

本月專題

淺談攸關淨零成敗關鍵之全球能源創新系統發展

謝智宸¹

摘要

科學技術研發創新的原動力在於滿足人類生存與生計及文明進步之所需，能源為人類經濟活動的必要投入，而導致氣候暖化與極端氣候頻仍之主因亦為傳統化石能源系統的長期運行，一個嶄新潔淨能源系統之建立與替代，攸關人類文明的存續。2021 年 COP26 峰會之《格拉斯哥突破議程, Glasgow Breakthrough Agenda》，除確立能源科技是確保 2015 年巴黎協定目標達成與否的重要關鍵外，並積極推動各國政府與企業齊力擴大潔淨技術的發展與建設，加快能源科技創新研發與布建的進展，以達成 2050 年淨零排放之目標。本文將簡介國外重要智庫對於近 10 年來，全球在潔淨能源技術創新系統的投入與成效之分析與探討，一窺其所成就、窒礙與具潛力的能源創新項目，以及此創新系統之內涵與要素。

一、前言

本文主要簡介美國知名智庫「資訊科技與創新基金會」(Information Technology & Innovation Foundation, ITIF)針對影響 COP26 淨零排放承諾達成與否甚鉅之全球能源技術創新系統之發展遲緩問題，由 Hoyu Chong 主筆提出之分析研究報告²，內容陳述各項能源創新科技發展遲緩的程度及建議可行的推動策略。

ITIF 認為全球能源技術創新系統發展成效可以根據以下準則之表現而判斷：(1)知識與技術的發展與擴散(2)企業家與創業者生態活動(3)能源創新技術

¹財團法人台灣綜合研究院 研究員

² Mission Critical: The Global Energy Innovation System Is Not Thriving, JANUARY 2022

及產品的貿易狀況(4)健全的市場機制導入以促進技術應用布建(5)國家級的公共政策引導與支持。上述五項準則，可以經由相關統計資料整理計算成為七項指標，客觀呈現全球能源技術創新系統發展成效。七項指標分別為：1. 低碳能源技術研發與示範布建(RD&D)的公共資金(Public Investment in Low-Carbon Energy RD&D)、2. 高價值潔淨能源技術專利(High-Value Patents in Clean Energy Technologies)、3. 早期創投基金的投資(Early-Stage Venture Capital Investments)、4. 新創能源科技公司獲利退出的表現(Successful Clean Energy Company Exits)、5. 潔淨能源技術出口金額(Clean Energy Technology Exports)、6. 潔淨能源的消費(Clean Energy Consumption)、7. 有效碳價的涵蓋率(Effective Carbon Rates, ECR)，本文主要根據該報告對於上述七項指標呈現之說明作簡介，最後並陳述此份 ITIF 分析報告之啟示。

另 ITIF 於本文內容中所陳列的各項數據表格及統計圖，均整理自該智庫於 2021 年 10 月所發布之「2021 年全球能源創新指標：各國對於全球潔淨能源創新系統的貢獻」(“The 2021 Global Energy Innovation Index(GEII); National Contributions to the Global Clean Energy Innovation System”³)研究報告，其中各項指標與參數計算所引用之數據資料來自於該報告研究期間所能取得之各國政府、國際組織、民間機構之相關資訊，如「使命創新(Mission Innovation, MI)」計畫⁴年度部長級會議報告(Country Highlights)、IEA 能源研發與布建統計資料庫(Energy RD&D Statistics database)、世界銀行 GDP 資料庫(World Bank GDP database)、歐盟理事會(European Commission)文件資料、OECD 環境有關技術資料庫(OECD environment-related technologies database)、第三路徑(Third Way)資料庫、Pillsbury 律師事務所氫能圖資(Pillsbury Law's The Hydrogen Map database)...等，另亦根據該項研究所應用之方法學設定各數據或參數之權重。

³ <https://itif.org/publications/2021/10/18/2021-global-energy-innovation-index-national-contributions-global-clean>

