

臺灣深度減碳政策建議書

中央研究院報告 No.15
108年6月

中央研究院組織法第8條第1項第3款明訂，中央研究院院士有「籌議國家學術研究方針」之職權。院士們出席本院定期舉行之院士會議、評議會、國內院士季會等大型會議，會中均曾就各重要科技學術議題加以討論，並提出建議。為進一步落實職責並將作業制度化，本院將不定期針對科技學術及相關社會重要議題，由院長遴選院士及國內外相關領域之專家學者組成研究小組，共同研擬討論，並出版報告提出建議。

章節目錄

摘要	4
第一部 為什麼需要做深度減碳?.....	5
壹、全球暖化與深度減碳	5
貳、臺灣溫室氣體排放現況概述.....	8
參、臺灣能源結構現況概述	13
肆、深度減碳不足的能源與產業衝擊	17
第二部 目前的減碳政策與成效	20
壹、臺灣能源與氣候變遷調適政策現況	20
一、能源政策與綠能前瞻基礎建設	20
二、氣候變遷調適政策	21
貳、國際深度減碳途徑計畫與臺灣現況比較.....	23
一、國際深度減碳途徑計畫	23
二、深度減碳途徑計畫之主要方針	23
三、臺灣減碳途徑之現況	25
第三部 未來推動深度減碳的關鍵議題.....	30
壹、願景與長期藍圖	30
貳、能源轉型面	30
參、產業轉型面	31
肆、低碳科技研發與商業化	31
伍、治理面	32
第四部 建議與結語	34
附註與參考文獻	37

圖表目錄

第一部

圖1-1 全球平均溫度(藍曲線)與夏威夷 Mauna Loa 所測到之大氣二氧化碳濃度(紅曲線)之比較	5
圖1-2 溫室氣體排放差距圖	7
圖2-1 臺灣1990-2015年總溫室氣體排放量與移除量趨勢	9
圖2-2 臺灣1990-2015年能源部門人均二氧化碳排放量趨勢	9
圖2-3 臺灣1990-2015年二氧化碳排放密集度趨勢	10
圖2-4 臺灣1990-2015年各部門溫室氣體排放量趨勢	11
圖3-1 臺灣1995-2015年能源供給趨勢	13
圖3-2 臺灣1995-2015年能源消費趨勢	14
圖3-3 臺灣1995-2015年能源消費部門別	14
圖3-4 臺灣2000-2017年人均國內生產毛額與能源消費量	15
圖3-5 臺灣2000-2017年能源生產力與密集度	15
圖3-6 世界主要國家平均每人國內生產毛額與初級能源消費量	16
圖4-1 非政府組織德國守望(German Watch)2018年主要排碳國家的氣候變遷績效指標(CCPI)排名	18

第二部

表1 經濟部能源轉型路徑規劃時程關聯表	21
---------------------------	----

研議小組成員

李遠哲	本院院士，政策建議書召集人
劉兆漢	本院院士，政策建議書召集人
王寶貫	本院院士，本院環境變遷研究中心代理主任
林立夫	行政院原子能委員會核能研究所研究員
胡耀祖	工研院綠能與環境研究所所長
許晃雄	本院環境變遷研究中心特聘研究員
梁啟源	財團法人中華經濟研究院教授
黃宗煌	臺灣綜合研究院副院長
楊鏡堂	臺灣大學教授(原行政院能源及減碳辦公室執行長)
葛復光	行政院原子能委員會核能研究所副主任
蕭代基	本院經濟研究所研究員
龍世俊	本院環境變遷研究中心研究員
簡又新	財團法人台灣永續能源研究基金會董事長

撰擬小組成員

王寶貫	本院院士，本院環境變遷研究中心代理主任
林立夫	行政院原子能委員會核能研究所研究員
許晃雄	本院環境變遷研究中心特聘研究員
林冠慧	本院環境變遷研究中心博士後研究員
周桂田	臺灣大學風險社會與政策研究中心主任
施文真	政治大學國際經營與貿易學系教授
趙家緯	臺灣大學風險社會與政策研究中心博士後研究員

摘要

在聯合國氣候變化綱要公約及巴黎協定等國際減碳約定下，臺灣為善盡國際責任，積極規劃並公布我國減碳目標，依據「國家自訂貢獻」(Nationally Determined Contributions, NDC)，2030年溫室氣體排放量降低至比2005年減少20%，及「溫室氣體減量及管理法」2050年溫室氣體排放量降低至2005年50%以下。為達成此目標，臺灣政府推動大規模的再生能源發展計畫，及綠能產業政策。這些政策性宣示雖然顯示臺灣積極減碳意願(2050年人均排碳量5.4-6公噸)，唯與巴黎協定將世紀末增溫控制在1.5-2°C，所需的深度減碳目標(2050年人均排碳量1.0~1.7公噸)，及2060-2100年間應落實零排碳，仍相距甚遠。從各種碳排放係數與經濟發展指標來看，臺灣如果要突破經濟發展和碳排高度勾聯的經濟體系，並在回應國際減碳局勢的同時，確保我國在產業與經濟發展上的競爭力，有必要在這個轉型的關鍵時刻，在適度經濟發展與深度減碳雙贏的前提下，立即規劃前瞻性與可行性兼具的「國家長期深度減碳藍圖」，配合國際深度減碳期程，具體落實相關措施。

為體現臺灣2°C減碳承諾，促使臺灣社會順利邁入新世代的低碳(零碳)產業與社會轉型，我們倡議臺灣應儘速以深度減碳為目標，審慎擘劃未來半個世紀或更長遠的宏觀轉型發展計畫。本建議書除了採用政府官方報告，簡要回顧我國溫室氣體排放現況、能源使用現況，以及能源與氣候變遷調適政策現況外，並參考國際Deep Decarbonization Pathways Project (DDPP)規劃原則，就藍圖與長期願景、能源轉型面、產業轉型面、科技研發與商業化及治理面，提出我國深度減碳途徑規劃，需特別著重的關鍵議題。

最後，在作為對國家整體未來深度減碳機制的擘劃，以回應當世代國際減碳訴求，與跨世代正義等倫理價值上，我們提出三項核心的政策倡議：(1)立即啟動「臺灣深度減碳途徑」規劃，呼應2030年永續發展目標以及巴黎協定長期減量策略。經由參與國際DDPP平台，以取得更廣泛深遠的國際知識、資訊與資源交流，從宏觀而長遠角度規劃臺灣深度減碳的轉型途徑；(2)以「多元利害相關人對話平台及公眾審議程序」開展深度減碳社會溝通。深度減碳涉及經濟型態與生活方式的巨幅變動，因此在轉型過程中需積極爭取社會行動者的支持，建立涵蓋產業、政府、學界、公民團體四方面的對話平台，消弭彼此對深度減碳的歧見，透過成熟的社會機制，共同形塑轉型的共識與氛圍；(3)推動「氣候變遷法」，作為建構對深度減碳友善之法規體系與產業環境之上位法源，使深度減碳轉型途徑能有穩健的法規依據，並能進行充分評估，以扶植具有前瞻潛力的新能源產業。

深度減碳是條艱辛的道路，不僅是轉型為環境與經濟雙贏的永續社會的必要途徑，亦是現代臺灣對當世代與跨世代永續發展最重要的社會責任，需要大破大立的作為方能貫徹履行。我們深切期盼正視氣候變遷調適的需求，以深度減碳作為國家轉型契機，完成這項當世代的歷史重任。

第一部 為什麼需要做深度減碳？

壹、全球暖化與深度減碳

科學研究顯示，過去一百多年來地球表面平均溫度持續上升，已經比工業化前升高近 1°C ，且證實此一暖化主要導因於人類活動產生的大量溫室氣體(如二氧化碳、甲烷、氧化亞氮、氟氯碳化物等)，造成人為溫室效應。以二氧化碳為例，工業革命以來，人類燃燒化石燃料(例如煤、石油及天然氣)排放大量二氧化碳到大氣層中，使大氣中二氧化碳濃度急劇上升，從工業化前之275PPM(parts per million)升高至今已經超過400PPM¹，達到三百萬年來未有的高峰。溫室氣體增加導致更多的地表輻射被大氣層吸收，其中部分被輻射回地表，致使地表吸收能量多於過去的平衡狀態，造成地表增溫(見圖1-1)。全球暖化的衝擊是全面性的，研究報告顯示不僅強烈風暴及異常水旱災發生機率大增，也可能導致地球生態系統失調與糧食生產危機。若不設法應對，未來人類社會恐將面臨難以估計的環境災難與生存危機²。

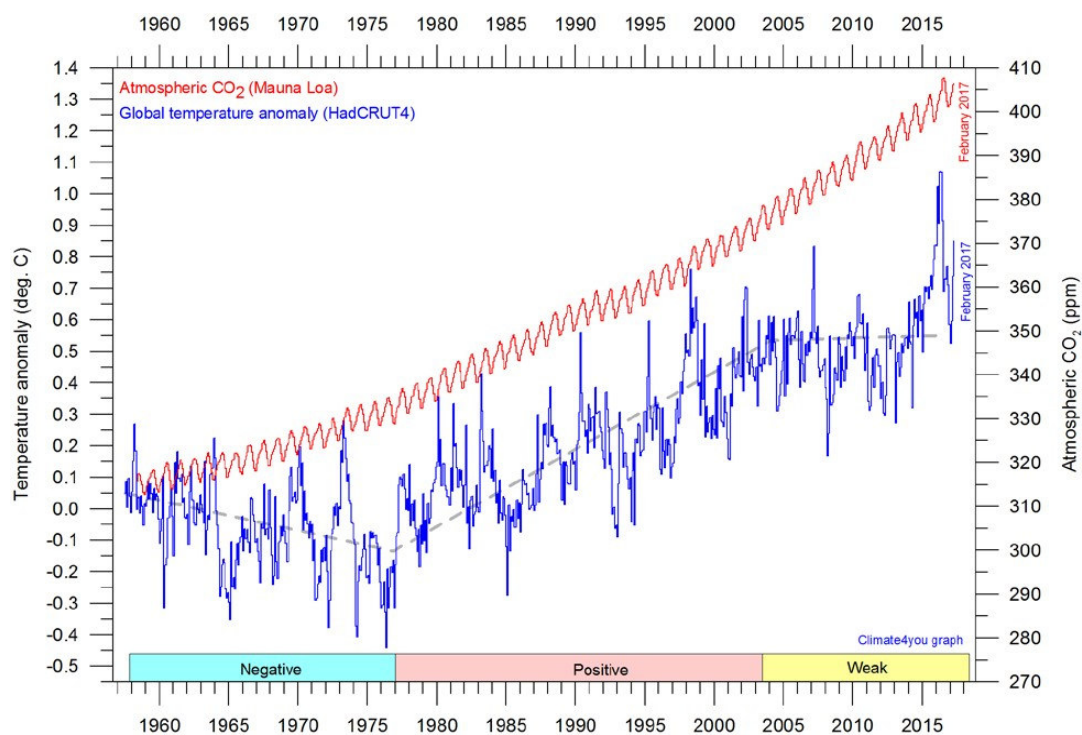


圖 1-1 全球平均溫度(藍曲線)與夏威夷 Mauna Loa 所測到之大氣二氧化碳濃度(紅曲線)之比較³

此問題的根本解決之道，是減少人為排放的溫室氣體，直到淨排放量為零。減緩的速率亦不能太過緩慢，因為一旦氣候系統之增溫過程脫韁，達到不歸點，其後再來減排亦無濟於事。氣候模式研究指出，雖然具有難度，但目前我們還有機會將地表均溫的增暖程度，在2100年控制在不超過工業化前的 2°C 之內，而更為理想的狀況是將增溫控制在 1.5°C 之內。

為使世界各國共同合作以達到這個人類共同福祉之目標，2015年底(11/30-12/13)在巴黎舉辦的「聯合國氣候變化綱要公約(UNFCCC)第二十一屆締約國大會(COP21)」，通過了「巴黎協定」(The Paris Agreement)⁴，要求各國自主提出以2030年為目標的減碳承諾(即國家自訂貢獻Nationally Determined Contributions, NDC)⁵，確立各國應盡貢獻。此協定於2016年11月4日正式生效，截至2018年5月，197個締約方有176個遞交批准書⁶。然而目前各締約方所提交的減碳承諾，仍遠遠不足以達到 2°C 的要求。根據推算，即使現今各國承諾的自訂貢獻執行到位，2100年的增暖仍然會遠超過 2°C 。

