

本月專題

碳定價與產業升級

李叢禎¹

摘要

在 2050 年淨零排碳目標及全球能源低碳轉型趨勢下，各國『碳定價(Carbon Pricing)』政策發展備受矚目。碳定價不僅為重要的減緩政策工具之一，其收入可挹注於推動技術發展與創新，俾利實現更廣泛的永續發展目標。本文旨在說明全球碳定價發展趨勢與現況，並探討碳訂價趨勢下，對於產業轉型與升級之影響與意涵。文中首先根據世界銀行碳定價儀表板資訊，說明碳定價主要種類與全球施行現況，接續探討碳定價對於產業轉型與升級之意涵與產業現況，最後就國內碳定價與產業升級之制度設計提出相關建議。

一、前言

我國《氣候變遷因應法》於今(2023)年 2 月業經總統公布施行，此次修法除正式將 2050 淨零排放目標入法外，亦明確揭櫫碳定價(carbon pricing)為溫室氣體減量與淨零轉型之關鍵驅動策略。除了即將於 2025 年開始課徵之碳費外，蔡總統亦於 4 月宣示籌設本土碳交易平台，8 月臺灣碳權交易所成立，正式邁向本土氣候減緩之里程碑。所謂碳定價，顧名思義即是為溫室氣體排放訂出明確價格之政策措施，目的係將溫室氣體排放的外部成本內部化，促使經濟活動融入氣候減緩(climate mitigation)思維，激勵企業在減少溫室氣體排放的過程中同時創造嶄新商機與競爭優勢，從而擴大溫室氣體減量行動之範疇，誘發清潔能源、低碳技術發展與市場創新，並導引金融投資決策與產業經濟低碳轉型，俾以落實淨零目標願景。

在全球淨零政策發展趨勢下，各國亦紛紛築起碳邊境關稅管制壁壘，諸如近來美國的《清潔競爭法案》(Clean Competition Act, CCA)、歐盟的碳邊境

¹國立台北大學經濟學系教授

調整機制(Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM)等，均明確規範國際貿易財貨之碳排放標準。我國係出口導向之島國經濟體，這些主要國家的政策發展意味著產業之低碳與淨零轉型刻不容緩。國內碳訂價政策措施的推動，除直接傳遞價格信號，使企業正視並及早啟動轉型因應計畫、取得國際市場競爭優勢外，更能進一步超前部署淨零商業模式與利基市場，達成溫室氣體減量與營運成長之雙贏目標。

二、碳定價主要種類與全球施行現況

碳定價為低碳與淨零轉型之重要經濟誘因工具，亦為當前各國政府採行的強制性溫室氣體減量政策工具之一。此外，目前諸多企業也紛紛啟動自願性內部碳定價機制，評估碳定價對其運營的影響，並作為辨識潛在氣候風險和利潤機會的工具。以下分別介紹碳定價主要種類以及全球施行現況。

(一)碳定價之主要種類

根據世界銀行碳定價儀表板²之定義，碳定價呈現形式可區分為直接碳定價與間接碳定價兩種，其中直接碳定價是指按照特定產品或活動產生的溫室氣體排放量設定價格，間接碳定價則通常根據不同的燃料制定不同的碳稅稅率，惟因不同燃料間的碳定價水準不甚一致，較難直接比較。基此，本文討論將聚焦於直接碳定價工具，主要包括排放交易體系、碳稅、碳抵銷機制與內部碳定價，茲分述如下。

1. 排放交易體系(Emissions Trading System, ETS)

「排放限額與交易」(cap and trade)是 ETS 的主要核心概念，此一制度是指政府設定總排放量限額(cap)，並將與限額等量的排放許可權分配給參與者(諸如企業、工廠、發電廠等受監管實體)，分配的方式通常為免費或拍賣，同時允許參與者可進行排放許可權交易。透過市場交易機制，碳排放減量成為有價值的經濟行為，故可激勵企業採取更為潔淨的生產模式，參與者亦可根據其自身減量成本與交易價格之相對高低，做成買賣決策，故其達成排放管制目標的成本會較無法交易時來得低。基於 ETS 之總排放限額固定且允許自由交易之特性，故一般公認其為兼具環境目標確定性與成本有效性之政策工具。