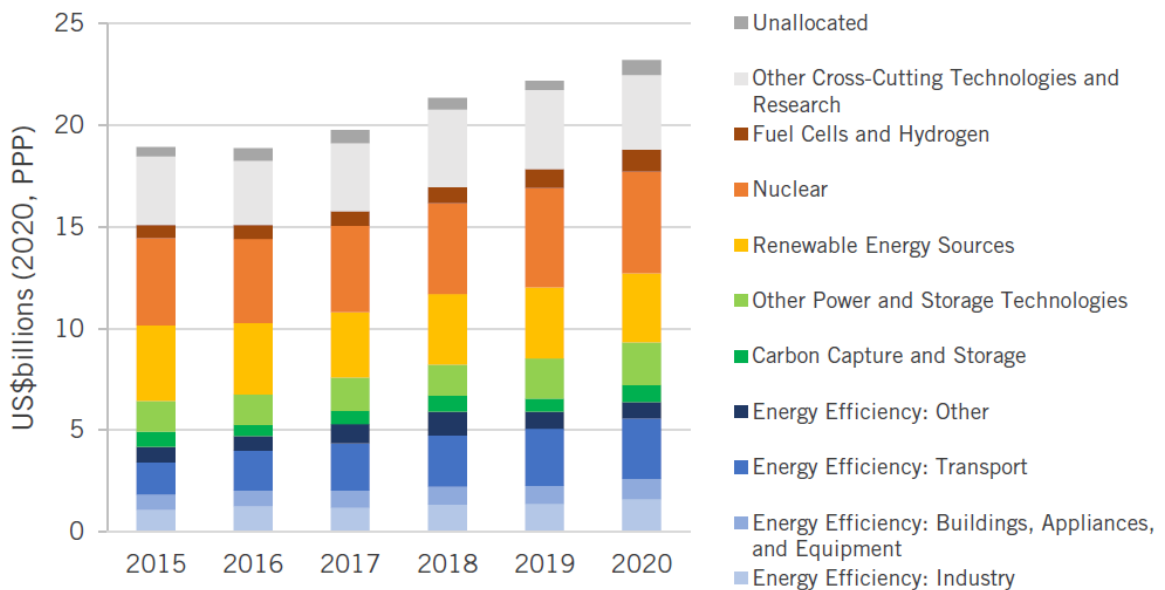
⁴ 2015 年由比爾蓋茲提議創設之 Mission Innovation(「使命創新」計畫，稱為 MI)，迄今已有 22 個成員國及歐盟理事會(European Commission)參與該計畫，每年召開一次部長級會議(MI Ministerials)，主要與會者為各參與國的部長，會中提出各國的潔淨能源研究與未來 5 年的研發經費規劃。<http://mission-innovation.net/>

二、全球能源技術創新系統發展成效

如前所述，全球能源技術創新系統發展成效可以根據「知識與技術的發展與擴散」、「企業家與創業者生態活動」、.....等五項準則判斷，五項準則另可經由相關統計資料整理計算成為七項指標，概述如下：

(一) 指標一：投資於低碳能源技術研發與示範布建(RD&D)的公共資金(Public Investment in Low-Carbon Energy RD&D)

2015 年參與「使命創新」(MI)計畫倡議的 24 個國家，承諾在 2020 年之前將投入兩倍於當時的政府預算於低碳能源技術研發與示範布建項目，時隔五年後 ITIF 的 GEII 報告檢視包含此 24 個 MI 參與國的 34 個國家，發現僅有 4 個國家符合前述承諾的標準⁵，甚至有 10 個國家在這五年間曾有低於 2015 年投資水準的紀錄，包括丹麥及芬蘭，美國則是實質投資金額最高的國家。



圖一 2015~2020 年低碳能源技術 RD&D 的公共資金投入項目

另由圖一所示，藍色系列的四個分類均屬於能源效率(Energy Efficiency)範疇，五年間穩定維持高比例的公共投資比重，尤其在交通運輸的能效提升領域；然咸認消費端最具規模且彈性資源應用潛力最大的建築物減排之能效提升部分，不僅占比相對較少且實質投入金額成長遲