根據國際非政府組織氣候行動追蹤器(Climate Action Tracker)推估，要達到 $1.5-2^{\circ}\text{C}$ 上限目標，全球二氧化碳排放當量(carbon dioxide equivalent, CO_2e ，指把所有溫室氣體對暖化的影響轉換成相同當量的二氧化碳)⁷到2030年所需遵循的減排途徑如圖1-2所示。圖中藍色曲線是依目前排放趨勢的估算，粉紅色曲線則是依目前各國提出之自訂貢獻估算，黃綠曲線代表 2°C 上限所需遵循途徑，而綠色曲線則是要達到 1.5°C 所需遵循之減排途徑。圖中明確顯示，現況持續以及目前各國所提出的自訂貢獻方案之排碳量與 $1.5-2^{\circ}\text{C}$ 的上限目標仍有甚大差距。依據國家自訂貢獻方案，21世紀末的增溫幅度會在 $2.8-3.5^{\circ}\text{C}$ 之間，僅比維持現況持續發展的增溫幅度降低約 $0.5-1.1^{\circ}\text{C}$ ，減緩程度有限。若要達到 2°C 與 1.5°C 目標，排放缺口(emission gap，亦即「與所需減排量的差距」)在2030年分別為150-180億噸(15-18Gt CO_2e)與210-240億噸(21-24Gt CO_2e)，約為2010年全球排放量的一半⁸。換言之，若要達到 $1.5-2^{\circ}\text{C}$ 的上限目標，全球各國勢必進行極大程度的“深度減碳”(Deep Decarbonization)方能奏功。這些排放缺口及相關調適措施與金融缺口，是2016年11月摩洛哥第22屆締約國大會(COP22)的重點，因而有Marrakech Partnership for Global Climate Action⁹的倡議。巴黎協定規定參與國需每五年檢討與更新減排目標(首次檢討將於2023年進行)，雖然目前各國對於彌合缺口的措施尚無具體規劃，可以預期此議題將是未來氣候變遷締約國大會的協商重點，並會在國際協商與規範下逐步落實。

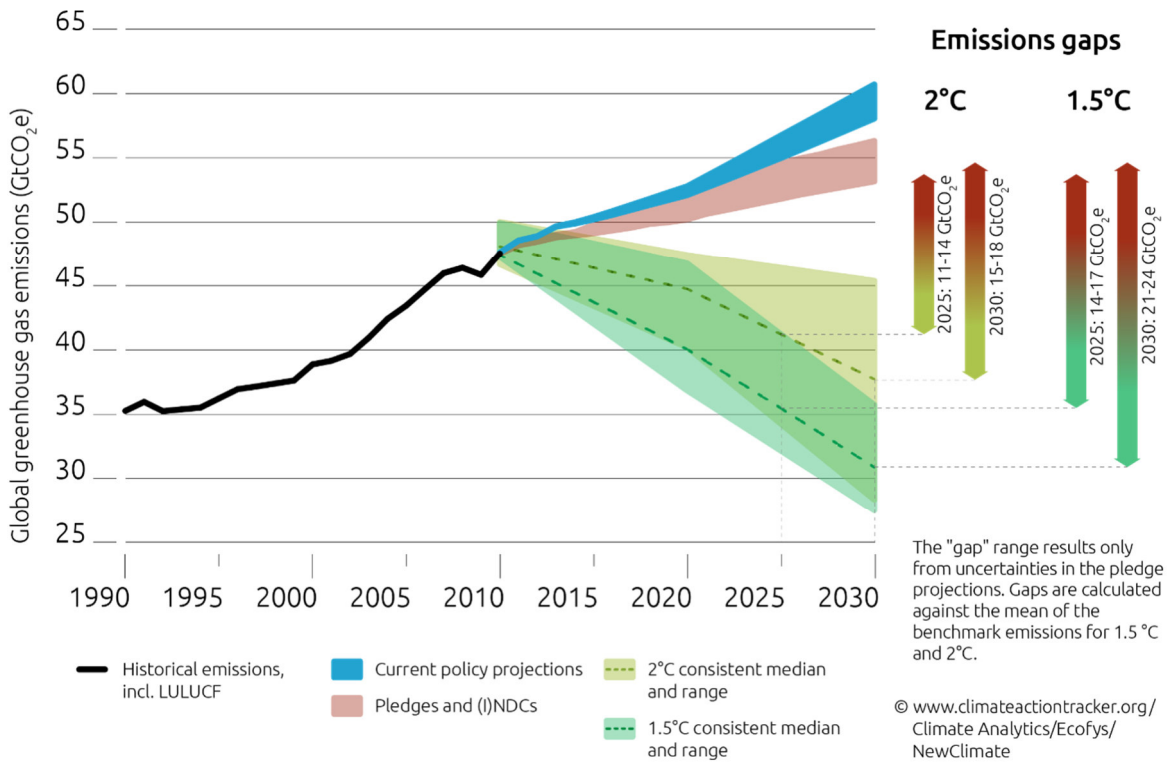


圖 1-2 溫室氣體排放差距圖¹⁰

貳、臺灣溫室氣體排放現況概述

臺灣並非聯合國成員國，亦無法成為UNFCCC、京都議定書或巴黎協定之締約方，然而臺灣是世界重要的經濟體之一，2015年國際貨幣基金(IMF)的國內生產總值(GDP)排名第22名(以國際匯率計算)。此外，我國之溫室氣體排放量也相當可觀，2016年我國二氧化碳排放量(以下簡稱排碳量)為全球排名第22位、人均排碳量則為全球排名第26位¹¹。國際社會不可能忽視這樣一個排碳量可觀之經濟體，在溫室氣體之議題上毫無作為。更甚者，積極採取減碳措施之國家，面臨國內相關產業壓力及減低碳洩漏(carbon leakage)的考量，很有可能針對減碳企圖心不足國家的產品，課予碳邊境調整措施，此對於以外貿導向為主的我國，將造成相當大的衝擊。因此之故，我國之長期減量目標，不僅是國際社會可能予以高度關注之焦點，也極可能影響我國對外經貿活動與產業競爭力。

參考UNFCCC及京都議定書等國際規範之發展，臺灣2015年第四次全國能源會議所達成的共識之一，便是要求辦理我國溫室氣體排放清冊統計作業¹²。環保署從2014年開始彙編「中華民國國家溫室氣體清冊報告」(National Inventory Report, NIR)，至2017年底已完成1990至2015年溫室氣體清冊資料庫之建置，溫室氣體清冊的計算方法係遵循國際規範，採行IPCC國家溫室氣體清冊指南統計方法(2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories，以下簡稱IPCC指南)。

2017年的清冊報告指出，臺灣總溫室氣體排放量自1990年137,854千公噸二氧化碳當量(不含二氧化碳移除量)，上升至2015年284,643千公噸二氧化碳當量，**排放量增加106.48%**，年平均成長率2.65%；又2015年較2014年減少0.56%，總溫室氣體排放量低於2012年總排放量。淨溫室氣體排放量自1990年114,468千公噸二氧化碳當量，上升至2015年263,138千公噸二氧化碳當量，**排放量增加129.88%**，年平均成長率為2.98%，其中2015年較2014年減少0.61%(圖 2-1)。

從類別來看，**二氧化碳排放量是溫室氣體的最大宗(2015年占所有溫室氣體排放量95.21%)**，其次為甲烷(CH₄)(2015年占1.91%)，再次為氧化亞氮(N₂O)(2015年占1.58%)及含氟溫室氣體(HFCs等)(2015年占1.30%)。1990-2015年間，二氧化碳排放量成長118.42%，年平均成長率2.87%；甲烷排放量減少49.92%，年平均成長率-2.83%；氧化亞氮排放量增加55.62%，年平均成長率1.44%；含氟溫室氣體1993-2015年間增加447.32%，年平均成長率達7.46%。

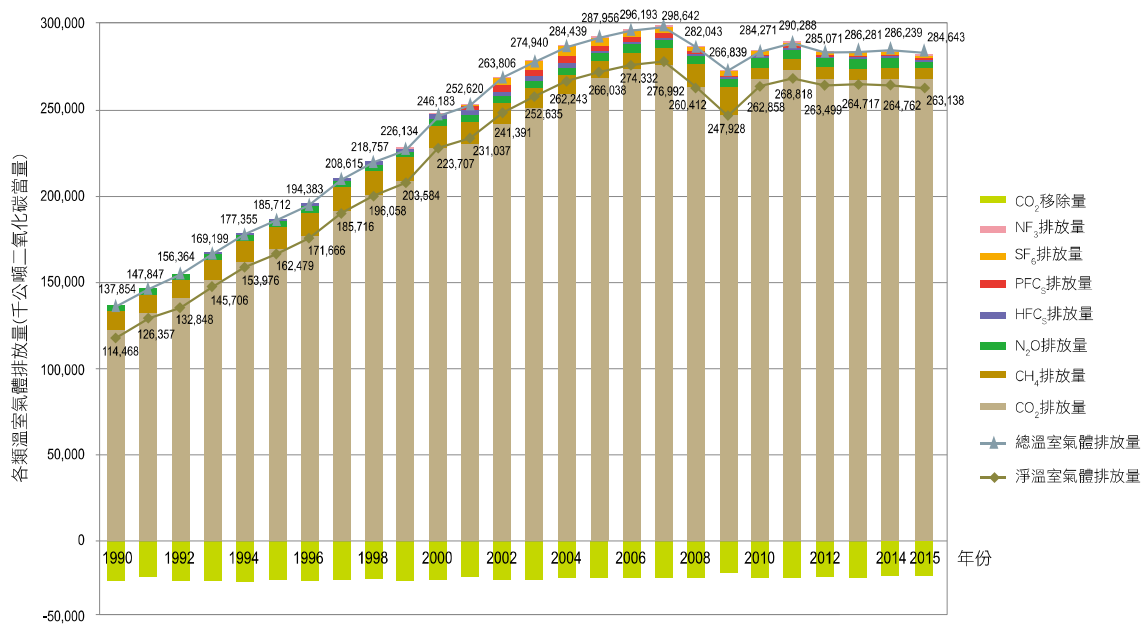


圖2-1 臺灣1990-2015年總溫室氣體排放量與移除量趨勢¹³

在人均二氧化碳排放量(公噸CO₂/人)，1990年臺灣的人均排放量為5.4公噸CO₂/人，往後逐年成長。近數十年來最高峰出現在2007年11.2公噸CO₂/人，2008-2009年大幅下降至10.2公噸CO₂/人，當時正面臨全球經濟衰退，2010-2011年微幅增加至11.1公噸CO₂/人，2013年後維持約10.9公噸CO₂/人(圖 2-2)。從全時段來看，1991-2015年人均排放量年均成長率約為2.56%。

從二氧化碳密集度(每單位GDP所需之二氧化碳排放量)來看，1990年二氧化碳密集度為0.0228公斤/元，2015年降低至0.0162公斤/元，減少28.95%。臺灣二氧化碳密集度歷年來呈現下降的趨勢，顯現能源使用效率不斷提升(圖 2-3)。

