

本月專題

難減部門的淨零難題

謝智宸¹

摘要

所謂難減部門(hard-to-abate sectors)係指因能源使用或其製程難以減少及避免溫室氣體排放的製造業產業部門，其與一般所認知的能源密集產業(Energy-intensive industries, EIIs)幾乎是同義詞。難減部門溫室氣體排放之所以難減的原因，除了物理特性使然以致替代技術闕如外，基於工業之母及承擔經濟成長與就業重責大任的角色長久以來的發展，除了造就產業經濟與政治經濟的依賴慣性，更因為國際產業供應鏈競爭態勢與國際氣候政治舞台的時而搖擺，造成此類亟需大量且持續資金需求及研發人才投入的產業，在淨零轉型之路上躊躇不決甚至裹足不前。本文除說明難減部門產業在技術、產業經濟、政治經濟等三個層面的依賴慣性外，其產品在全球市場的供應鏈及競爭關係也是各大產業廠商在轉型路徑的選擇及進度上不免有動輒得咎、瞻前顧後之虞；此外國際氣候政治氛圍也是攸關 EIIs 難減部門產業轉型成敗的重要因素，文中亦將略予說明。

藉由各層面依賴慣性成因的瞭解，以及全球市場和國際氣候政治之影響說明，提供讀者建立難減部門產業達成淨零目標結構性思維之於涓滴，最後綜合提出各國際主要智庫、機構對於此一難題與困境的見解與建議，以及相關議題可能之啟示。

一、前言

EIIs 難減部門產業主要產品多為製造業所需的基本原、材料，例如鋼鐵、水泥、石化原料、煉鋁、玻璃、陶瓷、紙及紙漿以及肥料等。上述產業由於多必須直接使用化石能源作為燃料投入進行燃燒以產生高溫，尚未有或幾乎

¹財團法人台灣綜合研究院 研究員

不可能有以電力作為替代的技術，所以「電氣化」或其他大量減排得的策略及方法對於 EII 產業而言，並非如運輸、住商部門和其他非 EII 製造業般是淨零路徑初期的重點，但卻是最後一哩道路。

除了製程所需原料，以及間接經由化石能源轉換成電力或熱能以利用外，也有因為製造過程會產生其他非二氧化碳外之溫室氣體，例如煉鋁製程產生全氟碳化物(PFCs)²及六氟化硫(SF₆)³，化學肥料業除了製程排放二氧化碳⁴外，其產品使用亦導致氮氧化物的排放。上述產業的直接與間接溫室氣體排放量已占全球總排放量逾 20%⁵，且隨全球經濟的持續發展與先進淨零技術開發闕如或未臻成熟下，預期其排放量占比仍將持續不墜。職是之故，翻轉上述持續排放的趨勢以與全球淨零排放路徑吻合，將是急迫與艱鉅且不得不然的挑戰。但 EII 累積百年歷史的技術與商業發展，無論供應鏈生產與經營效率和相關設施的建設規模都已經漸趨成熟，換言之，對於化石能源作為投入以及 EII 在全球範疇的依賴性已然根深蒂固，形成了 EII 減排與淨零的難題與困境。

二、EII 難減產業的技術依賴慣性

水泥製造必須使用富含氧化鈣的石灰石礦做為原料，鋼鐵業為了使氧化鐵還原而常以焦炭作為原料，石化業視富含碳氫鍵的化石能源作為原料及能源為必然。由於製程的物理特性使然，欲達成如上述水泥、鋼鐵、石化等 EII 去碳化的目標非僅透過傳統的能源效率(energy efficiency)提升或燃料轉換(fuel shift)的策略及技術即能達成，而需要發展突破性(breakthrough)的技術以取代目前以必然產生溫室氣體的物質作為燃料投入及/或原料的製程，此突破性的技術另包含再生能源及碳捕捉封存⁶及其衍生方法等。而上述突破性技術的開發除了受限於現有科技理論及方法上的限制所形成的技術依賴慣性