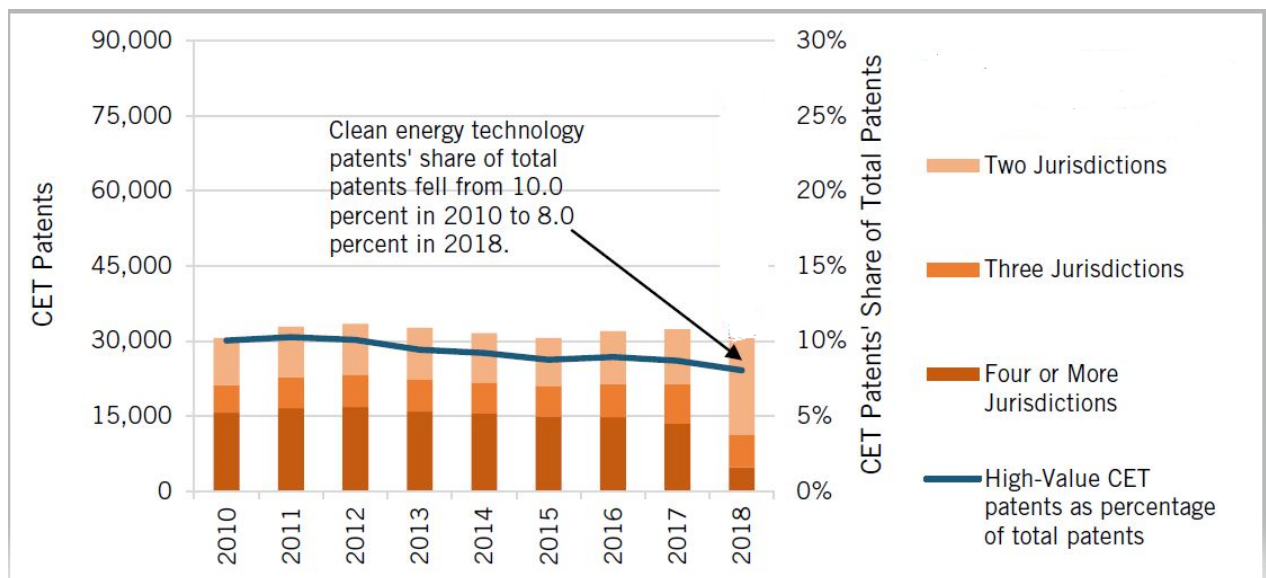
⁵ 智利、紐西蘭、斯洛伐克、英國

緩，為值得再加強之長期被忽視的部門。此外，為 IEA 認定最攸關 2050 淨零目標達成與否的關鍵技術如氫能、燃料電池、碳補存(及利用)等，在 2020 年合計僅占 8% 的比重，投資顯著不足而應設訂大幅改善目標，提高政府預算投入的比重與金額，展現政策決心以消弭大眾疑慮並帶動民間投資。

公共資金投資關鍵技術研發占總體 GDP 的比重，已被視為創造未來經濟發展機會重要的指標，根據美國政府的評估⁶，2000 年以來美國政府支出在 R&D 的比重約僅占每年 GDP 的 1.9%，投資的嚴重不足導致 2019 年當年即損失了約兩千億美元的經濟產出。政府的 R&D 預算也多偏重投資在基礎研究或市場前景及規模尚未彰顯的領域，對於民間投資也有先導及誘發的作用。

(二) 指標二：高價值潔淨能源技術專利(High-Value Patents in Clean Energy Technologies)

RD&D 的成果通常展現於技術或產品的專利權取得，故全球能源創新系統發展的程度亦可自潔淨能源技術專利註冊成效榮枯窺探，尤其是高價值(High-Value)⁷的潔淨能源技術專利。



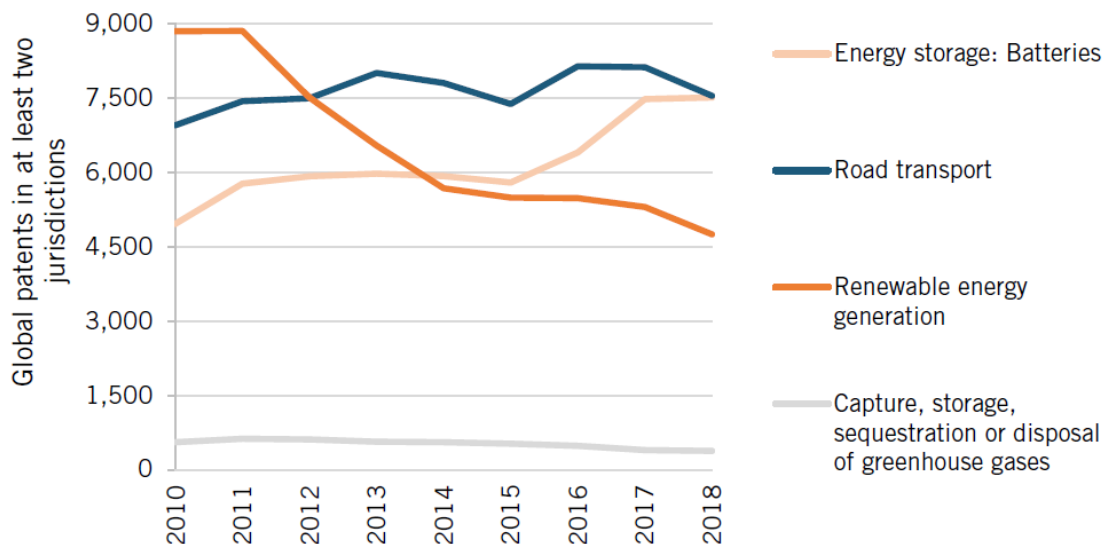
圖二 2010~2018 年高價值潔淨能源技術專利註冊統計

⁶ 「Innovation, Investment, and Inclusion: Accelerating the Energy Transition and Creating Good Jobs」 April 23, 2021

⁷ 2021 年 GEII 定義至少在兩個專利管轄權區(patent jurisdiction)申請成功的專利為高價值專利

圖二顯示高價值潔淨能源技術專利註冊在 2010~2018 的 9 年間均維持約 3 萬件的註冊數，然其占有專利註冊數的比例卻呈下滑趨勢，自 2010 年的約 10% 下降至 2018 年的 8%，顯見非能源領域技術的研發，仍然吸引較多投資者的關注。