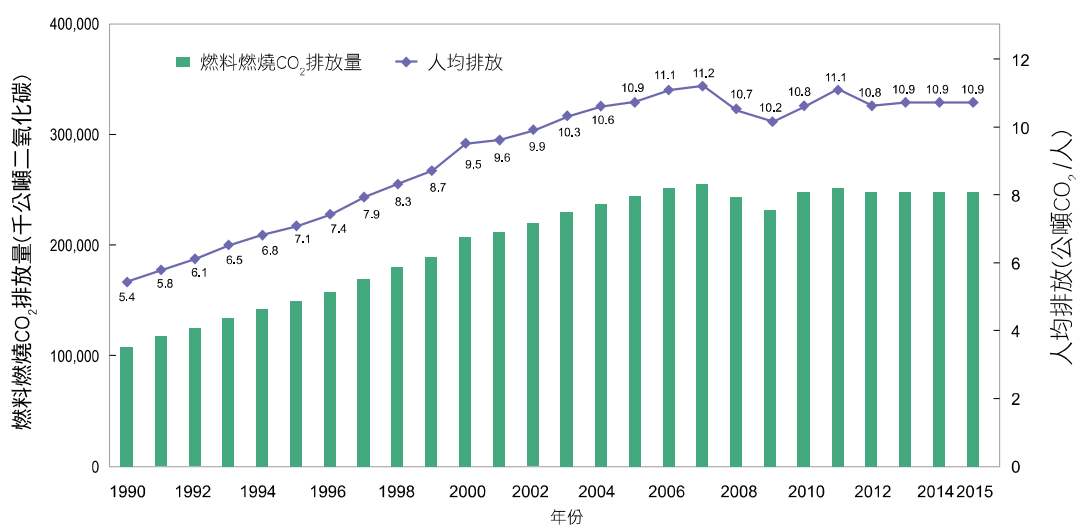


圖 2-2 臺灣 1990-2015年能源部門人均二氧化碳排放量趨勢¹³

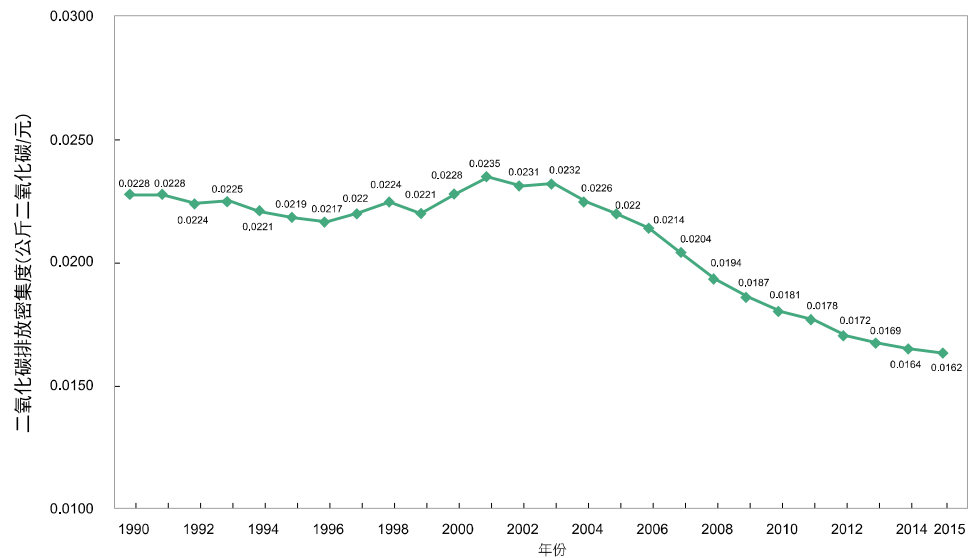


圖 2-3 臺灣 1990-2015年二氧化碳排放密集度趨勢¹³

從部門別來看，「能源部門」為臺灣溫室氣體排放總量最大的部門，2015年能源部門排放量占總排放量的89.82%，工業製程及產品使用部門(後簡稱工業部門)占7.79%，農業部門占0.95%，廢棄物部門占1.44%(圖2-4)。1990-2015年間，能源部門排放成長率131.82%(年均成長率3.10%)，其排放的溫室氣體主要為二氧化碳、甲烷及氧化亞氮，歷年來皆呈現上升趨勢，2008年後開始些微下降。2015年能源產業占能源部門排放64.67%，其次為製造與營造業16.99%，運輸14.30%，及其他部門(服務業、住宅及農林漁牧業)4.03%。「工業部門」主要排放的溫室氣體是二氧化碳、甲烷及含氟溫室氣體，1990-2015年間排放量成長51.93%(年均成長率1.49%)，歷年排放量以2004年達到最高峰，2005年後隨著工業發展，有逐年下降與成長減緩的趨勢，足見歷年變化受到產業發展極深的影響。「農業部門」主要排放的溫室氣體為甲烷、氧化亞氮及少量二氧化碳，1990-2015年間減少30.90%(年均成長率-1.54%)。「土地利用、土地利用變化與林業部門」具有移除溫室氣體(主要是二氧化碳)效用，移除量的變化主要受到森林資源年生長量所影響。森林資源的生長變化除了受到人為開發與政策規範外，自然環境變化例如森林火災及颱風等災害，都會造成碳損失量的大幅增加。1990-2015年間，林業部門二氧化碳移除量減少8.04%(年均成長率0.003%)。「廢棄物部門」排放的溫室氣體以二氧化碳、甲烷及氧化亞氮為主，1990-2015年間減少54.68%(年均成長率-3.20%)，足見2000年後所實施的垃圾分類及沼氣(甲烷)回收政策對於甲烷排放量大幅降低，具有重要影響。

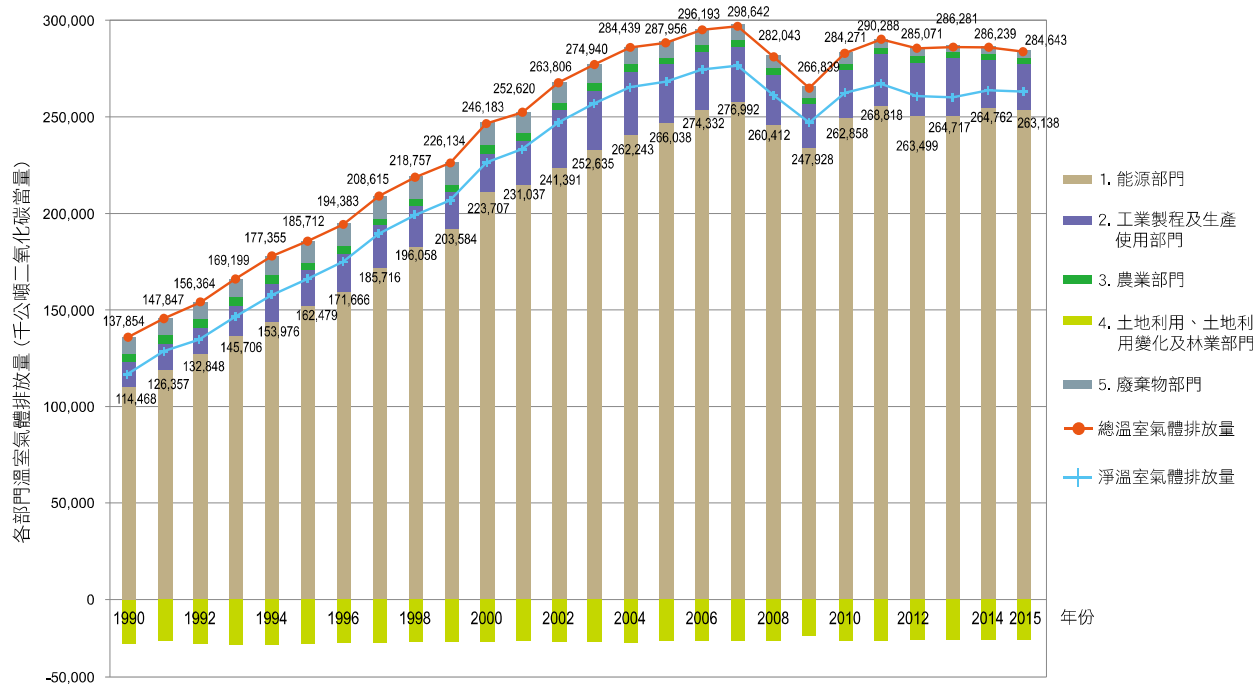


圖 2-4 臺灣 1990-2015 年各部門溫室氣體排放量趨勢¹³

從溫室氣體類別與排放部門別來看，占溫室氣體最大宗的「二氧化碳排放量」，1990-2015年間增加118.42%，年平均成長率2.87%，主要來自能源部門、工業部門、農業部門和廢棄物部門。2015年排放配比中，能源部門占93.69%、工業部門占6.26%、農業部門占0.01%、廢棄物部門占0.04%。「甲烷」主要排放來源為廢棄物部門、農業部門與能源部門。1990-2015年間排放量減少49.92%，年平均成長率-2.83%。2015年排放配比中，廢棄物部門占66.86%、農業部門占23.28%、能源部門占9.14%、工業部門占0.72%。「氧化亞氮」主要排放來源為農業部門、工業部門與能源部門，及少量廢棄物部門。其氧化亞氮排放來源主要來自化學肥料使用、動物排泄物與農作物殘體等。工業部門主要排放來源以化學及電子工業為主，1990-2015年排放量增加55.54%，年平均成長率1.44%。從2015年配比來看，工業部門占33.45%、農業部門占31.00%、能源部門占27.49%、廢棄物部門占8.06%。「含氟溫室氣體」包含氫氟碳化物(hydrofluorocarbons)、全氟碳化物(perfluorocarbons)、六氟化硫(sulfur hexafluoride)等，多使用於電子、科技與金屬等相關產業，排放部門集中，排放量變化受產業部門成長趨勢而顯著變化。

溫室氣體排放量資料的不確定性

臺灣溫室氣體清冊¹³遵循IPCC指南，主要依賴各部門各類別數據，及各類別排放係數，採用IPCC溫室氣體統計軟體進行計算。就計算的方法論來看，必然存在相當的可信度，整體架構不僅對臺灣總體排放量、人均排放量、碳密集度、各部門別排放量等有詳細的計算，在各部門別下亦詳細列出相關原始化學原料、工業製程衍生化學品、工業末端製成品、農業與禽畜部門等，以及在製作與生產過程中所需的化學與能源使用量、排放量或相關係數等。所使用的數據來源以政府統計公告資料為主，在無政府公告資料的狀況下，則採用替代資料；在缺乏任何數據的狀況下，則以IPCC指南預設係數作為計算標準。例如在計算工業部門相關的工業製程及產品排放量時，由於部分項目缺乏公告資料，而以產業公會統計資料，或向業者進行實際調查以取得替代性資料，農業部門採用農業統計年報，廢棄物部門以環境保護年報及相關管理數據為準，例如事業廢棄物管制資訊網等。在估算土地利用與林業部門時，由於臺灣森林資源及土地利用調查資料不夠完整，而以IPCC指南為原則，輔以臺灣既有的資料進行調整。能源部門的估算亦多處採用IPCC指南的預設值。

由此可見，臺灣溫室氣體清冊報告目前分析結果仍有許多來自計算程式預設數據，雖然有一定的參考價值，也凸顯臺灣目前還缺乏一套完整的論述與工具，以提升對各種環境、能源與相關產業社會經濟等資料的掌握度，更缺乏完整的基礎研究，以細緻化分析各種元素與成分在存取、運送與生產製造過程中，所製造的排放係數與相互回饋參數。這些計算與技術上的問題，使臺灣溫室氣體清冊統計尚無法良好估計各種排放量與參數上的不確定(uncertainty)，也無法估算國家溫室氣體清冊整體成效的不確定性。各年度間的溫室氣體清冊報告數據，多存在統計上的一致性。上述這些問題包含在公信的立場上透明化相關資料與數據，將是未來臺灣估計溫室氣體清冊的重要方向。

參、臺灣能源結構現況概述

能源部門是臺灣二氧化碳及其他溫室氣體排放的首要因素，在降低排放量之考量上，有必要審視臺灣的能源結構現況。臺灣囿於國土面積與自然環境條件，在化石能源為主的發展模式下，能源自給率非常有限，近年進口能源依存度高達98%。經濟部能源局多年來，每年定期進行多面向能源生產與消費的統計報告。在能源仰賴進口的狀況下，我國能源需求量成長快速。國內能源供給自1995年7,806萬公秉油當量逐年成長，至2015年達14,508萬公秉油當量，年平均成長率為3.15%。能源消費量自1995年6,611萬公秉油當量增至2015年11,503萬公秉油當量，年平均成長率為2.81%。從統計數值來看，國內總溫室氣體排放量1990-2015年平均成長率3.05%，二氧化碳年平均成長率3.27%，都相當於能源供給的年均成長率。

目前臺灣能源供給結構，仍高度仰賴石油、煤及天然氣等化石燃料(圖3-1)，核能為化石燃料外主要的能源供給方式。核能比重從1995年13.10%持續下降至2015年之7.28%。生質能及廢棄物能源從2000年開始發展，2015年約占能源供給結構1.39%，風力發電在2006年後有顯著成長，太陽能與風力發電在2015年占0.16%。從2016年台灣電力公司發購電量結構來看，火力發電占79.9%，核能占13.5%，再生能源占5.1%，水力發電占1.5%。這些數據顯示，我國在能源供給結構的轉型上，仍未出現顯著的結構性轉變。

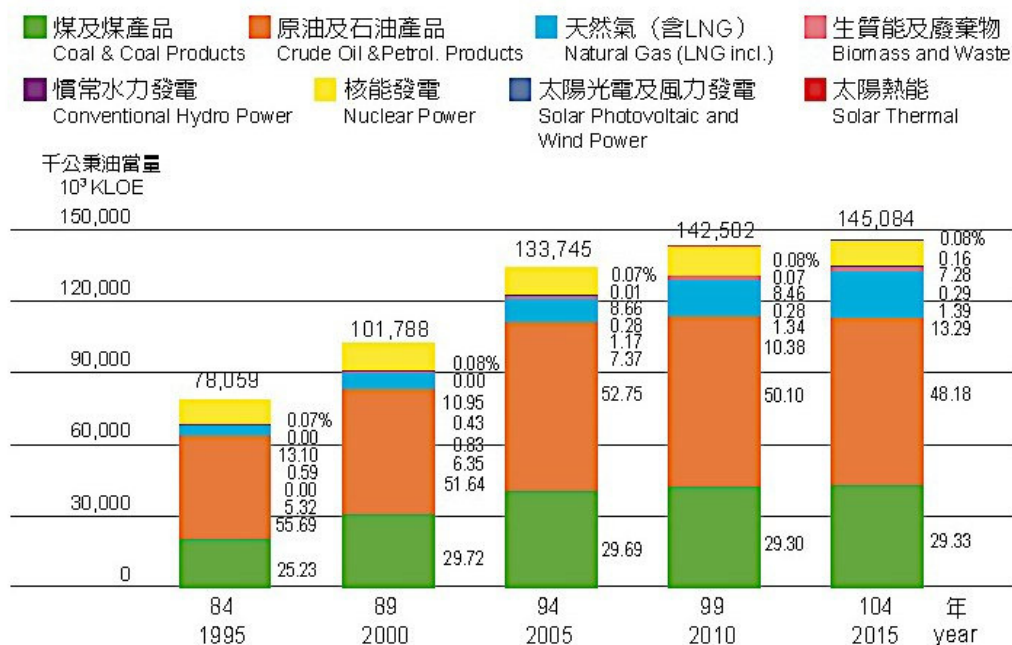


圖 3-1 臺灣1995-2015年能源供給趨勢¹⁴

臺灣的能源消費，以電力及化石燃料消費為主。在1995至2015年間，煤炭消費量平均成長率4.45%，石油產品消費量年平均成長率1.31%，液化天然氣消費量平均成長率10.58%，天然氣消費量在1995至2015年間平均成長率-0.14%，電力消費自1995年1,260億度增至2015年2,499億度，年平均成長率為3.48%(圖3-2)。就能源消費的部門別來看，工業及能源部門消費約占45%，運輸、服務及住宅部門也占相當比例(圖3-3)。

