

國際再生能源動向

科技政策研究與資訊中心 科研資料組

游姮茹

中文摘要

本研究報告之主要目的在於分析國際加速再生能源使用普及化的原因，促使再生能源成本下降的因素，全球再生能源的投資近況，主要發展再生能源地區——歐洲、美國和中國——的市場變動趨勢，以及，最新的再生能源科技發展。

本研究發現，國際加速再生能源使用普及化的原因為：(1) 對環境的貢獻，再生能源較石化燃料產生少量的溫室氣體；(2) 再生能源產業對國家經濟有相當多的助益，其中例如：就業機會；(3) 相較於石化燃料，再生能源與空氣汙染和水汙染間無發現相關，也無發現造成其他嚴重健康問題的可能。由於再生能源科技的持續進步，市場競爭性採購，和經驗豐富的國際性專案開發商，促使再生能源成本持續下降。

有關全球再生能源的近期投資情況，本研究發現，在過去歐盟的確是再生能源的領導者，但是，從 2011 年至 2017 年，歐盟對再生能源的投資已下降 50%，於 2017 年，約估計投資 574 億美元，顯示目前是歐盟在近十年中對再生能源投資的最低點。然而，在另一方面，中國目前正大幅度的發展再生能源，於 2017 年，約估計投資了 1326 億美元。進一步探討再生能源的研發投資，主要是企業研發(corporate R&D)投資提高了 12%，達 48 億美元，但是政府研發(government R&D)投資則是持平狀態，有 51 億美元。全球主要地區對再生能源的研發投資狀況，歐洲位居領導地位，達 27 億美元，美國位居第二，達 21 億美元，中國位居第三，達 20 億美元。

然而，使用與開發再生能源所面臨的最大挑戰是能源來源的高度變化性，因此影響了各國發展再生能源科技的方向，目前，以能夠準確管控電力生產量且不影響能源來源穩定性的科技方法是各國發展再生能源科技的重點。

Global trends in renewable energies

Abstract

This research report investigated reasons behind fast deployment of global renewable energies, causes of cost reduction, global investment for renewables, market trends in the European Union, America, and China, and new state-of-the-art technological development of renewables. Renewable energies made far less noticeable green-house emissions than fossil fuel; the renewable energy industry creates many economic benefits (e.g., jobs); and most of negative health impacts come from air and water pollution that renewable energy technologies don't produce, which are the reasons why the renewable energies deploy rapidly around the globe. And the cost of renewable energies is cheaper than ever now, due to fast technology improvement, competitive procurement, and a rich base of experienced and international project developers.

Among the leading countries for investing renewable energies, European investment is in decline while China takes the lead. Between 2011 and 2017, the European investment in renewables fell 50% to \$57 billion; however, China invested \$133 billion in 2017—more than ever before. Furthermore, the increase of investment in research and development in global renewables was fully driven by corporate R&D, which rose 12% to \$4.8 billion, while government spending on R&D remained unvaried at \$5.1 billion. Regionally, the biggest investor was Europe, where total R&D spending increased 8% to \$2.7 billion, followed by the U.S., also upped 8% at \$2.1 billion and China settled at \$2 billion.

For many countries to conquer a major challenge in the use of renewable energy—the fluctuations of renewables' resources, the direction of the technological development is driven to accurate prediction of the production, without affecting reliability of the renewable' resources.