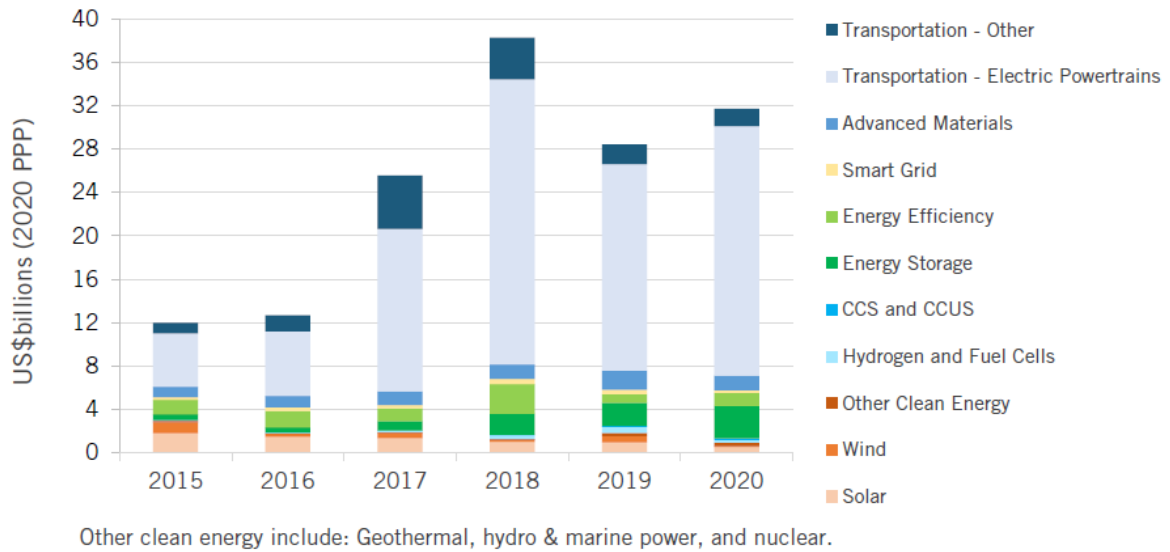
值得注意的是，由圖三各主要類別高價值潔淨能源技術專利註冊趨勢圖所示，全球在儲能及電池技術專利取得上有逐年進步的趨勢，對於轉型中的電網而言，不啻視為良好的徵兆，但在碳補存(及利用)的重要關鍵技術的研發量能上，多年來卻始終低迷且停滯不前，亟待更大的市場誘因及研發資源的投入，預期在愈來愈多先進國家加入 2050 淨零排放承諾後，此關鍵技術曙光乍現應指日可待。



圖三 2010~2018 年各主要類別高價值潔淨能源技術專利註冊趨勢

(三) 指標三：早期創投基金的投資(Early-Stage Venture Capital Investments)

私部門創投業產業特性為市場敏感度高且願追逐高風險，其投資標的多具研發密集且製造技術及商業模式尚未成型，或市場規模尚有發展潛力之技術領域，故適合藉其探究能源創新科技項目的潛力分布及市場預期。



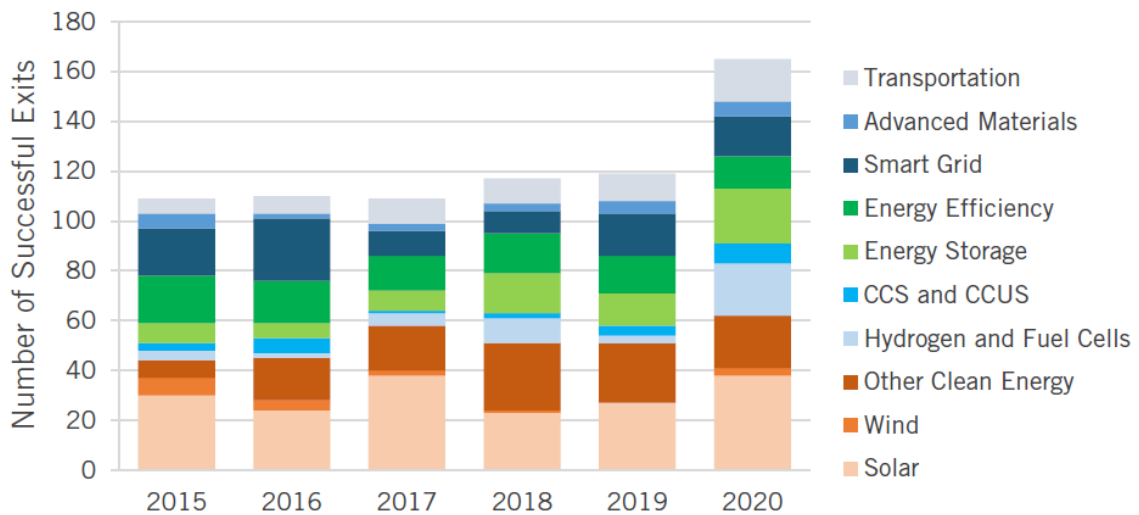
圖四 早期創投基金能源創新科技項目之投資組合

圖四顯示全球早期創投基金自 2015 年迄 2020 年在能源創新科技項目方面有顯著的投資成長，但投資項目絕大部分落在陸上電動運具(EV)之相關領域，包括EV(包含充電基礎設施)及公共運輸行動服務(MaaS)等，屬於前述商業模式創新精進及市場規模預期潛力的屬性；早期創投基金投入氫能(包括燃料電池)、儲能及碳補存(再利用)等先進技術領域則相對稀少，然其投資占比已自 2015 年的 5.1%大幅增加為 2020 年的 10.7%，金額也從 6 億美元足足成長超過 5 倍為 34 億美元(經由 2000 年購買力平價指數調整)，顯示近年來在前一波綠能技術發展漸趨成熟後，愈來愈多創投基金著眼於將成為未來淨零希望之所繫的先進能源創新技術的前景。但在另一方面，投資於太陽光電及風力發電等再生能源新創企業的資金卻有逐年衰退的傾向，此與前項高價值潔淨能源技術專利註冊在再生能源發電技術方面的趨勢吻合。