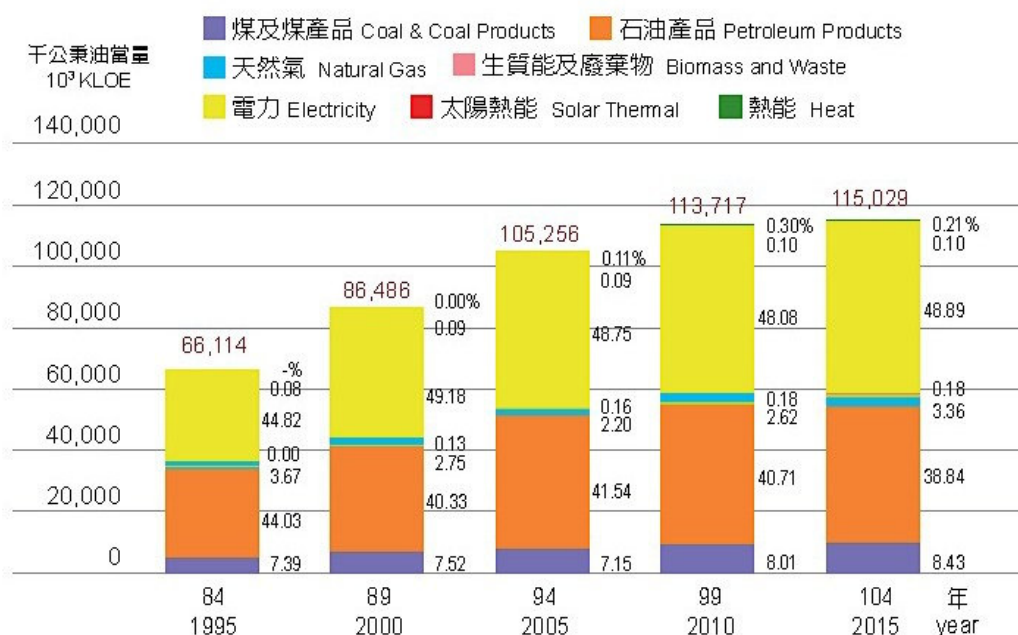


圖 3-2 臺灣1995-2015年能源消費趨勢¹⁴

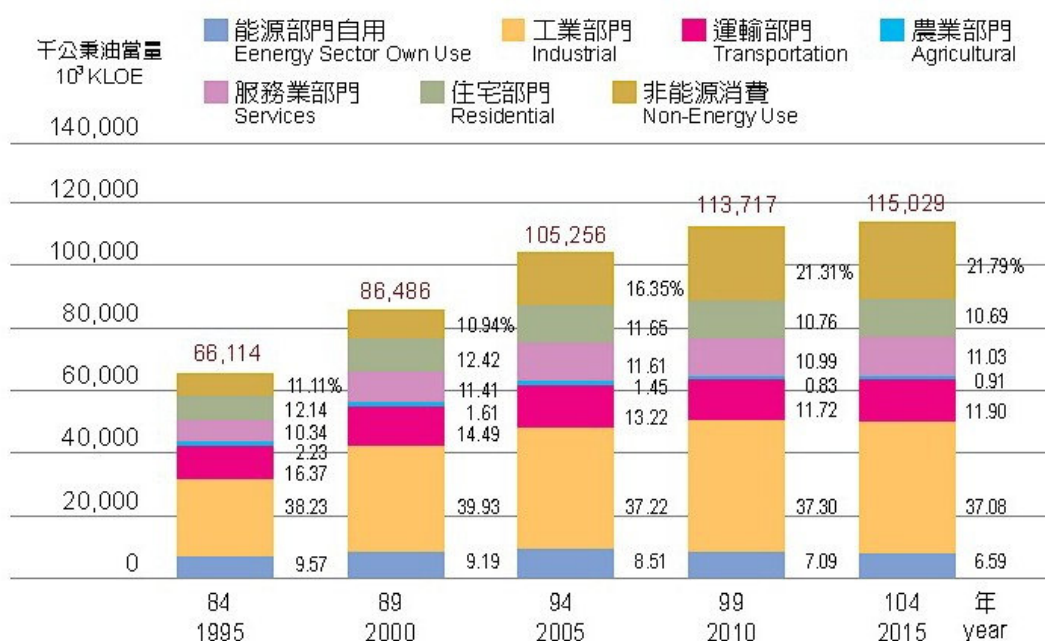


圖 3-3 臺灣1995-2015年能源消費部門別¹⁴

從能源消費和國內人口與社會經濟等發展因素來看，自2000年以來國內人均生產毛額(GDP per capita)持續成長，人均能源消費量在2009年以後成長趨緩(圖3-4)，但能源生產力持續增加。能源密集度在2001及2002年達到高峰後，顯著而平穩下降，顯示我國能源使用效能提升，而得以降低生產每一千元所需消耗的油當量(圖3-5)。從經濟成長與能源消費的趨勢來看，我國的經濟成長率和能源消費成長率之間，仍存有顯著的關聯性，亦即經濟成長大程度地依賴能源消費，因此當經濟衰退或成長幅度較低時，能源消費成長率也降低。和國際上其他主要國家相較，我國的人均國內生產毛額相對較低，但人均能源消費量仍然偏高(圖3-6)。

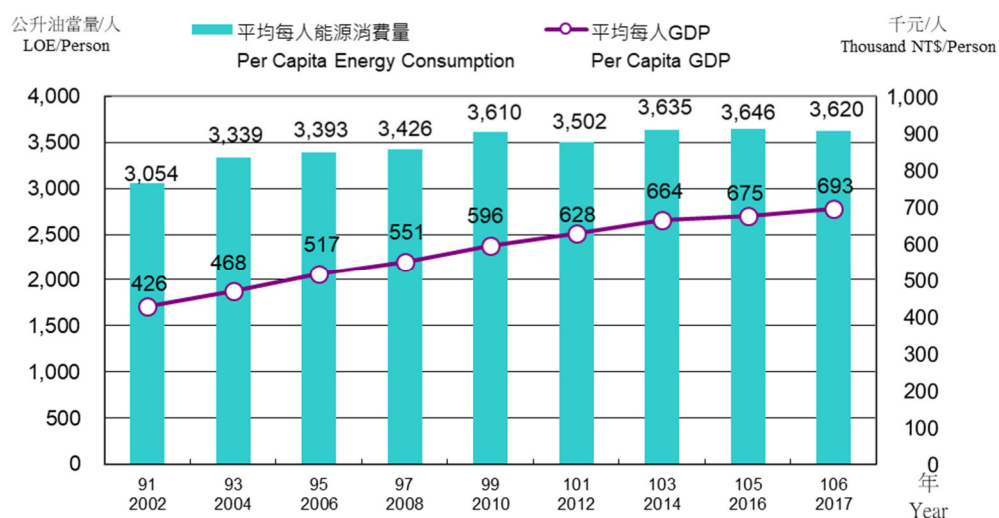


圖 3-4 臺灣2000-2017 年人均國內生產毛額與能源消費量¹⁵

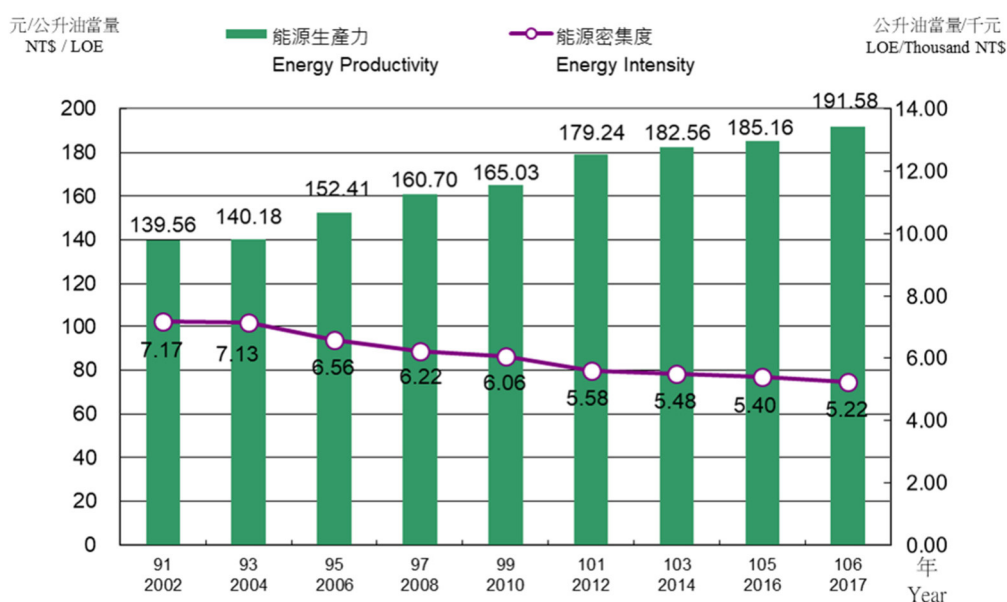
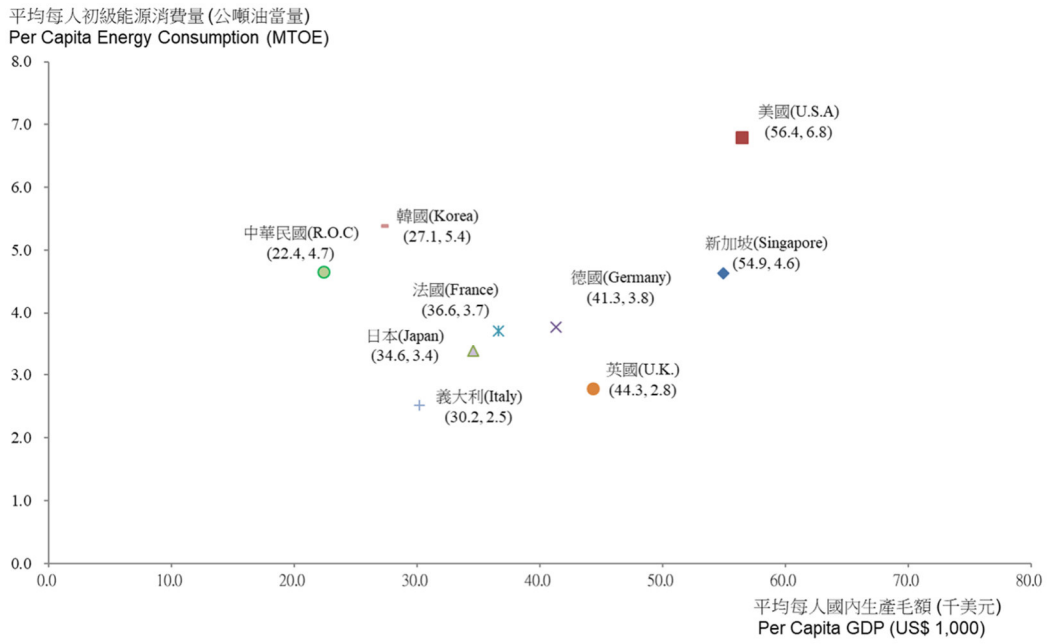


圖 3-5 臺灣 2000-2017 年能源生產力與密集度¹⁵



資料來源: 1. THE WORLD BANK, World Development Indicator 2. Key World Energy Statistics 2017.

圖 3-6 世界主要國家平均每人國內生產毛額與初級能源消費量¹⁵

肆、深度減碳不足的能源與產業衝擊

臺灣的總排碳量與人均排碳量，都高居全球高排碳國¹⁶，相當於全球GDP排名。若不計城邦國家或人口數極少的國家(如500萬以下)，臺灣人均排碳量居全球第八名，僅次於阿拉伯大公國、沙烏地阿拉伯、美國、澳洲、加拿大、韓國與蘇俄。在經濟生產上，我國仍相當依賴燃燒化石能源以創造GDP，而成為與經濟規模相當的排碳國。國際上估算人均排碳量或有不同的計算方法，前述數據對出口導向的臺灣也許不盡公平。例如經濟合作與發展組織(Organization for Economic Co-operation and Development, OECD)提出兩種計算方式：以生產為基準的人均排碳量(production-based emission per capita，即為一般所指之人均排碳量)，及以消費為基準(consumption-based)的人均排碳量¹⁷。後者以計算碳足跡(carbon footprint)的概念估算每個產品從原料、製造、運輸直至消費者手中，所需消耗的排碳量。在不同的估算方式下，臺灣2011年人均(生產)排碳量約11.4公噸，人均消費排碳量僅約8.8公噸¹⁸。國際間或有以最終需求(final-demand)排碳量詮釋消費排碳量，但生產與消費排碳量兩者的計算基準與計算方法完全不同。且人均排碳量部分雖為出口所需，卻為支撐國家經濟成長所必要的發展條件，因此人均排碳量仍為國際間最為通用之碳排放指標。因此，以人均排碳量計算臺灣對全球排碳量的貢獻，仍是最務實的作法。

國際非政府組織「德國守望」(German Watch)，在考察世界上重要國家的排碳狀況及能源環境政策時，制定了「氣候變遷績效指標」(Climate Change Performance Index, CCPI)，臺灣在2018年CCPI排名為54名，屬於績效最差的一群(圖 4-1 中 Chinese Taipei)：