一、前言

再生能源(Renewable Energy)包括太陽能(Solar Energy)、風能(Wind Energy)、海洋能源(Ocean Energy)、水力發電(Hydro Power)、地熱能(Geothermal Energy)和生質能源(Bio Energy)，相較於化石燃料，再生能源產生較少的溫室氣體，因此成為解決全球氣候變遷問題的關鍵方法；加上，再生能源的科技進步、生產量提高與市場競爭等因素已讓再生能源成本比過去來得低，目前，全球許多國家已能提供價格可負擔且安全的再生能源。而再生能源在高度開發的現代社會裡最主要被使用在發電、建築物的溫控和大眾交通系統。但是，開發和使用再生能源會面臨到的最大困難是能源來源的高度變化性，例如：每日日照強度不定，風力不是都維持一定的風向和速度，因此影響了各國發展再生能源科技的方向；而能夠準確管控生產量且不影響再生能源穩定性的科技方法是各國的再生能源科技發展重點。

本研究報告首先探討國際加速再生能源使用普及化的原因，並分析促使再生能源成本下降的因素。接續比較分析世界主要發展再生能源的地區——美國、歐洲與中國——對再生能源的最新投資情況，並特別針對研發部分的投資進行討論。最後，聚焦介紹再生能源的最新科技進展。透過瞭解國際再生能源的快速普及化、市場變動趨勢與近期科技發展，本研究報告希望能引導我國政府在再生能源的發展有所突破，並在技術方法上持續不斷的精進。

二、國際再生能源使用普及化

(一) 加速再生能源使用普及化的原因

國際能源署(International Energy Agency, IEA)發表的 2017 年全球能源展望(World Energy Outlook 2017)中指出，全球能源系統發生了四個大規模的改變，第一是再生能源快速使用普及和成本下降，第二是能源電氣化(electrification of energy)的提升，第三是從生產為主的經濟體系轉變為服務為主的經濟體系，第四是中國大陸對再生能源的使用選擇會改變全球能源轉型的速度，以及美國頁岩氣(shale gas)和緻密油(tight oil)生產力對油價的影響。依據 IEA 報告中的第一點改變，本研究報告將針對全球許多國家加速再生能源普及化的原因、成本下降情形和促成因素做較深入的探討。

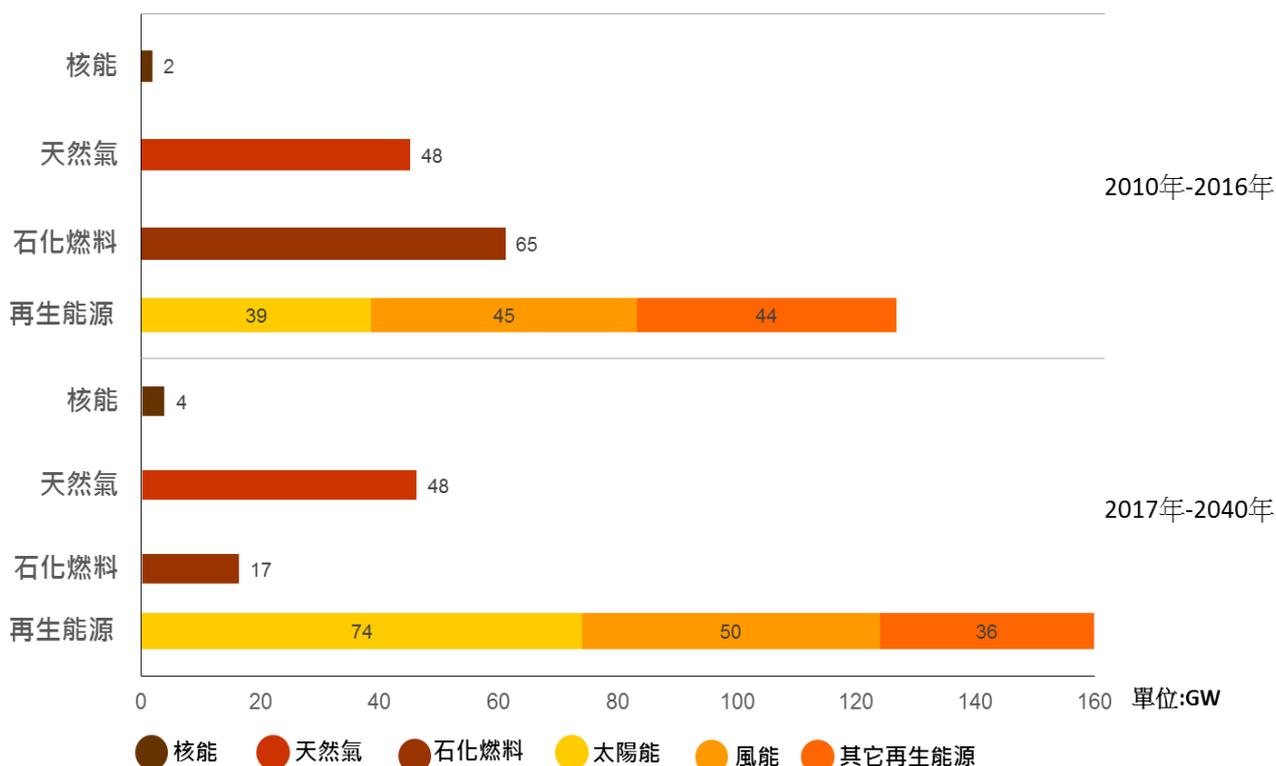
再生能源對環境、經濟與人體健康三個方面帶來相當多益處，是促使許多國家加快推動再生能源發展與使用普及化的主要原因。在環