² <https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/what-carbon-pricing>

2. 碳稅(Carbon Taxes)

碳稅係直接設定溫室氣體排放的明確稅率，一般根據排放量(二氧化碳當量)來計算所需支付的總稅額。與 ETS 最大的差異係為 ETS 保有減排效果之確定性，但對應的碳價格取決於交易市場供需條件；反之，碳稅則保有碳價格之確定性，但對應的減排效果具不確定性。

ETS 與碳稅係政府採取強制性碳定價措施最常見的兩種類型，惟在政策實作上各有擁護者。Nordhaus(2019)指出，偏好碳稅者主張稅制與稅法是成熟且普遍的政策系統，每個國家的租稅制度以及相關行政體系均相對成熟，相形之下，各國碳交易制度之成熟度與實作經驗差異甚大，國際交易經驗亦相對缺乏。此外，碳稅能挹注政府財政收入，有助於舒緩或解決國家財政問題。最後，碳稅確保了碳價格的穩定性，傳達一致的價格信號，此點係 ETS 系統無法確保的，以歐盟 ETS 歷史資料為例，其價格曾經在短短數個月間經歷大幅波動，造成價格信號不一致的情況。相反的，ETS 之擁護者主張，碳稅最大的問題係其無法確保減排效果，此外，新增稅賦通常會面臨較大的政治阻力，尤其在選舉或政黨輪替之際，碳稅政策可能會因政治風向改變而有所改變。在政策實作上，ETS 與碳稅如何選擇，往往視國家政治與經濟情況、政策目標、國家經濟優先事項等因素而定。就目前全球施行狀況觀之，有諸多國家結合兩種碳定價措施之特點，採行 ETS 和碳稅雙軌碳定價制度。

3. 碳抵銷機制(Carbon Offset Mechanism)

碳抵銷機制是指透過資助、支持或參與溫室氣體減量專案，抑或直接在市場購買碳抵銷額度，以抵銷一個組織的溫室氣體排放。目前在聯合國氣候變遷框架公約（United Nations Framework Convention on Climate Change，UNFCCC）碳抵銷平台中³，臚列的氣候減緩專案涵蓋範疇甚廣，包括負碳技術、氣候友好的農業實踐、提升能源效率、使用可再生能源、廢棄物處理等。雖然碳抵銷提供了更為彈性的方案，但通常被視為一種暫時性的替代或輔助方案，受監管之實體仍應將焦點放在自身的減排努力上，以實現更持久且永續的環境保護目標。

4. 內部碳定價(Internal Carbon Pricing)

內部碳定價係指組織內部採用的碳價格，用於推估其碳排放之成本，並用

³ <https://unfccc.int/climate-action/united-nations-carbon-offset-platform>

於導引其在氣候變遷影響、碳風險管理和低碳轉型投資之決策。內部碳定價計有內部碳費、影子價格與隱含價格三類(CDP, 2021)⁴，約近五成的企業採用影子價格。實務上，採行內部碳定價的組織涵蓋政府、一般企業、金融機構等，其中政府係將其作為採購流程、計畫評估和與氣候變遷影響相關政策評估之工具，企業應用內部碳定價的目的包括：(1)改變公司內部行為以加速溫室氣體減量；(2)及早準備以降低強制碳定價政策正式施行後可能產生的風險；(3)辨識價值鏈中成本降低的機會，並作為企業戰略性投資決策的依據；(4)將氣候風險納入內部財務或營運決策，引領企業低碳轉型與商業模式發展。根據 Zhu 等人(2005)利用 CDP 碳揭露資料，針對美國 500 家上市公司進行研究，實證結果顯示內部碳定價有助於降低組織碳排放。此外，目前亦有金融機構開始使用內部碳定價評估其投資或貸款的組合，以揭櫫其支持低碳計畫之承諾。

