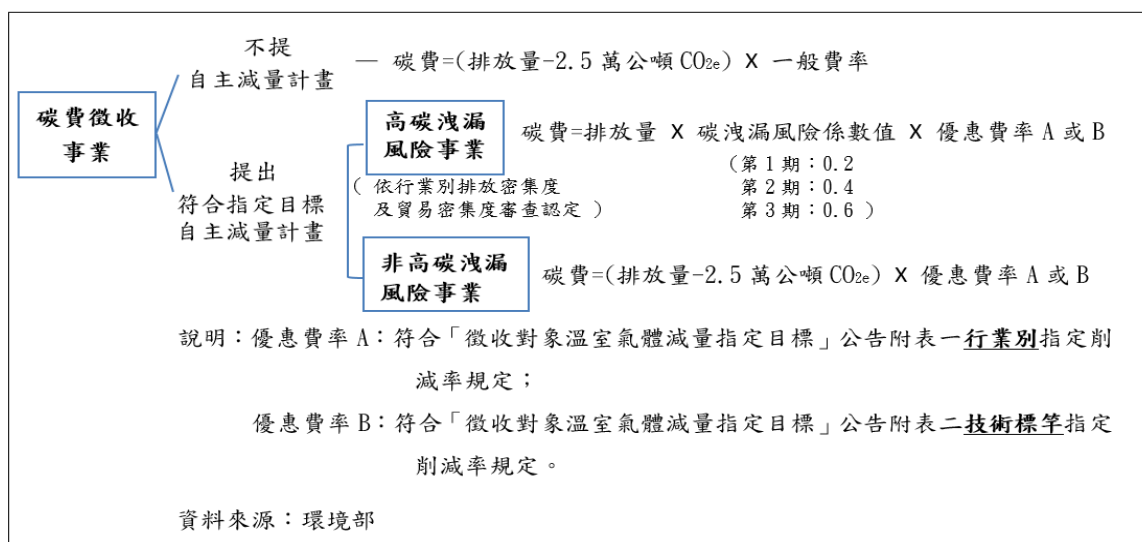
公告附表，徵收對象符合「行業別指定削減率規定」者，適用優惠費率 A；徵收對象符合「技術標竿指定削減率規定」者，適用優惠費率 B。

- 費率：環境部依據碳費費率審議會決議之費率建議，核定碳費費率並公告，一般費率：新臺幣 300 元/公噸 CO₂e；優惠費率 A：新臺幣 50 元/公噸 CO₂e；優惠費率 B：新臺幣 100 元/公噸 CO₂e。

2. 首年施行情形

依 2024 年溫室氣體盤查登錄及查驗結果，溫室氣體年排放量達 2.5 萬公噸 CO₂e 之事業，如以企業家數計算，約 252 家總計有 464 家工廠為收費對象。收費對象之溫室氣體年排放量總計約 155 百萬公噸 CO₂e，約占 2024 年全國總排放量之 54%。環境部統計，碳費徵收對象在 2025 年共提出 430 件自主減量計畫，總計約 2,700 餘項減量措施。相關措施自 2025 年至 2030 年，可帶來約 4,745 萬噸 CO₂e 之溫室氣體減量貢獻。

圖 15 我國碳費制度



資料來源：環境部、本文整理。

(三) 碳盤查與碳揭露政策

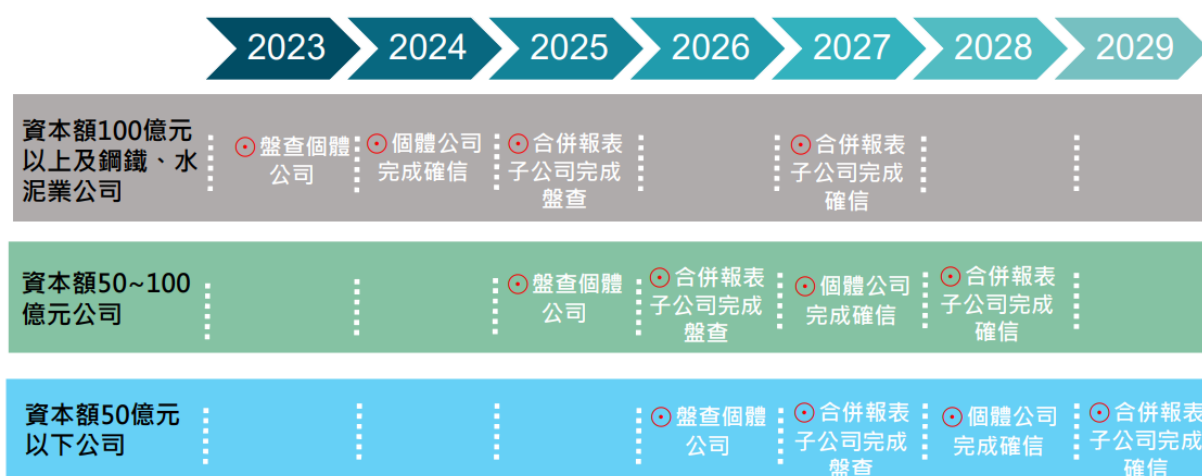
為達成淨零減碳的政策目標、配合碳費（稅）徵收、發展碳交易制

度及綠色金融等，政府會要求企業進行碳盤查及揭露相關資訊。此外，企業為提升形象，也會主動公布碳盤查或碳足跡，並強調企業努力減碳以善盡社會責任。我國目前要求企業進行碳盤查與碳揭露之法規主政機關，主要是金管會及環境部。此外，國內出口廠商為配合外國政府或供應鏈的外國企業要求，以及外國企業在台分支機構、子公司配合母公司之要求，也會根據特定國際標準與規範公布碳盤查結果。

1. 金管會：上市櫃公司永續發展路徑圖

金管會於 2022 年 3 月公布「上市櫃公司永續發展路徑圖」，分階段要求國內上市櫃公司揭露溫室氣體盤查資訊及進行查證預計在 2027 年完成全體上市櫃公司及合併報表子公司的溫室氣體盤查，2029 年完成溫室氣體查證（圖 16）。根據公開資訊觀測站，2024 年已有 984 家上市公司公布溫室氣體排放及減量資訊。

圖 16 上市櫃公司永續發展路徑圖推動時程



資料來源:金管會(2022)。

2. 環境部：溫室氣體排放量盤查登錄及查驗

環境部原公告，發電業等特定事業⁴³、全廠（場）化石燃料燃燒之直接溫室氣體年排放量及使用電力之間接溫室氣體年排放量合計達 2.5 萬公噸 CO₂e 以上之製造業，應盤查登錄及查驗溫室氣體排放量。配合國

⁴³ 應盤查登錄及查驗溫室氣體排放量之特定事業，包括發電業、鋼鐵業、石油煉製業、水泥業、半導體業、薄膜電晶體液晶顯示器業等。

家減碳目標並加大各部門減碳力度，更於 2025 年 3 月公告，將盤查對象從原先之能源與製造部門擴大到服務業、運輸業、醫療院所、大專校院及中小型製造業等。根據環境部「事業溫室氣體排放量資訊平台」，2025 年全國共有 285 家工廠配合碳盤查，並公布溫室氣體直接排放量、能源間接排放量等資訊。

四、淨零排放之驅動與走向

（一）能源供給之科技驅動因素

1. 前言

科技創新是達成 2050 年淨零排放之關鍵因素，尤其是再生能源與零碳發電等相關科技。能源部門是全球溫室氣體排放最大來源，其中半數來自發電過程所排放，且隨國際減碳趨勢，逐步減少消費化石燃料而改採電氣化、電動化之能源轉型，可預期電力需求將上升。因此，擴大再生能源使用及創造足夠零碳電力，為淨零科技發展之焦點。

IEA 預估，在 2050 年淨零排放情境下，全球再生能源發電占比在 2030 年達到 60%，在 2050 年達到 90%，尤其是太陽能及風能發電，因技術已相對成熟且商業化，而能擴大使用規模，屆時兩者合計占全球發電裝置容量之比例可達到 68%。

此外，國際亦積極投入其他再生能源技術研究，例如地熱、氫能、生質能及海洋能發電。地熱與海洋能發電在 2050 年之合計約占全球發電量 1.3%，占比雖不高，但因資源豐富而沒有耗竭之問題，成為再生能源重要選項。生質能發電至 2050 年預計可占全球發電量 4.6%，加上淨零排放情境下增加水力發電規模，兩者將合占全球發電量 16.5%，成為基載電力之重要選項，可平衡太陽能及風能發電之變動性。氫能發電於 2050 年預計占全球發電量 2.4%，且氫可應用於燃料電池及作為儲能載體，在淨零排放中扮演重要角色。

隨再生能源成為主要發電來源，必須發展儲能、智慧電網及智慧能源管理科技，以增強供電穩定與韌性。惟部分化石燃料發電裝置仍需保留，或用於其他必要之燃燒動力與工業需求，這些無法電氣化之排放源，須搭配 CCUS 技術，以減少碳排放或產製低碳電力，此外，發展 DAC 等相關技術亦有助於直接自大氣中捕碳及固碳，與再生能源發展構建完整碳循環經濟模式（表 8），達成全球減碳目標。

表 8 淨零排放能源結構之關鍵技術

類別	發展中關鍵技術	於淨零排放中角色
主要能源	太陽能（鈣鈦礦電池）、風能（浮動式、深水風機）	主要供電來源
基載電力	地熱（深層地熱）、氫能（純氫燃氣渦輪機、氫燃料電池）	提供穩定且長時間儲存之電力，平衡再生能源變動性
新興能源	生質能（轉換效率）、海洋能（潮汐、波浪）	補充特定區域能源需求
系統支撐	儲能設備（儲能電池）、電網（智慧化、精準預測）	增強電網穩定性與調度精確性
終端處理	CCUS（藻類生質碳匯、礦化封存）	搭配無法電氣化之排放源

資料來源：本文整理。

2. 太陽能

據 IEA 估計，2050 年全球太陽能裝置容量將達 14,458GW，可提供 234,690 億度電力。除持續佈建太陽能裝置，各國也不斷研發發電效率更好之太陽能電池。目前太陽能電池主要材料為矽，採用 PERC⁴⁴ 結構製成，轉換效率約 23%，幾乎已接近其最大效率值。

提升矽太陽能電池轉換效率之主要研發方向，包括改採 TOPCon⁴⁵ 結構及 HJT⁴⁶ 結構，轉換效率分別可提升至 24% 及 25%。惟矽太陽能電池轉換效率仍難以提升至 30% 以上，若要突破此瓶頸，必須增加堆疊層或採用不同材料，例如，鈣鈦礦製成之太陽能電池轉換效率可達 36%，且具備成本低、製程簡單、質輕量薄等優勢，被視為可與矽太陽能電池搭配，組成高效率堆疊層式太陽電池之最佳解。

⁴⁴ 鈍化射極與背面太陽能電池(Passivated Emitter and Rear Cell, PERC)使用 P 型矽基板，主要在電池背面增加了一層鈍化層，能防止電子在抵達背面電極前流失、增強光反射及提高電池穩定性，從而提升發電效率。

⁴⁵ 穿隧氧化層鈍化接觸太陽能電池(Tunnel Oxide Passivated Contact, TOPCon)使用 N 型矽基板，在電池結構裡包括一層非常薄的穿隧氧化矽層，以及摻有磷的多晶矽薄膜堆疊而成。

⁴⁶ 異質接觸面太陽能電池(Heterojunction with Intrinsic Thin Layer, HJT)使用 N 型矽基板，加入非晶矽薄膜與晶體矽材結合，形成異質接觸面，以增強光反射及減少能量損失。

3. 風能

IEA 估計，2050 年全球風能裝置容量將可達 8,265GW，可提供 247,850 億度電力，裝置容量雖少於太陽能，但相對於太陽能裝置運作受限於日照時間，風電裝置反而可提供更多電力。離岸風電技術研發主要朝向更大裝置容量（如 14MW 裝置容量以上之風機）、能布建在水深 50 公尺以下，以及取代現行固定樁式之浮動式平台風機等。新技術風機具有抗風、抗波浪及抗海流能力，可減少海象因素影響，其中浮動式平台風機可在岸邊組裝後，由拖船拖往外海置放，能節省施工時間。

風能另一項研究重點在電力供給之平衡，由於天氣變化使風能不具備可調度性，整體電力供需會出現失衡情況，未來技術研發朝向與天氣預報系統整合，提供精準之風力發電量預測資訊，使電廠能及時排程調度電力。近期「Power to X」-將電力轉換為其他能源儲存或燃料使用之概念漸受重視，以離岸風電為例，搭配電解製氫可解決季節性及時間性之供電失衡問題。此外，隨風機離岸距離增加，電網建置成本也會提高，進一步擴大建置電解製氫及氫運輸設備，為取代部分電網之誘因。丹麥沃旭能源（Orsted）在 2021 年完成 H2RES 計畫，為全球第一個正式運轉之離岸風電製氫計畫。

4. 地熱

地熱發電依開採型態之不同，可分為傳統熱液型地熱系統（Hydrothermal System）及增強型地熱系統（Enhanced Geothermal System, EGS），傳統地熱井之鑽探一般不超過 3,000 公尺，屬淺層地熱開發，而 EGS 鑽探深度超過 3,000 公尺，屬深層地熱。全球淺層地熱發電行之有年，技術已非常成熟，例如環太平洋火山帶國家，已有多國總裝置容量達 1GW 以上。而深層地熱技術預計在 2030 年將更趨成熟，主要歸功於精細探測（mapping）及探勘取熱（drilling）技術之進步，精細地質探勘工作可獲取地熱潛在發展區域之高精度地下 3D 地質資訊，以用於探測深層地熱在地下深處之傳導形貌，有利未來深

層地熱探勘取熱。

地熱發電不受天候影響，相對於光能及風能更為穩定，發電量與裝置容量比之平均值高於 80%，可做為基載電力，降低再生能源之不穩定性。目前全球商轉之 EGS 電廠因受技術及成本問題限制，仍少於 10 個，有德國 Insheim 電廠（4.8MW）與 Landau 電廠（3.8MW）、美國 Desert Peak 電廠（1.7MW）及法國 Soultz 電廠（1.5MW）等。