² 暖化潛勢(100 年平均)介於 7,390-17,700

³ 暖化潛勢(100 年平均)高達 22,800，為所有溫室氣體最高者

⁴ 生產化學肥料的主要原料氮，其生產方式係透過氮氣和氫氣在高壓環境下製成，而製氮多使用天然氣、故將排放二氧化碳及甲烷等溫室氣體

⁵ 根據 Max Åhman、Sebastian Oberthür、Toby Lockwood 等之著作所述

⁶ 許多研究與文獻均提及 CCS/CCUS 將延長對於化石能源依賴的時程，且無法完全去碳，最終還是必須從創新研發新的製程作為根本解決之道

(Technical dependency inertia)外，尚有成本效益及政經制度上難以突破的藩籬。

三、EIIs 難減產業的產業經濟依賴慣性

眾所周知的許多 EIIs 產業，歷經百年來在能源效率及燃料、原料供應鏈的發展與演進，早已形成同質性產業共生聚落模式(industrial symbiosis configurations)，例如石油煉製業及石油化學工業常常是共生的產業聚落，煉油廠附近多有石化業的輕油裂解廠以製造基本化學原料例如烯烴(乙烯、丙烯、丁二烯、....等)、芳香烴(甲苯、乙苯、對二甲苯、....等)，甚至附近更有石化中下游產業直接經由管線輸送之上述基本化學原料進行聚合、酯化、烷化等製程以製作塑膠、橡膠、人造纖維等化學原料，最後再加工產出塑膠製品、清潔用品、顏染料、農藥、橡膠製品、人造纖維、合成樹脂(如接著劑)、化妝品、.....等。

甚至經由區域能、資源整合及循環經濟理論與觀念的實踐，也愈見異質性產業共生聚落模式，藉由非原料之資源流而共生結合。上述源自 EIIs 向下及橫向的合縱連橫也加深了共生產業對於化石能源以及所需之資本與技術密集基礎建設⁷之依賴傾向，日積月累的慣性⁸更導致 EIIs 的去碳化的困難。

EIIs 均為資本密集的產業，且愈大規模愈具經濟效益，也因此其投資與建廠甚至周邊的相關基礎設施均需要較長的規畫和建設期，且其投資回收年限通常較長遠⁹，為避免沉沒成本的發生¹⁰亦將造成對於現有技術的依賴傾向。全新 EIIs 的製程除了研發時程不確定外，實驗和示範性工廠及其配合之基礎設施的建設亦必須要有更多的容忍彈性(不確定性)。

四、EIIs 難減產業的政治經濟依賴慣性

除了前述技術和產業經濟依賴傾向外，EIIs 在政府體系經濟治理的制度架構中也形成了長久互相依存的關係，也是造成難減(hard to abate)的重要因

⁷ 如所在工業區之道路、管線、倉儲及相關軟硬體控制設備等

⁸ 對於現況之龐大體系運作習慣而難以全面改變的心態

⁹ 鋼鐵業的高爐、水泥業的旋窯、石化業的鍋爐和各式反應器等通常需 15~25 年的回收年限

¹⁰ 通常在經濟因素有利的情況下例如能源效率提升或有擴大生產規模的需求時才發生

素。政府的經濟治理主要透過產業政策的制定、執行政策的機關或組織與運作模式的建立，以及 EIIIs 所代表的財團、同業公會、工會組織與政府、政黨及民意機構間的互動關係¹¹等。也由於 EIIIs 常是一國產業經濟發展的重心，也是所有工業的基礎，關乎國家與地方稅收及經濟成長和國民就業等政經利益，平時供需稍有波動即已動見觀瞻，更何況製造技術與經營方式全面轉型的影響。更由於產業政策向來以經濟發展、促進就業為首要目標，環境及氣候關切議題僅是其中的一部分，相較於電力部門(再生能源)及運輸部門(電氣化)淨零的過程，「轉型正義」之於 EIIIs 難減部門將益加複雜與艱鉅，說服大眾 EIIIs 轉型後得以確保經濟繁榮的信心建立也相形重要。

正因為 EIIIs 難減產業在上述對於技術、產業經濟與政經制度層面依賴的慣性，使得各國在推動減排和淨零策略的推動順位上往往不列為優先部門，而著重在運輸、住商建築、電力等偏重內需市場的產業。另則，電力部門和運輸部門的轉型，可以同時並行、並存新舊技術及營運，轉型的路徑可以相對順遂。例如太陽光電和風力發電可以獨立成為發電、售電業與傳統排碳電力競合；特斯拉(Tesla)也可以專業生產及銷售電動車而與傳統內燃引擎車業競爭與區隔。EIIIs 難減產業的特性導致極難有新創公司可以獨立於與現有廠商，利用創新技術生產相同功能產品而與之競爭進而達成規模經濟效益，而必須在企業內部進行創新並創造一個尚未知的轉型發展模式。EIIIs 淨零技術開發的獨立創投或新創公司的觀點往往與在營企業分歧，充分反映本文前述各項依賴慣性的深層影響¹²。