(二)全球碳定價施行現況

根據世界銀行碳定價儀表板資料(表 1)，截至 2023 年 10 月全球已有 75 個正式通過立法且已實施的碳定價倡議⁵，其中 39 個為碳稅，36 個為 ETS，共涵蓋 116.6 億噸 CO₂e，占全球溫室氣體排放量 23%。若以分布地區觀之，由多到少依序為歐洲及中亞地區 26 個、北美地區 20 個、東亞與太平洋地區 16 個、拉丁美洲與加勒比海地區 12 個、次沙哈拉非洲地區 1 個。

根據表 1 所臚列之全球碳定價政策施行現況，不論就通過的法案數量與推動時間，歐美國家均領先全球。尤其北歐國家係推動碳稅之先驅，自 1990 年芬蘭率先徵收後，北歐其他國家陸續跟進，包括 1991 年的挪威與瑞典，以及 1992 年的丹麥，當時的碳稅主要與燃料稅系統整合，課徵對象為能源部門。爾後隨著歐盟採 ETS 作為碳管制之方案，復以《京都議定書》「彈性機制」之發展，碳交易市場逐漸受到關注，目前歐盟、冰島、挪威、列支敦斯登之 ETS 系統，是涵蓋國家範圍最大的交易市場。

在北美地區，除 2019 年加拿大採碳稅與 ETS 雙軌措施外，其餘已施行者均屬地方措施。值得注意的是，美國的地方碳定價措施均為 ETS，加拿大

⁴ <https://www.cdp.net/en/research/global-reports/putting-a-price-on-carbon>

⁵ 其中斯洛維尼亞的碳稅已於 2023 年廢止。

地方碳訂價措施則涵蓋碳稅與 ETS 兩種。比較歐美地區的碳定價措施亦可發現一個有趣的現象，歐洲及中亞地區採行者均為國家政策，反之，北美地區則是地方碳定價先行，爾後才有國家層級政策，例如加拿大艾伯塔省早在 2007 年即推動地方 ETS，之後其他地方陸續施行 ETS 與碳稅，但國家層級碳稅與 ETS 直到 2019 年方施行。

在東亞與太平洋地區，紐西蘭 2008 年即施行國家 ETS，係此地區最早推動國家層級碳定價的國家；日本則是在 2010 年由東京率先推動地方 ETS，至 2012 年施行國家碳稅；中國自 2013 年起由北京、上海、深圳、廣東、天津等城市推動地方 ETS，至 2021 年啟動國家 ETS。至於其他亞洲施行碳定價的國家，則皆是直接施行國家層級之碳定價，包括 2015 年韓國 ETS、2019 年新加坡碳稅、2023 年印尼 ETS。

近年來，陸續有國家或地方政府推動新的碳定價政策(World Bank, 2023)，自 2022 年以來，新推出的國家碳定價包括奧地利、蒙特內哥羅、印尼的 ETS 系統，以及烏拉圭的碳稅；在地方碳定價部分，美國華盛頓州啟動 ETS 系統，墨西哥的克雷塔羅州、墨西哥州、尤卡坦州、杜蘭戈、塔毛利帕斯州等實施了新的碳稅。除印尼以外，以上措施多半是在已經施行碳稅或 ETS 的國家中推出的，目的是涵蓋新的納管範疇或加強現有的價格信號。此外，德國全國 ETS 系統在 2023 年 1 月擴大納管範疇，覆蓋目前不包含在歐盟 ETS 納管範疇內的煤炭衍生燃料使用設施。荷蘭則是導入了電力和工業的碳價底線，以確保其在歐盟 ETS 納管範疇內之排放量對應碳價為最低。這些制度面的沿革顯示，當前各國積極實施或擴大碳稅與 ETS 納管範疇，期透過價格信號，激勵減量行動，以促使企業和個人採取更清潔的替代方案，從而落實低碳轉型與淨零目標。