境方面的貢獻，依據聯合國的跨政府氣候變遷委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)，當大氣中溫室氣體量越高會吸收越多的熱，便會改變整體地球的氣候條件，例如：高頻率的暴風雨、乾旱、海平面上升等，IPCC 對再生能源和石化燃料的溫室氣體排放量進行比較研究，結果發現再生能源的溫室氣體排放量範圍在 4-46 g CO₂ 當量/千瓦小時，相反的，石化燃料的溫室氣體排放範圍高達 469-1001 g CO₂ 當量/千瓦小時；明顯的，再生能源比石化燃料產生少量的溫室氣體。

再生能源對經濟上的助益，特別是對偏僻和貧窮地區，因為能源可及程度低，再生能源的使用成本較石化燃料成本低(IPCC, 2011)；特別是，再生能源科技的成本已持續在下降，例如：美國太陽能產業協會(Solar Energy Industries Association, SEIA)報告顯示 從 2010 年至 2017 年，太陽能設備的安裝平均價格已下降 70%；另外，美國風能協會(American Wind Energy Association, AWEA)公布，從 2009 年至 2016 年，風力發電的成本已下降了 66%，因此，再生能源能提供可負擔的電力，並能在穩定未來國際能源價格上的波動。另外，相較於石化燃料產業，再生能源產業創造較多的工作機會，例如：美國的太陽能產業，於 2016 年加入 260,000 名員工，較 2015 年，提高了 25% 就業率。地方政府也受惠於再生能源的發展，多數來自於土地財產、稅收繳納、和再生能源計畫而來的收入。

再生能源對人體健康的益處，從哈佛大學公共衛生學院的研究 (Epstein et al. 2011) 中發現，石化燃料與天然氣排放的化學物質含氮氧化物 (NO_x)，二氧化硫(SO₂)，懸浮微粒(PM_{2.5})，和汞(mercury)，所造成的空氣污染和水污染對形成肺癌、神經系統損害和心臟疾病等其它嚴重健康問題有直接相關。但是，風能、太陽能與水力所產生的電力與空氣污染物質的排放並沒有發現相關。雖然，地熱能和生質能源的發電過程中會排放一些氣體，但相較於石化燃料和天然氣，地熱能和生質能源的氣體排放量相當低。另外，風能與太陽能的發電不需藉由水來運作，因此不影響飲用與灌溉水源。

國際能源署還表示，相較於過去的 25 年，世界對於能源需求的轉變極大，目前再生能源和天然氣為世界主要的需求能源。估計到未來 2040 年，全球能源發電廠對再生能源的投資將佔 2/3 的總投資；相較於 2016 年，2040 年再生能源將會提高約 40% 的平均年產淨容量，如圖一所示。其中，因為中國大陸和印度所生產的太陽能板 (solar photovoltaic panel) 被快速使用和設置，到了 2040 年，太陽能將會成為全球最主要的低碳能源來源。