(四)指標四：新創能源科技公司獲利退出的表現(Successful Clean Energy Company Exits)

新創公司(start-up)經由創投基金、育成中心的天使基金等挹注資金成長，其專利或製造技術、經營的前景為市場所期待甚至肯定，常透過被合併、被收購等程序，結合現在市場上已成熟營運的企業持續落實及應用其專利技術以獲利，或者自身茁壯成為公開上櫃、上市公司(包括 SPAC 特殊目的收購公司)，代表創業成功而退出(exit)新創公司的行列。

ITIF 認為新創能源科技公司獲利退出(exit)，代表該技術及專利係屬於高品質的創新(high-quality innovations)且具有成長與擴散的潛力。



Other clean energy include: Geothermal, hydro & marine power, and nuclear.

圖五新創能源科技公司獲利退出(exit)的表現

圖五顯示 2015 至 2020 年包括太陽能、地熱、海洋能及核能在內的再生及潔淨能源技術新創企業具有穩定的退出表現，而氫能(包括燃料電池)、儲能及碳補存(再利用)等先進技術新創企業在近幾年也開始有顯著成長的退出(exit)表現。ITIF 在報告中特別舉近來為大眾所熟知的 EV 新創公司如 Rivian 及 Lucid Group 上市為例，由於此兩家公司的市值均超越了傳統汽車廠如福特汽車(Ford)、通用汽車(GM)及福斯汽車(Volkswagen)等，擔心未來若股價泡沫化將不免引發投資人對於其他先進能源技術發展的信心，進而影響創新的步伐。

此外，根據彭博社新能源財經資訊的報導⁸，2021 年所有與氣候科技(climate tech)相關的投資，超過三分之二係透過公開市場挹注，483 件包括 IPO 及 SPAC 案總金額約 1,110 億美元，其中 IPO 及 SPAC 佔絕大多數⁹，標的企業主要集中在能源部門及運輸部門。

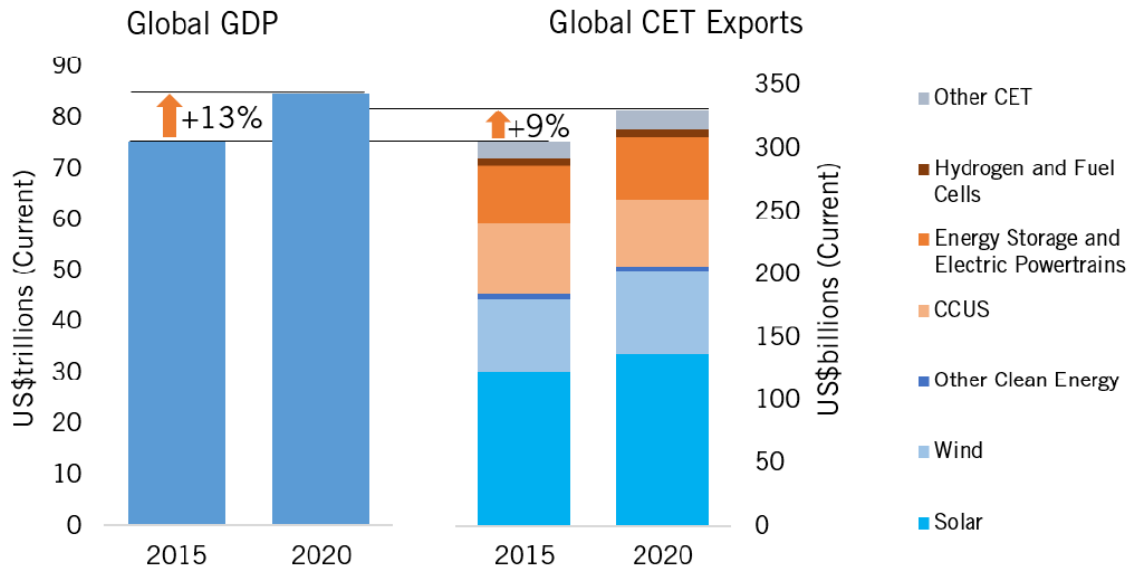
(五)指標五：潔淨能源技術出口金額(Clean Energy Technology Exports)

ITIF 認為持續創新及精進既有產品或服務的功能及品質以提升其價值，是一個健全創新系統的主要特徵，尤其在重要且須持續擴展與規模

⁸ 「Climate-Tech Firms Raise \$111 Billion From Public Markets」，BNEF 2022/2/7

⁹ 另包括二次發行(Secondary offering)及私募股權交易(Non-SPAC PIPE)