在企業內部碳定價推動部分，近年來亦有顯著增加之趨勢，根據 CDP(2021)，2014 年全球僅有 150 家企業採用內部碳訂價來評估與管理碳排放相關的風險，在 2021 年全球已有 1,077 家企業推動內部碳定價，且有 1,061 家企業表示兩年內將開始執行內部碳定價，成長相當顯著。

表 1 全球各國碳定價施行現況

地區	碳稅		ETS	
	國家	地方	國家	地方
歐洲及中亞地區	芬蘭(1990) 波蘭(1990) 挪威(1991) 瑞典(1991) 丹麥(1992) 斯洛維尼亞(1996)* 愛沙尼亞(2000) 拉脫維亞(2004) 列支敦斯登(2008) 瑞士(2008) 冰島(2010) 愛爾蘭(2010) 烏克蘭(2011) 英國(2013) 法國(2014) 西班牙(2014) 葡萄牙(2015) 盧森堡(2021) 荷蘭(2021)		歐盟、冰島、挪威、列支敦斯登(2005)** 瑞士(2008) 哈薩克(2013) 德國(2021) 英國(2021) 奧地利(2022) 蒙特內哥羅(2022)	
北美地區	加拿大(2019)	加拿大不列顛哥倫比亞(2008) 加拿大紐芬蘭與拉布拉多省(2019) 加拿大西北地區(2019) 加拿大愛德華王子島(2019) 加拿大新不倫瑞克省(2020)	加拿大(2019)	加拿大艾伯塔省(2007) 美國區域溫室氣體倡議(2009) 美國加州(2012) 加拿大魁北克(2013) 加拿大不列顛哥倫比亞(2016) 美國麻薩諸塞州(2018) 加拿大紐芬蘭與拉布拉多省(2019) 加拿大新斯科細亞省(2019) 加拿大薩斯喀徹溫省(2019) 加拿大新不倫瑞克省(2021) 美國俄勒岡州(2021) 加拿大安大略省(2022) 美國華盛頓(2023)
東亞與太平洋地區	日本(2012) 新加坡(2019)		紐西蘭(2008) 韓國(2015) 中國(2021) 印尼(2023)	日本東京(2010) 日本埼玉縣(2011) 中國北京(2013) 中國上海(2013) 中國深圳(2013) 中國廣東(2013) 中國天津(2013) 中國湖北(2014) 中國重慶(2014) 中國福建(2016)
拉丁美洲與加勒比海地區	墨西哥(2014) 哥倫比亞(2017) 智利(2017) 阿根廷(2018) 烏拉圭(2022)	墨西哥薩卡特卡斯州(2017) 墨西哥克雷塔羅州(2022) 墨西哥墨西哥州(2022) 墨西哥尤卡坦州(2022) 墨西哥杜蘭戈(2023) 墨西哥塔毛利帕斯州(2023)	墨西哥(2020)	
次沙哈拉非洲地區	南非(2019)			

資料來源：本研究根據「世界銀行碳定價儀表板」資訊整理。

註：()內為施行起始年度。*斯洛維尼亞的碳稅於 2023 年廢止。**為跨國 ETS。

三、碳定價趨勢下之產業轉型與升級

碳定價可傳遞價格信號，係氣候減緩的重要措施，若輔以適切的配套措施，將有助於刺激產業技術創新與綠色投資，引領低碳轉型與升級，進而提升產業競爭力。此外，碳定價能挹注政府收入，進一步用於實現國家中長期永續發展目標與淨零願景。以下彙整碳定價對於產業轉型與升級之意涵。