圖一：全球平均年產淨容量(依能源種類)

資料來源：IEA，本研究整理

(二) 各國的再生能源成本持續下降

依據國際可再生能源機構(International Renewable Energy Agency, IRENA)的調查發現，全球陸上風能發電量在 2017 年底已比 2011 年的 216GW 發電量高出於兩倍，另外，在全球 121 個國家中，已設置超過 495GW 的陸上風能發電，設置量領先的國家是中國、美國、德國、印度、西班牙、法國、巴西、英國和加拿大，在這 9 個國家的陸上風能電費已達平價。除了以上 9 個國家，還包含歐亞聯盟的 5 個國家和澳洲是全球風能成本最低的地區。在美國，風能成

本最低的地區在北美大平原和德州，而成本最高的地區是西北地區。

而歐盟國家，因為陸上和離岸風能的穩健成長，在 2030 年後，80% 由風能所產生的電力將迅速地成為主要的電力來源；再加上政策上採取競標制度(competitive auctions)而非政府電力收購制度(feed-in tariff)以鼓勵支持各地用戶使用再生電力，透過眾多的家庭用戶、社區用戶與企業公司用戶直接投資在分散式太陽能板而擴展了電力產業的轉型。

(三) 促使再生能源成本降低的原因

目前在全球許多國家中，再生能源科技已能提供低成本電力，而法規和政策上的規劃為再生能源電力的競爭性採購(competitive procurement)建構了理想環境，並能配合各個國家內的能源與環境發展的政策目標，並且，中、大型再生能源專案的開發商已瞭解現階段的环境條件，已在積極開發國際市場，並找尋能再降低成本的方法。接下來，本研究報告將仔細分析促使再生能源成本降低的三大因素：

1. 再生能源科技的持續進步

現今低成本的機械設備提高了製造過程的效率和再生能源發電設備的效能，並也降低了設備安裝成本，其中的例子：生產較大型的風力發電機，其大範圍的風力掃掠面積(wind-swept area)在相同的風力來源環境中，能產生更多的電能；還有，新型太陽能電池提供較佳化的效能；即時數據傳輸和大數據(big data)科技提高預測性維護(Predictive Maintenance)以降低運作和維修成本。再生能源科技發展趨近成熟，同時也降低了專案發展的風險。

2. 市場競爭性採購

國際可再生能源機構 IRENA 數據指出，於 2016 和 2017 年，在杜拜、墨西哥、秘魯、智利、阿布達比和沙烏地阿拉伯國家地區，太陽能光伏(solar photovoltaic)的拍賣低價可顯示到 2018 年太陽能每度電均化成本價(levelized cost of energy, 簡稱 LCOE)可能僅有 0.03 美元/千瓦小時。但是要能達此低價，仍需要好的條件，包含再生能源的特定法規與組織體制、低風險的貿易合約與低國家貿易風險、紮實的當地土木工程基礎、稅收管理、低專案成本與優良的太陽能

來源。

同樣的，2016 年和 2017 年也是風能突破的時間點，從摩洛哥、巴西、墨西哥、印度、德國和加拿大的陸上風能拍賣價格中顯示，每度電均化成本價僅為 0.03 美元/千瓦小時，預測陸上風能會是最具競爭力的電力來源。

從 2016 年和 2017 年的拍賣結果預測，到 2020 年太陽能 and 風能提供的電力每度電均化成本價將下滑至 0.06 美元到 0.1 美元；不過，要能達到此低成本控管，須要的條件包含低成本融資(low-cost finance)、能源政策支持金融措施與良好的採購制度。

