

第一章 2050 淨零排放的理由

本章小節

1.1 前言

1.2 我國溫室氣體排放現況解析

1.3 本政策建議書章節導讀

1.1 前言

全球氣候科學家已示警，相較於工業革命前的氣溫，人類須控制全球升溫幅度在 1.5°C 以內，才能避免許多難以回復、災難性的氣候衝擊，全球也因此必須在 2050 年達到淨零排放(Net Zero)的目標（附錄 1A）。大氣中溫室氣體濃度攀升之問題源自兩百多年以來，人類社會以化石燃料為主的能源經濟，今日距離 2050 年淨零排放的目標僅餘不到三十年的時間，許多改變無法一蹴可幾，而是需要長時間、根本的轉型。因此，我們必須即刻開始行動，方可能在 2050 年達成此一艱難的目標。正因如此，近年各國政府、產業、非政府組織、學研人員等各界均已開始推動淨零轉型的倡議以及積極減碳的行動（附錄 1B）。

我國非聯合國會員國，不被國際氣候公約約束，過去以自願性減碳的方式雖已使我國溫室氣體排放量漸趨穩定，但實質減碳成效仍有限。當國際間開始以碳排放量作為各項經濟活動之衡量依據、國際產業龍頭開始對供應廠商施加減碳壓力時，這對發展出口貿易、以能源密集製造業為主的我國而言，經濟發展必然會受到衝擊。除面臨全世界經貿的壓力之外，我們也有責任為下世代子孫留下合宜的生存環境，所以我國應立即正視此一問題。我國政府亦於今(2022)年 3 月公布「臺灣 2050 淨零排放路徑」¹，提出我國淨零轉型架構與方向，包含「能源轉型」、「產業轉型」、「生活轉型」、「社會轉型」等四大轉型策略，及「科技研發」、「氣候法制」兩大治理基礎，再輔以「十二項關鍵戰略」。各部會便據此開始制定行動計畫，後續也規劃進行民間溝通。

然而，目前淨零轉型框架雖有策略方向與行動，但對於政策與行動之科學依據與選項仍有待分析與論述，以利於我國社會進行以科學為依據之對話與溝通。因此，中央研究院組成「永續轉型減碳路徑政策建議諮詢平台」，邀請國內各領域專家參與討論，以量化數據深入分析我國減碳的困境與利基，並探討可能的減碳選項，研議後提出本政策建議書(Box 1.1.1)。

1 國家發展委員會(2022) 臺灣 2050 淨零排放路徑。
https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=FD76ECBAE77D9811

Box 1.1.1 中央研究院《臺灣淨零科技研發政策建議書》研議進程

本政策建議書工作小組自 2020 年底開始便廣泛收集資料，邀集國內 18 位專家，於 2021 年 4 月正式啟動「永續轉型減碳路徑政策建議諮詢平台」，期間針對各特定主題，召開 16 場主題討論會議，共有超過 300 位專家參與人次，討論各面向的減碳作法。此外，工作小組更召開七次「永續轉型減碳路徑政策建議諮詢平台」委員會議，委員深入討論各減碳選項之發展問題與潛能，並提出許多跨面向寶貴建議，由工作小組進行分析與綜整，編撰本政策建議書。再經由本院院士、本院政策建議委員會，以及外部專家共同審議，工作小組最終修改完成本政策建議書。在這個長達兩年的研議期間，委員及參與討論專家亦多次參與政府許多單位淨零排放政策規劃會議，本政策建議書中多項想法與建議已於討論會議中提出，政府許多單位皆予以參考並納入政策規劃中。

邁向淨零排放的目標需要各界、多面向共同整合，除了政府各部會近期之努力之外，目前社會上有許多學者專家已有著作與發表探討我國氣候變遷及淨零排放之治理、法律、社會、經濟等面向之議題與推動建議，也有許多學者提出我國需就整體需求面進行檢視並做合理的調整與控管。惟本政策建議書考量中央研究院之角色，也為了提出更聚焦之建言，遂以「科技研發」為核心觀點，探討如何以科技協助我國的減碳工作。然而，僅靠現有的科技是無法達成 2050 淨零排放之目標，我們除了須要強化利用已有科技外，更應該着重創新科技研發，並搭配經濟、社會及科研管理等工具與方法，加速淨零科技布建，以期新科技及時到位，使我國的淨零轉型可以如期完成。

針對範疇廣泛的淨零排放議題，本政策建議書由「排放源」作為出發點，診斷分析我國溫室氣體排放的來源、數量級，以及難以減碳的關鍵問題，以期找出有潛力的減碳科技選項，並以量化數據進行理性評估，意即考量各選項之實質減碳效益、以及研發與布建的速度(speed)與規模(scale)，作為減碳科技之優先順序選擇依據，而本政策建議書提出之減碳及淨零科技選項，也恰可作為我國未來科技路徑選項的參考。