美國能源部遂集合產官學資源，推動地熱研究前線觀測站計畫（Frontier Observatory for Research in Geothermal Energy, FORGE），提供 47~70% 之研究經費補助，目標在 2030 年將 EGS 發電成本降至平均每度電 0.06 美元（目前約 0.056~0.093 美元），並在 2050 年達全國 100GW 之裝置容量。歐盟 EUGENE 協會也結合 35 個相關組織，目標讓 EGS 探勘成本、鑽井成本各下降 20%，及發電轉換效率提升 20%。

5. 氫能

氫能應用主要分為三大類，作為燃料、氫能電池或能源儲存載體（energy carrier）使用，說明如下：

- 燃料：將氫直接燃燒或混入天然氣燃燒，作為發電或供熱用途。因純氫燃燒後僅產生水而不產生 CO₂，故以其取代化石燃料有助減碳。惟燃燒純氫之火焰溫度極高，使用之渦輪機需以特殊材料製造，而多處開發試驗階段，尚未全面商轉。因此，目前主要係加入天然氣混燒，已商轉之燃氣渦輪機多能處理含氫達特定比例之燃料。預計 2030 年左右，燃燒純氫之燃氣渦輪機便達商業化階段，屆時將可過渡至以純氫為燃料之發電或供熱用途。
- 氫能電池：氫能電池又稱氫燃料電池，是一種發電裝置，原理是藉氧化還原反應，將燃料中化學能轉換為電能，最常見之燃料為氫，透過催化劑釋放出電子並產生電流，而氫與空氣中之氧結合，最後只排放水與熱能。氫能電池可用於產業發電，或作為電動車輛、船舶等動力來源。氫能電池成本較高，廣設高壓加氫站也有

一定難度，應用在市區交通上，發展潛力不如一般電動車。但在長途運輸上，由於氫能長時間儲能之特性較鋰電池更佳，有望成為貨櫃車或船舶等動力供應之主要來源，以及取代化石燃料之可行減碳方向。

- 能源儲存載體：氫能可長時間儲能之特性，適合用於解決再生能源電力供需失衡之問題。過去因再生能源電力製氫成本過高，使氫能對減碳之重要性未受重視。然而 IEA 指出，隨再生能源成本下降，及產氫規模擴大，2030 年之再生能源電力製氫成本可降低 30%。再生能源最佳減碳方式係直接取代燃煤、燃氣發電，僅於電力過剩而無法馬上使用時，才以製氫方式儲存。另外，隨國際間再生能源占比上升，氫能儲存重要性將提高，可較長時間儲存與較低損耗率之特性，使其成本與效益優於一般鋰電池。

目前產製氫之方式主要分為電解水、天然氣蒸氣重組、工業製程副產品及天然氣無氧裂解等四類：

- 電解水：電解水製氫是將水電解成氫氣與氧氣，優點是製氫時不會產生碳排。但因電解水需能源投入，以化石燃料發電則有碳排問題，因此多以再生能源電力製氫。相較於傳統蒸汽重組製氫，電解水製氫成本較高，除了需要電力，也要耗用水為原料（生產 1 公斤氫氣約需 9 公升水，並產生 8 公斤氧氣副產品）。
- 蒸氣重組、工業製程副產品：是目前最廣泛運用且最有效率之產氫技術。蒸氣重組主要是以天然氣或甲烷作為來源，在高溫下反應形成 CO₂ 與氫氣。但產氫過程會產生碳排放，需進一步藉助碳捕捉技術，才能成為「綠氫」。
- 天然氣無氧裂解：天然氣無氧裂解又稱去碳燃氫，是一種創新科技，係將天然氣在無氧條件下，分離產生氫氣和固體碳。因將碳在燃燒前以固體碳型式分離，故無 CO₂ 排放產生。天然氣無氧裂解極具研發價值及減碳潛力，惟技術尚未達商業化階段。

IEA 報告預估，2050 年淨零排放情境下，全球產氫將完全使用低碳技術，包括 60%之電解水產氫及 40%之天然氣產氫（加碳捕捉技術）。2020 年氫能委員會（Hydrogen Council）發布之氫能競爭力報告認為，隨應用面擴大，2030 年氫能成本可降低 50%，至 2050 年氫能將成為全球 18%之最終能源需求選項，也因此淨零排放目標中扮演重要角色。

歐盟在 2020 年 7 月公佈氫能策略（EU Hydrogen Strategy），將在 2030 年後，將綠氫應用於重工業等難減排部門，使氫能占整體能源使用比例從 3%提高至 14%。美國能源部在同年亦公布氫能大型專案計畫（Hydrogen Program Plan 2020），致力於氫能研究、開發及全產業鏈發展及規模化。日本為其《綠色成長戰略》新設 2 兆日圓基金鼓勵民間投資氫能設備，目標在 2030 年讓氫能供應量達每年 300 萬噸，2050 年則擴大至每年 2,000 萬噸。

另外，日本亦進行多項海外氫供應鏈計畫，包括石油集團 JXTG 與澳洲昆士蘭科技大學合作，以太陽能電解製氫，並以液態有機氫形式儲存，再船運進口至日本，為未來長期從澳洲進口綠氫進行測試；日本也與澳洲維多利亞省進行「CarbonNet」計畫，利用水與褐煤汽化產氫並液化，並將捕獲的 CO₂ 封存在該省近海海床下，目標在 2030 達到商轉；川崎重工也與挪威 NeL 氫能公司進行再生能源電力製氫計畫，運用水力發電製氫，並透過液化氫方式送往日本；在氫氣運輸上，日本與汶萊進行以液態有機氫運輸示範計畫，以及與沙烏地阿拉伯進行以氨為載體運之氫運輸示範計畫。

6. 生質能源

生質能源係指以生物直接或間接行光合作用產生之生質物作為能源原料。生質原料燃燒雖會排放 CO₂，但因其碳來自植物生長過程所吸收大氣中之 CO₂，而非新增，故生質原料之使用不僅可直接自大氣中進行碳捕捉，更可被視為碳中和之能源選項。

早在 1980 年代即成功產製以玉米、甘蔗煉糖發酵之生質酒精，

但仍無法與化石燃料競爭。為因應氣候變遷加劇，本世紀以來美國與巴西等國大力投入研發生產，目前生質酒精在多國已混入汽油使用，可有效降低碳排放量。雖然氮氧化物排放量會隨生質酒精添加比例同步增加，但一氧化碳及碳氫化合物排放量卻可減少，因此，汽油可在混入生質酒精前經特殊處理以降低空污問題。

生質能源技術之研發方向，主要在提升能源轉換效率，包括：(1) 無氧裂解技術，使傳統生質原料之利用方式，從碳中和進一步成為負碳，但轉化率、氫氣利用與能源效率等部分均未臻成熟。(2) 以生物技術增加光合作用及碳使用效率，可增加生物固碳、化學品及生質燃料之產量。

7. 海洋能

海洋能發電原理，係利用海水吸收太陽熱能不均之溫差使海水流動、氣流與風力引起波浪、星球間引力變化形成潮汐等動能。因此，海洋能發電可分為：海流能發電、海洋溫差發電、波浪發電、潮汐發電及海洋鹽差發電等五大類。

國際再生能源機構（IRENA）指出，目前全球運轉之海洋能發電設備裝置容量共 534.7MW，其中多為潮汐發電，達 532.1MW，其次為波浪發電之 2.31MW、海洋溫差發電之 0.23MW，以及鹽差發電之 0.05MW。據歐洲海洋能源組織（OEE）報告，歐盟在 2020 年時波浪發電裝置容量為 12MW，而潮汐發電裝置容量為 27.9MW，希望藉由政策支持，在 2025 年達成總裝置容量 100MW 之目標。海洋覆蓋地球表面積達三分之二以上，所潛藏之海洋能十分可觀，且已有部分發電技術基礎，為達淨零排放，海洋能發電亦為無碳能源之重要選項。

8. 儲能與電網

隨著再生能源使用增加，而須建置更高效穩定之能源系統，配合整合性儲能、智慧電網及智慧能源管理系統，降低再生能源發電變動性過大對供電穩定之衝擊，使再生能源應用效率達到極大化。

儲能設備係以能源載體進行充放電，近年因成本大幅下降、法規鬆綁及政策鼓勵，使全球儲能設備之建置不斷加速（如美國 2015 年至 2018 年間，公用事業規模之儲能電池成本下降近 70%）。惟儲能電池之後續發展，有賴對電池充放電過熱可能發生火災或爆炸、鋰電池電解質容易揮發與漏液、廢棄電池環保公害等問題之克服，方能更順利推廣及擴大使用層面。

智慧電網方面，目前主要發展技術包括先進讀表系統、分散式能源系統整合、資訊及通訊技術，以及協調輸電與配電之智慧網路管理。據美國電力創新研究所報告指出，2021 年底美國已安裝 1.15 億台智慧電表，覆蓋 75% 以上家庭。歐盟成員國至 2020 年之智慧電表普及率達到 80%，而挪威、丹麥、西班牙等國評估已達 100%。在亞洲，日本於 2024 年全面導入智慧電表，南韓也規劃在 2030 年完成建置全國性智慧電網。

此外，當再生能源使用占比達特定規模時，為增進電力系統穩定運轉，須強化再生能源之即時發電預測，透過氣象預測、發電即時監控及用電需求面管理，並搭配儲能系統及氫能等電力轉換技術，以增加電力調度之精確性。

9. 碳捕捉、封存、再利用

現有碳捕捉技術相當多元，包括化學吸收、物理吸附、富氧分離、薄膜分離、鈣迴路及化學迴路法等，以及新興的直接空氣捕獲技術。其中，化學吸收及物理吸附已達商轉階段，其餘技術則多在前導計畫或展示階段。然而，碳捕捉技術運作須消耗能源，須考量使用能源之排碳量以選擇適合技術，方能達到淨負排放之效果。

現有 CO₂ 封存技術大致分為地質封存、礦化封存及生質碳匯。地質封存可先從經開採而耗竭之地下油氣層進行，該地質在構造及流體性質具備足夠資料，不需再探勘就能用於 CO₂ 封存，具成本較低之優勢，短時間內即可用於協助減排；海域封存雖提供較大封存潛能，但需在濱海或近岸以斜井方式進行鑽探，以尋找合適場址，且須解決大

眾對環境影響之疑慮。若採取海鹽水層封存，則需至外海探查，開發風險更高。

礦化封存屬創新技術，如冰島 CarbFix 計畫在 Hellisheidi 地熱電廠利用玄武岩進行碳封存，係將 CO₂、地熱水等混合物灌入地下 400 至 500 公尺深之玄武岩，地熱弱酸水溶解玄武岩中鈣、鎂離子，與 CO₂ 反應轉換成安定之白色石灰岩固體，而儲存在玄武岩地層中。該技術優點在封存速度快，不到兩年就固化 95%，缺點是用水量大，封存 1 公噸 CO₂ 約需 25 公噸地熱水。

生質碳匯是利用植物光合作用大規模自空氣中捕碳，並固碳於該生質原料中。生質原料可再透過無氧裂解氣化成氫及生物炭，氫可用於發電，而生物炭可固態封存。生質碳匯可分為在陸域及水域行光合作用：陸域方面，選擇在非耕地上種植短期收成之生質作物（如狼尾草）是具潛力之發展方向，且可利用生物科技提升光合作用效率，增加生質作物產量及減少水與肥料等使用；水域方面即所謂「藍碳」碳匯，其中藻類被認為是比陸域生質作物更好之選擇，具有不需土地、淡水及生長容易等優點，惟相關技術仍在發展，須提升轉化效率及生物炭分離技術，以及發展對海洋碳匯具共識之潛能、成本效益等評估方法，才能納入減碳政策框架並被大規模採用。

CO₂ 再利用主要可分為直接利用與轉化利用兩類。直接利用的需求較少，主要包括提供溫室使用、工業用乾冰及電子級 CO₂ 等；轉化利用是讓 CO₂ 與氫或帶氫物質反應，轉化成化學品或能源產品，例如化學品尿素、碳酸酯、醋酸及水泥替代物等，以及能源產品甲醇、二甲醚、碳酸二甲酯等。以鋼鐵廠與石化廠的鋼化聯產為例，從鋼鐵廠高爐氣中捕獲 CO 或 CO₂，透過石化廠與氫或帶氫物質反應，最終製成甲醇、醋酸及甲烷等產品。

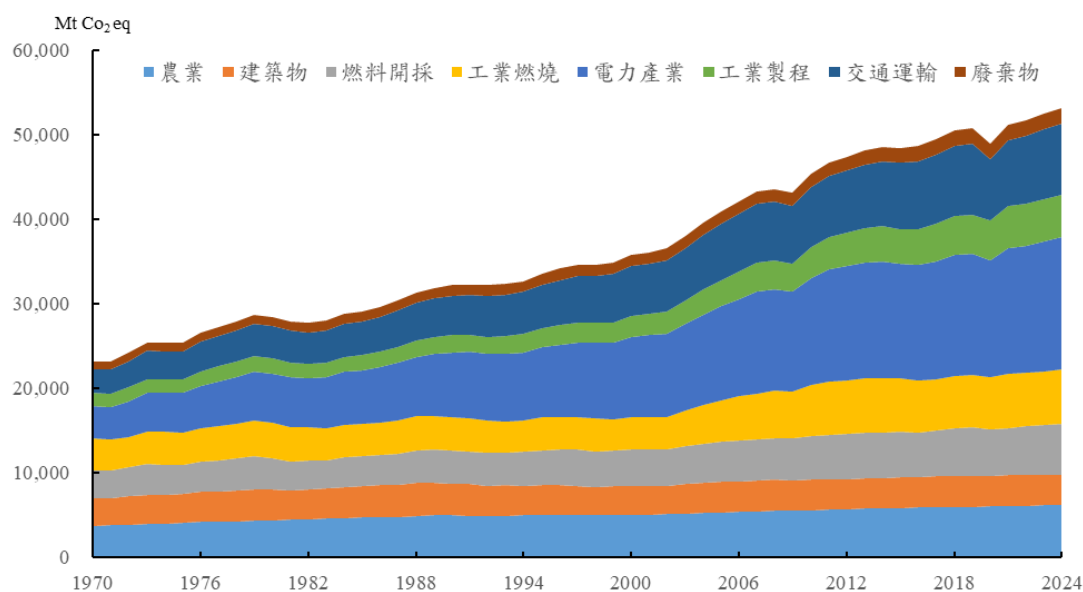
IEA 預估各種碳捕捉、封存、再利用技術，在 2030 年可捕獲 16.7 億噸 CO₂e，至 2050 年則可上升至 76 億噸 CO₂e，占 2050 年總體排放量的 25%。