(一) 產業低碳轉型與競爭地位重組

碳定價使得企業必須支付額外的碳排放費用，短期下可透過生產營運方式改變因應(例如增加既有之燃氣電廠發電，降低燃煤發電比重)，中長期下則須進行低碳投資(例如新增燃氣機組取代燃煤機組、導入高能源效率之製程技術與設備)及零碳投資(例如發展再生能源、淨零建築等)，或進行淨零技術研發。此外，除了各國家或地區境內的碳定價政策外，歐美國家亦規劃採取碳邊境管制，如美國的《清潔競爭法案》、歐盟的碳邊境調整機制等，這些政策的發展，促使企業須加速低碳轉型，朝更環保與低碳的方式生產，而轉型速度較緩慢的企業，勢將面臨較大的成本上升壓力，對其獲利能力、國際間與產業內競爭力均有不言可喻的影響。

產業之低碳轉型，涵蓋構面甚廣，除個別企業內部範疇外，目前業已落實至綠色供應鏈管理。就企業內部範疇而言，碳定價提升企業對於碳排放之敏感度，激勵減碳行動，若企業能掌握或開發創新技術，成為低碳技術的領導者，將有助於建立良好的品牌聲譽，擴大市場份額，並在國際市場上占有一席之地。目前已有諸多學術研究針對碳定價政策與企業競爭力兩者之關聯性進行研究，研究結論支持碳定價啟動後，早期的氣候創新者可獲得競爭優勢(如 Cui 等人，2023)。

就企業外部範疇而言，目前已經有越來越多的企業，透過綠色供應鏈管理，與上下游廠商協力合作，強化供應商議合，確保供應鏈之永續實踐，以滿足與日俱增的環保與碳排放標準規範。CDP 之技術報告⁶指出，企業上下游供應鏈產生之範疇三排放量相當可觀，占整體碳排放之四分之三以上。根

⁶ https://cdn.cdp.net/cdp-production/cms/guidance_docs/pdfs/000/003/504/original/CDP-technical-note-scope-3-relevance-by-sector.pdf

據勤業眾信針對全球 40 餘國 350 位採購主管之問卷結果⁷，2023 年企業採購最重要的策略之一，係買賣雙方的深度議合，使買方企業掌握供應商的營運狀況與潛在永續風險，這也促使供應鏈中的永續相關資訊透明化，供應鏈的企業共享更多永續實踐資訊，確保雙方可透過協力合作共同實踐永續目標。有鑑於當前國際市場對於企業永續責任之規範與重視，佈局綠色供應鏈以深化永續實踐，將有助於企業躋身國際供應鏈之列，並確保其在激烈競爭的國際市場中取得領先優勢。

(二) 新興低碳商機暨商業模式崛起

碳定價係實現永續發展目標的一種有效短期工具，中長期之永續實踐則需仰賴持續且嚴格的政策執行，以及低碳綠色創新(Khurshid 等人，2023)。Abbas 等人(2023)針對 29 個 OECD 國家進行實證研究，結果指出，強化碳定價政策與提升環境稅收有助於激勵環境創新，而金融部門的綠色金融機制亦扮演刺激創新的角色。Cantone 等人(2023)則是利用歐盟 ETS 參與國家的資料進行分析，研究結果顯示，碳定價之預期值每增加 1 美元，低碳技術相關專利會增加 1.4%，這意味著較高的碳定價可有效刺激低碳技術創新。

研發與創新是因應氣候變遷與永續發展的重要一環，新興低碳商機與商業模式開創了新的市場機會，有助於達成經濟利益和環境保護雙贏之願景。以下說明目前新興低碳商機和商業模式。