1.2 我國溫室氣體排放現況解析

欲使我國達到2050 淨零排放的目標，首先必須了解我國溫室氣體排放趨勢、排放部門及來源，以及背後之能源、社會、經濟因素，以利診斷分析排碳的原因、難以減碳的關鍵問題缺口、潛在減碳選項，以及解決方案的優先順序。根據行政院環境保護署 2021 年國家溫室氣體排放清冊報告之統計資料顯示²，我國溫室氣體總排放量由 1990 年的 137 百萬公噸二氧化碳當量(Mt CO₂eq)成長到 2019 年的 287 Mton CO₂eq。此雙倍成長的幅度主要發生在 1990 年至 2007 年期間(圖 1.2.1)，這期間也是我國經濟突飛猛進的時期，顯示我國的碳排量與早期的經濟成長緊密相關。但在 2008 年至 2009 年因全球金融危機，溫室氣體排放量驟降之後，我國近十年溫室氣體排放量已漸趨穩定(我國溫室氣體排放相關指標數據請參見附錄 1C)。

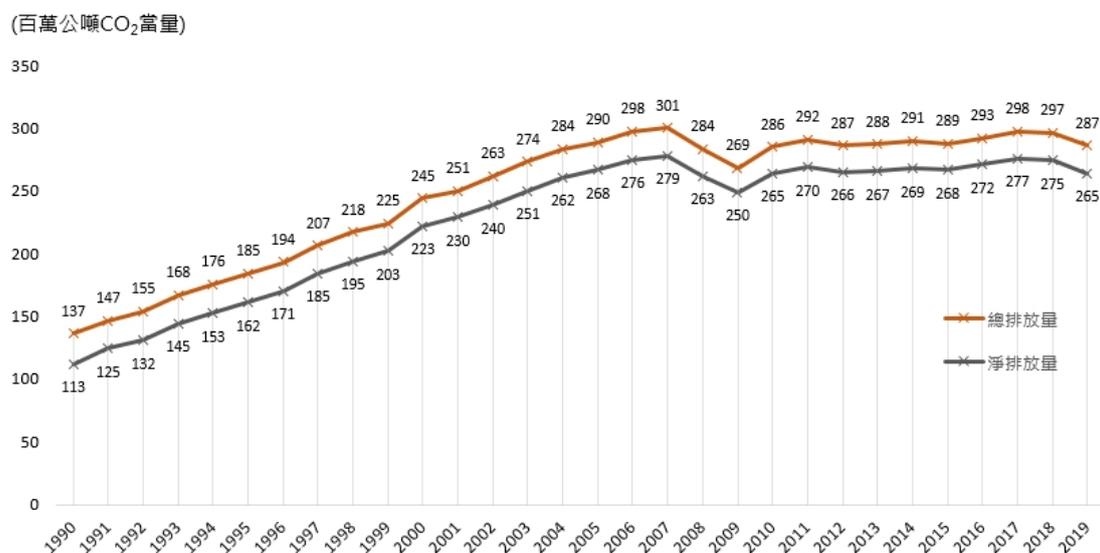


圖 1.2.1 我國歷年溫室氣體排放量趨勢 (1990 年至 2019 年)

雖然我國持續推動節能減碳，但這僅使溫室氣體排放量漸趨穩定，並無明顯減少的跡象，由此可見，我國減碳與能源轉型實在不是容易的一件事。使用國際

² 行政院環境保護署(2021) 2021 年國家溫室氣體排放清冊報告。

能源總署(International Energy Agency, IEA)的資料進行分析³，發現主要原因包括我國能源供應仰賴進口(98%)，不像許多國家有豐富資源可自產能源(例如：美國可自產石油、天然氣；冰島自產地熱、水力等)，海島國家之能源議題亦牽涉能源國家安全議題，跨國電網的可能性較低(成本及國家安全考量)。此外，我國主要能源為高碳排之化石燃料(93%)，不像許多國家能源種類較多元(例如：法國、瑞典核能比例高；瑞典生質能比例高、冰島地熱、水力比例高等)，要完全取代如此高比例的化石燃料，實屬不易。

在能源消費層面，我國工業部門比例高(33%)，而美國、澳洲運輸部門消費比例高(40%左右)、英國、法國等國家其他部門(住商)消費比例高，這顯示我國產業結構中高耗能、高碳排工業占比吃重，使得減碳議題必須與能源使用和經濟成長議題一併考量。此外，我國使用石油製成石油產品出口(如石油化學品等)比例高，約占能源總供應之14%；另外再製成非能源消費產品(如輕油、焦炭、柏油等)比例亦高，約占能源總消費之33%，這表示石化產業在過去臺灣經濟成長中扮演重要角色，要進行產業轉型影響範疇較大。