(二) 企業淨零轉型策略與發展

1. 前言

由全球主要經濟活動部門⁴⁷之溫室氣體排放趨勢（圖 17）發現，工業燃燒、電力產業、工業製程及交通運輸等生產與能源相關部門之直接排放快速增加（遠高於持平之農業及建築物等部門），且未來排放隨經濟成長持續攀升。由於產業淨零主要繫於製程或能源技術之突破，被動仰賴外部技術移轉，充滿不確定性，因此，由個體企業主動以永續面向彙集盤查、研發與資金等轉型量能，方能構築產業走向淨零。

圖 17 全球溫室氣體排放量（主要來源）



資料來源：European Commission(2025)。

世界經濟論壇歸納八個具挑戰性之產業⁴⁸，這些產業推動全球經濟，但直接 CO₂e 排放合計佔全球 40%，預計 2050 年更將達 60%。然

⁴⁷ 農業：農業土壤、作物殘渣燃燒、腸道發酵、糞便管理、農業間接氧化亞氮排放。建築物：小型非工業固定燃燒。燃料開採：燃料之生產、轉化與精煉。工業燃燒：工業製造之燃燒。電力產業：發電廠與熱力發電廠。工業製程：工業生產（如水泥、鋼鐵、鋁、化學品、溶劑等）過程中之排放。交通運輸：公路、鐵路、船舶和航空載具移動之燃燒。廢棄物：固體廢棄物及廢水處理。

⁴⁸ 包括鋼鐵、水泥、鋁、初級化學品以及石油和天然氣等五個重工業，和航空、航運和卡車運輸等三個重運輸業。

而 WEF 研究報告顯示⁴⁹，各產業減排進度落後，必須加快淨零轉型步伐，增加現有資產改造及新氣候相容資產投資，且應導入數位化及 AI 等支援淨零轉型工具。

(1)企業需善用不同夥伴關係與合作機制

許多研究示警企業淨零轉型之重要與急迫：因應氣候緊急狀況，需全範圍淨零轉型，改變生產和消費模式以擺脫對化石燃料之依賴^{50,51}；企業必須加速轉型並借力政府之積極扶持⁵²；此外，不僅應改變能源使用結構，企業還需推動涵蓋產業、供應鏈與國際間之系統性合作⁵³。亦即，淨零目標之達成需要企業、政府和民間機構等多方利害關係人合作，展現更高遠之企圖心，找到共同解決方案並採取果斷行動⁵⁴。

WEF 發布之《Fostering Effective Energy Transition 2022》詳述三種典型之企業夥伴關係——供應商與客戶間、同業或異業間以及更廣泛之產業生態系統利益相關者（如政府、研究機構與企業等）——建立「新世代」雄心勃勃之多利益合作機制，方能克服減碳瓶頸，加速產業向淨零排放轉型。本章針對企業如何利用不同之夥伴關係與合作機制，取得競爭優勢並實現淨零轉型進行分析。

(2)主動克服企業雄心、行動與責任等方面障礙

轉型過程仍應讓企業有永續發展之機會，也就是淨零轉型對確保企業在未來可能面臨之衝擊與不確定性中生存，甚至進一步成長至關重要。波士頓顧問公司（Boston Consulting Group, BCG）之 2025 年氣候調查報告⁵⁵顯示，82%受訪企業已從減碳獲得經濟效益（其中 6%企

⁴⁹ WEF(2024), “Net-Zero Industry Tracker 2024 Edition”, December.

⁵⁰ Chadha, A. 2011. “Overcoming Competence Lock-In for the Development of Radical Eco-Innovations: The Case of Biopolymer Technology.”, *Industry & Innovation*, Vol. 18, P335–350.

⁵¹ Losacker, S., J. Horbach, and I. Liefner. 2022. “Geography and the Speed of Green Technology Diffusion.”, *Industry and Innovation*, Vol.30 P531–555.

⁵² IEA(2020), “Energy Technology Perspectives 2020”, September 10.

⁵³ Hailemariam, A., and M. O. Erdiaw-Kwasie(2022), “Towards a Circular Economy: Implications for Emission Reduction and Environmental Sustainability.”, *Business Strategy and the Environment* Vol.32 P1951–1965.

⁵⁴ WEF(2022), “The Net-Zero Industry Tracker”, July 28.

⁵⁵ BCG(2025), “2025 Carbon Survey Report Slideshow-Sep-2025-Edit-03”.

業之效益超過年收入 10%)，這些效益源於消費者為永續產品支付更高價格之意願提升，讓此類產品創造更高營收，以及透過提高效率和優化資源所實現之營運成本節約。

然而，在全球加速應對氣候變遷之背景下，企業淨零轉型壓力日益沉重，並且面臨著來自雄心、行動與責任三個核心原則之障礙，這些障礙彼此影響，形成阻礙進程之惡性循環⁵⁶：

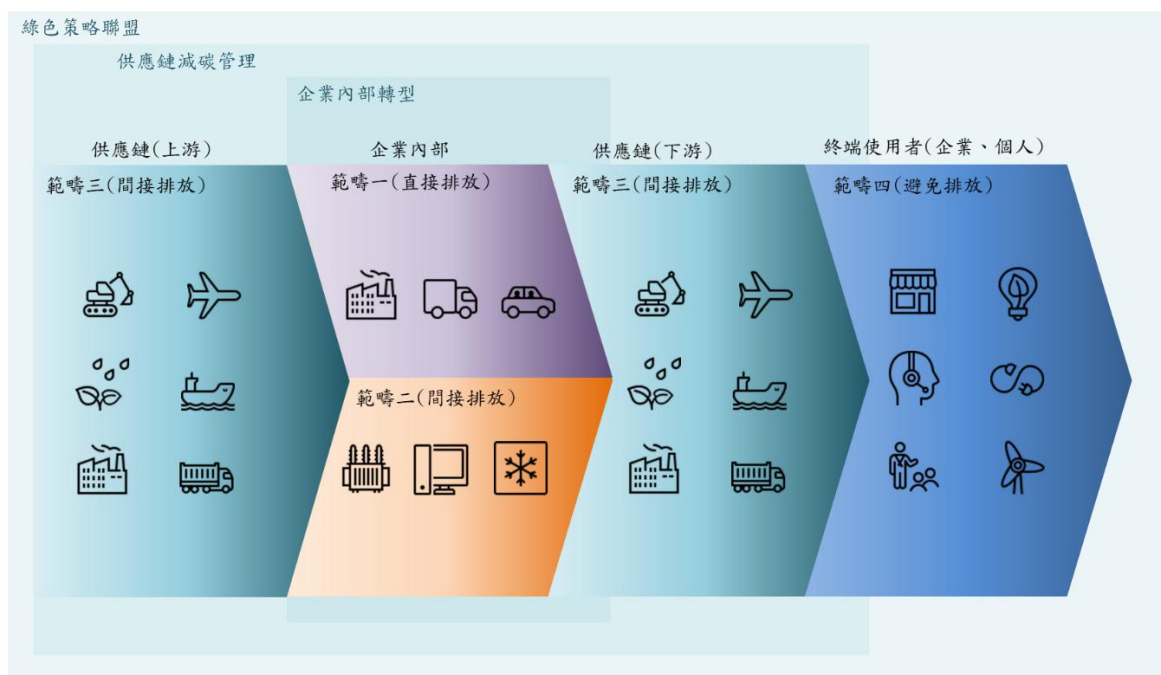
- 最主要之內部障礙是未能將淨零排放作為核心策略，許多企業仍將減碳視為額外成本，而非有利於營收、品牌及風險控管之價值創造方式，導致轉型目標缺乏長期發展之雄心與路徑規畫，部門間因此缺乏整合、標準與激勵機制，造成資源配置不足，阻礙跨部門協作及轉型效率。
- 外部障礙之一為範疇三減排，通常佔企業總碳足跡之最高比重。原物料採購到產品配銷各環節均涉及大量排放，且因無法直接控制，企業難以從為數眾多之供應商獲取可靠、統一且標準化之排放數據，導致準確追蹤與報告彙總之困難，加以供應商間減碳能力、財務資源與淨零承諾各異，企業不易確保減排策略在整個供應鏈達到同步性和一致性，造成企業減碳成本與漂綠風險增加且供應鏈韌性下降等不利之連鎖影響。
- 各國政府對企業排碳要求之廣度與深度逐漸嚴苛且變動性高，企業不僅因碳稅及 CBAM 等政策直接增加營運成本，尚須設立明確減排目標並提交碳排放報告，以應對巨大之合規壓力及不確定性。另外，轉型進程較慢之企業更可能因擔憂外部審查而發生「分析癱瘓」(analysis paralysis)，或因無法確定最佳方案而陷入「綠色停滯」(greenstalling)。此類政策與法規所產生之問責障礙亦是阻擾企業淨零轉型之主要外部障礙。

企業之淨零轉型，必須果斷將淨零目標深度嵌入經營核心策略，

⁵⁶ CarbonTrust(2024), “Breaking Business Barriers to Net Zero”, February.

不僅公開宣示，更應將該目標納入高層之績效評估體系。同時，在淨零轉型過程中，須嚴謹檢視所有利害關係人與流程之排放狀況，方能有效發揮內部轉型與供應鏈管理之成效，並善用策略聯盟等外部協同機制獲取更多資源、技術與市場機會（圖 18，說明如下文）。

圖 18 企業主要碳排放來源之應對策略



資料來源：本文整理。

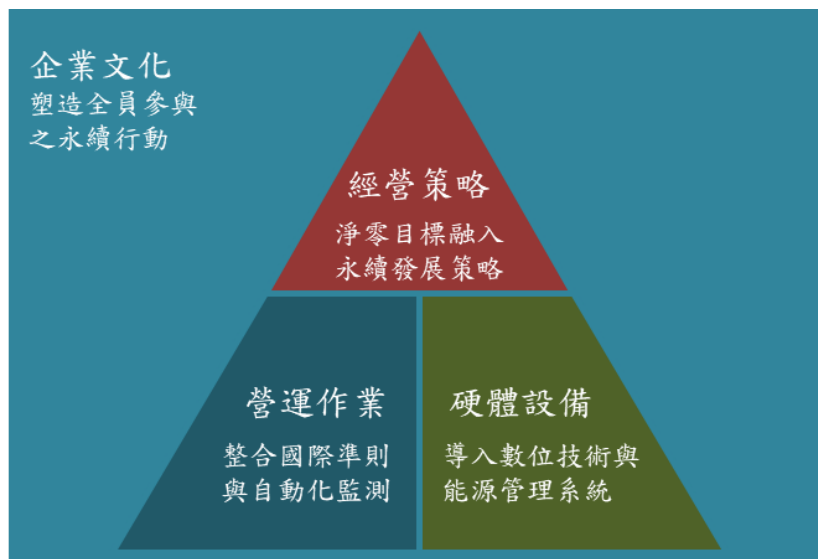
2. 內部轉型涉及策略、文化、作業與硬體等層面

內部淨零轉型乃企業主動承擔環境責任之策略性部署，涉及多層次、系統性變革，核心在於發展策略根本性調整、企業文化深度重塑、營運作業結構性變革，以及硬體設備與技術創新等企業全面性轉型：策略層面，需將淨零目標融入永續發展策略，進而建立前瞻性之碳管理與投資框架；文化層面，需塑造並建立全員參與之永續行動；作業與硬體層面，需整合國際準則與自動化監測，並導入先進數位技術與能源管理系統，以實現企業內部深度去碳。轉型成果將直接影響範疇一與範疇二排放（圖 19）。

此外，企業淨零行動可產生傳導效應，透過綠色採購標準與產品

生命週期設計，可間接影響供應鏈排放（範疇三）；藉由提供低碳解決方案與服務，亦能促使顧客與終端消費者之碳排減少，實現避免排放（範疇四），從而擴大企業對全球暖化減緩之整體貢獻。

圖 19 企業內部淨零轉型策略性架構



資料來源：本文整理。

(1)發展策略調整

重新檢視並調整發展策略是淨零轉型成功之先決要件，企業必須將氣候風險與機會深度融入核心決策，從根本重塑價值創造系統，並將淨零目標視為長期競爭優勢之驅動力，而非僅止於合規性要求。具體而言，需重新調整企業定位、產品組合及市場佈局，確保所有重大支出及營運決策均與預定之科學基礎減量目標倡議（如 1.5°C減碳路徑）一致，從而避免擱淺資產（Stranded Assets）⁵⁷之風險。

此外，企業應建立前瞻性之碳管理與投資框架，關鍵要素包括「內部碳定價」（Internal Carbon Pricing）之實施，此工具能衡量投資真實成本與效益，引導資源流向低碳創新技術與綠色基礎設施。同時，需制定明確且可量化之短、中、長期減排目標，並藉此與高階管理者之薪獎制度掛鉤，以確保落實問責機制與目標管理，此舉旨在建立長期

⁵⁷ 擱淺資產（Stranded Assets）指因環境政策轉變、技術革新或市場偏好變化等因素，導致經濟價值突然貶低或提前退役之資產。這類資產通常涉及高碳排放或環境敏感產業，如化石燃料儲備、燃煤電廠等。

激勵機制，確保淨零轉型可獲得必要之資源與決策支持。

最後，淨零轉型策略應涵蓋供應鏈韌性與市場創新兩大面向。在 CBAM 及全球綠色採購標準之壓力下，企業須將供應商淨零表現視為關鍵評價標準，以確保自身供應鏈之低碳韌性。同時亦應積極投入「範疇四」減碳之創新，開發有助於下游至終端顧客減排之綠色產品與服務，以搶佔新市場，由內而外完成價值鏈之再造與擴張，從而轉型為「淨零解決方案」提供者，實現永續發展之經營目標。

實際案例：蘋果（APPLE）以務實之經營理念與研發創新支撐其氣候策略，並運用市場力量，大規模複製成功之轉型作法（如使用更多再生材料，提高產品可維修性與回收便利性等），創造達成減排目標所需之影響力⁵⁸。同時積極倡導環境政策，包括強化公私部門間合作（如加入水資源管理聯盟（Alliance for Water Stewardship）等跨產業平台，為供應鏈之水資源環保制定標準），及對減碳技術之投資。

(2)營運作業變革

建立標準化之碳盤查與管理機制，可確保企業之氣候行動持續性與制度化。在執行層面上，遵循 GHG Protocol 等國際公認準則，精確界定並衡量範疇一至三之排放數據，並透過自動化數據監測取代被動之定期盤點，將即時產出之排放數據與營運決策深度結合，使企業能從過去之事後結算轉向事前模擬與動態控管，精確識別減碳熱點並改善作業流程與優化資源配置。

國際經貿政策（如 CBAM）與金融監管日益嚴峻之背景下，企業營運作業變革須強化與法規環境之動態對接。透過導入嚴謹之第三方驗證與數據審核機制，企業能確保碳揭露資訊之信實度，降低因資訊不實引發之違規風險與聲譽受損。此外，在作業改善部分，應建立「法規預警與滾動修正機制」，定期審視國際準則異動，並同步調整內稽

⁵⁸ Apple(2025), “Apple 2025 Environmental Progress Report”.