五、全球市場與國際氣候政策

政治制度與其穩定性也是影響 EIIIs 部門去碳化的重要因素。美國雖有成熟的兩黨政治，但對於全球氣候暖化與變遷源自人為導因卻認知迥異，是否應責無旁貸肩負減量責任的立場更是南轅北轍，導致政黨輪替¹³、參眾兩院權力結構更迭皆左右了美國在氣候議題國際政治舞台所扮演的角色與立場，

¹¹ 例如遊說、捐輸及其他利害關係等

¹² “Incumbents and Startups Diverge on Path to Net-Zero Steel”, 26 May 2022, BloombergNEF

¹³ 美國國內針對氣候議題所持的立場分為左右兩派，左派認為政府應該積極介入且導正暖化趨勢，右派則認為政府不應多加干預而應交由人民、企業及市場決定，民主黨多屬左派而共和黨多屬右派。

對於巴黎協定反悔的立場除令國際咋舌外¹⁴，更成為後續承諾被質疑的口實。雖然美國具有堅實且自由的市場經濟制度，以及強大的科技及商業創新實力與成熟先進的資本市場，結合技術、人才與金流，持續綠能創新技術的研發與應用並帶動綠色經濟的蓬勃發展。然無可否認，龐大的公部門研發資金最主要還是來自聯邦政府，四年來縮減規模甚至中止的綠能創新技術研發與布建的計畫，對於 EII 的淨零路徑確實造成了很大的影響，現任的拜登政府就任以來，積極推動各項因應疫情影響後經濟復甦所需的各項建設法案，注入鉅額與氣候和能源轉型相關的預算，希望得以亡羊補牢。

另一個排放大國澳洲，也曾經因政黨立場因素而在京都議定書簽署與否與氣候議題的國家立場上搖擺反覆，過去 12 年來原任總理莫里森(Scott Morrison)之前的三任總理，都因為推動澳洲施行碳稅或排放交易制度的企圖，而招致黨內罷黜或大選失利導致下台，新當選的勞工黨阿爾班尼斯(Anthony Albanese)是第一位因主張減排而勝選的總理¹⁵，在競選時已宣稱若當選將提升澳洲 2030 年減排目標至 2005 年排放水準之 43%¹⁶(原任總理莫里森僅承諾 26~28%)。澳洲的礦業(煤、天然氣及鐵礦砂等)對於 GDP 的貢獻高達 11%，並提供 27 萬個就業機會，因此作為化石能源輸出大國的難減工業淨零承諾，除了妥協與宣示的名目意義外，實在無法給世人太多實質的期待¹⁷。鄰近的日本與南韓雖然均已宣示了淨零承諾，但近來的政權更迭也明顯看出其策略方向的轉變，雖然目標維持一致，但路徑的差異亦將使得創新技術的投資、布建與基礎建設等重要行動方案的期程徒增不確定性，上述政治制度之常態(norms)諸皆為導致 EII 陷入難減困境的重要因素。

此外，在國際政經舞台上，EII 的排放也成為氣候治理與談判爭議的焦點，歐盟預計在 2023 年開始實施之碳邊境調整機制(CBAM)，即針對進口至

¹⁴ 2016 年 4 月，美國民主黨歐巴馬政府與世界其他 170 國家共同簽署巴黎氣候協定，2019 年 11 月共和黨川普政府退出該協定，2021 年 2 月民主黨拜登政府再重返該協定。更早以前的 1998 年 5 月，民主黨柯林頓政府簽訂了京都議定書，然因國會結構朝小野大而始終未將議定書提交國會審議，繼任的共和黨小布希政府當然也堅持了該黨一貫的立場而未提交該協定予國會審議。

¹⁵ “Australia’s election sets a heartening precedent on climate change”, May 25th 2022, The Economist.