這些原因也使我國要達到2050淨零排放的目標面臨極大的挑戰。以下各小節分析我國主要溫室氣體排放部門之排放源、排放量及減碳重點。

1.2.1 提供零碳電力為我國減碳主要挑戰

根據國家溫室氣體排放清冊報告中各部門別排放量數據，可以看出能源部門皆為燃料燃燒之排放，其占比最大，且高達91%；剩餘的9%排放量則包含工業製程直接排放、農業及廢棄物排放等(圖1.2.2)⁴。其中，根據經濟部能源局統計數據，我國2019年總發電量約2,741億度，而當年度電力排碳係數為0.509 kg

³ IEA (2020) Sankey Diagram. <https://www.iea.org/sankey/>。

⁴ 臺灣溫室氣體清冊主要是依照IPCC於2006年制定之指南所建置，主要區分為：能源、工業製程及產品使用、農業、土地利用、土地利用變化及林業、廢棄物等；而其量化方法多由燃料別出發，再依其活動數據(使用量多少)及排放係數(燃料一單位的溫室氣體排放量)，計算排放量。

CO₂eq/kWh⁵，故可以得到該年我國電力部門碳排量為 139.6 Mton CO₂eq，占總排放量 48.6%，這些電力供給工業、住宅、服務、運輸、農業、能源部門消費。

由上可知，能源部門是我國最大宗的溫室氣體排放部門(91%)，主要是使用各式化石燃料（如：石油、煤炭、天然氣等），燃燒產熱或發電過程中的排放。由圖 1.2.2 可以看出其中最大的排放源即是電力—火力發電(48.6%)；其次依序為運輸—燃油運具(12.6%)；製造/營建業—鍋爐產熱(11.4%)；汽電共生廠—鍋爐產熱(8%)；固體燃料生產過程之燃燒活動，如焦炭(3.7%)；住宅、農林漁牧、服務業等—鍋爐/爐具等(3.3%)；煉油—煉製石油產品過程之燃燒活動(3.1%)。未來運輸部門及各產業能源供給，將儘可能電氣化，發電排放占總排放量比例將大幅上升。故提供零碳電力將為我國減碳主要挑戰（詳見第二章）。

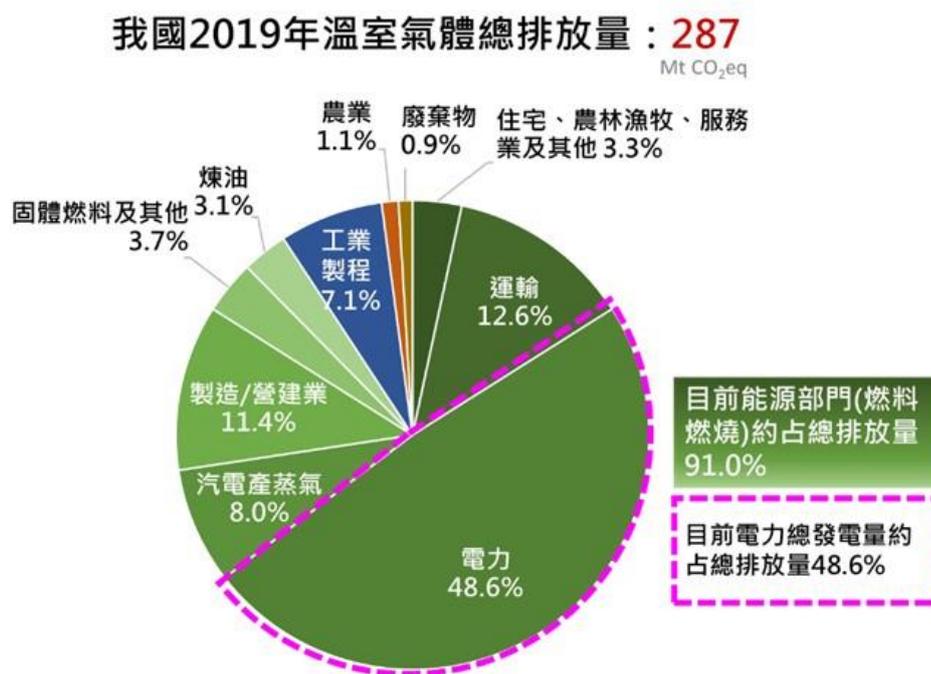


圖 1.2.2 我國 2019 年溫室氣體排放（註：所有能源部門包括燃燒約占總排放量的 91%（以綠色系列表示）；電力占總排放量的 48.6%（以粉紅色線條匡列排放源））