3. 具有豐富經驗的國際性專案開發者

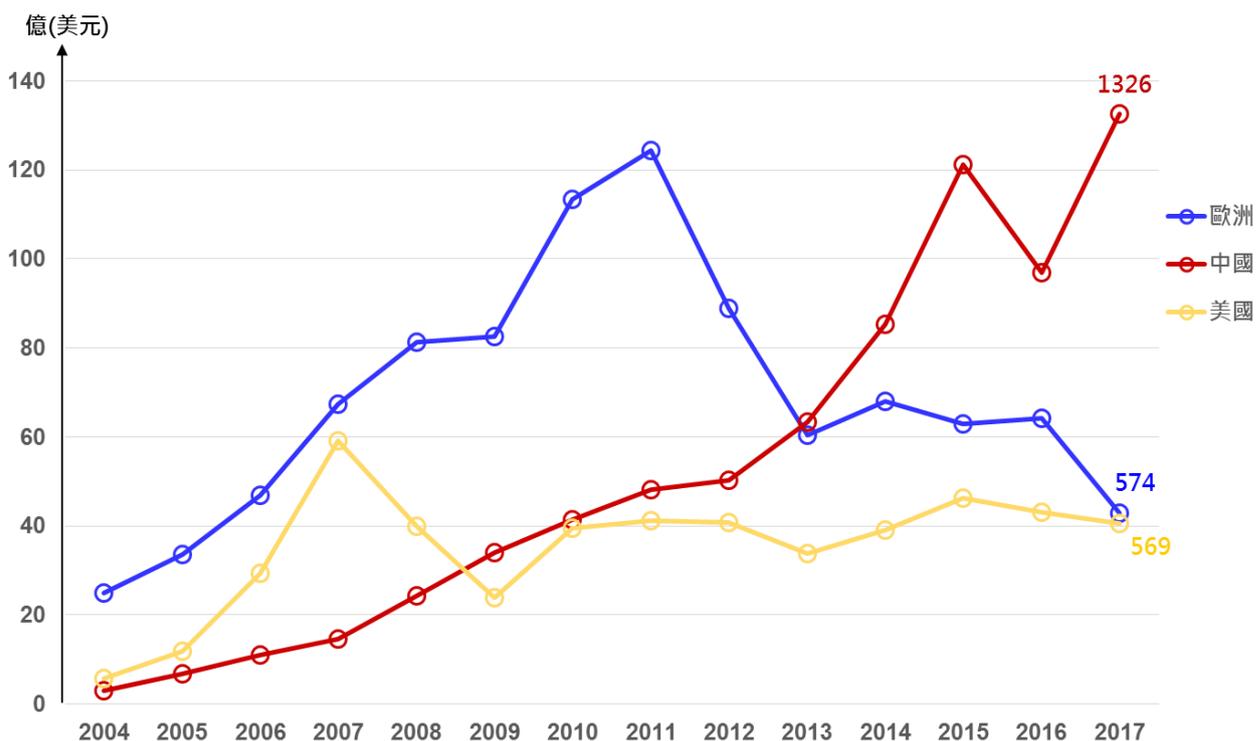
有經驗的再生能源專案開發人員能瞭解並能採用標準化程序來發展再生能源專案，並將專案引入國際市場，也能減低專案開發過程中的可能風險，因為再生能源專案能夠執行成功，不僅僅是需要尖端科技，還包括專案開發者對專案的專業職責、使用者滿意度，充分的再生能源與科技相關知識與技能、發展社區，學術單位，中央和地方政府與政府機關間的聯繫網絡、和尋求國際市場來擴展再生能源的商業機會。特別是再生能源專案發展過程中，除了需要推動地區對再生能源的需求和使用可及程度，其它需求包含地方的環境保育、永續農業和特別建築物也都是再生能源專案開發中需要管理的部分。專案開發者除了能針對各地區作成本評估和處理稅務問題外，還需進行需求和影響評估(need and impact assessment)，在專案執行前應對該地區的條件進行分析調查，此專案執行前的調查結果能夠有效幫助在檢驗專案成果(Terrapon-Pfaff, *et al.*, 2014)。