¹⁶ “Australia’s ‘Climate Election’ Finally Arrived. Will It Be Enough?”, May 22th 2022 The New York Times.
<https://reurl.cc/A72zz3>

¹⁷ <https://www.economist.com/asia/2021/10/30/australias-climate-policy-is-all-talk-and-no-trousers>

歐盟境內之他國鋼鐵、鋁、水泥、肥料等 EIs 產品及進口電力等課徵碳稅，目的為解決境內 EIs 碳洩漏問題，將逐步取代歐盟排放交易制度(EU ETS)現有排放量無償核配的機制¹⁸。CBAM 意味者歐盟身為製造業技術的強勢地區，過往投入在能源效率、減排、再生能源等潔淨技術發展不遺餘力，未來將繼續引領邁向淨零所需的先進技術如綠氫、CCS/CCUS 等技術之研發與布建，但也希望藉由 CBAM 確保 EIs 在全球維持一個公平競爭的市場。然而在 CBAM 是否符合早於 WTO 前身關貿總協 GATT 時代即已制定之「最惠國待遇原則」及「國民待遇原則」等國際貿易和國際氣候治理的「共同但有區別的責任原則」仍存在爭議下，依然敦促其他國家與地區的 EIs 採取一致的淨零轉型路徑，但卻無明確的提供技術與資金協助非歐地區前沿市場(frontier economy)國家 EIs 轉型之承諾，或許反而導致 EIs 難減部門全球轉型的困難¹⁹。近來聯合國秘書長即公開呼籲富裕國家應該將先進淨零減碳技術視為可以共享的公共財，無償提供給全球各部門產業以加速亟需的轉型技術²⁰，顯見全球一致的淨零行動已迫在眉睫，創新淨零技術的研發與應用似應脫離傳統的全球經濟與貿易運行的思維。

然而令人憂心尚有，能源產業尤其是跨國化石能源產業集團²¹面對當前俄烏戰爭所造成的能源價格大漲之情勢，對於化石能源所扮演的獲利角色(印鈔機)之依賴似乎不減反增，並反映在未來的投資決策上²²，明顯地與淨零承諾背道而馳，甚至已引起了聯合國秘書長²³和格拉斯哥氣候峰會主席²⁴的憂心與呼籲。歐盟和美國²⁵作為國際氣候政治與氣候行動的領頭羊，卻無

¹⁸ Council agrees on the Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM), <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2022/03/15/carbon-border-adjustment-mechanism-cbam-council-agrees-its-negotiating-mandate/>

¹⁹ 中國大陸、印度、東南亞及南美、非洲地區存在較歐盟更龐大的市場規模，且持續成長中

²⁰ “Dire Climate Report Raises Pressure to Share Green Technologies”, 18 May 2022, BloombergNEF

²¹ 如 ExxonMobil, Shell, BP 和 Chevron 等

²² Revealed: the ‘carbon bombs’ set to trigger catastrophic climate breakdown, <https://www.theguardian.com/environment/ng-interactive/2022/may/11/fossil-fuel-carbon-bombs-climate-breakdown-oil-gas>

²³ Secretary-General's video message to the World Government Summit, <https://www.un.org/sg/en/content/sg/statement/2022-03-30/secretary-generals-video-message-the-world-government-summit>

²⁴ Breaking climate vows would be ‘monstrous self-harm’, warns Cop26 president, <https://www.carbonbrief.org/daily-brief/breaking-climate-vows-would-be-monstrous-self-harm-warns-cop26-president/>

²⁵ 自由市場(非國營)大型跨國能源集團母國幾乎均為歐美及澳洲

法有效地在自由市場運作體系下「立即且迅速」抑制有礙減排及淨零的趨勢，不啻將折損全球投資者與消費者對於淨零目標所建立的信念與達成的信心。

六、減排與淨零路徑上的行為改變

根據 IPCC 報告指出，欲達成巴黎協定本世紀末前控制地球溫升在 1.5°C 內的目標，僅依賴曠日廢時的創新淨零科技解決方案難竟其功，而必須輔以人類行為的改變，尤其在減少 EIs 產業產品的製造與服務需求上，亦扮演關鍵角色²⁶。

恰如世界知名政經期刊於減碳可能貢獻潛力的科技新知報導²⁷中所述，由於石墨烯可以增強混凝土的強度及耐用度，可使水泥在混凝土中的用量大幅減少²⁸而間接降低整體水泥業的排放；且石墨烯混凝土也可以強化鋼筋與混凝土的結合性而增加防水效果，避免鋼筋鏽蝕與膨脹導致混凝土崩壞，延長建築體壽命進而減少修復及重建所需之鋼筋與水泥的用量，減少鋼鐵業的產量與排放量也進一步減少水泥的需求量與排放量。此外，石墨烯加添在柏油中可以提高瀝青混凝土在道路鋪面的強度，並可抵禦氣候之熱脹冷縮效應所造成鋪面的破壞，延長使用年限並減少道路維修及重建所需的物料成本以間接減碳；石墨烯也可以加添在輪胎之中增加抗磨損能力以延長輪胎的使用壽命，相對而言也減少輪胎的產量和減少石化業的溫室氣體排放。