⁵ 經濟部能源局(2022)《能源統計月報》。 <https://www.esist.org.tw/publication/monthly>

1.2.2 工業部門排放影響我國經濟最大，必須投入創新技術與營運

工業部門溫室氣體排放源多元，包含用電力之間接排放(27%)⁶、各式鍋爐之燃料燃燒(11.4%)，以及製程排放(7.1%)等，占我國總排放量的 45.5%(圖 1.2.3)。工業部門涵蓋產業十分廣泛，企業數量眾多，規模大小不一，2019 年工業部門占我國 GDP 比重約 35.5%，此比重雖然不及服務業，但工業(含製造業)為我國經濟發展之骨幹，許多高碳排企業更是我國早期經濟起飛的重要推手，因此，此一部門的減碳將會對我國的經濟產生較大影響，連帶影響勞工的工作機會，因此工業部門的減碳倍受關注。

工業部門之減碳重點包含：針對用電排放可使用零碳電力、調整用電需求；鍋爐使用替代燃料(電力、生質能、氫能等)；研發與落實創新技術；產業或商業模式轉型等。對於我國的廠商而言，未來可能受品牌生產商及供應鏈對淨零之要求，營運及收益皆可能受影響，因此，廠商本身必須積極投入創新技術研發與落實，並尋求營運轉型與新商機(詳見第四章)。

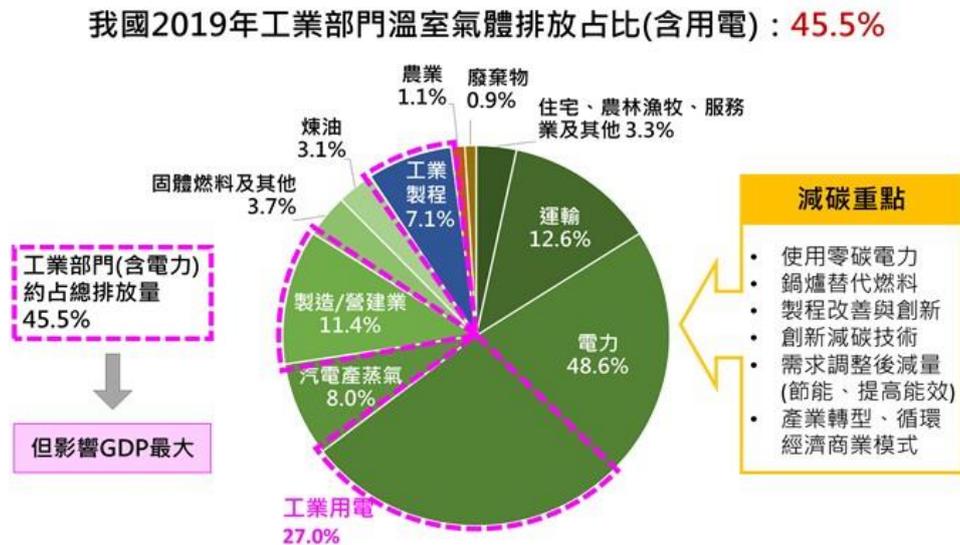


圖 1.2.3 我國 2019 年工業部門溫室氣體排放源與減碳重點 (註：以粉紅色線條匡列排放源、黃色文字框表示減碳重點)

⁶ 根據經濟部能源局(2022)《能源統計月報》，2019年工業部門占總電力消費約55.6%，而發電約占排放量的48.6%，因此，工業部門使用電力約占總排放量之27.0%。
<https://www.esist.org.tw/publication/monthly>

1.2.3 交通運輸部門影響對象眾，須考量社會因素

交通運輸部門排放量占總排放量之 12.9%，包含各式機動車之燃油燃燒 (12.6%)，以及少許軌道運輸之用電(0.3%)⁷，雖然此部門排放量占比不高，但牽涉人數卻是最多(圖 1.2.4)。截至 2019 年底，我國機動車輛登記數達 22.1 百萬輛，包含 8.1 百萬輛汽車及 14.0 百萬輛機車；平均每百人擁有 93.7 輛機動車、34.4 輛汽車；領有駕照人數更達 28.9 百萬人⁸，雖然部分民眾可能擁有多輛汽機車，但由此數據已可得知，若要推動交通運輸部門減碳，將會使絕大部分國人的日常生活、甚至生計受到影響(詳見第五章)。