內控制度，確保作業流程符合最新監管要求。

(3)技術設備創新

數位技術能為淨零目標之達成做出重大貢獻。德國電信協會（Bitkom(2024)）研究顯示，到 2030 年，數位技術能使德國每年減少約 4,300 萬至 8,000 萬噸之 CO₂ 排放量（取決於數位化速度）⁵⁹。使用先進數位技術之企業獲取重要氣候價值之可能性是其他公司兩倍（BCG(2025)），衛星探測、無人機、AR 和 VR 等沉浸式科技、AI 和量子運算等數位技術能提供完整之氣候資訊與節能、減碳路徑，並有效預測及降低氣候異常衍生之不利影響，加速企業永續發展。

企業須導入先進能源管理系統與數位化監控技術，以提升能源使用效率並降低碳排放。例如，結合物聯網與大數據分析，即時監控工廠與辦公場所能源消耗，並快速識別高排放環節，從而制定精準節能策略；透過智慧製造與自動化系統之應用，不僅優化生產流程，還能有效降低排放，實現硬體設備層面淨零。此外，企業應積極轉向採用再生能源設備替代傳統高碳能源，進一步減少直接排放⁶⁰。

(4)企業文化重塑

淨零轉型不僅是技術與設備革新，更需要全體員工意識與能力提升，其中，高階管理者應擔負減碳之領導與示範角色，確保企業各項營運功能均同步朝淨零轉型發展；在員工減碳方面，企業應持續教育員工體認減碳對企業之影響，可藉碳足跡管理平台或數據分析程式，提供具體實踐助力，以強化其認同感及參與度，進而有效建立永續文化。亦可利用內部碳定價機制，將外部氣候風險內部化為經濟誘因，促使各部門與員工確實執行低碳決策，從而改善成本效益，將淨零轉型從法規遵循之負擔，轉化為驅動創新之核心戰略與企業文化。

⁵⁹ Bitkom(2024), “Klimaeffekte der Digitalisierung 2.0”.

⁶⁰ BCG 在 2025 氣候調查報告顯示，企業規劃增加對氣候風險緩解、適應及韌性之投資，將資本支出預算之 16% 用於永續發展（相當於各企業增加 6,900 萬美元）。此外，約 70% 企業維持或增加對永續發展之整體投資，預計投資增幅最大之產業是能源、建築、科技、醫療保健和工業品產業。

(5) 範疇四對轉型之啟發

範疇四排放亦稱「避免排放」(Avoided Emissions)，由世界資源研究所(World Resources Institute)於2013年提出後被許多公司採用。與其他範疇不同，範疇四不發生於企業本身運營或價值鏈，而是因使用該企業產品或服務，使終端用戶得以避免之排放(如改採綠色運輸或省電設備而提升能源使用效率)。此概念在評估企業對《巴黎協定》目標之實質貢獻時具補充價值，但因尚未形成全球性之標準與法規，企業在揭露範疇四時須自行建立計算方法，並使報告保持高度透明，以免將理論數據混淆為實際減排而降低可信度⁶¹。

企業在淨零轉型之過程中，若能對範疇四進行有效之追蹤評估，將可彌補範疇一至三過於聚焦組織內部排放之侷限性，促使企業重新審視研發投資組合，使技術創新與氣候積極性深度銜接⁶²，且因有幫助客戶減排之實際數據，範疇四之揭露將成為企業展示「綠色競爭力」與「轉型韌性」之重要指標，以及永續發展之關鍵來源。

3. 供應鏈減碳管理

(1) 供應鏈合作對減碳具關鍵性

範疇三之供應鏈排放量遠高於自身直接營運之範疇一與範疇二排放，範疇三涵蓋企業價值鏈上下游所有間接排放(從原材料採購、生產、運輸到產品使用與處置)，常佔企業總排放最大部分，尤其上游排放更可高達70%。根據CDP與BCG聯合研究⁶³顯示，全球企業供應鏈平均溫室氣體排放量為其營運排放(範疇一加二)之26倍。

在全球氣候治理趨勢與科技驅動下，企業減碳需延伸至完整供應鏈體系。WEF指出：「為能在2050年或更早實現淨零，各產業須更快地應對範疇三排放。這要求企業承擔營運外之排放責任，並在其產品和商業模式進行深度變革，運用新興技術，並在價值鏈中建立新合

⁶¹ RECESSARY(2022), 「投資人擬強化 ESG 資訊揭露 納入「範疇四」碳盤查」, 9月28日,

⁶² 如生產低溫洗滌劑之公司雖有直接排放，但其產品能幫助全球數百萬家庭降低洗衣水溫及加熱排放。

⁶³ CDP, BCG(2024), “Scope 3 Upstream: Big Challenges, Simple Remedies”, June 25.

作關係」⁶⁴。BCG 之分析確定企業為管理供應鏈排放而採取之行動中，「吸引供應商參與」最為重要，與供應商合作以提高透明度並降低氣候風險，可使企業實現範疇三脫碳目標之可能性提高 9 倍⁶⁵。

(2) 供應鏈複雜且無法直接控制

供應鏈結構複雜且跨越多國、多層級供應商，數據透明度不足，且供應商多半獨立運作，規模與型態多樣，使制定並落實標準與目標困難重重。截至 2023 年底，僅少數企業對範疇三設有明確減排目標，顯示企業淨零轉型仍面臨供應鏈控制之障礙⁶⁶。MIT 之報告⁶⁷顯示，大多數企業雖擅長測量範疇一及範疇二之排放，惟因缺乏對供應鏈資訊及流程直接控制，無法有效監控與計算涵蓋供應鏈間接排放之範圍三狀況，以致越來越難收集必要資訊以遵守監管機構規定，最後將無法在規定時間內達成減碳目標。

(3) 納入完整生命週期之核心管理方向

為克服供應鏈管理之外部障礙，企業須從單純要求供應商合規，轉向「策略性協作」與「設計優化」，將產品完整生命週期之排放納入考量，並在設計階段即規劃低碳解決方案。供應鏈管理包含三大核心方向：數位化監控、綠色材料與循環設計、供應商合作模式革新。首先，透過 AI、物聯網與區塊鏈等技術有效追蹤並即時盤查產品完整碳足跡，Mckinsey 研究證實，導入數位化供應鏈碳管理系統之企業，可提升碳排資料準確度 30%，並降低能源與物流浪費約 10%~15%(WEF, Mckinsey(2025))。再者，企業採用低碳材料與模組化設計可支持循環經濟之建立，例如將產品設計為可拆解與可維修，有助延長使用壽命並促進回收。

供應鏈減碳也牽動企業與供應商間之合作關係。CDP 指出，當企業以財務激勵（如綠色採購、價格優惠）作為供應商減碳誘因時，供

⁶⁴ WEF(2023), “The “No-Excuse” Opportunities to Tackle Scope 3 Emissions in Manufacturing and Value Chains”, Industry Net Zero Accelerator Initiative White Paper, December.

⁶⁵ BCG(2025), “From Liability to Advantage: Decarbonizing the Supply Chain”, September 23

⁶⁶ 同附註 45

⁶⁷ MIT Center for Transportation & Logistics(2025)“State of Supply Chain Sustainability 2024”.

應商採取具體環保行動之比率提高逾 50%，顯示供應鏈減碳管理策略中，應更重視激勵機制與制度性合作。此外，策略聯盟正逐漸成為推動供應鏈轉型之開放式創新機制，透過資源與技術互補，企業間可發揮減碳綜效，甚至發展創新技術、推動產業轉型與地區經濟。

(4)直接銷售對供應鏈管理之啟發

直接銷售（Direct to Customer, D2C）指企業不透過中間商（如代理商、經銷商），直接以官網或實體店面等通路將產品銷售給最終消費者之銷售模式，其行銷優勢在於能直接觸及消費者，掌握購買決策行為與相關數據（如促銷成效與忠誠度等），有助精準調整策略，從而提供更全面之產品資訊與服務體驗。在淨零轉型層面，D2C 模式被證實為供應鏈減排之重要方法，核心運用在於其數據之精準控制，得以實施「以銷定產」策略，從而減少滯銷與庫存，於根本上改善碳排放熱點。

此外，D2C 模式加速企業從線性經濟向循環經濟之轉型，企業可在自有 D2C 通路推行二手轉售、產品租賃或專業維修服務（如時尚產業），或建立可重複使用包裝之循環物流體系（如食物產業），使產品生命週期得以在品牌控制下被延長與優化。最關鍵的是，D2C 模式提供消費者協作式減碳之直接管道，通過提供低碳、慢速運送選項、即時碳抵銷或回收獎勵機制，將抽象之減碳責任轉化為具體消費選擇權，有效地教育與激勵顧客，共同驅動消費性市場之永續轉型。

實際案例：特斯拉打破傳統車廠透過代理與經銷之模式，對消費者直接銷售車輛而成為供應鏈轉型並降低排放之典範。除了電動車技術優勢，特斯拉之成功更可歸功於銷售模式之創新：透過車廠平台同時銷售新車和二手車，直接與消費者互動並建立緊密之社群關係，有效掌握市場資訊，能更準確瞭解消費者需求。最主要的是，能因應需求控制零部件及成車之庫存，有效減少資源與能源浪費。

4. 綠色策略聯盟

實現淨零排放過程極其複雜，不僅需要技術創新，企業亦須思考

結合所有可用資源，以降低投資風險，加速技術規模化。企業彼此間或與非營利組織為共同實現各自但相關之使命而進行結盟，當這些合作關係從單純交易跨越到互利共贏之策略時，不同類型組織之目標能有效聯繫在一起，並為自身和社會創造遠超過各自總和之價值⁶⁸。

策略聯盟⁶⁹具有四個特徵，協助企業獲得更多成長優勢：快速且低風險地獲取資產和智慧財產權，尤其是企業核心競爭力外之領域；在估值較高之細分產業中，成為獲取能力及成長之方法，而無需支付過高成本，同時允許聯盟企業參與價值創造；聯盟超越簡單供需合作關係，共同開發服務或解決方案；有利於達到創造市場或生態體系所需之規模⁷⁰。因此，在發展企業永續性、循環經濟趨勢與國家政策規範等主被動情境下，綠色策略聯盟因企業所處政治、地理及經濟環境差異，而衍生異業聯盟、區域生態整合及全球性合作等多種樣態。

(1) 異業聯盟

淨零轉型是一場涉及高度不確定性與複雜新技術之深刻變革，要求企業在發展新核心能力之同時，必須推動技術、經濟與社會系統之協同演進。為達成此目標，具體推動架構可由兩個維度展開：

- 多軌技術路徑實踐：轉型過程仰賴多樣化之技術手段，包括氫能應用、全面電氣化、材料替代及 CCUS 等關鍵路徑。
- 跨產業與政策聯動：由於技術路徑繁雜且門檻高，極需政府政策戰略領導與多方合作。透過能源、製造、交通及資訊科技等不同產業間跨域結盟，共同開發並打造低碳解決方案，方能降低轉型風險並提升整體協作效率。

⁶⁸ James E. Austin(2000), "The Collaboration Challenge: How Nonprofits and Business Succeed through Strategic Alliances", San Francisco, CA: Jossey-Bass.

⁶⁹ 策略聯盟是兩家以上之獨立組織基於互惠互利原則，藉由共享資源、技術與知識，以創造新價值或競爭優勢而達成共同策略目標所建立之合作關係。

⁷⁰ Deloitte(2021), "Strategic Alliances: the Silver Bullet to Recover and Thrive in the New Normal", December 20.