龐大的淨零能源創新系統，故全球潔淨能源技術出口表現可以反映該技術的創新與價值吸引並值得其他國家引進，而達到全球擴散與布建目的之程度。

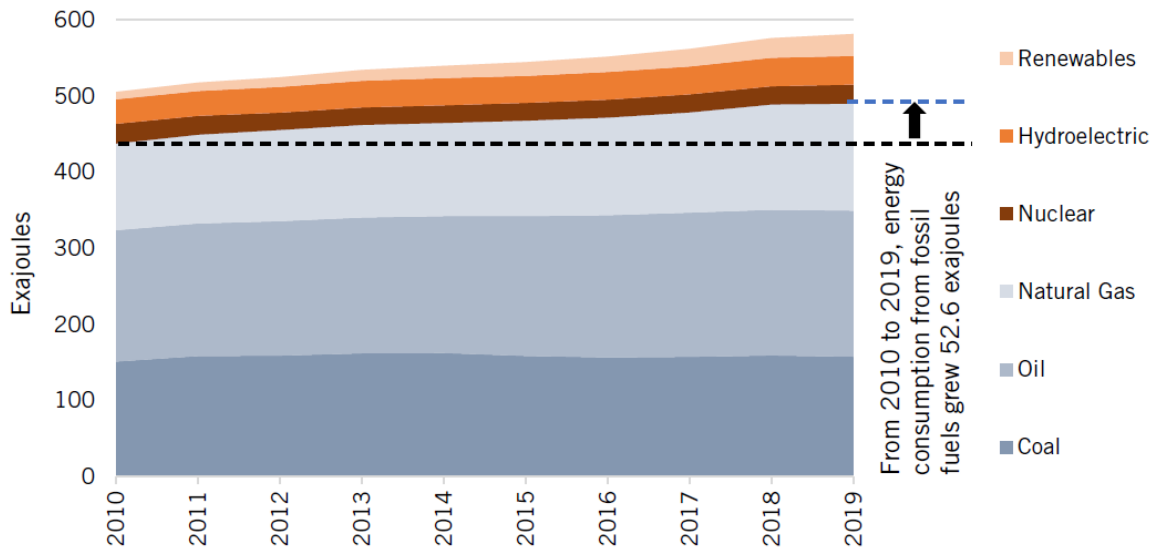


圖六 全球潔淨能源技術出口值成長及與 GDP 占比變化

圖六顯示全球潔淨能源技術出口值在 2015~2020 年間成長 9%，落後於同期全球 GDP 成長的 13%，該 5 年間仍以太陽光電和風力發電技術出口值占絕大部分(約 6 成)，其次為儲能及 EV，而碳補存與利用技術也有約 1 成 6 的比重。ITIF 認為由於潔淨能源技術全球布建是 2050 淨零目標達成的關鍵，未來全球潔淨能源技術出口成長應該要有更顯著的趨勢，才足以反映全球能源創新系統發展的有效性，亦適足以檢視國際合作與協力重要策略推動的成效。

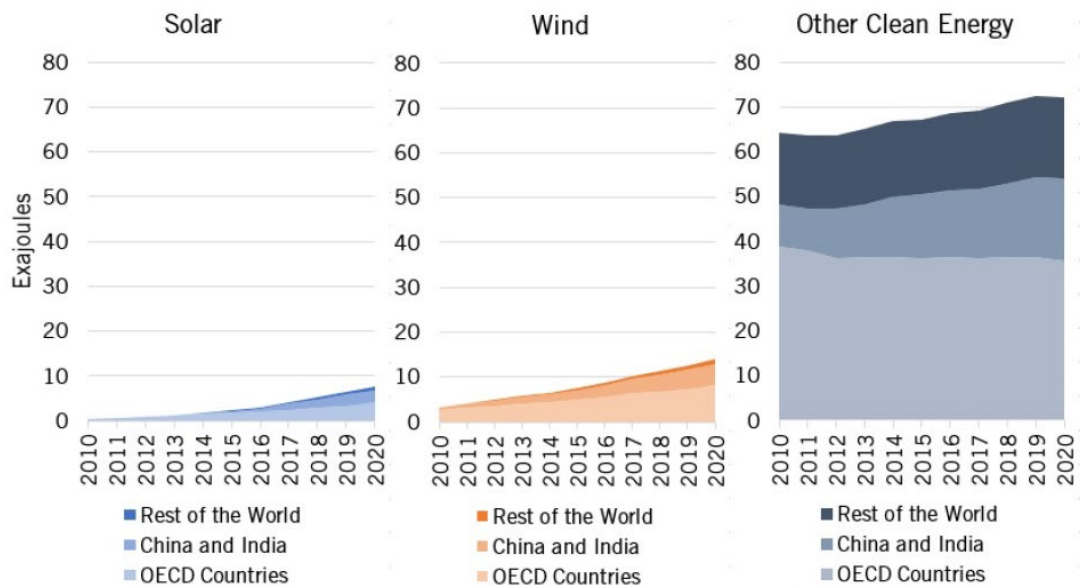
(六)指標六：潔淨能源的消費(Clean Energy Consumption)