交通部門之減碳重點包含：替代機動車之燃料，可能為電池，或是氫燃料電池，及改變運輸行為或使用公共運輸系統。由於交通運輸之減碳轉型影響人數眾多，且機車多為基層民眾日常生活或生計奔波使用，因此在構思此部門減碳選項時，勢必需要將轉型時的公正性納入考量，以利推動(詳見第五章)。

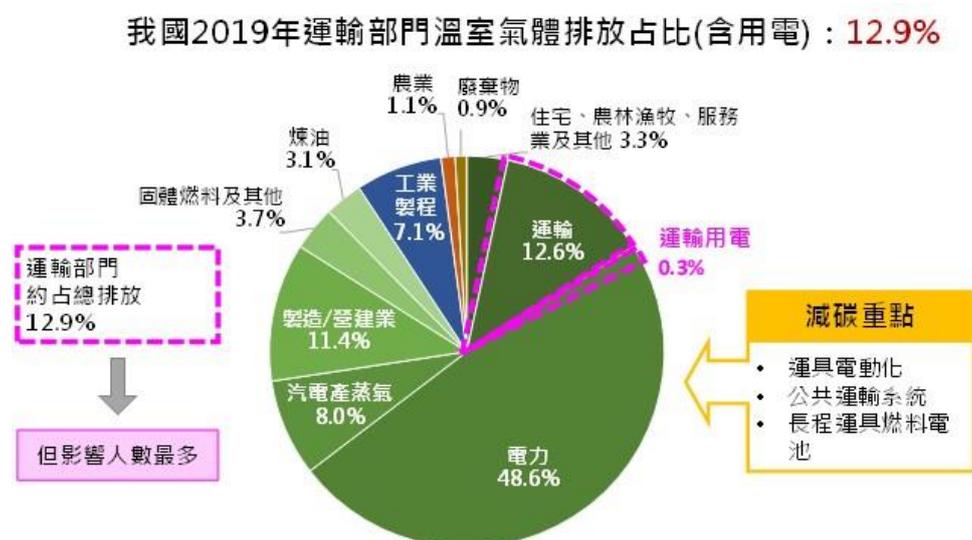


圖 1.2.4 我國 2019 年交通運輸部門溫室氣體排放源與減碳重點 (註：以粉紅色線條匡列排放源、黃色文字框表示減碳重點)

⁷ 根據經濟部能源局(2022)《能源統計月報》，2019 年運輸部門占總電力消費約 0.6%，而發電約占排放量的 48.6%，因此，運輸部門使用電力約占總排放量之 0.3%。

<https://www.esist.org.tw/publication/monthly>

⁸ 交通部(2022) 交通部統計查詢網，機動車輛登記數與領有駕照人數。

<https://stat.motc.gov.tw/mocdb/stmain.jsp?sys=100&funid=a3301>

1.2.4 其餘部門影響生活模式、商業經營，及農林碳匯

住宅部門排放量占總排放量 10.3%，主要來自住宅用電(8.7%)⁹以及爐具使用燃料燃燒，如瓦斯(1.6%) (圖 1.2.5)。因牽涉每一個家戶及個人，能著力的點及量並不顯著，僅能由電力部門統一供給零碳電力著手，亦或是由建物及建材設計著手，降低建物內能源使用的需求(如空調)，如同運輸部門，因涉及人數眾多，亦須考量影響族群的差異性，再規劃相關配套方案以利推動(詳見第五章)。