實際案例：當前民航業淨零之關鍵挑戰在於轉型涉及全面性，須於多領域採取綜合措施⁷¹。零排放航空聯盟（Alliance for Zero Emission Aviation），是歐洲航空安全組織（DEFIS）於 2022 年發起之自願性公私合作倡議，該聯盟核心目標與 2022 年《圖盧茲宣言》⁷²精神一致，即透過跨生態系統之參與合作，全面並優先解決零排放飛機在設計、燃料、機場設施、運作方式乃至商業模式等深遠挑戰，並為氫動力和電動飛機投入市場做好準備。截至 2025 年 10 月，該聯盟已匯聚超過 200 個航空生態系統成員（涵蓋飛機製造商、營運商、機場、能源與燃料供應商、標準化與認證機構及監管與倡導團體等），展現歐洲航空業對確保航空運輸符合歐盟氣候路徑之承諾。

(2)區域生態整合

許多國家政策已從對單一企業減碳要求，轉向推動產業園區與聚落之整體轉型，「淨零聚落」或「淨零園區」遂成為近年為實現淨零而興起之趨勢。由於淨零轉型必須藉由前瞻技術研發、龐大資金支持及政府政策輔助，並依賴完備之基礎建設才能有效推動，因此既有或新形成之園區/聯盟，共同規劃運用生態系思維推動綠色設施、碳中和策略與資源循環利用等功能，期能達成淨零轉型、技術創新及區域發展等多項共同目標。

目前這些淨零園區主要行動方案多為節能減碳與新能源運用等技術，或推動園區內共享資源與廢棄物再利用之循環經濟，以大幅提升能源效率並達成整體減排目標。實務運作上，須進行跨領域整合，由具影響力之主導者明確劃分任務編組，使參與者發揮專長與資源優

⁷¹ 技術面需聚焦開發電力、混合動力和氫動力等低排放或零排放推進技術，並擴大永續航空燃料（Sustainable Aviation Fuel）之供應以取代傳統燃料。同時，機場基礎設施轉型亦至關重要，包括飛機充電與替代燃料處理系統，及提升能效和低碳運營等解決方案。此外，空中交通管理（Air Traffic Management）和地面營運層面也需研發可優化流程、提升運能之數位工具。

⁷² 由法國擔任歐盟輪值主席國期間於 2022 年發起之圖盧茲宣言（Toulouse Declaration），是首個支持歐洲航空業到 2050 年實現淨零排放目標之公私合作倡議，也是全球首個此類聯合倡議，它使所有歐盟利害關係人在於脫碳，以及歐洲航空業之轉型可達成一致之原則與行動。

勢，進而產生協同效應。其後，待生態系穩定運作，持續之市場拓展、網絡強化與資源挹注可推動技術創新、建立內部良性互動與學習機制，降低失敗風險，進而促進生態系自我更新，擴大觸及面並吸納多元關係人，打造具彈性、動態學習及永續競爭力之環境。

實際案例：Smart Delta Resources (SDR) 為荷蘭與比利時之跨境合作機構⁷³，核心使命係將斯凱爾特三角洲地區 (The Flemish-Dutch Scheldt Delta region)⁷⁴ 打造成具競爭力與氣候中性之永續生態聚落。SDR 將轉型目標視為跨領域、跨技術與長期發展之戰略機遇，結合荷蘭與比利時之政策與環境，邀集企業、政府、港口、學術機構和電網營運商等多方參與，共享地區內原材料與資源以制訂電能、氫能、CCUS 及循環應用等具體轉型路徑。此類合作模式充分發揮該地區創新優勢，並使產業間藉由生態系整合，互補共榮達成轉型目標。

(3) 全球合作倡議

WEF 發布之「轉型產業集群白皮書」⁷⁵ 警示，全球正與時間賽跑以完成脫碳目標，佔全球範疇一及二溫室氣體排放量 30% 之難減排產業轉型為其中關鍵，必須強化公私夥伴關係及跨國合作等轉型關鍵因素，方可支持基礎設施和技術之部署與擴展。為能實現產業之淨零轉型，WEF 認為需由利害關係人合作，在全球範圍建立潔淨能源基礎設施，因此邀集全球之企業、政府、學術及研究組織採取行動，分別於供給面及需求面，建立轉型產業集群 (Transitioning Industrial Clusters) 及先行者聯盟 (First Movers Coalition) 兩個主要倡議：

- 轉型產業集群⁷⁶：全球產業轉型加速之過程中，地緣政治格局之

⁷³ <https://www.smartdeltaresources.com/en/about-sdr>

⁷⁴ 該地區係歐洲最大工業區之一，在汽車、化工、能源、物流及鋼鐵等多元且互補之領域，創新能力居世界領先，其產品銷售國內外，總附加價值達 127 億歐元，並創造 10 萬個就業機會，是兩國重要之長期經濟驅動力。因此，跨越國界、產業、流程和技術界限，確保其經濟利益與氣候目標相結合，成為 SDR 之主要作用。

⁷⁵ WEF (2025), “Unleashing the Full Potential of Industrial Clusters: Infrastructure Solutions for Clean Energies White Paper”, January.

⁷⁶ WEF 引領之轉型產業集群倡議已涵蓋 16 個國家、五大洲之 33 個產業集群，致力於推動工業部門淨零排放。這些集群承諾改善治理模式並減少碳足跡，其總減排潛力達 8.32 億噸 CO₂e，約等於沙烏地阿拉

變化，正推動能源安全與永續競爭力成為企業發展之重要議題。隨著資源日益緊張，供應鏈持續重組，成功之經濟體應結合產業效能、在地價值創造和清潔生產創新，並善用產業群聚為轉型提供強而有力之途徑。此倡議由 WEF 與埃森哲及電力研究院合作發起，自 2021 年聯合國氣候會議後即快速發展，集群間通過共享基礎設施和資源，推動新技術開發與減碳行動。

- 先行者聯盟⁷⁷：能源密集型產業之排放是提升全球能源效率之關鍵，航空、航運、卡車運輸、鋁、水泥和鋼鐵等產業之排放約佔全球總量 25%⁷⁸，這些產業普遍面臨減碳技術未商業化、設備汰換週期長及國際競爭激烈等挑戰，而被歸類「難減排部門」。為能從「需求面」克服這些挑戰，創造強勁「清潔需求」拉動之舉措，WEF 與美國國務院於 COP26 共同啟動先行者聯盟，邀集企業施力，產生全球最強大、可信之清潔需求訊號，進而推動難減排部門之淨零轉型。

（三）消費行為改變之終端效果

為實現 2050 年淨零排放目標，全球須加速推動科技創新、能源轉型、永續農業與政策監管等進展，在隨之而生之技術與經濟障礙、國際協調困難與資源配置不均等問題尚未有效解決前，改變人類行為是不可或缺之重要途徑。據 IEA 提出之《2050 年淨零排放情境》，若僅依靠技術，全球能源系統難以轉型成足以支撐 2050 年經濟總量翻倍下之淨零目標，而行為改變能有效促進減排，減緩對低碳技術依賴之壓力。

行為改變指人們在日常生活中，調整行為模式以降低碳足跡，例如騎自行車或步行取代開車；因應季節變化，調整空調溫度；改變旅

伯一年之排放量，並直接貢獻 4,920 億美元之 GDP 總值及 430 萬個就業機會。

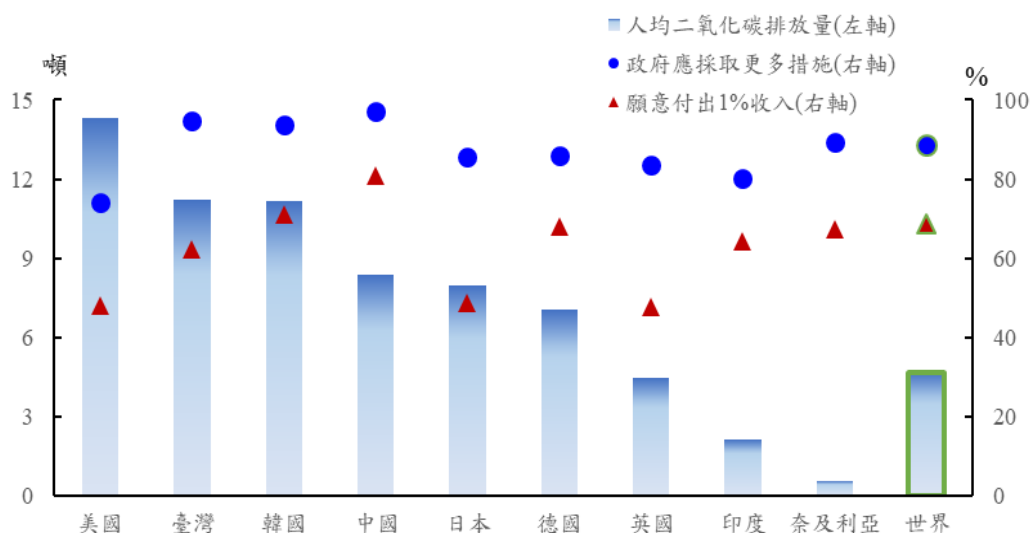
⁷⁷ 該聯盟至 2025 年已有 100 多家企業會員，共做出逾 125 項具體承諾，期能將成員之承諾快速轉化為全球最強大、可信之「清潔需求」訊號，強化會員集體購買力以加速新興氣候技術採用，同時引導更多低排放技術與生產設備投資，推動全球關鍵淨零技術發展。預計 2030 年可達 190 億美元之年度淨零技術需求及減碳 2,600 萬噸之效益。

⁷⁸ WEF(2024), “High-Emitting Sectors: Challenges and Opportunities for Low-Carbon Suppliers”, September. 3.

遊習慣，減少長途飛行；增加回收與材料運用效率。這些改變對高收入、能源密集型國家之減碳效果更顯著，以歐盟為對象之研究發現，當地之溫室氣體中和目標，若無行為改變將無法實現⁷⁹。

觀諸飲食習慣改變到新冠疫情期間之應變行為等經驗，人類行為具可塑性與適應力，加以極端氣候頻仍，全球範圍內高達 89%受訪者表示其國家政府應採取更多措施應對全球暖化，更有約 69%受訪者願將其收入之 1%捐獻給氣候行動（圖 20），顯示各國排放量雖有不同，但均有極高比例民眾願為減緩全球暖化，而被動受約制或主動付出更多經濟成本⁸⁰。

圖 20 各國人均排放量與支持減排之意願



資料來源：Our World in Data、Peter Andre 等(2024)。

因此，假設到 2050 年之前，人類將維持固定之生活與行為模式不符現實狀況。在 IEA 之模型中，從 2021 至 2050 年間，行為改變可減少約 4%之全球碳排放，其具體作用分為三大類：

- 減少高碳排設備使用之排放：技術轉型需要時間，行為改變則可立竿見影。例如在降低車速或限制內燃機車輛於大城市行駛等措

⁷⁹ Strefler, J., Merfort, L., Bauer, N. et al.(2024), “Technology availability, sector policies and behavioral change are complementary strategies for achieving net-zero emissions.”, *Nature Communications*, Vol. 15, Article number: 8440, January.

⁸⁰ Andre, P., Boneva, T., Chopra, F. et al. (2024), “Globally representative evidence on the actual and perceived support for climate action.”, *Nature Climate Change*, Vol 14, P.253–259.

施下，道路交通之排放可減少 15%；冬季將建築物內暖氣設定為 19°C，可削減燃氣鍋爐 10%之排放。

- 填補減碳技術稀缺產業之缺口：航空業是目前減排技術難度最高之領域⁸¹，透過減少長途與商務飛航等行為，可在 2050 年前減少 1.7 億噸碳排放，相當該產業排放之 40%；而提升產品回收率與設計效率也能大幅減少工業排放。
- 降低能源需求與資源壓力：行為改變能緩解低碳能源供應壓力，加速能源轉型，否則，全球終端能源使用至 2050 年將增加 5%，其中電力需求增幅相當於整個歐盟、加拿大與澳洲於 2019 年再生能源之發電總和。

1. 飲食改變可減少排放並恢復土地機能

聯合國糧食及農業組織(Food and Agriculture Organization, FAO)在 COP29 強調：「若農業糧食系統不能成功轉型，《巴黎協定》及永續發展目標將無法達成」。農業糧食系統蘊含解決全球巨大挑戰之能力，這些挑戰包括氣候變遷、生物多樣性喪失、土地退化、糧食不安全及貧困等，彼此密不可分。在氣候變遷部分，透過此系統之氣候行動，可增強抵禦風險之能力、支持氣候適應、減少溫室氣體排放，同時確保糧食安全，因此，各國必須將農業糧食體系納入國家氣候行動，並在多邊協定中優化其地位，確保此系統之氣候行動潛力⁸²。

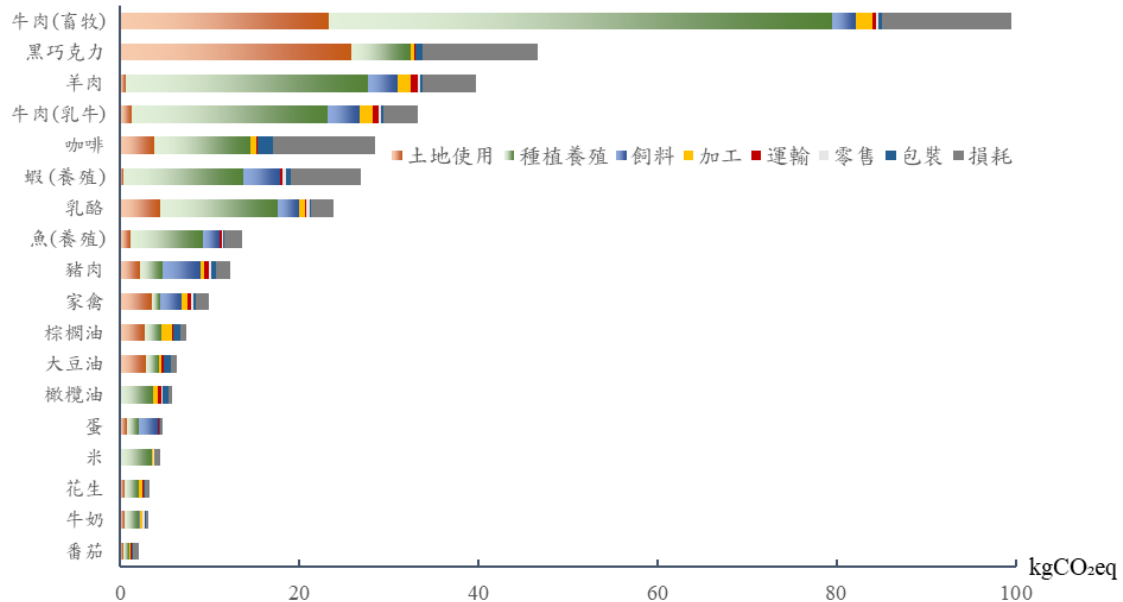
然而，FAO 之報告《農業糧食體系國家自主貢獻：全球分析》指出，大多數國家雖已將農業糧食體系作為氣候行動計畫重點，但在減緩、調適和融資方面仍明顯不足。農業糧食系統占人為溫室氣體排放雖高，但碳足跡卻不易被消費者所察覺，牛津大學 Our World in Data 之數據即顯示，食品運輸及銷售在整個產銷流程之碳排放量占比遠低於多數人想像，以牛肉、羊肉及巧克力等主要食品來看，其種植養殖階

⁸¹ 根據 IEA 評估，管理、技術和燃料轉型、資金和治理等主要障礙，將導致航空運輸在 2030 年及 2050 年之減排進程嚴重落後。

⁸² Food and Agriculture Organization of the United Nations(2024), “FAO participates in COP29: Investing in agri-food systems to overcome the global climate crisis”, November. 25.