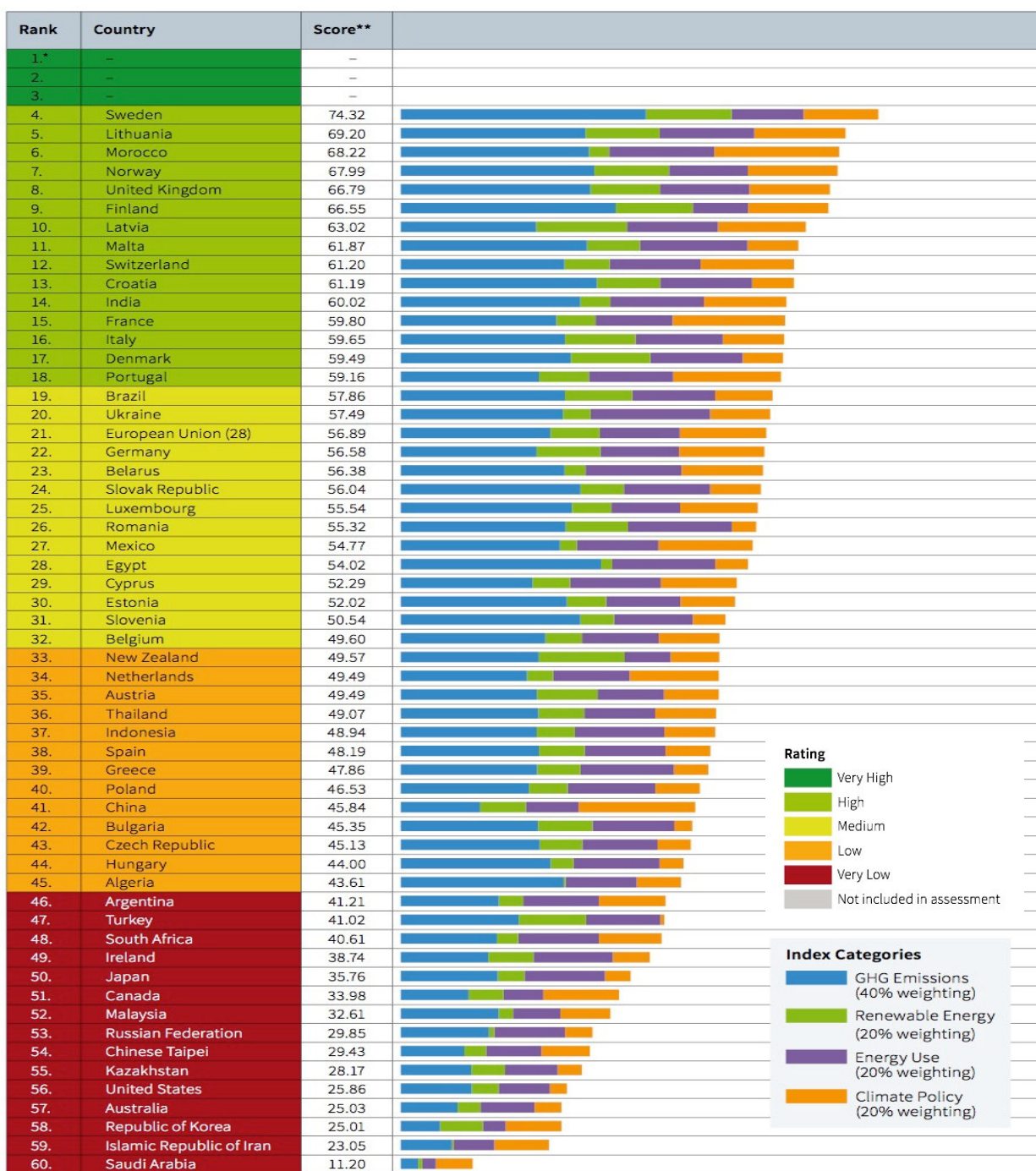


圖4-1 非政府組織德國守望(German Watch) 2018年主要排碳國家的氣候變遷績效指標(CCPI)排名¹⁹

臺灣為出口導向經濟體，國際貿易是經濟發展之首重，倘國際社會咸認臺灣未善盡國際義務，恐招來主要國家的貿易制裁，而競爭國也會將之作為口實，藉以削弱臺灣的貿易競爭力。為此，政府在2015年公布兩項減碳政策宣示(1)溫室氣體減量及管理法(以下簡稱溫管法)²⁰；(2)臺灣國家自訂貢獻²¹。溫管法於2015年7月1日由總統頒布施行，其要點為2050年臺灣的溫室氣體排放量必須減到2005年的50%以下，亦即2050年臺灣人均排放量約5.4-6.0公噸(依據不同的人口成長情境，此數值略有差異)；而臺灣自訂貢獻則在2015年12月由環保署長在巴黎公布，其要點為2030年臺灣的溫室氣體排放量降至比2005減少20%，亦即2030年臺灣人均排放量約9.1-9.3公噸。顯而易見，不論是溫管法或臺灣自訂貢獻，距離UNFCCC上限2°C要求，所推算工業化國家之2050年人均排放量1.0~1.7公噸²²仍相去甚遠。

減碳行動在COP21之後，已成世界主流趨勢，當不會因短期波動而逆轉。臺灣今後要在國際社會立足，目前宣示的淺度減碳目標仍相當不足，應積極規劃深度減碳，避免在中長遠未來，因減碳努力不足，或無法採取有效之溫室氣體減量措施，引發各國對我國出口之產品課予額外之負擔，造成我國對外經貿活動的負面影響。我們深切建議，臺灣應積極考慮深度減碳的規劃，以因應國際未來低碳(甚至零碳)經濟與產業型態。藉由低碳經濟的發展需求刺激臺灣新一波技術與產業轉型。在生產體系上，脫離高污染低獲利的產業型態，帶動清潔環保且高獲利新產業成形。這不僅是臺灣提升未來國力與國家安全的重要途徑，在推行環境與世代正義的思維上，亦是理明而德厚。在適當妥善的前景擘劃下，將是推動臺灣社會轉型的重要契機，並醞釀更具當世代與跨世代公平性與永續性的發展型態。

將深度減碳作為國家長期發展方向的倡議，綱簡而意賅，然深度減碳涉及層面廣泛，考量臺灣地狹人稠的特性，且以出口型經濟為主，貿然推行減排，短期內對國家之能源、經濟、產業、社會、環境、乃至政治皆可能產生重大衝擊。因而有必要先行審慎評估、規劃，絕不能草率進行。面對深度減碳的迫然性，臺灣應即刻進行深度減碳基礎研究，詳細探討臺灣經由某些途徑可以達成UNFCCC之1.5-2°C上限要求之可行性，以務實回應當世代、跨世代及國內外追求下世紀清潔低碳社會願景的共識。

第二部 目前的減碳政策與成效

壹、臺灣能源與氣候變遷調適政策現況

國家的能源與環境政策皆攸關減碳的途徑與成效，甚者，這些政策的施行將對臺灣未來的產業與經濟發展、社會結構、國土與城鄉規劃、土地利用、能源使用行為等，產生深遠的影響。在核能方面，由於臺灣地小人稠、核廢料處理不易、又位處地震帶、核安問題令許多國人疑慮，因此非核家園是政府近年來的施政主軸。隨著2018年11月公民投票結果，通過廢除2025年核能停止運轉條文，雖使該政策可能產生變化，但目前政府非核家園的長期目標仍維持不變。本建議書著重在提出深度減碳政策之必要性²³，至於能源政策之選項(如核能之角色)及各項現今及未來能源技術之優缺點、發展趨勢及其對臺灣各方面的衝擊，未來亦需加以詳細檢視盤查。

一、能源政策與綠能前瞻基礎建設

當前政府的能源政策主要由經濟部主導，2016年5月25日經濟部發布施政重點，其中包含「永續的能源與資源管理」施政主軸，在減碳面向上強調啟動能源轉型與電業改革²⁴，內容包含(1)建立低碳永續、高質穩定、效率經濟的能源體系；(2)核四停建，核一、二、三廠不延役，2025年完成非核家園；(3)積極開發綠色新能源，2025年再生能源發電量占總發電量比例達20%；(4)加速興建第三座天然氣接收站，擴大使用天然氣，降低現有火力發電廠的污染與碳排放；(5)完成電業法修法，提供能源轉型所需的市場結構與法制基礎。其中，非核家園的目標因2018公投而可能有變化，但長期願景應不變。在此前提下，經濟部也提出新能源政策發展方向，包含(1)穩定開源、擴大需求管理，確保供電；(2)全面前瞻節能，提升能源使用效率；(3)積極多元創能，促進潔淨能源發展；(4)加速布局儲能，強化電網穩定度；(5)推動智慧電網與智慧電表興建；(6)培養系統整合，輸出國外系統市場；(7)電業改革，提升供電效率及品質。

在此發展背景上，政府在2017年4月核定能源發展綱領修正案²⁵，以能源安全、綠色經濟、環境永續、社會公平為主軸思維，作為推動能源轉型政策之上位指導方針，後續訂定「能源轉型白皮書」並擇定每5年檢討，期加速落實能源轉型。經濟部2017年5月16日進一步提出「能源轉型路徑規劃」，除重申114年非核家園目標外，明訂以發展無碳再生能源、擴大低碳天然氣使用與逐步降低燃煤發電比例為轉型路徑之基礎架構，將2025年目標設定為再生能源發電占比20%、天然氣發電占比提升為50%、燃煤發電占比降為30%²⁶。在此目標上，三者的階段性配比變化如下表1²⁷，此亦相當程度反映在綠能前瞻基礎建設。

表1 經濟部能源轉型路徑規劃時程關聯表

能源型態	2016年 (%) 占總發電量比例	2020年 (%) 占總發電量比例	2025年 (%) 占總發電量比例
燃氣發電	32.4	33	50
燃煤發電	45	50	30
再生能源	4.8	9	20
太陽光電	1.52GW,912億元至 107年6月止	6.5GW	20GW
離岸風力	106年完成4架 16MW示範機組	完成3座示範風場	3GW

其中，「燃氣發電」以新建或擴建天然氣電廠，採用更新設備以提升其發電效率為主，現有燃氣機組平均發電效率約為51%，未來預期提升至62%。「燃煤發電」在整體能源發電結構上，主要功能在確保能源轉型過程的電力供應穩定性，因此在不同的轉型階段，燃煤的角色與配比不同。除了透過更新技術與設備，提升其發電效率，從現在平均效率38%，提升至45%外，配合2020年核一與核二除役，且再生與燃氣能源裝置機組未及分擔發電缺口的情境，燃煤發電在2020年的發電比例提升至50%，爾後下降至30%以下。「再生能源」發展規劃，在2025年以前，以太陽光電及風力發電為主要項目，並經由電業法修法(2017年1月26日公布施行)，作為能源轉型及電業改革的市場機制與法治基礎，以綠電先行策略，開放再生能源發電與售電。

從能源部門來看，臺灣能源政策的發展方向雖然符合國際發展趨勢。但在減碳實績上，仍無法滿足我國減碳之國際責任，且因應階段性燃煤配比提升所造成空氣污染等社會外部效應等問題，皆凸顯我國在能源政策上仍充滿艱鉅的挑戰。未來仍需進一步確認達到減碳目標的具體做法與可行策略，包含確實盤點各項能源之優劣與風險、務實討論能源改革在產業面可能產生的問題、分層規劃能源政策和社會經濟與環境部門相互銜接與配套的關係，及具體可行的時程表等。

二、氣候變遷調適政策

當前世界各國推行減排的核心問題在於抑制人為造成的暖化現象，減低碳排放量不僅和氣候變遷減緩(climate change mitigation)具有相同目標，更和氣候變遷調適(climate change adaptation)為一體兩面，因為在進行減排與能源轉型時，如何讓能源改革、產業轉型與社會變遷，在能適應未來氣候與環境變化的狀態下，安全地持續運作與永續發展，將是規劃減碳途徑的同時，亟需並行思考的方向。目前英國已藉由推行氣候變遷法案(Climate Change Act)，將氣候變遷作為

國家長期發展規劃之依據。以氣候變遷法作為上位政策法源，以統籌規劃並涵蓋其他相關法令規範，應更能具體擘劃國家能源與氣候變遷調適轉型之方向。

為了因應氣候變遷衝擊，行政院經濟建設委員會於2012年6月發布「國家氣候變遷調適政策綱領」²⁸，規範科技部、交通部、經濟部、內政部、行政院農業委員會與衛生福利部成立8個調適工作分組，針對災害、維生基礎設施、水資源、土地使用、海岸、能源供給及產業、農業及生物多樣性、健康等8個調適領域，訂定行動方案。行政院於2014年5月22日公告「國家氣候變遷調適行動計畫(民國102-106年)」與八大領域行動方案，各部會依此行動方案，編列預算、擬訂計畫，啟動氣候變遷調適策略。

2015年通過的「溫管法」，第八條亦將氣候變遷調適相關事宜之研擬及推動納入條文，明訂「中央主管機關為推動國家溫室氣體減量政策，應依我國經濟、能源、環境狀況，參酌國際現況及前條第一項分工事宜，擬訂國家因應氣候變遷行動綱領」。據此，環保署於2016年11月公告「國家因應氣候變遷行動綱領草案」²⁹。該草案針對氣候變遷調適八大領域提出政策內涵，目標為「健全我國面對氣候變遷之調適能力，以降低脆弱度並強化韌性」，此八大領域主要內涵如下所列。該行動綱領通過後，對於如何修訂下一期「國家氣候變遷調適行動計畫」與八大領域行動方案仍未明確，似有仔細評估盤點之必要，方知具體成效，作為擬定下階段行動方案的重要依據。