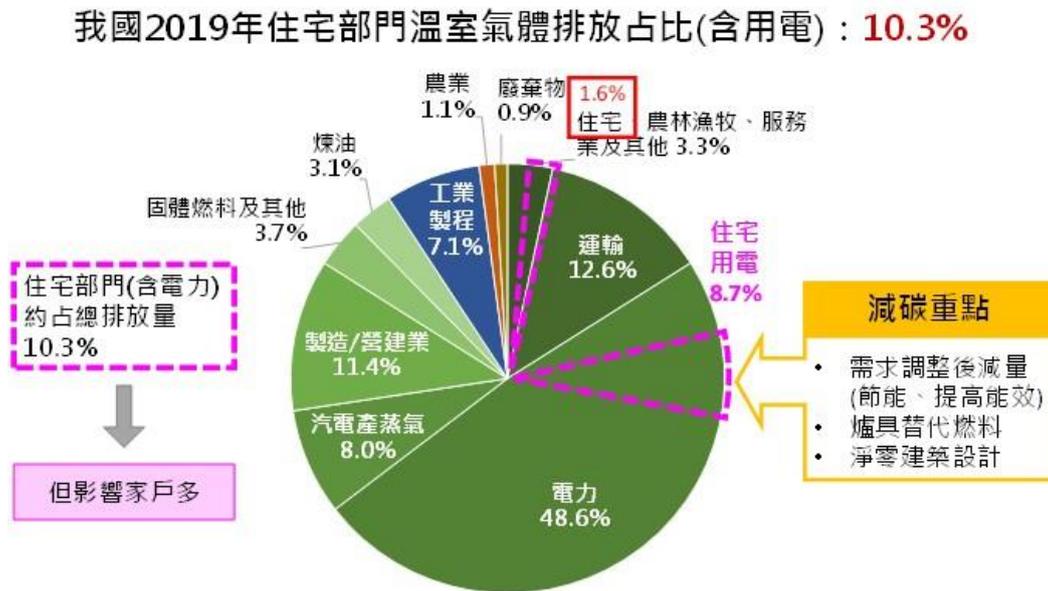


圖 1.2.5 我國 2019 年住宅部門溫室氣體排放源與減碳重點 (註：以粉紅色線條匡列排放源、黃色文字框表示減碳重點)

商業/服務業部門排放量占總排放量 9.8%，主要來自服務業用電(8.6%)¹⁰以及鍋爐、爐具使用燃料燃燒，如瓦斯(1.2%) (圖 1.2.6)。2019 年服務業部門占我國 GDP 比重約 62.9%，顯示其為碳排不高但產值高之行業，說明了服務業在我國目

⁹ 根據經濟部能源局(2022)《能源統計月報》，2019 年住宅部門占總電力消費約 17.8%，而發電約占排放量的 48.6%，因此，住宅部門使用電力約占總排放量之 8.7%。

<https://www.esist.org.tw/publication/monthly>

¹⁰ 根據經濟部能源局(2022)《能源統計月報》，2019 年服務業部門占總電力消費約 17.6%，而發電約占排放量的 48.6%，因此，服務業部門使用電力約占總排放量之 8.6%。

<https://www.esist.org.tw/publication/monthly>

前產業結構中的重要性，又因服務業牽涉眾多民眾，除了由電力部門統一供給零碳電力著手之外，可能必須由營運模式如何調整，並且使民眾可以接受的方式來進行，例如：大型或連鎖營業場所之能源使用模式如何調整，故需將社會因素納入考量，以利推動（詳見第五章）。

我國2019年商業/服務業部門溫室氣體排放占比(含用電)：9.8%

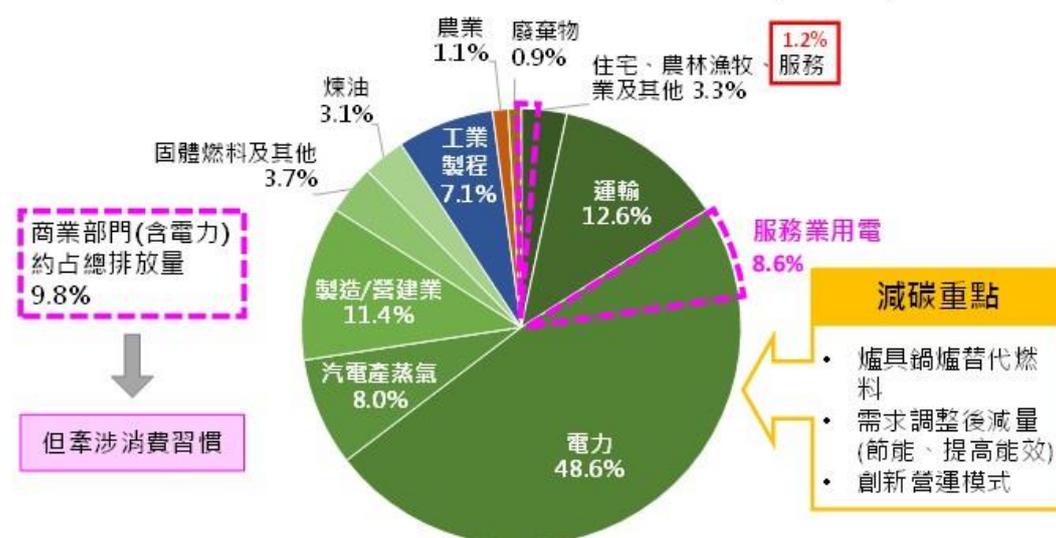


圖 1.2.6 我國 2019 年商業/服務業部門溫室氣體排放源與減碳重點（註：以粉紅色線條匡列排放源、黃色文字框表示減碳重點）

農業部門（含農業、林業、漁業、畜牧業）排放量占總排放量 2.1%，主要來自農牧操作作業之直接排放(1.1%)、農業用電(0.5%)¹¹，以及農林漁牧作業燃料燃燒(0.5%)。廢棄物部門占總排放量 1%，主要是處理廢棄物過程中之排放(圖 1.2.7)。而碳移除量—主要來自林業部門之森林碳匯—約相當於 7.5%碳排量。雖然農業與廢棄物部門碳排量在總排放量上占比不大，但其在淨零排放議題上牽涉面向十分廣泛，除了農林與廢棄物事業須要減碳之外，農林生質的活化亦可具體貢獻於增加自然碳匯、生質能供給方面，但須進行整體、系統式規劃才会有明顯效果(詳