段之碳排放反而占據整個流程之最大比例（圖 21）。

圖 21 各種食物供應鏈之溫室氣體排放量



資料來源：Our World in Data、Poore, J., & Nemecek, T.(2018)。

就土地使用而言，全球 44%可居住土地用於農業，其中，牧場加上動物飼料之種植面積高達農業用地 80%，但肉類、乳製品及養殖魚類卻僅提供人類 17%之卡路里和 38%之蛋白質⁸³。生產動物性食品之碳排放大約是植物性食品之 10 至 50 倍，意即飼養、包裝及運輸等方式轉變之減碳成效遠不如改變食品類型。因此，提高植物食材占比，才是消費者在飲食行為中降低碳排放之最有效方法⁸⁴，若能將飲食結構從動物性食物轉向植物性食物，將可獲得減少農業生產直接排放，以及將土地恢復成自然植被而增加碳封存之雙重利益。

選擇鄰近所生產農產品及加工品之「地產地消」，或選購當令農產品也是透過行為改變可實行之減碳方式：糧食流通雖有助提升食品多樣性，卻也導致長程運輸之排放增加；食材若非在自然條件下生長，往往需要額外之溫室設施與農化資材以維持產量與品質，因而造成更

⁸³ Hannah Ritchie and Max Roser(2019) - "Half of the world's habitable land is used for agriculture". Published online at OurWorldinData.org. Retrieved from: 'https://ourworldindata.org/global-land-for-agriculture' .

⁸⁴ Scarborough, P. et al. Vegans(2023), "Vegetarians, Fish-eaters and Meat-eaters in the UK Show Discrepant Environmental Impacts. ", *Nature Food*, Vol. 4, P.565–574.

多能源耗費與環境污染。此外，糧食浪費也是關鍵議題，聯合國環境署 2021 年發表糧食浪費指數報告，指出 8%~10%之溫室氣體源自食物浪費，特別是在家庭與零售端產生之大量廚餘，其分解過程排放之溫室氣體對氣候造成高度衝擊。因此，減少浪費、精準消費、乃至參與剩食再分配平台，皆屬可行且具潛力之行為改變策略。

2. 時尚行為改變需借力法規及業者宣導

全球溫室氣體排放約 8%~10%來自時尚和紡織業⁸⁵。此外，時尚產業（尤其是快時尚產業）興起，更是造成環境污染、森林砍伐、海洋微塑膠增加及生物多樣性喪失等諸多危害之元兇：

- 服裝生產需數千種化學物質，耗用大量資源。據估計，製作一件棉質 T 卹需要 2,700 公升淡水，足夠一個人 2.5 年飲用；亞馬遜森林因牛群放牧遭大肆砍伐，這些皮革被作成鞋子與皮包。
- 時尚產業每年製作 1,000 億件服裝，其中約 87%最終被送往垃圾掩埋場或焚化爐悶燒並污染空氣。該產業 40%碳排放來自聚酯纖維生產，未來 10 年聚酯纖維產量估將成長 47%。

近年，人們平均購買之服裝數量比 15 年前增加 60%，但保留時間僅為當時一半，一件衣服平均只穿 10 次就被丟棄，使「永續時尚」（Sustainable Fashion）成為推動時尚產業走向環境友善之潮流，業者在生產、包裝、運輸、使用及回收等環節均融入「循環」概念，方能有效遏制化學污染並減少生產消耗。為向消費者傳達對永續時尚之承諾及永續經營之企圖心，百年歷史之奢侈品牌至大眾化之快時尚品牌紛紛積極響應此趨勢⁸⁶。

英國非營利組織 WRAP（Waste & Resources Action Programme）

⁸⁵ WRAP(2024), “Textiles 2030 Annual Progress Report 2023-24”, November. 28。

⁸⁶ 時尚業者於 2018 年 12 月發起《時尚業氣候行動憲章》(Fashion Industry Charter for Climate Action)，以確立紡織、服裝和時尚產業應採取之行動方向，其願景是在 2050 年實現時尚產業之淨零排放。2023 年簽署之企業/集團約 70 家，包括精品市值龍頭愛馬仕(Hermes International)及運動品牌愛迪達(Adidas)等，亦有製造、零售、物流及回收等企業簽署。

指出，若英國半數衣物延長 9 個月使用時間，便可減少 8%碳足跡、10%用水及 4%廢棄物，此外，鼓勵消費者接受服裝回收及重複使用，亦為有效之減碳方式。為確實回收，須完善衣物收集、分類及分發至回收商之系統，惟此系統仍處起步階段，分類作業依賴人工，分解及重新利用之技術亦未達商業化及大規模推展程度，未來相關技術若能全面推廣，約可推動該產業 80%之循環利用⁸⁷，大幅減少碳排放。

政府單位在促進循環經濟所擔負之重要任務，係落實生產者延伸責任制、監管有害化學物質、投資回收基礎設施，同時藉由政策推動永續商業模式。目前，已有重大倡議推動政府結合企業、產業協會及民間組織進行合作，加速時尚產業永續轉型，包括聯合國發起之《時尚業氣候行動憲章》及法國政府領導之《時尚公約》。聯合國零廢棄物諮詢委員會也在聯結各方力量，終結紡織廢料之浪費。

然而，時尚產品之需求常受虛榮心與匱乏感等本能所驅動，衍生出破壞環境之過度消費，不利時尚產業轉型。消費行為非短期可改變，且由消費者違背本能自我調整亦不切實際，以法令規範進行限制（如對高碳排材質課徵碳費）及業者行銷廣宣引導，皆是可行方向，加以藉文化薰陶及心態潛移默化，使永續時尚由流行趨勢轉變成消費者堅定信仰，方可自行為改變使減碳成效獲得較大進程。

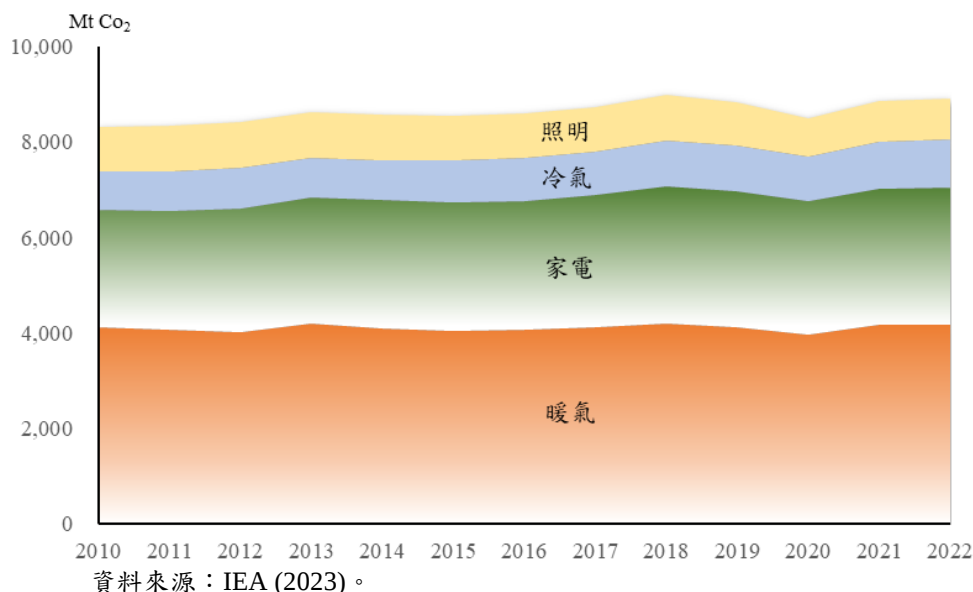
3. 自主能源管理與政策輔助為家庭減碳關鍵

建築物維運佔全球最終能源消耗之 30%，及全球能源相關排放量之 26%（8%為建築物直接排放，18%為建築物用電和供熱過程中產生之間接排放）（IEA(2023)），其能源消耗及排放主要來自冷暖空調、家電及照明等（圖 22），而全球暖化使冷氣所需能源增加，產生能源將排放更多溫室氣體，造成暖化更嚴重之惡性循環。空調需求自 2000 年以來年均成長 4%，未來仍將以 3.2%之速度持續增加，至 2035 年，全球冷氣用電將增約 4.5 EJ（艾焦耳），超過當前中東地區之全部電力

⁸⁷ Shelley Rogers, Thomas Cosgrove(2025), “Broken Threads & Twisted Yarns: Legislating the Reform of Fashion”, January 20.

消耗。為應對此挑戰，國際間正加強「建築突破」、「夏約宣言」與「全球冷凍承諾」等合作，並推動空調最低能效標準及強制性建築規範。

圖 22 全球家用設備 CO₂ 排放量



受聯網及 AI 家電滲透率提升與能源價格上漲所帶動，越來越多家庭選擇具智慧節能功能之家電產品，使得近年消費電子展 CES 中，家電廠推出之智慧能源管理產品明顯增加。家庭能源管理系統 (Home Energy Management System, HEMS) 為整合管理家庭供應、儲存及用能設備之數位化系統，可提升能源使用效率，降低不必要之浪費。根據 IEK 資料，2024 年全球能源管理市場規模約 498 億美元，其中，HEMS 約占 9%，在未來 5 年，每年將以 18% 之速度成長⁸⁸。

除了借助 HEMS 以外，小量耗能（如維持微量電力輸出之家電待機）也是不容忽視之隱性問題。透過拔除插頭或使用插座開關等簡單行為，或定期清潔空調濾網、重新規劃電器位置等改善能源效率動作，都能有效降低耗電量及碳排放。根據研究，減少住宅面積、推廣共享建築或調整恆溫器定溫等行動，可在 2030 年減少建築物直接排放之 3%-16%，2050 年更可達到 6%-23%⁸⁹。

⁸⁸ 謝志強(2025), 「CES 2025 邁向永續能源科技創新與應用」, 1 月 16 日。

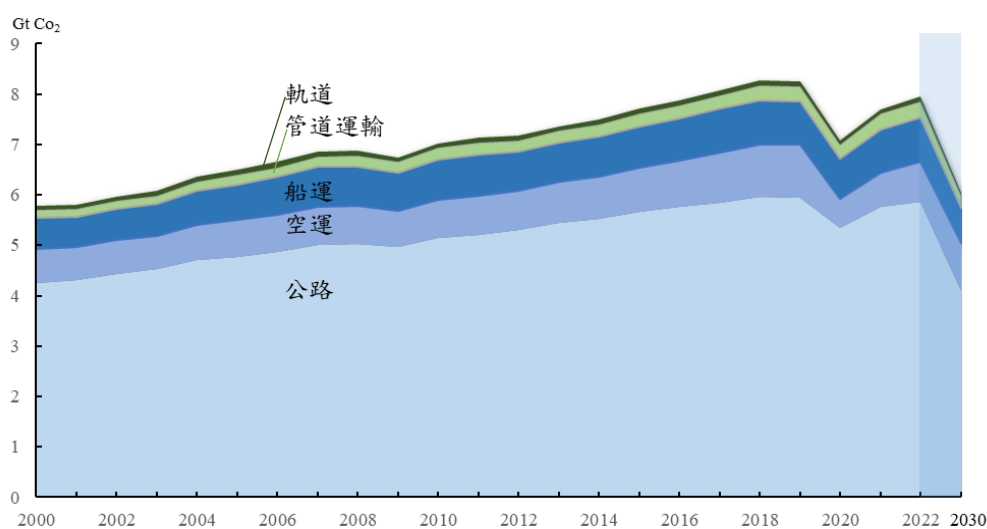
⁸⁹ Van Heerden, R. et al.(2025), “Demand-side Strategies Enable Rapid and Deep Cuts in Buildings and Transport Emissions to 2050”, *Nature Energy*, Vol.10, P.380–394.

在政策層面，越來越多國家採用行為科學與數位工具激勵家居節能行為。南非推行「電力警報」即時訊息、加州透過 App 與簡訊進行需求響應管理，皆證實能在高峰時段有效降低電力使用。在英國，安裝智慧電錶之家庭，電力與天然氣消耗分別降低 2.2% 與 1.5%。類似行為回饋機制也在日本實施，透過家庭能源報告向用戶提供簡易可視化之用能資訊，成功讓 30 萬戶家庭減少 2% 能耗。

4. 交通運輸行為改變與基礎建設之相輔相成

全球交通運輸服務需求受人口增加與經濟成長持續推升，隨之而來之碳排放也逐漸遠離 2030 之淨零目標（圖 23）。IEA 之《能源技術展望》預測，至 2070 年，全球整體運輸量（以乘客公里數為單位）將增加一倍，汽車擁有率將成長 60%，而航空領域（包括客運與貨運）之需求亦將增長兩倍。意即若無法使交通運輸有效淨零轉型，其碳排放將呈倍數上升，進一步加劇氣候變遷。

圖 23 2000-2030 年淨零情境下全球交通運輸各子部門 CO₂ 排放量



資料來源：IEA (2023), “Greenhouse Gas Emissions from Energy”。

技術創新被視為減緩因交通運輸成長所導致排放增加之重要途徑，其中，電動車普及更因全球能源系統逐步轉向低碳電力，而成為降低乘用車排放之主要方案。IEA 之「永續發展情境」(Sustainable

Development Scenario, SDS)⁹⁰曾模擬至 2070 年實現全球能源系統淨零排放之路徑，部分運輸工具可望在數十年內藉電氣化與氫能技術深度脫碳：摩托車碳排放約於 2040 年即逐步歸零，而汽車與巴士完全脫碳雖須待 2070 年後方能達成。

近年電動車市場蓬勃發展，2018 年到 2024 年，全球電動車銷量增加兩倍以上，2025 年比上年再成長 20%，達 2070 萬輛⁹¹。預計到 2030 年，電動車占整體汽車銷售比例將超過 40%⁹²。其具體成效為，在人流及物流更頻繁之狀況下，即使客運活動增加 30%以上，貨運增加近 15%，IEA「承諾政策情境」(Stated Policies Scenario, STEPS)⁹³下之運輸石油需求仍因電動車普及而可限縮在某固定水準。

然而，貿易局勢緊張已對經濟前景與電動車普及造成更高之不確定性：經濟成長放緩對政府預算之壓力，可能導致政府縮減電動車補貼或充電設施；消費者換購新車(包括電動車)意願也會隨所得降低。此外，長途貨運(特別是大型卡車)、航空及航運等領域之脫碳挑戰也將更為嚴峻，這些領域因運輸範圍廣、能量需求高，而限制了電池或氫能技術之應用(氫燃料或電池系統因其體積與重量限制，難以完全取代內燃機在此類運輸之角色)。

即便在 IEA 之理想情境下，此類高難度脫碳之運輸子部門，到 2070 年仍將是整體能源排放之主要來源。為達成全球淨零目標，此部分排放須仰賴其他部門之負排放技術(如生質能源、CCUS 或 DAC)進行抵消。值得注意的是，IEA 淨零情境中，近 2/3 之減碳效果需仰賴當前尚未達商業規模之技術實現，IEA 強調，未來 50 年間，交通運輸部門之碳排放減量將是極為艱鉅之挑戰，且需跨部門、跨技術之整

⁹⁰ 「永續發展情境」係能源模型和政策路徑，旨在提供一個框架，以實現能源安全、環境永續性(如《巴黎協定》目標)和廣泛之能源普及，達到零碳排和減少空氣污染之目標，是 IEA 用來分析能源轉型關鍵技術和政策之基準情境。

⁹¹ BMI(2026), "Global EV sales reach 20.7 million units in 2025, growing by 20%", January 14.