更引人矚目者，製造石墨烯的創新方法²⁹是利用礦業開採、工業製程或廢水處理、廢棄塑料、廢食、垃圾掩埋場甚至畜牧和養殖業所產生的甲烷，透過分解甲烷除了產生石墨烯外也得到最佳的副產品即氫氣，故石墨烯的創新製造方法與應用對於溫室氣體減排、綠氫及資源循環等淨零所需技術可謂一舉數得，值得國內相關部門與企業在難減部門的減碳及淨零方面尋求技術來源的過程，可以針對國外目前在新創事業運用此創新技術投入關注，甚至尋求參與創投的機會並投入資金，在較為中、長期的未來，至少有機會可以獲得技術甚至創造經濟價值。

²⁶ Masson-Delmotte et al. 2018

²⁷ “The wonder material graphene may have found its killer app”, May 18th 2022, The Economist.

²⁸ 添加 0.1% 混凝土重量的石墨烯可以增加 30% 的混凝土強度

²⁹ 英國 Levidian Nanosystems 公司所開發之“loop”創新方法

七、結論與重要啟示

(一)國際能源總署(IEA)對全球產業 2050 年淨零路徑的建議報告中特別指出 IEEs 難減產業淨零轉型所面臨的三項難題，包括：

1. EIIIs 難減產業所需之淨零創新技術目前尚處於初期醞釀階段，尚未進展至市場與商業模式的布建。

而如本文前所述，基於固定資本折舊(成本回收)期較長及有沉沒成本的風險，欲達成 2050 淨零的目標，應在 2030 年起所有新增產能及設備重置都須具有淨零技術。

2. EIIIs 難減產業所發展之未來新的低碳技術成本，相較於目前成熟技術而言必定為高。

以石化業而言，新建淨零裂解設備的產能需要每公噸二氧化碳 250 美元的碳價或補貼，才能與現有化石燃料產能競爭³⁰。

3. EIIIs 難減產業產品在國際市場上將遭遇嚴酷的競爭，將導致先行者的卻步。而根據彭博新能源財經資訊的分析³¹，自 2010 年迄今，全球發行 4.6 兆美元與 ESG 相關的永續債券，僅有 11%的份額是來自難減產業，而絕大多數的份額是投資在相對已經萌芽甚至成熟的綠能技術例如電動車與再生能源相關產業鏈等。究其主因，應為欠缺明確並可滿足投資者及股東獲利預期的具體投資計畫，以及避免被懷疑以欺騙和造假集資而損害公司商譽。

(二)可行的解決途徑必須包括：

1. 先進國家(如 G7)先建立政策工具箱(toolbox)及政策架構，如容錯性的科技研究發展政策、財政(補助)金融機制、碳訂價、低碳/零碳產品標準/標示、政府採購政策等，積極推動 EIIIs 難減產業的淨零轉型，建立模範引領全球效法。
2. 國際協調一致的合作：包括(1)提供指引與訊號予利害關係者-各 EIIIs 難減部門的解碳目標與路徑(2)制定規則以利推動集體行動-國際排放限制與碳定價(3)強化透明度與責任制(4)提供實施的方法如金融、技術及能力建構等(5)推廣知識與學習

³⁰ “Decarbonizing Petrochemicals: A Net-Zero Pathway”, 23 May 2022, BloombergNEF

³¹ “Big Polluters Avide \$4.6 Trillion Sustainable Debt Market”, 23 May 2022, BloombergNEF