潔淨能源的消費需求成長是拉昇全球能源創新系統發展的主要動力與誘因，例如參與 RE100 及 TCFD 企業家數與規模愈益擴張，愈能鼓勵潔淨能源技術的發展。誠然，全球總能源消費雖仍持續增長，確保潔淨能源消費需求成長趨勢遠高於總能源消費成長趨勢，才能滿足 2050 淨零排放的預期。



圖七 全球初級能源消費趨勢

圖七顯示 2010~2019 的 10 年間，化石能源消費伴隨總能源消費的成長而增加了 52.6 百萬兆焦耳 (EJ, 10¹⁸ 焦耳)，但其占比卻僅自 2010 年的 86.6%略減為 2019 年的 83.5%，其中最顯著的消費需求成長來自於天然氣的貢獻，顯見潔淨能源消費與供給成長的力道還需戮力強化。



圖八 全球潔淨能源消費剖析

若將圖七上方之非化石能源類別分類，並結合經濟發展階段不同國家消費消長情形進行剖析，則可自圖八之結果得知，無論經濟合作發展組織(OECD)國家、中國大陸及印度，和非屬前兩類之所有其他國家，太陽光電和風力發電的消費需求在 10 年間均有快速的成長，也直接促成這

兩項技術的規模經濟導致成本陡降的效益，而更加速其全球擴散的步伐。

值得注意的是，其他潔淨能源消費需求在 OECD 國家此 10 年間有衰退的趨勢，主要由於日本福島核災及美國頁岩氣效應，和該組織主要國家核能電廠逐步除役而新建機組有限並期程延宕為主要因素，而相對地，代表開發中國家的其他兩類卻有成長的趨勢。

(七) 指標七：有效碳價(Effective Carbon Rates, ECR)的涵蓋率

碳價除了可以公平反映二氧化碳所造成的環境與生態損害成本外，外部成本內部化也是鼓勵技術創新的重要誘因，經由研發創新能源技術包括再生能源、氫能及碳補存利用、能源效率等及其應用，以迴避化石能源的使用及/或減少碳排放等。

根據 OECD 出版的針對欲達成巴黎協定氣候目標所需的各部門有效碳價的研究報告¹⁰指出，2020 年平均有效碳價 ECR 應為 60 歐元/公噸 CO₂，經過 ITIF 根據 44 個 OECD 國家及 G20 國家的資料分析研究顯示，2018 年全球僅有不及 19% 的碳排放量包含在符合 60 歐元有效碳價的管制範疇內，如表一所示。

表一 2018 年符合 60 歐元有效碳價 ECR 管制之碳排放量分佈統計

Sector	Bottom-performing country	Top-performing country	All countries
Road	4.5%	100%	79.9%
Agriculture and fisheries	0%	100%	38.2%
Off-road	0%	98.9%	24.7%
Residential and commercial	0%	88.8%	9.9%
Industry	0%	59.3%	5.2%
Electricity	0%	49.0%	5.1%
All sectors	1.3%	69.3%	18.7%

表一的分析統計也揭示了全球實施 ECR 較困難的部門為排放量最大的工業(5.2%)及電力部門(5.1%)，住宅及商業部門(9.9%)比例不高則較易理解；陸上交通部門涵蓋率高乃由於其 ECR 的計算並無排除相關規費中屬於交通建設、設施及制度服務費用的部分，而後者往往占有不少比重。

三、結論

¹⁰ “Effective carbon rates 2021” (OECD, 2021), accessed November 14, 2021 ,

- (一)ITIF 評估上述準則之成效後，認為唯一的亮點僅在於「企業家與創業者生態活動」部分，自 2015 年迄今，全球創投資金投入在能源創新技術領域成長了可觀的 165%。
- (二)全球國家已在 COP26 會中達成 2050 年淨零共識，並須開始將承諾轉化為行動，本文評估迄今為止，全球距達成承諾目標仍有很大的落差，而此落差形成的很大一部分，可歸因於全球能源創新系統發展遲緩，且尚未建立一個健全的能源創新系統。
- (三)然而，全球 40 個主要國家領袖在 2021 年 COP26 峰會發起《格拉斯哥突破議程，Glasgow Breakthrough Agenda》，以及 2021 年「使命創新」(MI)計畫進入 2.0 階段，是點燃消弭上述氣候行動巨大落差的曙光，寄望各國政府與企業齊力擴大潔淨技術發展與建設，加快能源科技創新研發與布建的進展，以達成 2050 年淨零排放之目標。
- (四)此外，愈來愈多私部門的金融與資產管理投資機構及組織，建立與氣候相關的責任投資準則與評等方法，直接與間接確保投資與貸款標的符合氣候行動，此將有助於全球能源創新系統發展所需之龐大且持續資金的投入，對於攸關淨零目標達成與否之先進清潔能源技術的研發與布建，將是重要關鍵的影響因素。
- (五)全球暖化所造成的氣候變遷尤其極端氣候事件發生頻仍且嚴重，積極推動氣候行動的步伐已刻不容緩。全球公私部門應該協力將已具經濟規模的綠能技術布建發揮至極致，持續降低價格外也透過經濟誘因的實踐，帶動目前仍屬高成本的先進能源技術的研發、布建，如私部門日益發展成熟的太陽光電及風力發電、電動車等產業般，透過公部門補助等推動措施以及早市場化並形成規模經濟，儘速填補承諾與目標之間的顯著落差。