⁹² IEA(2025), "Global EV Outlook 2025", May 14.

⁹³ 「承諾政策情境」旨在透過對世界各國最新政策設定之深入解讀，反映能源系統當前發展方向。其不僅考慮已採納或已提出之特定能源、氣候及相關產業政策，還考慮尚未成文但受市場、基礎設施和金融環境支撐之政策意圖。

合努力方能實現。

此外，電動車雖被視為未來低碳運輸之重要解方，其環境效益仍須取決於電池生產及電力來源對環境之負擔。在能源效率更高、較為安全、製造成本較低且較易分解之電池被發明之前，鋰電池回收再利用之技術發展也是減碳重要關鍵。2025 年後，每年預估有數百萬輛電動車電池達到壽命週期終結，因此，建立簡單而高效率之電池回收流程與管理體系之重要性快速升高，也成為未來電動車成為主要交通工具後，藉循環利用以降低製造端排放之發展方向。

儘管消費者有意轉向電動交通工具，成本負擔與基礎設施不足仍為主要障礙：約 35% 未擁有電動車之民眾表示，除非電動車比內燃機汽車便宜，否則不會購買，畢竟其短期財務將產生重大且立即影響，而較難考量長期擁有之潛在利益；充電設施不足也是近 1/3 受訪者之考量因素。若缺乏足夠之財務誘因與設施補強，轉變之意圖難以衍生實際行動，突顯政策介入與社會支持體系對電動車普及之重要性。

車輛電氣化雖能在 2030 減少直接運輸排放之 3%-17%，但推廣主動出行（步行與騎自行車）、公共和共享出行及減少航空旅行等行為改變，也可降低直接運輸排放 4%-15%⁹⁴。歐洲部分國家透過城市規畫與基礎導向性建設，使主動出行成為有效替代方案，例如巴黎「15 分鐘城市」計畫將機能集中以落實步行生活，倫敦與阿姆斯特丹則藉「低排放區」限制與優化大眾運輸並行，成功帶動共享出行之系統性變革。顯示行為改變與基礎建設對達成淨零目標之相輔相成。

⁹⁴ 同附註 7。

五、總結與建議

（一）總結

1. 全球淨零目標雖達共識，惟狀況仍極嚴峻急迫

《聯合國氣候變化綱要公約》於 1994 年生效後，溫室氣體排放進入國際議程。1997 年《京都議定書》開始規劃碳交易機制，並對已開發國家設定減排義務。其後，2015 年《巴黎協定》確立將全球升溫控制在低於 2°C，並致力 1.5°C 內之全球共同目標，要求各國提交 NDC 標誌著科學界線首次轉化為政治共識。最關鍵者，2018 年 IPCC《全球暖化 1.5°C 特別報告》明確指出要達成此目標，全球須在 2050 年達淨零排放，從而將淨零概念推向全球政策之最前緣。

科學確立後，國際社會迅即將淨零目標從自願承諾轉向立法。歐盟以《歐洲綠色新政》和《歐洲氣候法》引領，將 2050 年氣候中和目標寫入法律。隨後，中國與美國等主要排放國紛紛加入淨零承諾，使全球 GDP 覆蓋率大幅提升。2021 年 COP26 達成《巴黎協定》第六條共識，為建立全球碳排放交易體系奠定里程碑，並使淨零排放正式成為國際共識焦點。然而，IEA 和 IPCC 之報告均示警，強調全球溫室氣體排放須在 2025 年前達到峰值，並在 2030 年深度減排 43%，而當前減排速度與目標間卻存有極大差距。

儘管淨零承諾獲得廣泛支持，全球治理仍面臨多重結構性挑戰。首先是淨零實踐之誠信問題，多數國家目標缺乏具體計畫和法律約束力，且過度依賴未成熟之碳清除技術，衍生出道德風險。其次，部分國家在能源轉型成本分配之深層矛盾，及清潔技術領域之地緣經濟競爭，都對多邊合作構成挑戰，但最根本之挑戰在於科學急迫性與政策惰性間之時間錯配。為解決這些問題並加速淨零進程，「公正轉型」成為關鍵理念，以兼顧環境永續與社會公平。此外，欲成功實踐公正轉型，需透過法治、財政與宣導等系統性策略來解決資金缺口、技能錯配和跨部門協調不足等問題，方能確保氣候行動之包容與韌性。

2. 各國持續推進氣候政策，仍有各自難題待解

全球主要經濟體之淨零政策趨勢呈現目標法制化、機制多元化與跨國影響力強化之三大特點，主要國家紛紛將淨零或碳中和目標嵌入法律或國家計畫，為長期轉型提供穩定性，然而，政策工具之選擇卻呈現顯著分歧：

- 美國政策以 IRA 為核心，藉大規模稅收抵免和財政激勵，將氣候行動、經濟發展和製造業回流緊密結合，建立以市場激勵和產業補貼為主之減排體系，然而，美國政策之持續性高度依賴未來選舉結果，「政治鐘擺效應」是實現 NDC 目標之最大變數。
- 歐盟以其嚴密法律規範和強大碳定價機制構建全球最複雜且領先之氣候治理體系，CBAM 將碳成本公平擴展至進口產品，對全球貿易夥伴施加減排壓力，促使產業鏈低碳化，展現「全面性立法與碳定價擴大」之典範。
- 亞洲主要國家以不同模式應對轉型，中國 ETS 從碳強度控制轉向總量控制為核心；日本推行成長導向型之漸進式碳定價，同時透過巨額綠色創新基金支持技術轉型；韓國深化 K-ETS 並逐步提高有償分配比例。這些國家共同之挑戰在於，如何平衡高碳密集型產業轉型與能源結構調整（對煤炭或核能之依賴）。

全球淨零治理呈現「強制性碳定價」與「激勵性產業補貼」兩大主導模式。歐盟與亞洲主要經濟體普遍選擇總量管制或碳稅來創造外部成本，迫使企業減排；而美國選擇透過補貼來降低內部轉型成本，誘發市場行為。這兩種模式都在加速全球綠色技術部署，但也在政策持續性（美國）、社會公平性（歐盟 ETS2）及經濟發展與減排之平衡（中國、日本、韓國）上遭遇嚴峻挑戰。未來，各國政策之兼容與協調，以及如何確保轉型之社會公平與能源安全，將是全球氣候治理之關鍵焦點。

3. 地緣政治角力激盪之新賽局

2026 年，全球氣候治理形成國家安全、貿易保護主義與氣候行動交織而成之複雜賽局。雖然去碳化之總體目標獲得廣泛共識，但實施路徑已逐漸碎片化。首先，美國立場轉向標誌「氣候利他主義」之終結，透過 OBBBA 法案，美國已確立能源安全與本土工業復興優先於國際氣候承諾之立場，並利用 FEOC 規則建立排他性之技術集團，強迫全球企業必須在美中兩個技術生態系間做出選擇。

其次，歐盟之法規權力成為其維持戰略自主之核心工具。透過 CBAM，歐盟成功將環境目標轉化為貿易門檻，但也因此引起「氣候保護主義」之質疑。歐盟未來之成敗，將取決於其能否在保護本土產業與維持全球貿易合作（如 CBAM-Plus）間取得平衡。最後，中國之研發量能與對關鍵礦產之掌控，使其在碎片化之治理體系中擁有充裕之談判籌碼，進而展現出一種新實力典範：透過控制轉型之硬體與關鍵原物料，抵消西方國家在規則面之優勢。

展望未來，全球氣候治理將不單依賴某些全球條約，而是由一系列複雜之雙邊協議、區域性氣候俱樂部以及基於供應鏈安全之競爭性政策共同定義。碎片化雖可能增加短期減碳成本，但國家間競爭也激發前所未有之技術創新與產能擴張。各大經濟體最終成敗，將取決於其能否在確保能源主權之前提下，以最低社會與經濟成本完成零碳系統之轉型。在此過程中，如何防止低收入國家被邊緣化，將是評價全球能否真正邁向淨零，抑或僅是另一場資源掠奪戰之關鍵。

4. 我國藉完善之碳定價機制與碳盤查體系達成淨零排放

我國為回應全球氣候治理局勢，已將「2050 年淨零排放」納入政策目標，並透過 NDC 之動態調整，建立明確減碳路徑。實踐策略以能源、產業、生活及社會等四大轉型為支柱，規劃至 2050 年將再生能源發電占比提升至六成以上，使電力結構完全去碳。此路徑不僅包括成熟之風能與太陽能設備，更結合氫能發電與 CCUS 等前瞻技術，

抵減難以消減之剩餘排放量。另透過 12 項關鍵戰略計畫之系統性佈局，從供給端之能源替代、需求端之運具電動化及建築能效提升，構建完整之跨部門、全方位轉型藍圖。

我國依據《氣候變遷因應法》訂定《碳費收費辦法》、《自主減量計畫管理辦法》及《碳費徵收對象溫室氣體減量指定目標》等 3 項法規建構完善之碳定價機制，落實污染者付費之環境正義。此制度採漸進式設計，首先針對高排放源徵收，並透過差別費率與自主減量計畫，創造積極減碳誘因。碳費之實施賦予企業轉型彈性，允許其藉提升能源效率、改善製程或轉換低碳燃料等取得優惠費率。此外，針對高碳洩漏風險產業，政府亦設計排放量調整係數作為配套，確保該產業於轉型過程中維持國際競爭力。

減碳政策之落實與績效評估，仰賴精密且透明之碳盤查與揭露體系。我國目前由環境部與金管會協同推動資訊公開機制，盤查對象從傳統能源與製造業，逐步擴展至服務業、運輸業與大專院校等場域。透過「上市櫃公司永續發展路徑圖」之推動，企業需定期揭露溫室氣體盤查資訊，並將碳排數據納入永續報告書與財務揭露中。此完整資訊基礎建設，除有助於國內碳費徵收與減量目標查核，亦是接軌國際供應鏈碳足跡規範與發展綠色金融之關鍵。透過數據透明化，政府得以精準掌握排放熱點並制定科學對策，而企業能透過數位化盤查提升能效管理，從而構建出由數據驅動、公私協作之淨零監管體系。

4. 透過技術創新、企業轉型與行為改變之淨零排放路徑

(1) 再生能源輔以儲能及 CCUS 等技術建構淨零能源韌性

全球淨零排放之核心在於電力部門轉型。IEA 預測再生能源將成為未來電力主幹，尤以技術成熟之太陽能與風能為首。太陽能研發側重於突破矽電池轉換效率瓶頸，透過 TOPCon、HJT 結構或堆疊層改善以提升效能；風能朝大型裝置容量及浮動式平台發展，並結合電解製氫等技術以應對風電之變動性。地熱、生質能及海洋能等技術亦扮

演關鍵角色，尤其是增強型地熱系統與生質能，能提供穩定基載電力，與間歇性再生能源形成互補。

隨再生能源占比提升，能源系統須整合智慧電網、高效儲能與精準預測技術，以強化供電韌性。氫能在此框架下展現多重價值，既可作為長途運輸之動力燃料，亦是優良長期儲能載體。針對難以去碳之工業製程，CCUS 技術透過化學吸收、地質封存或礦化封存等技術實現負排放，並讓 CO₂ 與氫或帶氫物質反應，轉化成化學或能源產品，建構出完整碳循環經濟模式，支持全球減碳目標。

(2)內部變革與外部合作為企業淨零轉型所不可或缺

企業實現淨零轉型之關鍵，在於能否將減碳從負擔轉化為價值創造，必須先進行系統性之「內部變革」，包括重塑發展策略、優化營運模式及升級數位設施等。同時，企業應關注「範疇四」之價值，透過開發綠色產品協助終端用戶減排，使企業從排放者轉型為「淨零解決方案提供者」，進而降低「分析癱瘓」或「綠色停滯」之轉型風險。

「外部合作」為另一項關鍵，企業難以獨力達成淨零，必須藉供應鏈管理與策略聯盟獲得充足資源。且因供應鏈排放遠高於企業自身排放，需運用數位化監控與 D2C 模式等精準控制庫存並推動循環系統。此外，透過全球性公私夥伴關係，能整合各方資源分擔高昂之新技術開發成本與投資風險。這種由供給面與需求面共同驅動之生態整合，是推動產業部門實現大規模減排之必經途徑。

(3)行為改變是補足技術缺口以達成淨零排放之關鍵

實現淨零排放無法單純仰賴能源轉型與低碳技術，畢竟技術研發與設施普及存在時間差及經濟障礙，且難以支撐未來經濟成長下之轉型需求。IEA 指出「行為改變」能立即見效並減少約 4%之全球碳排放，對填補「難減排產業」之技術缺口至關重要。加以全球多數民眾已具備支付更高經濟成本與受行為約制之意願，透過減少高碳設備使