三、國際再生能源市場的變化

(一) 再生能源主要發展地區的投資比較分析

於 2017 年，國際可再生能源機構主席 Mr. Adnan Amin 在阿布達比 (Abu Dhabi) 報告該機構的再生能源成本調查結果時提出，使用再生能源為新發電能源不單純僅是一個基於環境意識的決定，也是對各個國家的智慧經濟有極大影響力的決定；他還強調，目前世界各國政府已認知低碳經濟計劃的影響力和發展潛能。

歐洲氣候行動網(Climat e Action Network Europe)主席 Mr. Wendel Trio 表示，在過去，歐盟是積極解決全球氣候變遷問題和鼓勵再生能源發展的領導者，在現階段，其它國家透過大規模的投資，已在跟進這些解決氣候變遷的活動和再生能源發展。歐洲環境局(European Environmental Bureau)說明，歐洲再生能源產業的蓬勃發長是受惠於過去相關政策的推動與支持，在未來，歐洲再生能源產業的成長仍須依憑接下來的政策規劃和進展。不過，彭博新能源財經(Bloomberg New Energy Finance)指出，歐洲對再生能源的投資已經下降了 35%(409 億美元)，造成歐洲再生能源投資下降的最大原因是英國減少了 65%的投資，表露了英國政府終止對陸上風能和太陽能公共設施建設的補貼，以及英國各離岸風能專案的採購價格之間存在極大的差距；另外，德國也減少了 35%的投資在管控離岸風能成本的不確定性和海上風能價格的浮動。至 2017 年，國際間對再生能源投資領先的國家是中國，約估計投資了 1326 億美元，其中，在太陽能的投資較過去提高 58%。另外，美國對再生能源的投資較中國來的低，約 569 億美元，較 2016 年下降了約 6%。Frankfurt School-UNEP Centre(2018)研究顯示，從 2004 年到 2017 年，歐洲、中國與美國對再生能源的投資變化情形(如圖二)。圖中顯示過去至 2011 年，歐盟確實是再生能源的領導者，但是目前，歐洲對再生能源的投資是近十年中的最低點。世界風能協會(World Wind Energy Association, WWEA)秘書長 Mr. Stefan Gsä nger 表示，以現階段的條件情況下，歐洲產業明顯的不會對再生能源進行投資。然而，在另一方面，中國目前正大幅度的發展再生能源。