1. 綠色運輸

運輸部門大量仰賴化石燃料，為目前全球第二大排放來源，是以運輸部門的溫室氣體減量對於全球氣候減緩至為關鍵。綠色運輸係指提供永續、環保與高效率的交通模式，在公共運輸部分，主要的創新為多種交通模式的互聯，包括大眾運輸、共享汽車(如 Uber、iRent)、機車(如 GoShare)、腳踏車(如 Ubike)等，提供使用者更便利且具彈性的選擇。目前互聯系統中亦導入技術創新，例如智慧城市與運輸系統、票務與支付等應用程式，以提升交通營運之效能與便利性，促使民眾降低私有運具的持有與使用，提高公共運輸之使

⁷ Deloitte 2023 Global Chief Procurement Officer Survey，詳見
<https://www2.deloitte.com/us/en/pages/operations/articles/procurement-strategy.html>

用意願與頻率，從而舒緩道路壅塞與溫室氣體排放等問題。目前源自於芬蘭的「交通行動服務」(MaaS)業已在臺灣各縣市推動落實，並且漸具成效，該系統以具競爭力的合理價格，顯著提升了公共運輸使用人次，並降低交通相關的溫室氣體排放。

2. 綠建築與淨零建築

住商部門之溫室氣體排放相當可觀，舉凡空調、照明、電器使用、烹調等能源使用，以及建築物興建期間的材料使用與施工過程，均會排放溫室氣體。因此，建築之低碳轉型，一般分為興建與使用兩階段。在興建階段，建築的設計、材料選擇和施工方法均須融入永續實踐概念，而在使用階段，則是透過建築設計落實永續環保，包括絕緣、高效照明、智慧節能與節水系統，以及太陽光電等再生能源裝置，這些均有助於降低建築使用階段的溫室氣體排放。目前淨零建築之概念已受到重視，在我國的淨零策略框架下，「淨零建築」路徑涵蓋四大推動主軸，包括：(1) 提高新建建築物能源效率；(2) 改善既有建築物能源效率；(3) 提升家電、設備能源效率；(4) 建築節能減碳新技術及工法研發與推廣應用。目前內政部亦以綠建築標章系統為基礎，新增「建築能效評估系統」，透過這套評估和標示制度，結合公有建築帶頭示範，期能加速建築淨零轉型。

3. 循環經濟

循環經濟係以 5R 原則評估資源使用，即減廢 (reduce)、再利用 (reuse)、循環再利用 (recycling/recover)、再思考 (rethink)、修復 (repair/regenerate)，透過資源的重複使用與回收，將廢棄物材料於生產流程中再利用，並優化產品、服務、流程與功能，以降低物料處理與使用所排放之溫室氣體。根據 Circle Economy (2022) 之循環落差報告 (The Circularity Gap Report)⁸，全球物料處理與使用所排放的溫室氣體，達全球總量之七成，若能採行循環經濟措施，可降低 29% 的資源開採，以及 39% 的溫室氣體排放，係達成淨零目標之關鍵策略。

⁸ <https://www.circularity-gap.world/2022#download>

循環經濟商業模式崛起，涵蓋面向廣泛，相關技術發展亦相當快速，舉凡生產原料再生與回收技術、製程、回收再利用、共享經濟和產品租賃等，均屬循環經濟的重要項目。就目前實作技術觀之，有利用生物技術分解有機廢物，使之轉化為生物燃料或有價值的產品者；此外，高效的回收系統和材料分選技術，可提升材料回收和再利用的次數，減少對原始資源的需求；最後，改變產品和包裝之設計，減少材料使用、延長產品壽命和提高可維修性，亦為促進循環經濟推動之重要策略。

4. 綠色與永續金融

綠色與永續金融的主要目的係將投資資金導引至永續與環保的計畫與技術創新，從而減少經濟活動對於環境的負面影響。2020 年歐盟正式發布《歐盟永續分類標準》(EU Taxonomy Regulation)⁹，此一分類涵蓋六大環境目標，包括循環經濟轉型、氣候變遷減緩、氣候變遷調適、污染防制與控制、生物多樣性與生態系統之保護與恢復、水與海洋資源之永續使用與保護，主要目的係將投資資金導引至歐洲綠色協議目標涵蓋的經濟活動，以實現淨零排放轉型。在臺灣政策發展部分，近來金融監督管理委員會提出「公司治理 3.0 永續發展藍圖」，並發布「上市櫃公司永續發展行動方案(2023 年)」，重點即包括引領企業淨零、深化企業永續治理文化、精進永續資訊揭露、強化利害關係人溝通、推動 ESG 評鑑及數位化，希冀透過這些措施之推展，促進企業永續實踐。