四、重要啟示

- (一)由 ITIF 此份報告結論可知，全球能源創新系統發展步伐仍屬緩慢，若未再加快創新研發與示範推廣的進程，恐難達成 2050 年淨零排放的全球目標。
- (二)陸上電動運具占全球能源創新系統投資的絕大部分比重，主要由於人類早已習慣於陸上運具作為主要移動工具的模式，僅是將傳統內燃機引擎替換為電動馬達，化石燃料之動力來源替換為電池電力，產業鏈超脫原已具規模經濟

的汽車製造及零件供應商，以及各國政府相較明確的政策承諾下，吸引更多新創技術開發及應用團隊參與，其投資效益大於其他綠能技術。此種創新技術發展模式，應可以做為其他更攸關淨零目標達成之先進能源科技創新研發與布建策略擬訂的參考。

- (三)各國中央政府仍是能源創新系統發展的關鍵領導者，在中央層級的政策導引下，除了經由擴大政府預算投入規模並主導必要但尚待實現的能源科技創新研發外(例如氫能、碳補存技術等)，並且營造友善科技研發的公私夥伴關係(public private partnership)及具誘因的能源科技導入所需之市場機制、法規與環境，以消弭社會大眾及私部門企業對淨零目標達成與否之不確定性及疑慮，建立信心並付諸行動。
- (四)全球能源創新系統的發展需要持續且龐大的資金投入，巴黎協定之後，聯合國及其他主要國際金融機構包括世界銀行、歐洲央行、國際貨幣基金會及各先進國家金融及資本市場管理機構，莫不積極建立導引國內及國際資金流向環境永續投資項目的機制，包括 CSR、ESG、SBTs、TCFD、GFANZ 等永續評等與規則制定機制。雖然在公開市場透明的監督之下，有效導引全球各大投資機構法人履行責任投資的行為，並促使國際各大化石能源供應商及產業鏈漸次轉型為潔淨能源技術的開發與應用者；然無可諱言，如近期經濟學人雜誌所指¹¹，尚有更多未公開上市的私募基金(private-equity firms)及小型能源供應商仍將大筆資金投入在報酬較綠能更豐厚的傳統能源生產與設施建設項目¹²，尤其近來由歐洲天然氣短缺事件及全球疫情減緩後經濟活動復甦急速帶動能源需求所引起的價格飆漲，吸引更多檯面下對於淨零前景猶豫未決資金的忖動；而另一方面，檯面下仍有許多曾公開支持能源轉型甚至淨零目標的知名大型能源供應商(包含國營及跨國企業)，紛藉由切割排碳資產(dirty assets)於隱晦處(shadowy)而持續追求獲利¹³，並遂行其漂綠的意圖。根據世界知名智庫麥肯錫(McKinsey & Company)估計¹⁴，現在至 2050 年，每年需要投資 9.2 兆美元才有可能將全球升溫限制在 1.5°C 以終止氣候危機，

¹¹ Fossil hunters : Who buys the dirty energy assets public companies no longer want? The Economist Feb 7th 2022

¹² 荷蘭殼牌石油公司(Shell)估計目前投資傳統能源項目之內部報酬率(IRR)為 20%，兩倍於投資再生能源項目 IRR 的 10%

¹³ “The truth about dirty assets” , The Economist, Feb 12th 2022 edition

¹⁴ “The net-zero transition: What it would cost, what it could bring”

約為目前全球投資金額再增加 60%，相當於全球企業利潤的一半及 2020 年全球稅收總額的 1/4。所以如何提供更堅實的政策承諾與決心，建立國際間合作與協力的良善機制與市場，以導引更多公、私資源投入能源創新系統的發展，將是聯合國及各先進國家和全球各大標竿組織及企業應共同努力的方向。

參考文獻

1. “Mission Critical: The Global Energy Innovation System Is Not Thriving” ,
<https://itif.org/publications/2022/01/10/mission-critical-global-energy-innovation-system-not-thriving>
2. “Fossil hunters : Who buys the dirty energy assets public companies no longer want? ” , The Economists , <https://reurl.cc/g0Rn44>
3. “The truth about dirty assets” , The Economists , <https://reurl.cc/Mbz8nv>
4. “The net-zero transition: What it would cost, what it could bring”McKinsey Sustainability ,
<https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/the-net-zero-transition-what-it-would-cost-what-it-could-bring?cid=netzero-onw-prs-mst-mck-oth-2201>
5. “Effective carbon rates on energy,” (OECD, 2016), accessed November 14, 2021,
<https://www.oecd.org/tax/tax-policy/effective-carbon-rates-2021-brochure.pdf>
6. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/04/Innovation-Investment-and-Inclusion-CEA-April-23-2021-1.pdf>