用、降低能源需求及提升資源循環效率，行為改變將能有效緩解低碳能源供應壓力，成為淨零路徑之重要支柱。

行為改變之實踐需深入「飲食、時尚、建築、交通」四大核心領域，並輔以政策推動。飲食端以轉向植物性飲食及減少糧食浪費最具減碳潛力；時尚與建築端則需建立循環經濟與智慧能源管理概念，透過延長衣物使用、拔除插頭等微觀行為累積成效；在交通領域，儘管電動車普及是主流趨勢，主動出行與減少飛航仍具不可替代之價值。最後，行為轉型難以僅靠個人意志，必須結合法令規範（如碳費與能效標準）及基礎設施（如回收系統與充電設施），透過文化薰陶與政策誘因，將永續理念轉化為穩固之新生活模式。

（二）建議

1. 政策治理：建構戰略自主與社會公平之轉型基石

在國際經貿秩序碎片化及地緣經濟競爭之環境中，我國應透過《氣候變遷因應法》建立超越政黨立場之穩定減碳路徑，並參考主要國家經驗，斟酌國情將「碳定價」作為經濟轉型之核心工具：加速整合國內碳費制度與 ETS，強化高碳洩漏風險產業之資本緩衝與淨零轉型補貼，以維護國家戰略自主與供應鏈地位，避免在強權利益交換之交易型政治中被邊緣化；同時，利用半導體先進製程之核心優勢，將「低碳製程標準」轉化為全球綠色供應鏈之技術門檻與定義權，從而將地緣政治風險轉化為產業競爭力之溢酬。

政策目標則應從宣示引導轉向制度驅動，將淨零目標轉化為具法律約束力之長期框架。更關鍵的是，政策必須納入「公正轉型」之系統性策略，以解決科學緊迫性與政策惰性間之衝突，並對受影響之高耗能產業與能源貧窮族群，提供法治保障與財政補貼。同時，政府應主導勞動技能再培訓計畫，解決淨零技術領域之職能錯配，確保能源轉型過程中，不論偏鄉地區或傳統勞工，都能在程序與分配上獲得公平對待，從而強化社會對氣候行動之集體信任與支持。

2. 碳費機制：完善法規接軌國際、加速碳管理數位化

我國碳費制度雖邁入法制化，但面對全球綠色貿易壁壘趨勢，須建立與國際碳市場之互認機制：政府應研擬碳費過渡至總量管制之操作機制，藉以產生具國際參考價值之國內碳價；此外，積極對接「氣候俱樂部」及「CBAM-Plus」框架等，爭取建立與歐盟及亞太盟邦間之碳定價互認與數據驗證平台，如此可減輕重複徵稅風險與懲罰性扣除，更能引導資金流入低碳技術，確保我國產業在高度競爭之國際綠色供應鏈中維持競爭優勢。

碳盤查之部分，應將治理重點從大型企業延伸至中小企業。建議推動「碳管理數位化工程」，由政府主導開發標準化碳足跡計算工具與自動化申報平台，減輕中小企業之高昂碳盤查成本與行政負擔；藉跨部會資訊整合（如台電能源數據與環境部排放資料等），建構即時監控系統，將定期盤查之靜態報告提升為動態減碳管理工具。數位治理能讓政府精準掌握產業減碳瓶頸，以作為綠色融資、技術補貼及公正轉型之科學基準，確保政策資源精準投放至需要之轉型節點。

3. 產業轉型：由供給面改革邁向價值鏈協作之綠色商機

產業發展層面，必須將淨零排放視為重新定義競爭力之契機，而不僅是法規與成本之負擔。企業應啟動系統性內部變革，核心在於採取「減碳」與「數位化」雙軸並行：首先，透過數位工具精準管理供應鏈排放，避免「分析癱瘓」導致轉型停滯，並利用循環設計與資源效率極大化，降低對原始資源之依賴；其次，主動追求「範疇四」之價值創造，開發能協助終端使用者或其他產業減排之技術或產品，使自身從環境成本承擔者轉變為「淨零解決方案提供者」。

鑑於綠色創新技術具高成本與不確定性，企業應放棄單打獨鬥之思維，積極參與淨零排放策略聯盟，透過公私夥伴關係共同分擔研發風險，或由龍頭企業帶領中小型供應商之模式，整合資源進行大規模低碳技術部署，並在國際貿易綠色門檻日益提高之環境下，透過集體

協作確保價值鏈韌性與永續經營能力。

4. 行為改變：驅動系統性轉型之低碳文化

實現淨零路徑不能僅依賴技術與政策，個人行為改變是彌補技術研發時間差，最直接有效之手段。在實踐層次，應將永續行為深植各項生活領域：在飲食端推廣植物性飲食以降低畜牧業排放；在時尚與建築端，強調延長物品壽命、智慧能效管理與循環利用；交通運輸則採取主動出行，並避免非必要之差旅及物流。

然而，行為轉型不應完全歸結為個人道德責任，而需透過政策誘因與基礎設施優化來消除障礙。當個人具備支付「綠色溢價」意願，並將低碳選擇視為生活訴求時，將從需求端形成強大市場壓力，驅使企業加速技術與作業創新。這種由下而上之文化力量，將與由上而下之法規結合，最終將永續理念轉化為穩固之社會價值與新生活模式。

参考文献

1. Andre, P., Boneva, T., Chopra, F. et al.(2024), “Globally Representative Evidence on the Actual and Perceived Support for Climate Action.”, *Nature Climate Change*, Vol 14, P.253–259.
2. Apple(2025), “Apple 2025 Environmental Progress Report”.
3. BCG(2025), “From Liability to Advantage: Decarbonizing the Supply Chain”, September 23.
4. BCG(2025), “How Companies Are Tackling the Climate Challenge—and Creating Value”, *CLIMATE SURVEY 2025*, September 16.
5. Bitkom(2024), “Klimaeffekte der Digitalisierung 2.0”.
6. CARBON FOOTPRINT (2023), “2022 Grid Electricity Emissions Factors”, February.
7. CarbonTrust(2024), “Breaking Business Barriers to Net Zero”, February.
8. CDP, BCG(2024), “Scope 3 Upstream: Big Challenges, Simple Remedies”, June 25.
9. Climate Action Tracker(2025), “CAT Net Zero Target Evaluations”, October 27.
- 10.Climate Action Tracker(2024), “Japan Overview”, November 4.
- 11.CNN(2025), “World Strikes Climate Deal but Fails to Agree to a Roadmap Away from Fossil Fuels After Contentious, Chaotic Summit”, September 23.
- 12.Deloitte(2021), “Strategic Alliances: the Silver Bullet to Recover and Thrive in the New Normal”, December 20.
- 13.ECB(2026), “Green Supply Chains at Risk: Measuring the True Economic and Environmental Costs”, *Research Bulletin*, No. 141, March 24.

14. European Commission(2020), “A Hydrogen Strategy for a climate neutral Europe”, July.
15. European Commission(2025), “ETS2 Buildings, Road Transport and Additional Sectors”, *Climate Action*.
16. European Commission(2025), “GHG Emissions of All World Countries 2025”.
17. European Commission(2023), “New Energy Efficiency Directive Published”, Energy, September 20.
18. Food and Agriculture Organization of the United Nations(2024), “FAO Participates in COP29: Investing in Agri-food Systems to Overcome the Global Climate Crisis”, November 25.
19. Greenly(2026), “EU ETS: what you need to know about the EU carbon market”, April 16.
20. ICAS(2026), “When Climate Standards Become Trade Rules: CBAM’s Rulemaking Power and Global Implications”, January 27.
21. IEA(2020), “Energy Technology Perspectives 2020”, September 10.
22. IEA(2021), “Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector (4th revision)”, October.
23. IEA(2025), “Global EV Outlook 2025”, May 14.
24. IEA(2023), “Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach”, September 26.
25. IEA(2023), “Tracking Clean Energy Progress 2023”, July 12.
26. IRENA(2020), “Fostering a Blue Economy: Offshore Renewable Energy”, December.
27. Jacqueline Gehrig-Fasel and Martin Gehrig, TREES, and Owen

- Hewlett(2021), "Taking the Natural Approach: Nature-based Solutions in Global Carbon Markets", *Carbon Mechanisms Review*, Vol. 9 No.2, Summer.
- 28.James E. Austin(2000), "The Collaboration Challenge: How Nonprofits and Business Succeed through Strategic Alliances", San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- 29.Mckinsey(2025), "Global Energy Perspective 2025", October.
- 30.Mckinsey(2022), "The Green IT Revolution: A Blueprint for CIOs to Combat Climate Change", September 15.
- 31.Mckinsey(2022), "The economic transformation: What would change in the net-zero transition", January 25.
- 32.MIT Center for Transportation & Logistics(2025)"State of Supply Chain Sustainability 2024". Febuary.
- 33.Net Zero Tracker(2025), "Net Zero Stocktake 2025", September 23.
- 34.Onye Dike(2025), "Clean Competition Act (CCA): Carbon Border Adjustment & Emissions Reporting", Net Zero Compare, June 27.
- 35.Peter Andre, Teodora Boneva, Felix Chopra & Armin Falk(2024), "Globally Representative Evidence on the Actual and Perceived Support for Climate Action", *Nature Climate Change*, Vol. 14, P.253–259.
- 36.Poore, J., & Nemecek, T. (2018), "Reducing Food's Environmental Impacts through Producers and Consumers", *Science*, 1 June 2018, Vol 360.
- 37.Reuters(2024), "Tens of Thousands in South Korea Protest Lack of Climate Progress", September 7.
- 38.S&P(2024), "Assessing the Missing Links in Sustainable Supply Chain Management", April 30.

- 39.Strefler, J., Merfort, L., Bauer, N. et al.(2024), “Technology availability, sector policies and behavioral change are complementary strategies for achieving net-zero emissions.”, *Nature Communications*, Vol. 15, Article number: 8440, January.
- 40.The American Presidency Project(2024), “FACT SHEET: President Biden Sets 2035 Climate Target Aimed at Creating Good-Paying Union Jobs, Reducing Costs for All Americans, and Securing U.S. Leadership in the Clean Energy Economy of the Future”, December 18.
- 41.The Government of the Republic of Korea(2020), “2050 Carbon Neutral Strategy of the Republic of Korea”, December.
- 42.Türkan Gülce Budak(2025), “Climate Club”, *Beyond Treaties: Rethinking Legal Mechanisms for International Climate Governance*, P.103–151, April 6.
- 43.UNDP(2021), “South Korea's Green New Deal in the Year of Transition”, February 8.
- 44.USDOE(2020), “Energy Storage Grand Challenge Roadmap”, December.
- 45.USDOE(2020), “Hydrogen strategy: Enabling A Low-carbon Economy”, July.
- 46.Van Heerden, R. et al.(2025), “Demand-side Strategies Enable Rapid and Deep Cuts in Buildings and Transport Emissions to 2050”, *Nature Energy*, Vol.10, P.380–394.
- 47.WEF(2025), “Already a Multi Trillion Dollar Market: CEO Guide to Growth in the Green Economy”, December 2.
- 48.WEF(2024), “High Emitting Sectors: Challenges and Opportunities for Low-Carbon Suppliers”, September 3.
- 49.WEF(2024), “Net Zero Industry Tracker 2024 Edition”, December.
- 50.WEF(2023), “The “No-Excuse” Opportunities to Tackle Scope 3 Emissions in

Manufacturing and Value Chains”, *Industry Net Zero Accelerator Initiative White Paper*, December.

- 51.WEF(2025), “Unleashing the Full Potential of Industrial Clusters: Infrastructure Solutions for Clean Energies White Paper”, January.
- 52.WEF, Mckinsey(2025), “Intelligent Transport, Greener Future: AI as a Catalyst to Decarbonize Global Logistics”, January.
- 53.Wood Mackenzie(2021), “Japan Unlikely to Meet 46% Emissions Reduction by 2030”, June 15.
- 54.WRAP(2024), “Textiles 2030 Annual Progress Report 2023-24”, November 28.
- 55.BBC 中文(2021), 「聯合國氣候峰會：COP26 的退煤協議與爭議」, November 5。
- 56.BBC 中文(2021), 「COP26：氣候變遷、淨零排放目標和達到目標的七條路」, November 13。
- 57.BBC 中文(2025), 「習近平跟特朗普都不去 COP30 開來還有意義嗎？」, November 11。
- 58.Sustainable Japan(2020), 「【日本】政府、「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」採択。ほぼ全業種でロードマップ提示」, 12 月 25 日。
- 59.中央研究院(2022), 「臺灣淨零科技研發政策建議書」, 中央研究院報告 No.17, 11 月。
- 60.中华人民共和国(2025), 「2035 年中国国家自主贡献报告」, 11 月。
- 61.中华人民共和国生态环境部(2025), 「全国碳市场发展报告」, 9 月。
- 62.金融監督管理委員會(2022), 「上市櫃公司永續發展路徑圖」3 月 3 日。

- 63.陳文孝、王集忍(2021),「磨劍十載,中國啟動全國碳排放權交易」,會計研究月刊第 430 期第 90 頁。
- 64.陳立衡、施沛宏、郭昱賢、張景淳(2022),「韓國能源政策評析報告(2022 年版)」,11 月,P.22。
- 65.陳志豪 (2024),「碳費、碳稅、碳定價、碳信用制度該怎麼設計?如何借鏡星日韓平穩上路?」,天下,5 月 28 日。
- 66.黃莉婷、王婷虹(2022),「日本能源政策評析報告」,工業技術研究院綠能與環境研究所,11 月 20 日。
- 67.國家發展委員會、行政院環境保護署、經濟部、科技部、交通部、內政部、行政院農業委員會、金融監督管理委員會 (2022),「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」,3 月 30 日。
- 68.國家發展委員會(2025),「淨零路徑:臺灣總體減碳行動計畫」,1 月 23 日。
- 69.經濟部工業局(2022),「製造部門 2030 淨零轉型路徑」,9 月。
- 70.經濟產業省(2025),「GX2040 ビジョン～脱炭素成長型經濟構造移行推進戰略 改訂～」,2 月。
- 71.環境省(2025),「地方公共団体における 2050 年二酸化炭素排出実質ゼロ表明の状況」。