前述綠色與永續金融相關規範之推動，將促使企業揭露氣候相關風險與財務訊息，以證明其營運活動符合環保規範，這也意味著未來企業需要建構更詳盡的內部審核、環境影響評估和揭露流程，以提升氣候與環境相關資訊之透明度，而這些資訊亦將牽動金融機構、投資者與企業的融資與投資決策。

5. 永續農業實踐與食品科技創新

有別於其他產業，糧食生產過程的主要溫室氣體排放並非能源使用，而是以土地利用及畜牧業之排放為大宗。根據 Crippa 等人(2021)為聯合國糧農

⁹ 詳見 <https://ec.europa.eu/sustainable-finance-taxonomy/>

組織(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)建構之 EDGAR-FOOD 資料庫，全球糧食消費相關的溫室氣體排放高達三分之一以上，因此永續糧食轉型對於淨零目標之達成至為關鍵。永續糧食轉型大抵涵蓋永續農業實踐與食品科技創新兩大範疇，其中永續農業實踐包括有機農業、減少農業碳足跡、以及水資源管理等，透過減少合成化學肥料、農藥、水資源使用，促進生態平衡，並達成降低溫室氣體排放之目標。而在食品科技創新部分，近來以植物為原物料的食品替代品蔚為潮流，包括植物肉與植物奶等，主因係其有助於減少畜產溫室氣體排放，並提高飲食的健康性。為滿足與日俱增之低碳飲食需求，近來全球永續農業和植物為基礎的食品替代品相關投資有漸增趨勢。

(三) 能源產業創新與技術發展

碳定價使化石燃料及發電成本增加，激勵能源產業之技術創新，開發更具效率、低碳與前瞻能源技術。能源產業創新技術涵蓋前瞻能源、氫能、再生能源、智慧能源管理系統、儲能、節能等，其中氫能是最具發展潛力的替代能源之一，其具有相對潔淨、高能量密度、應用範圍廣泛等優點，雖目前仍有技術面與成本面的挑戰，但隨著技術不斷發展，未來有望成為具競爭力的永續能源選項。此外，目前人工智能與大數據等技術發展快速，這些技術亦被應用於優化能源使用及管理方案中，有助於提高能源使用效率，降低能源消耗。Pradhan & Ghosh(2022)探討印度在 2030 年達成非化石燃料電力占比達四成之目標所需採行策略，結果指出，對煤碳課稅可有效改變非化石燃料的相對價格，收入可作為再生能源發展基金，俾利刺激新興能源技術進步，因此，印度低碳經濟成長路徑之實踐，應聚焦於能源技術研發和碳定價政策之設計。

四、國內碳定價與產業升級之制度設計建議

國內碳定價係淨零轉型的重要工具之一，惟其是否能如預期般的導引產業低碳轉型與升級，有賴周全的制度設計。以下為相關制度設計之建議：

1. 強制性碳定價制度與合宜的碳價格

建構強制性碳定價制度，並輔以明確有效的監管與處罰機制，將有助於傳遞價格信號，確保企業如實遵循。而合宜的碳價格水準，須參考巴黎氣候協議降溫目標之價格水準，並反映國內減碳目標與低碳發展路徑，此外，產業或廠商之差異性與負擔亦須一併考慮，諸如能源密集產業的廠商需要有更長的調適期、上市櫃公司與中小企業之人力與資源差異等。此外，有鑑於 2050 淨零排放係屬中長期目標，碳定價政策之設計須輔以滾動式調整之彈性機制，以提供長期穩定的經濟誘因，並因應未來國際政策規範改變與脫碳技術發展帶來的可能影響。