¹¹ 根據經濟部能源局(2022)《能源統計月報》，2019年農業部門占總電力消費約 1.1%，而發電約占排放量的 48.6%，因此，農業部門使用電力約占總排放量之 0.5%。
<https://www.esist.org.tw/publication/monthly>

見第五章)。

我國2019年農業及廢棄物部門溫室氣體排放占比(含用電)：3.1%

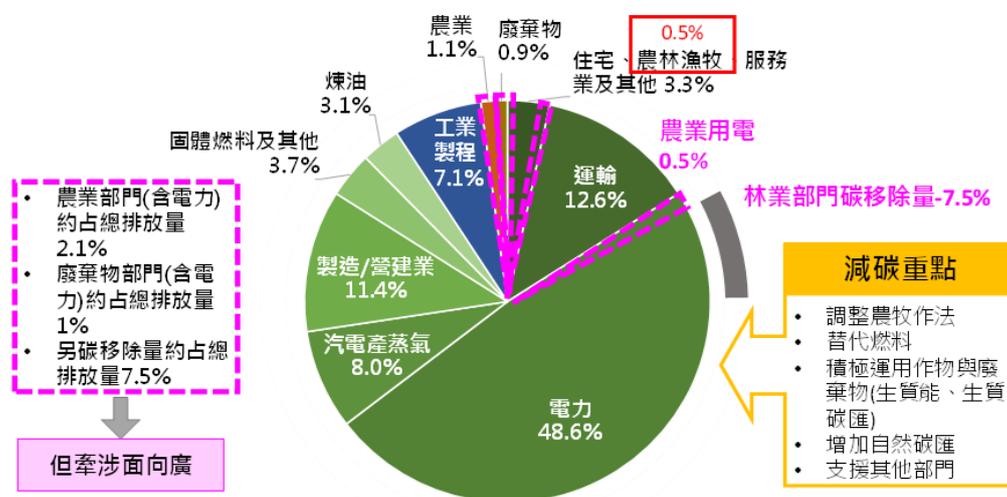


圖 1.2.7 我國 2019 年農業與廢棄物部門溫室氣體排放源、吸收源與減碳重點

(註：以粉紅色線條匡列排放源、黃色文字框表示減碳重點)

1.2.5 科技研發為淨零之關鍵

以上各部門的減碳，雖大致方向明確，但如何在產業、社會均可接受的條件下及時達成目標，仍是極大的挑戰。目前全世界先進國家面對 2050 年淨零排放的目標，皆了解此目標無法僅靠現有的科技達成，而是必須設定新科技方向、投入研發資源，來突破關鍵瓶頸，期盼新科技能在 2050 年以前逐步落實，幫助我國達成淨零排放的目標。我國若不積極投入研發，或是投資錯誤的方向，不僅將自陷困境，更將錯失積極發展新技術、開發新市場的絕佳機會。因此本政策建議書認為科技研發是達到淨零排放目標之關鍵。

淨零科技研發雖以科學為基礎，但仍應在關鍵工程技術的瓶頸上積極尋求突破，所以研發策略的重點為：

1. 基於科學定律，來設定工程技術可達成之目標。

2. 要有量的概念，但不能受限於現有工程技術。
3. 要首重排碳大項。
4. 要強調速度與布建規模。

於選擇科技研發方向上，除須考量臺灣特有的條件（包括資源及環境）外，更應將排放量、減碳量、可發電量等等整體數量的大小納入分析，使用明確的效益指標來決定創新技術研發方向，因減碳技術所處理的數量級往往遠超出一般研究者熟悉的範圍，故選題必須慎重，並應視發展隨時調整。此外，此類研發有別於一般學研機構的學術研究，亦不同於業界產品導向之研究。它經常是跨領域的團隊合作，參與研究者需具備完整的系統整合知識，才能深入探索解決實際減碳技術上所面臨的問題。圖 1.2.8 點出科技研發部門在減碳可支援的面向，但是，如何設計一個有效能的科研管理架構以推動淨零科技的研發，亦為一重要課題（詳見第八章）。