1. 加強災害風險評估與治理
2. 提升維生基礎設施韌性
3. 確保水資源供需平衡與效能
4. 確保國土安全、強化整合管理
5. 防範海岸災害、確保永續海洋資源
6. 提升能源供給及產業之調適能力
7. 確保農業生產及維護生物多樣性
8. 強化醫療衛生及健康風險管理

總體而論，臺灣雖非聯合國及國際官方重要組織的會員國，但是在2000年後對於國際社會所提倡的永續發展與氣候變遷調適等論述，皆能在社會與體制面積極回應國際社會的倡議與要求，並在法規面盡量周全的延攬相互關聯的項目，使氣候變遷行動綱領得以被納入溫管法的條文內涵中。在思維架構上，臺灣整體的政策發展方向值得肯定，但是，目前的政策發展，仍強調單部門性，且偏重基礎建設與工程管理面向。如何從跨部門(領域)思維重新定位或反思能源轉型在永續發展上的價值，使能符合氣候變遷與調適上的需求，將是未來幾年政策發展的重要方向。此外，公民社會參與在能源轉型與調適等議題，扮演非常關鍵性的角色，特別是臺灣的公民行動非常活躍，這亦是臺灣相當重要的社會資本。如何將文化與社會關係及公民行動放入相關行動內涵的政策框架中，

將是臺灣未來科技與社會轉型的關鍵因素。

貳、國際深度減碳途徑計畫與臺灣現況比較

一、國際深度減碳途徑計畫

依據UNFCCC的2°C目標，全球持續增加的排碳量，最遲在2020-2030年間達到高峰，然後逐年迅速減排，到2050年達到零排放，之後甚至需要負排放(negative emission，即從大氣層移除溫室氣體，降低大氣層中溫室氣體濃度)，才可能將21世紀末增溫限制在2°C以內。然而目前全球所有國家提出之自訂減碳總量，仍然無法滿足2°C的目標。顯示即使是這樣一個頗有限度的目標，要取得整體社會支持以普及參與亦非易事。這是由於氣候變遷通常是一個緩慢的過程，除非有急劇災變發生，氣候變遷對普羅大眾日常生活所產生之影響尚在可應變之範疇，因此若僅是提出氣候變遷對未來環境有重大威脅，需投入龐大資源及大幅度引進新技術，以改變能源生產與利用之政策以說服社會大眾，在政治實務上必然是一件極為艱鉅的任務。

國際研究組織深知欲達成2°C目標，需要採取截然不同的措施，甚或需要從科技與社會的基底進行根本性的轉型。有鑑於此，在聯合國前秘書長潘基文之倡議下，聯合國永續發展解決方案網路(UN-Sustainable Development Solutions Network, UN-SDSN)與法國永續發展與國際關係研究所(The Institute for Sustainable Development and International Relations, IDDRI)共同召集成立了**深度減碳途徑計畫(Deep Decarbonization Pathways Project DDPP)**³⁰，探討如何在維持適當經濟成長率下達成2°C目標。至2018年底有16個國家多個研究組織(一國可以有多个組織)參與研究，這些國家涵蓋全球74%之二氧化碳排放量。深度減碳計畫與各國自訂減碳貢獻之推動具有相輔相成關係。DDPP最重要目的之一，是提出涵蓋時間足夠長、更定量化之減碳計畫途徑與成本效益之佐證資料，以更具體地呈現深度減碳對國家而言是資源足夠、技術可行、經濟可負擔的任務。雖然研究結果對各國政府無強制力，但目前各國DDPP研究團隊均指出，經由謹慎的減碳途徑規劃，以2°C為目標的深度減碳與適度經濟發展可以並行不悖。

二、深度減碳途徑計畫之主要方針

DDPP研究團隊提出**能源轉型三大支柱(pillars)**，包含「**能源效率**」提升與**節約、電力與燃料**「**去碳化**」以及「**終端能源**」使用類別的轉換(如大幅度電氣化)。在規劃深度減碳途徑上，DDPP特別強調差異性與自主性，即各國依據本國的能源環境與社會發展特性進行規劃：考量國家自主能源、經濟發展與國內需求，以維持適度經濟發展為前提，透過充分溝通與透明程序，設計深度減碳途徑，排定優先次序與階段性策略。深度減碳途徑應符合全球2°C的目標，亦能創造在地附加效益(如改善空氣汙染與環境)與經濟契機。

DDPP減碳途徑的設計為先擬定長程目標，再據之規劃短程的階段策略。由前述DDPP16國的規劃經驗發現^{31,32}，此一畫靶射箭的思路，非常有助於具體規劃減碳可行方案。已開發經濟體都規劃巨幅的減碳量，以及適中的經濟成長率。以韓國為例，該國設定經濟成長率2%，人均排碳量從2010年略多於11噸減至2050年低於2噸。日本設定經濟成長率2%，人均排碳量從2010年略多於8噸減至2050年低於2噸。

分析這些國家的自主規劃，主要特徵如下：

- 經濟成長率與減碳程度無必然關係，即減碳將與經濟發展脫鉤
- 未來的經濟發展途徑與以往(或目前)將有明顯的差別
- 潔淨能源將取代化石能源，成為經濟發展所需的能量來源
- 許多研究亦發現潔淨能源創造更多就業機會與新產業，如果規劃得宜有助於促進經濟發展，減緩全球暖化、維護地球環境，達到雙贏效果

DDPP研究團隊進一步將目前已提送深度減碳途徑的國家，依據人均收入及排碳量分成四類。與我國現況相近的德、法、日、韓等人均排碳量低於12噸的高收入國家(人均GDP高於12000美元)，其深度減碳途徑的關鍵策略在(1)需求面能源效率提升，藉此達到減碳80%的目標；(2)藉由大幅度電氣化，使電力占終端能源消費的比例，由目前的1/4提升至1/2以上；(3)在電力系統去碳化上，燃煤及燃氣火力電廠需配置碳捕獲、利用與封存(carbon capture, utilization and storage, CCUS, 簡稱碳捕用存)技術，以及採用再生能源、核能等零碳能源，促使電力碳排放係數由目前的每度400克二氧化碳當量，削減至每度25克二氧化碳當量以下。

研究指出，此趨勢在某些經濟體已漸被落實。英國2015年的排碳量已降至維多利亞女皇年代(即19世紀末)³³的水準，但過去數年，在快速減碳的同時，英國仍能維持經濟上的蓬勃發展，顯現排碳與經濟脫鉤已經是明確可行的目標，非空中樓閣，所需的是充分知識積累與布局下的轉型，與高瞻遠矚排碳措施的落實。其它國際智庫與研究單位這幾年來也積極探討達到2°C或1.5°C目標的可行方案。氣候行動追蹤器在2016年報告中，列出達成1.5°C目標的十項短期重點方案³⁴，並逐項提出可行性分析，如下所列：

1. **電力**：持續發展以再生能源與低(零)碳能源為主的電力系統，2050年達到100%再生與低碳電力系統。
2. **火力發電**：停止興建燃煤火力發電廠，於2025年，減少碳排放至少30%。2020年後無CCUS製程之燃煤電廠將難獲得興建許可，2050年電力排碳係數將低於每度電0.1kg二氧化碳。
3. **道路運輸**：2035年後停止販售以化石燃料為動力的汽車。

4. **航空與海上運輸**：減少碳排放，制定以1.5°C為目標的發展願景。
5. **新建築**：2020年，所有新建築都達到近零排放標準。
6. **建築物翻修**：老舊建築節能修繕比例應從2015年的每年1%，2020年提升至每年5%。
7. **工業**：2050年之前，工業碳排降低50%。2020年之後建置的工業設備須符合低碳標準。工業生產極大化物料利用效率。
8. **土地利用**：2020年，森林與土地利用的碳排比2010年少95%。
9. **營利性農業(commercial agriculture)**：碳排放量維持在目前的水準。
10. **二氧化碳移除技術**：大規模負排放與碳移除技術的可行性評估(如技術、環境、經濟效益等)仍有待建立，需積極研發相關技術與進行測試，同時也需在政治、社會、立法層面尋求共識。

負排放是達成2°C目標的重要措施，相關技術目前多處於測試或構思階段，目前具有大規模商轉之負排放技術，僅有結合CCUS與生質能燃燒或氣化之製程。此外仍有幾個利用地球系統的碳捕用存能力且具負排放效應的可能方法：

1. 造新林與舊林重建
2. 生物碳(將植物以碳的方式儲存於土壤中)
3. 藍碳(blue carbon，利用海洋及沿岸生態系吸收大氣中二氧化碳)
4. 以植物為建材的建築
5. 以化學方法提高海洋吸碳效率
6. 從空氣直接吸收二氧化碳技術
7. 增加海洋生產力(促進光合作用吸收二氧化碳)
8. 加速風化作用(如將岩石磨成粉狀散佈於農地，加速風化作用，且有利於農作栽培)
9. 土壤去碳(如改變農作方式或地表性質)

上述這些方法大多仍處於發展階段，尚未證實具有大規模效益，對環境的可能衝擊亦待評估。雖然不確定性仍高，卻不失為合理而有潛在可行之減碳策略。國際知名氣候變遷研究學者遂提出「十年低碳路徑圖」(Decadal carbon roadmap)³⁵，建議以每十年為階段，分析各階段的政策重點。

三、臺灣減碳途徑之現況

臺灣溫管法訂定的減碳目標，對國內而言，雖然已經是前所未見的高標準，

但距離2°C的長程目標仍相去甚遠，對於更嚴格的1.5°C要求更遙不可及。臺灣目前尚未參與國際DDPP，但已有個別單位進行類似計畫。下面我們將國內深度減碳已有的初步研究結果做一簡單之綜合敘述。

1. 我國與國際深度減碳計畫績效指標之比較

目前國際與國內最常使用的深度減碳績效指標包括：人均二氧化碳排放量、總能源使用量、能源密集度、電力排放係數、低碳與零碳交通工具配比之提升、住宅與商務部門能源使用效率之提升、土地利用/變更、森林碳匯能力之維持、電氣化程度之提升等。這些績效指標也反映在DDPP工業化國家的報告中，被視為主要減碳選項的規劃指引。茲將相關績效指標之比較彙整如下：

人均二氧化碳排放量

人均二氧化碳排放量是國際上衡量國家減碳責任之主要指標。我國目前減碳目標可分別以國家自訂減碳貢獻2030年人均二氧化碳排放量約9.1-9.3噸，以及溫管法2050年人年均二氧化碳排放量約5.4-6.0噸作為代表。DDPP工業化國家之減碳目標分別為2030年約4.5噸、2050年介於1.0至1.7噸。因此，我國與DDPP工業化國家之2030、2050年減碳目標，尚存在人均3.7-5.0噸二氧化碳之差距。

總能源使用量

我國總能源使用量大致隨經濟規模成長呈緩慢上升，DDPP工業化國家雖然經濟規模維持成長趨勢，藉著大幅提升能源生產力(千美元/油當量噸)或降低能源密集度(油當量噸/千美元)，預期2050年可達成總能源使用量下降之目標。依據DDPP研究成果，若要達到深度減碳目標，2050年能源密集度應較2010年削減65%。我國2011年之能源密集度約0.23油當量噸/千美元，略優於南韓，但與同樣為輸出經濟體的德國與日本2011年之0.1油當量噸/千美元，或與此兩國於2050年DDPP所規劃之0.05油當量噸/千美元相較，則我國尚有大幅提升能源生產力之必要，尤其是消耗大量能源之工業。

電力排放係數

我國2017年電力部門之排放係數約為每度電排放0.554 kg二氧化碳，而DDPP工業化國家預期至2050年電力部門之排放係數約為每度電排放不超過0.1kg二氧化碳。是故這方面也有極大改善空間。電力部門降低排放係數之主要手段有(1)增加再生能源之使用；(2)化石能源(油、氣、煤)加上碳捕用存製程；(3)使用核能，以上均須考量臺灣特殊狀況，特別是再生能源佈建之面積、化石燃料對空汙之影響及核廢料儲存之場域。我國電力部門目前減碳規劃以增加再生能源及天然氣發電配比為主，然而臺灣人口稠密，對電力密集度的依賴度高，若僅僅依靠這兩項，恐有增加發電成本，且無法達成DDPP工業化國家2050年電力排放係數目標之疑慮。是故需有更為積極而縝密的電力能源生產與開發計畫，具潛力的前瞻能源與減碳技術(例如生質能、氫能、CCUS、鈦燃料發電等)，也

值得審慎考慮投入研發，進行可行性評估及政策環評。

低碳與零碳交通工具配比之提升

我國雖然對零碳(電力/燃料電池)機車之發展，與提升交通工具油耗標準不遺餘力，但交通部門之排碳量預期仍將逐步上升。隨著低碳油電複合車價格之下降與零碳交通工具技術日漸成熟，DDPP工業化國家皆提出積極布建零碳交通工具之策略，預期低碳與零碳交通工具於2050年可達90%，屆時雖然每人運輸公里數預期有顯著增加，但排碳量仍將大幅下降。我國目前在此領域相關計畫之蘊釀正進行中，有加速之必要性與迫切性。