- (三)經由原、物料的減少使用，如本文前述將石墨烯添加於混凝土中可以間接減少水泥業和鋼鐵業的排碳、鼓勵以修繕替代新建及新購以延長建築物及耐久財的使用年限、改進產品設計以減少 EII 原料需求等，估計來自於鋼鐵、水泥、塑膠及鋁等的循環經濟將可在 2050 年前減少全球 EII 難減產業 40% 的排碳。此外，共享經濟的商業模式(sharing business models)例如共享汽車、機車等，亦可以減少 EII 產業的需求而減少排碳。但上述策略的阻力亦可能來自現有 EII 產品的價值鏈下游如房屋建築業、汽車業等，減少建築物興建與汽車製造，無疑將顛覆傳統固有的商品行銷及獲利模式與思維，亦屬經濟依賴的慣性，欲達成共識並改變行為將是艱鉅的工程。
- (四)全球 EII 領導廠商應該協助其他製造技術與能源效率未臻成熟的國家與地區相關產業，在現有製程設備尚未屆齡重置前增進其減排能力，包括能效提升、替代能源的使用(煤轉氣、生質能甚至氫能等)，將是淨零創新技術尚未全面應用前最有助於全球 EII 難減產業減排的途徑。然此措施雖攸關全球淨零目標達成的期程是否符合巴黎協定的目標，由於亦將顛覆目前全球 EII 產業經濟生態及貿易競爭常態，非有國際共同協議及有效的國際組織治理而難以竟其功，國際合作甚至技術共享
- (五)EII 低碳化至淨零將是漫長的過程，由於產業的產品幾乎是所有工業的基本原料，其對企業、消費者的成本與市場價格的影響，以及對總體經濟所造成的不確定性³²將動輒觀瞻。EII 難減產業無論使用再生能源(綠電或綠氫)、利用碳補存技術，甚至發展新的低碳及零碳製程及產品，以目前的市場觀點觀之，必然將增加 EII 的產品成本，以其作為原料與投入的下游終端消費產品勢必遭逢成本的轉嫁。近來在許多學者³³及智庫³⁴的研究中發現，即使高成本的原物料價格，按照目前的供應鏈價值分析，其成本轉嫁在終端消費產品的價格上漲幅度依然輕微(moderate)，投資者及決策者無須過於謹慎保守。
- (六)難減產業目前仍欠缺全球治理的組織，由於先進淨零技術需要投入大量且持續的資金、人才及建立市場和標準等，都必須依賴有效率的國際治理組織偕同主

³² 非如 PV、風電及 EV 等產業般易採收綠色經濟成果(low hanging fruits)

³³ Jens Burchardt, BCG's global expert on climate change and co-founder of the Center for Climate Action

³⁴ Mission Possible, November 2018, Energy Transition Commission

要國家政府共同提供一致性的誘因及建立資源循環的全球價值鏈。

- (七)全球一致的淨零行動已迫在眉睫，創新淨零技術的研發與應用似應脫離傳統的全球經濟與貿易運行思維，氣候災難屬全球範疇，不應再過度強調個別廠商、國家或經濟體的成本效益，而應以地球村的觀點共同協力避免共患難進而創造共存共榮。

參考文獻

1. “Unlocking the “Hard to Abate” Sectors”, Max Åhman, World Resources Institute, <https://www.wri.org/climate/expert-perspective/unlocking-hard-abate-sectors>
2. “Global governance for the decarbonization of energy-intensive industries: Great potential underexploited”, Earth System Governance 8 (2021) 100072
3. “Mission Possible: Reaching net-zero carbon emissions from harder-to-abate sectors”, November 2018, Energy Transition Commission. <https://www.energy-transitions.org/publications/mission-possible/#download-form>
4. “Why funders need to look beyond electricity for economy-wide decarbonization”, Clean Air Task Force, April 29, 2022
5. <https://www.catf.us/2022/04/why-funders-need-look-beyond-electricity-economy-wide-decarbonization/>
6. IEA, 2018 a . Cement technology roadmap plots path to cutting CO2 emissions 24% by 2050,
7. <https://www.iea.org/newsroom/news/2018/april/cementtechnology-roadmap-plots-path-to-cutting-co2-emissions-24-by-2050.html> 石化及塑橡膠產業鏈簡介之「石化及塑橡膠產業鏈簡介」, <https://ic.tpex.org.tw/introduce.php?ic=N000>
8. “A review of technology and policy deep decarbonization pathway options.”, https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/6984/file/6984_Bataille.pdf
9. 碳边境调节机制 影响及地缘政治风险分析, Sandbag 和 E3G 共同创作的联合论文, 2021 年 8 月
10. “Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector”, Flagship report — May 2021, IEA
11. Global Warming of 1.5°C: An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. Shukla, et al. 2018. Edited by IPCC. Geneva: World Meteorological Organization.