圖 1.2.8 科研部門可支援減碳之角色重點

1.2.6 經濟金融、社會、教育、國合/貿易等部門可提供有力支援

除了科技外，要達到 2050 淨零排放目標，需要有相關配套措施與加速催化措施方能促成，因此，經濟金融、社會、教育、國際合作/貿易等部門亦須提供有力的支援（圖 1.2.9）。

經濟金融部門可提供相關經濟工具之配套、綠色金融方案等支援，促使產業轉型及加速科技研發（詳見第七章）。社會、教育部門可在轉型過程中協助溝通與參與，以提高社會接受度（詳見第七章）。最後，雖然在淨零排放的情境下，我國能源自給率會因自產能源（風能、光能、地熱能、海洋能）之擴大而提高，但亦可能須要進口新能源，因此，國際合作或貿易等國家戰略須及早布局。

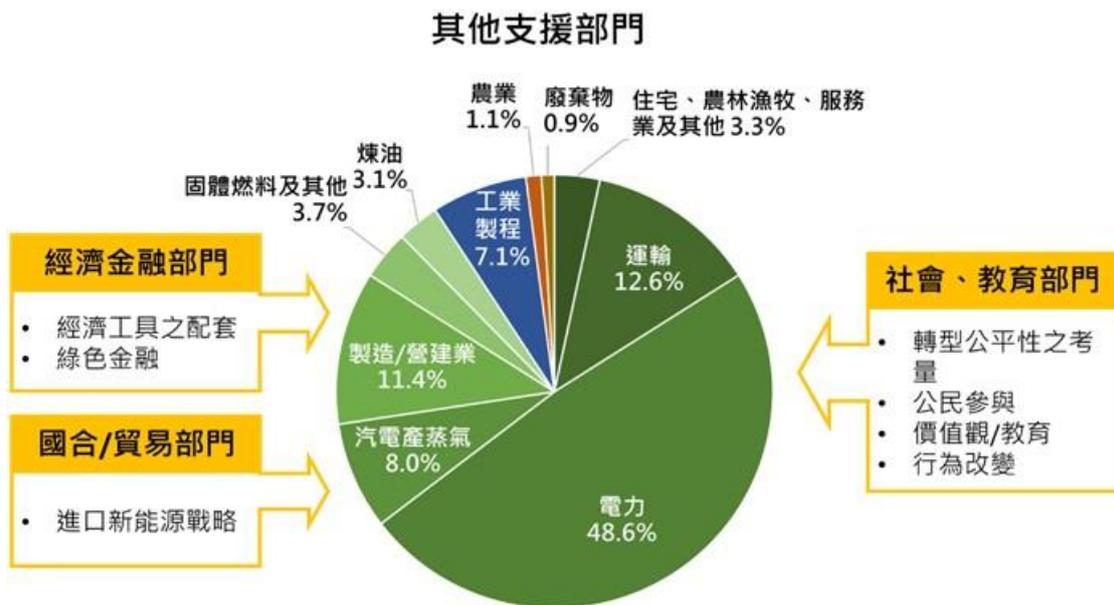


圖 1.2.9 其他部門可支援減碳之角色重點

1.3 本政策建議書章節導讀

本政策建議書**第一章**首先點出我國應配合全球 2050 淨零排放大趨勢的理由，並簡要分析臺灣主要排放源，由各排放部門之排放量出發，檢視其減碳重點，並藉此瞭解我國減碳之優先性。由於電力部門排放量占總排放量的一半左右，因此**第二章**就十項零碳電力技術與系統分別分析其優勢及弱點，並依我國現況分析了各項電力技術至 2050 年可以對整體減碳的貢獻量，也對各項技術提出了研發的具體建議；**第三章**則以負碳技術為探討主軸，近程可以自然碳匯與傳統負碳科技協助減少碳排，長程（至 2050 年）則是以淨負排放技術為發展目標；**第四章**特別討論了製造業減碳的選項，對我國經濟核心動力的四個產業，分析了產業技術中可能的排放源，並依不同排放源整理了合適的技術選項；**第五章**各節則探討了幾個影響民眾人數眾多的部門：交通運輸、住商建築、農業與廢棄物等部門的碳排現況，也分析了各部門未來可能使用的減碳科技選項；**第六章**則著重在目前數個尚在萌芽階段，但值得長期關注，若日後持續有突破性發展，至 2050 年時可能有機會成為減碳選項的新興技術；**第七章**針對經濟與社會促成因素做了大方向的研析，並提出幾點看法，希望這些社經工具與方法的推動，可以加速新興淨零科技研發落實的進程；**第八章**除了綜合前面章節的重要科技選項之外，也在最後提出了一個整合型的科研管理架構建議。