住宅與商務部門能源使用效率之提升

針對住宅與商業建物之減碳手段，我國與DDPP工業化國家均規劃採用近零耗能或近零排放(near zero emission building, nZEB)規範，削減新建物的能源需求。我國目前雖採用綠建築標章、節能電器標章、節能電器補助、媒合節能服務業者(ESCO-Energy Service Company)等措施來降低建物排碳量，但因我國電力與能源價格遠低於DDPP工業化國家(約介於1/2-1/4之間)，節能誘因不強，依我國目前之市場機制運作，此措施之成效恐不樂觀。以提升電力與能源價格及碳稅作為增強節能之誘因，對我國永續發展之影響應是值得優先探討之課題，但亦須進行審慎的社會影響與衝擊評估，以規劃合理公平的機制，爭取社會之廣泛認同。

土地利用/變更、森林碳匯能力之維持

在限制林地開發政策下，我國此部門的減碳貢獻約為每年2,000萬噸，若能加強造林以提升森林碳匯能力，應可顯著提升我國陸域碳匯之能力。目前DDPP計畫僅考量陸域碳匯能力之貢獻，似仍未關注領海碳匯能力之消長。如何透過林地與海域養殖管理結合再生能源，達到增加碳匯之目的，應是海島型及海岸線長的國家值得關注之發展領域。

電氣化程度之提升

我國目前電氣化程度已達56%，優於許多DDPP工業化國家。鑑於未來交通工具之電氣化趨勢，及維持我國再生能源直接轉為電力之資源豐沛性等因素，我國仍需持續提升電氣化程度，長遠規劃電氣化基礎設施之投資。

2. 其他尚待釐清之情境參數

除了和深度減碳直接相關的績效指標外，其他仍有許多參數和國家的二氧化碳排放量、能源生產力及能源的排碳係數等息息相關，這些參數尚待釐清。一般而言可以下列Kaya數學式描述其相關性：

$$\text{CO}_2(\text{國家年度排放量}) = \text{人口總數} \times \frac{\text{國家總生產毛額}}{\text{人口總數}} \times \frac{\text{總能源消耗}}{\text{總生產毛額}} \times \frac{\text{總排碳量}}{\text{總能源消耗}}$$

$$= \text{人口總數} \times \text{人年均所得} \times \text{能源密集度} \times \text{能源碳排放係數}$$

上述公式之四個參數（人口總數、人年均所得、能源密集度、能源碳排放係數）本身也是其他許多參數之函數。短期之預測通常基於四個參數之年變化量不大之假定，以逐年修正之方式，常用於國家資源分配之參考資訊。但上述參數若要作為長期施政規劃之依據，則四個參數尚須考量滿足永續發展之條件，略述如下：

人口總數領域

我國多年來生育率低下，雖對CO₂排放量有正面影響，但將對未來造成人口結構老化與勞動生產力不足的衝擊。鑒於老化社會將導致生產力不足以支撐既有之社會福祉水準，有可能破壞發展之連續性，且人口結構和產業發展模式息息相關。因此在探討人口結構時，老年人口可接受之最高比例應予以審慎考量，人口政策及減緩人口結構老化措施，包含重新定位老年人力於社會之效用，及提升整體人口素質等，均宜須儘早籌謀。

人年均所得領域

需合理推算未來每人年均所得，或探究年均所得是否具有一最適值，避免推定隨著時間只增不減之人年均所得。實務上，或可以已開發國家之人年均所得為目標，設定迎頭趕上人年均所得的時程(例如2050或2100年)，或參考先進國家年均經濟成長率與人年均所得之發展軌跡，合理推定適當之年經濟成長率與人年均所得發展關係式。

能源密集度領域

此參數包含生產效率與創造商品價值兩部分。我國是國際知名的供應鏈重地，生產效率(油當量噸/公斤物件)相當具競爭力，但因組件供應商在價值鏈之利潤低，因此計算能源密集度的分母值小，導致我國能源密集度一直居高不下。如何有效提升我國產業在國際生產體系的位階，重新調整生產鏈結構，創造以知識及科技為導向的經濟體系，應是我國政府降低能源密集度措施的當務之急。

能源之碳排放係數領域

降低能源碳排放係數之策略包含再生能源、化石能源加上二氧化碳捕用存製程、核能等選項。多數DDPP研究團隊基於減碳成本最大效益，均同時考量此三者，我國則聚焦於再生能源、不傾向發展核能、尚未將二氧化碳捕用存納入實務選項。如此我國須大幅提升再生能源設施及相關基礎建設之投資，強化對再生能源生產技術成熟化的壓力。透過此投資動能，達成翻轉我國產業能源效率、扶植新興能源產業、活化地方經濟與創造就業機會之效益。再者，我國只靠再生能源選項，是否在減碳時程上可滿足DDPP工業化國家之減碳目標，所提

供之能源是否具市場競爭力，不僅需詳細計算布局，亦與國家永續發展大業息息相關，應與社會與產業轉型共同規劃。另攸關我國財政上是否足以承擔上述措施之議題，亦須檢討涵蓋我國各種技術電力均化成本趨勢、具商轉技術可行性之減碳計畫，以及預期扶植新興能源產業計畫。

此Kaya(或其他有利之)方程式可以在擘劃深度減碳途徑時，協助分析各產業部門，或各級政府所需之相關參數。釐清產業部門別，諸如工業(電子、電機、石化、鋼鐵、造紙、水泥與玻璃等)、交通(鐵路、公路、海運與航空等)、商業、建築、能源業、農業等，及地方政府(縣、市、鄉、鎮)之減碳潛力，以落實部門化與在地化深度減碳之基礎。此外，可進一步透過國際比對與比較成本效益之改善措施，釐清減碳執行計畫之優先順序。上述是目前國內研究機構所獲得結果之簡短綜合評述，鑑於現今國內及國際形勢皆有所改變，爰有必要定期進行審慎的評估。

3. 低碳技術與產業發展的成本效益分析

重大能源措施之施行順利與否往往受到時間範疇之影響，因而考驗全民之決心。開發低碳技術須有大量之投資，直至相關產業茁壯才可獲得投資效益，在較短的時間軸下(例如巴黎協定要求國家自訂貢獻以2030年為目標，距今只有11年)，前瞻減碳技術往往不易達到成熟階段，低碳產品價格高昂，必須借助政府獎勵措施或實施碳稅等碳定價工具，才得以推廣。在市場無法轉嫁減碳成本之情境下，減碳措施常會增加生產成本，削弱產業競爭力，進而衝擊國家經濟成長率。因此除非是極具前瞻眼光、政治執行面十分高明之政府，大部分國家很容易採取保守策略——即俟國際減碳市場成熟，再大幅推廣減碳設施。但這個保守的策略在理想上放棄了扶植減碳產業之積極性，也延緩了低碳技術產業化之契機，這也是目前國際減碳措施及技術之進展趕不上氣候變遷速率之肇因。

因此多數DDPP工業化國家均對減碳途徑提出投資效益分析，以較長之時間軸(35年)規劃及評估低碳技術產業化的經濟效益，並積極布建減碳技術之進程，此舉除了能獲得顯著之減碳成效外，轉型過程也同時在積累國家知識經濟之資本，有助於扶植新的低碳產業及累積投資報酬率。

第三部 未來推動深度減碳的關鍵議題

雖然我國當前政策所揭櫫的內涵已大體回應國際的減碳倡議，唯國家自訂貢獻與溫管法的目標，對於達成1.5-2°C的深度減碳目標仍相去甚遠。為有效驅動能源與產業結構的低碳化，以降低未來的氣候與經濟風險，並達成永續發展願景，有必要以深度減碳作為國家未來發展方針，進行整體的政策擘劃。本建議書在以深度減碳作為目標上，就願景與長期藍圖、能源轉型、產業轉型、低碳科技研發與商業化及治理面等，提出未來擘劃深度減碳時，需謹慎關注的關鍵議題。

壹、願景與長期藍圖

DDPP工業化國家之減碳目標分別為2030年約4.5噸排碳量、2050年介於1.0至1.7噸，但我國溫管法所設定2050年人均排碳量約5.4-6.0噸，尚存在人均3.7-5.0噸二氧化碳之差距。爰此，應就兩大關鍵議題加以研析，促使國內社會共同思考我國在能源轉型上亟需的大幅度改變，方有助於落實深度減碳願景：

1. 依據巴黎協定的深度減碳方向，考量我國的永續發展與國際責任，修正長期減量目標。
2. 藉由去碳化途徑分析，提出深度減量目標，促進社會對話。

貳、能源轉型面

能源系統為深度減碳的關鍵要素，國際DDPP研究指出為達深度減碳目標，在需求面上，2050年能源密集度相較於2010年削減60%以上，2050年最終能源消費量較2010年削減40%~60%；在供給面上，再生能源占初級能源消費量達30%以上，促使電力碳排放係數削減至每度25克二氧化碳當量以下³⁶。但目前國內在能源轉型上，僅以2025年為時間點，提出2017至2025年能源密集度年均改善2.4%，以及發電結構中再生能源占比提升至20%的中程目標，此舉亦導致整體電廠、電網與交通路網等基礎建設之投資，無法依循長期減量目標進行規劃，增加臺灣碳鎖定(carbon lock-in)風險，產生高額擱置資產(stranded assets)。故在能源轉型上，應掌握下列五項關鍵議題，建立契合深度減碳的政策方向：

1. 強力推展節能、提升能源效率方案，並考慮以價制量，藉由提高能源價格、徵碳稅等措施，激發節能減碳意向，在此同時，亦應考量對社會不同階級之衝擊，予以適度補助。
2. 以人均所得期待與人口預測為背景，設定長期能源效率提升及能源消費總量，或能源消費量的削減目標。
3. 盤點臺灣各類型再生能源長期發展潛力及挑戰，及資源開發行為之管制

法規，研擬整體再生能源長期目標，並規劃我國於世紀末零排碳之能源系統。

4. 系統性評估能源轉型與深度去碳化基礎建設各種情境之投資需求與效益，在滿足減碳目標前提下，建立最具成本效益路徑，作為我國長程能源轉型策略規劃之藍圖，借重國際作法及經驗，研擬未採行CCUS的化石燃料減量時程。
5. 以低碳經濟之觀點，全面檢視現行與規劃中的能源基礎設施（包括火力電廠、天然氣接受站、再生能源佈建、儲能設備及智慧輸配電網之建置等）之妥適性，以降低或避免擱置資產。

參、產業轉型面

臺灣深度減碳另一關鍵挑戰為產業結構，能源密集產業占實質GDP比例近二十年來未減反增，2015年達5.42%，但其能源消費量占19%，故亟需提出耗能產業的轉型路徑，並藉由低碳技術加速產業化，建立臺灣經濟的新世代競爭力。為達此目標，須配合電力市場改革，提供產業體系創新誘因。我國產業轉型的六項關鍵議題如下：

1. 進行耗能產業之政策環境影響評估，研擬耗能產業低碳化途徑，調整臺灣整體產業結構發展方向，加速臺灣產業邁入低碳經濟世代。
2. 推動耗能產業轉型過程時，對現行從業人員以及地方經濟之影響評估，並依循巴黎協議強調的公正過渡(just transition)原則，研擬相應配套措施。
3. 建立低碳技術產業生產體系，推動試點計劃，評估技術可行性，加速低碳技術商業化。
4. 整合國內現行推動的工業4.0、循環經濟等產業創新發展方向，強化其於深度減碳之應用。
5. 藉由電業改革，拓展再生能源與能源管理的內需市場，建立深度減碳新商業模式。
6. 投資基礎及前瞻科研，以創造下世代減碳、高效、低排、循環之技術，進而帶動新型產業。

肆、低碳科技研發與商業化

深度減碳需要同時考量零排碳甚至負排碳能源體系，新技術的研發需要投入相對比例的科研、教育與財務資本，適當的生產規模與商業化則是使新技術臻於成熟與具長遠潛力的關鍵要素。理想的零排碳能源體系係由綠電電網、低碳電網暨碳補用存與再利用等體系建構而成。除了在供給面與需求面提高能源效率技術外，亦可思考新能源科技，或開發我國既有的資源，例如海洋溫差、

深層地熱、洋流、生質能等潛在資源，以發展新綠色能源型態，上述技術都需要更審慎的科研與評估。從整體低碳技術研發來看，臺灣邁向深度減碳願景的四項關鍵議題包括：

1. 進行全面性的科技需求評估(Technology Needs Assessment)，盤點臺灣為達深度減碳所需各項技術的發展現況、研發需求及技術產業化之可行性，通盤配置所需的研發經費。
2. 進行具有發展潛力之負CO₂排放技術之研究。
3. 修改建築法規以加速「近零耗能建築」大規模商業化。
4. 強化智慧電網及儲能設備之佈建與既有輸配電網開發計畫的整合，加速分散式能源系統的建構，並對分散型能源普及化後可能導致之風險，及早規劃因應對策。

伍、治理面

除產業與技術創新外，深度減碳需透過完善與全面的良善治理(good governance)，及適當的法規與政策工具，以具體規範落實成效。最根本性的法制化工具，應凌駕於單部門思維的減碳或能源轉型上，從更具目標性與基礎性的氣候變遷思辨立場，樹立更全面而周延的氣候變遷與能源轉型法規環境。英國的氣候變遷法是目前全球最先進的相關法律，此法所涵蓋的內容包含國家排碳時程(carbon target and budgeting)、氣候變遷委員會(committee on climate change)、碳排放交易(trading schemes)，及氣候變遷衝擊與調適等項目³⁷。法規面外，深度減碳涉及公民社會參與，與生活型態的重大改變，故須藉由多重參與管道，建立社會學習動能，形塑由下而上的系統變遷。因此在治理面向上，應關注的重點議題包括下列六項：