2. 碳定價收入之投資與支持措施

碳定價之收入如何運用，攸關產業低碳轉型與技術升級之成效。目前諸多文獻皆支持碳定價收入應妥適應用於投資永續發展與低碳轉型的相關計畫中，諸如再生能源、新能源、節能技術和碳捕獲與儲存等技術研發，以利建構低碳經濟體系。此外，支持性措施亦不可或缺，諸如技術移轉、教育訓練等，以協助受碳價影響較大的產業或廠商進行升級和轉型。

3. 財政部門之參與可促進碳定價之有效性

由於溫室氣體主要的排放來源為化石燃料燃燒，而燃料稅在多數國家係屬財政部門的權責，因此財政部門之參與，對於政府碳定價之有效性至關重要(Dominioni, 2022)。有鑑於目前部分國家之碳定價政策與實施係由環境部門(如中國的排放交易方案、加拿大魁北克的 ETS)或獨立機構(如美國加州的 ETS)管理，甚至碳定價之收入亦未交由財政部門統籌，如此可能限制財政部門在氣候政策中的參與，致使推動成效不彰。由於財政部門為淨零政策之重要利害關係者，在稅務制度的推動經驗與組織量能均相對穩健，其參與對於碳定價制度之建構與長期穩健發展應有助益。

參考文獻

1. Abbas, S., Ahmed, Z., Sinha, A., Mariev, O., & Mahmood, F. Toward fostering environmental innovation in OECD countries: Do fiscal decentralization, carbon pricing, and renewable energy investments matter? Gondwana Research. Forthcoming.
2. Cantone, B., Evans, D., & Reeson, A. The effect of carbon price on low carbon innovation. *Scientific Reports*, 13(1), 9525.
3. CDP. Putting a Price on Carbon: The State of Internal Carbon Pricing by Corporates Globally. CDP Report 2021.
4. Circle Economy. The Circularity Gap Report 2022 (pp. 1-64, Rep.). Amsterdam: Circle Economy.
5. Crippa, M., Solazzo, E., Guizzardi, D., Monforti-Ferrario, F., Tubiello, F. N., & Leip, A. J. N. F. Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. *Nature Food*, 2(3), 198-209.
6. Cui, J., Zhang, J., & Zheng, Y. Carbon price, innovation, and firm competitiveness. *Innovation, and Firm Competitiveness* (February 20, 2023).
7. Deloitte. Deloitte 2023 Global Chief Procurement Officer (CPO) Survey. <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/operations/articles/procurement-strategy.html>
8. Dominioni, G. Pricing carbon effectively: a pathway for higher climate change ambition. *Climate Policy*, 22(7), 897-905.
9. DOI: 10.1080/14693062.2022.2042177
10. Khurshid, A., Rauf, A., Qayyum, S., Calin, A. C., & Duan, W. Green innovation and carbon emissions: The role of carbon pricing and environmental policies in attaining sustainable development targets of carbon mitigation—Evidence from Central-Eastern Europe. *Environment, Development and Sustainability*, 25(8), 8777-8798.
11. Nordhaus, W.D. *The Climate Casino: Risk, Uncertainty, and Economics for a Warming World*. Haven: Yale University Press.
12. Pradhan, B. K., & Ghosh, J. A computable general equilibrium (CGE) assessment of technological progress and carbon pricing in India's green energy transition via furthering its renewable capacity. *Energy Economics*, 106, 105788

13. World Bank. State and Trends of Carbon Pricing. <http://hdl.handle.net/10986/39796>.
14. Zhu, B., Xu, C., Wang, P., & Zhang, L. How does internal carbon pricing affect corporate environmental performance? *Journal of Business Research*, 145, 65-77.