1. 推動「氣候變遷法」，於尚未完成立法前，加速「溫室氣體減量及管理法」的執行與落實，透過落實「國家因應氣候變遷行動綱領」與「溫室氣體減量推動方案」發揮政策指引性功能，引導國土計畫、長期產業政策與能源轉型政策之制定。
2. 全面盤點臺灣現行化石燃料補貼項目，檢討電力價格與提出改革時程，並透過公部門之獎勵與投資，帶動私部門投入低碳產品與技術的研發與商業化，加速其市場滲透率，包括鼓勵綠色金融的發展，以誘導私部門投資低碳產業。
3. 檢討碳定價工具的整體規劃，包含但不限於碳排放交易、碳稅/能源稅以及氣候變遷費等，藉由配套制度(如價格調控機制)確保碳價格可提供充足減量誘因，並儘速完備相關法制(例如能源稅條例)。
4. 依據深度減碳目標全面性檢討既有法制中的管制標準與管理機制，包括

工業部門的能源效率規定、建築規範、運具燃油效率標準等。

5. 促進深度減碳議題之多元公民參與，如以社區、宗教與各級學校為節點，進行不同主題多元對話，並針對城市低碳發展願景、新能源設施選址、各項開放資料等，進行深度的公民審議。
6. 系統性建立氣候變遷之社會轉型研究，研發提升公眾「氣候素養」(climate literacy)與溝通能耐之策略，及早啟動社會學習曲線，逐步建構社會信任。

第四部 建議與結語

從巴黎協定所揭示全球減碳行動之刻不容緩性，與升溫軌跡成熟後之不可逆性，深度減碳已經成為一個正在實踐中的政治與社會行動，也牽制國際政治經濟版圖的移動。深度減碳在內涵上，並非單向性的能源與產業規劃，從巴黎協定將減碳的訴求和聯合國二十一世紀議程，及聯合國仙台減災綱領相列，並關注基本人權、弱勢族群與社會正義等議題，凸顯減碳行動實質上是一個由能源與產業轉型所驅動的巨型社會轉型計畫。不僅能源型態、產業發展軌跡、科技與知識積累方式與金融體系會受到影響，公民社會的倫理與價值、行為轉變、集體社會與公民之教育、消費與收入的重新分配等，都將極大程度受到深度減碳政策的影響，也會影響深度減碳成效的成敗。

深度減碳對國家經濟發展的影響雖難以精準預估，但在穩定而具前瞻目標的具體規劃下，多被預期能刺激國家新一波經濟成長，並在適當的國際經濟環境下，透過技術領先而得以技術輸出，以擴大經濟規模。因此，對於島嶼政治體的臺灣來說，深度減碳不僅具有急迫性，更需要一個根本性的減碳途徑規劃機制，以完善規劃並監督整體能源、產業與社會轉型的歷程。此急迫性與根本性，更加體現我們必須即刻行動的必要性，需要政治領導者以更雄沛的決心，整合國家資源，鼓勵必要的基礎與應用研究，以累積我國轉型的根基。針對臺灣未來因應國際社會的減碳行動，歸結下列三項核心建議：

一、立即啟動「臺灣深度減碳途徑」規劃，呼應2030永續發展目標以及巴黎協定長期減量策略

我國目前雖分別以2030年與2050年兩時間軸訂定減碳目標，並於溫管法中責成各部會與各級政府提出階段性的減量行動，但現行目標與政策規劃，未具有「深度減碳」成效。如我國國家自訂貢獻2030年之減碳目標與日本、南韓相當，而日韓國家自訂貢獻均被氣候行動追蹤器評為不妥適等級。DDPP工業化國家提出的減碳目標為2050年人均排碳量低於1.7噸。我國溫管法設定2050年之減碳目標約為人均5.4-6.0噸，和國際目標有極大差距。我國在階段性減排政策上，目前以五年為一期研擬相關減排計畫，尚缺乏以2050年為目標的整體減碳途徑規劃及國家長期發展藍圖。因此本報告建議政府應立即啟動臺灣深度減碳途徑規劃，以2050年為目標年，探討臺灣達成減碳50%(溫管法目標)與80%(國際深度減碳目標)間，所需採行的能源轉型途徑，作為政策研擬基礎。此外，聯合國已於2015年通過永續發展目標，臺灣刻正研擬具體推動策略，本報告倡議在規劃深度減碳途徑時，應同時審酌永續發展目標，作為平衡生態環境與社會發展的重要依據。

此外，DDPP雖由聯合國相關機構推動，但對會員無國家代表權之要求，且以資料/分析工具共享之開放態度，對我國可說是目前最佳減碳政策之國際比對

與交流平台。我國應積極參與深度減碳計畫，並將深度減碳納入國家長期的發展規劃，提出我國長程之深度減碳途徑具體行動方案，除了有助於形成穩健之國家自訂貢獻政策外，也可讓國際瞭解我國減碳能力之極限與減碳之最大努力。

二、以「多元利害相關人對話平台及公眾審議程序」開展深度減碳社會溝通

深度減碳實質上是經濟型態與生活方式的巨幅變動，此轉型過程需積極爭取公民支持，降低轉型阻礙者(Veto Players)的抗衡。因此我們建議，應立即建立廣泛涵蓋產業、政府、學界、公民團體四方面的對話平台，消弭彼此對深度減碳的歧見，增進互信，達成國家深度減碳共識，以利深度減碳政策之研擬與實施。且在此平台中，應針對較大衝擊者與利害關係者強化溝通，以利研擬轉型配套措施。並加強一般公眾溝通，促進公民對深度減碳徑所需政策配套之討論，以建立社會共識。

三、建構穩健之氣候變遷法規體系與產業環境

在以化石燃料為基礎的發展模式下，臺灣幾乎無自產能源，使我國產業發展深受制於國際原料價格之影響，並影響國內能源自給之安全性。藉由當前國際減碳共同行動，提供我國較具成本效益方法促進產業轉型之機會，不但有助於由化石能源世代順利轉變為低碳或再生能源世代，同時一併提升我國自產能源比例與能源安全，也厚植我國未來競爭力。要驅動此類轉型，需仰賴可將溫室氣體之外部成本內部化之政策工具，如碳排放交易、碳稅/能源稅、氣候變遷費等碳定價機制，以促使產業經營與消費者行為低碳化。目前溫管法雖正推動碳交易制度，但依據國際經驗，若未能搭配價格調控機制，例如設定碳底價(carbon floor price)，將可能導致碳價格過低，無法發揮政策效力。另一方面，具有碳稅概念的能源稅，多年來被視為我國減碳關鍵政策工具，但現尚未列入政策議程中。若為驅動建築與運輸系統的低碳化，應責成財政部儘速提出能源稅的立法時程規劃。

實務上，有鑑於能源基礎設施及集中型能源設施之生命週期長達數十年，若無穩健政策環境以支撐轉型需求，產業界恐無法承受太大風險之投資，對前瞻低碳技術產業化之投資將裹足不前，如此將不利於產業轉型與低碳經濟發展。國家自訂貢獻與溫管法只規劃至2030及2050年，因此只有技術成熟度較高之方案會被支持，而可能遺漏需要較長時間以達技術與產業規模成熟度，但極具未來潛力且效益大之選項。此外，溫管法或其他相關法制也未提供充足的誘因與獎勵機制，包括如何引入私部門資金，輔導此類低碳技術與產業，環境與社會變化風險監測與處理等，此將因時間之不可逆性，導致喪失扶植國內低碳產業之競爭機會。

國際深度減碳途徑計畫關注未來30多年(甚至百年)之時間軸，無論從科技或資源觀點，均能更多元而有彈性考慮諸多具長期競爭力的不同低碳選項，如此具長期成本效益之低碳產業扶植方案，才有機會實現且兼顧我國能源安全。深

度減碳不僅是緩和氣候暖化的重要途徑，在進行能源與相關產業轉型規劃時，必須同時考量未來氣候與環境變化，方能使轉型途徑安全而永續的長遠發展。因此，應儘速推動「氣候變遷法」，作為建構深度減碳之上位法源，以進行系統性與跨領域性的整體規劃，建立中短期的政策環境與法令依據，使所擘劃的轉型途徑更具氣候變遷調適性與永續性。

附註與參考文獻

- ¹ <https://www.co2.earth/>
- ² IPCC Fifth Assessment Report. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/>
- ³ <http://www.climate4you.com>
- ⁴ http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf
- ⁵ http://unfccc.int/focus/ndc_registry/items/9433.php
- ⁶ http://unfccc.int/paris_agreement/items/9444.php
- ⁷ <https://www.epa.gov/energy/ghg-equivalencies-calculator-calculations-and-references>
- ⁸ Climate Action Tracker Update, November 2016.
- ⁹ http://unfccc.int/files/paris_agreement/application/pdf/marrakech_partnership_for_global_climate_action.pdf
- ¹⁰ <http://www.climateactiontracker.org>
- ¹¹ <https://www.epa.gov.tw/ct.asp?xItem=10052&ctNode=31352&mp=epa>
- ¹² 「溫室氣體減量及管理法」第 13 條明確規範中央主管機關須每年彙整國家溫室氣體清冊，以掌握台灣溫室氣體排放與吸收的趨勢。行政院環境保護署即為該清冊之中央主管機關。
- ¹³ 2017 年中華民國溫室氣體清冊報告
- ¹⁴ 中華民國 2016 年能源統計手冊
- ¹⁵ 經濟部能源局 2018 年能源統計年報
- ¹⁶ <http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions>
- ¹⁷ OECD (2015) OECD production- and consumption based CO₂ emissions estimates. http://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=IO_GHG_2015
- ¹⁸ Wiebe, K.; Yamano, N. (2016). Estimating CO₂ Emissions Embodied in Final Demand and Trade Using the OECD ICIO 2015: Methodology and Results, OECD Science, Technology and Industry Working Papers, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/5jlrcm216xkl-en>
- ¹⁹ <http://www.GermanWatch.org>
- ²⁰ <http://estc10.estc.tw/ghgrule/KnowRule/rule-2.asp>
- ²¹ [http://enews.epa.gov.tw/enews/enews_ftp/104/1117/174044/%E4%B8%AD%E8%8F%AF%E6%B0%91%E5%9C%8B%EF%BC%88%E8%87%BA%E7%81%A3%EF%BC%89%E3%80%8C%E5%9C%8B%E5%AE%B6%E8%87%AA%E5%AE%9A%E9%A0%90%E6%9C%9F%E8%B2%A2%E7%8D%BB%E3%80%8D\(INDC\).pdf](http://enews.epa.gov.tw/enews/enews_ftp/104/1117/174044/%E4%B8%AD%E8%8F%AF%E6%B0%91%E5%9C%8B%EF%BC%88%E8%87%BA%E7%81%A3%EF%BC%89%E3%80%8C%E5%9C%8B%E5%AE%B6%E8%87%AA%E5%AE%9A%E9%A0%90%E6%9C%9F%E8%B2%A2%E7%8D%BB%E3%80%8D(INDC).pdf) 中華民國(臺灣)國家自定預期貢獻核定本(INDC)
- ²² <http://deepdecarbonization.org>
- ²³ 由於 2011 年 3 月 11 日日本福島第一核電廠由地震引發海嘯而造成的放射性物質洩漏事故，導致台灣民眾對核能電廠的安全性強烈質疑，此社會訴求最終使 2016 年新上任的政府提出要在 2025 年達成非核家園目標的宣示。
- ²⁴ https://www.moea.gov.tw/MNS/cord/news/News.aspx?kind=1&menu_id=8789&news_id=54141
- ²⁵ 經濟部能源發展綱領核定本 2017 年 4 月
- ²⁶ https://www.moea.gov.tw/MNS/populace/news/News.aspx?kind=1&menu_id=40&news_id=65977
- ²⁷ 經濟部能源轉型白皮書 2017 年 5 月 16 日發布文(<https://energywhitepaper.tw/news/?recordId=5>)
- ²⁸ <http://www.ndc.gov.tw/cp.aspx?n=5E865E40CA33E974&upn=5A6FC15150F6BF01>
- ²⁹ http://enews.epa.gov.tw/enews/fact_Newsdetail.asp?InputTime=1051109151340
- ³⁰ <http://deepdecarbonization.org>
- ³¹ <http://www.iddri.org/Publications/2050-low-emission-pathways-domestic-benefits-and-methodological-insights-Lessons-from-the-DDPP>
- ³² [http://www.iddri.org/Publications/he-impact-of-the-Deep-Decarbonization-Pathways-Project-\(DDPP\)-on-domestic-decision-making-processes-Lessons-from-three-countries](http://www.iddri.org/Publications/he-impact-of-the-Deep-Decarbonization-Pathways-Project-(DDPP)-on-domestic-decision-making-processes-Lessons-from-three-countries)
- ³³ <https://www.carbonbrief.org/uk-emissions-lowest-since-the-1920s-as-renewables-overtake-coal>
- ³⁴ http://climateactiontracker.org/assets/publications/publications/CAT_10_Steps_for_1o5.pdf
- ³⁵ Rockström J, Gaffney O, Rogelj J et al. (2017) A roadmap for rapid decarbonization. Science

355:1269-1271

³⁶ Deep Decarbonization Pathways Project (2015). *Pathways to deep decarbonization 2015 report*, SDSN - IDDRI.

³⁷ <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/2008/27/contents>