圖二：歐洲、中國與美國的再生能源投資變化情形

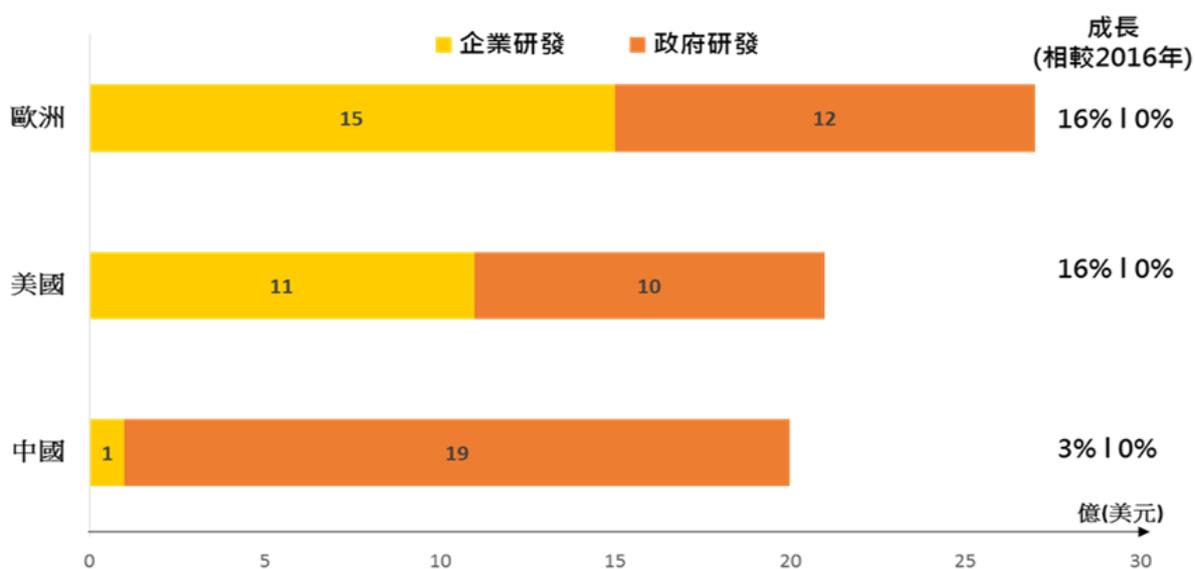
資料來源：Frankfurt School-UNEP Centre，本研究整理

(二) 再生能源主要發展地區的研發投資比較分析

接著，針對全球、歐洲、中國與美國對再生能源研究發展(Research and Development)投資做進一步分析與討論。全球再生能源的研發投資在 2017 年較 2016 年提高了 6%，達 99 億美元，而促成研發投資提高的原因，主要是企業研發(corporate R&D)投資提高了 12%，達 48 億美元，但是政府研發 (government R&D) 投資則是持平狀態，有 51 億美元；相較於 2009 年最高的政府研發投資金額(54 億美金)，2017 年的政府研發投資金額仍低了 6%。儘管，在 2015 年的巴黎氣候高峰會議(Paris Climate Talks)中有 22 個國家政府承諾會加倍投資國家的潔淨能源研究發展，藉以表示到 2025 年全球再生能源研發投資可能達到 100 億美元，但是至目前，尚未看到政府研發投資有成長的數據紀錄。

在整體再生能源研發投資中，太陽能光電研發佔了最大部分，較 2016 年提高了 6%，達 47 億美元；而風能是第二大投資部分，提高 6%，達 19 億美元。

接續對世界主要地區的再生能源研發投資作比較分析，歐洲仍位居領導地位，美國位居第二(詳如圖三)，這是自 2011 年之後，美國的再生能源研發投資首次高於中國。相較於歐洲，中國較低的研發投資並不能表示中國在再生能源研發方面無投入許多努力，因為事實上中國的研發人力成本仍低於歐洲的研發人力成本。並且，對不同的國家地區進行比較分析時，不同國家各依據不同政策在決定有多少的研發項目能有國家的財務支持；再加上，大型科技企業會將研發活動擴散到全球不同地理地區。



圖三：2017 年與 2016 年歐洲、中國與美國的企業與政府 R&D 投資比較

資料來源：Frankfurt School-UNEP Centre，本研究整理

另外，目前已有跡象顯示，美國要達成 2030 年太陽光電發展目標的可能性降低。在 2018 年，美國能源部 (United States Department of Energy) 宣布，由美國前總統 Mr. Barack Obama 在 2011 年開始推動的 Sunshot Program，其中太陽能光電公共設施成本將會減少 72-75%。另外，華盛頓郵報(The Washington Post)報導，隸屬在美國能源部下的能源效率與再生能源辦公室(Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, EERE)，由研究經費所購買的先進交通工具和潔淨能源相關之資源，也將面臨 70%的經費削減，約有 14.5 億美元將會從 2017 年原先預算(20.9 億美元)中被削減。由此可見現任 Trump Administration 並沒有理解 Sunshot Program 對美國再生能源發展的支持與貢獻，以及，該計畫和要成功達成 2030 年再生能源

目標間的關聯。

四、全球再生能源科技的發展

(一) 太陽能源

太陽能製造業持續在提高生產效率方面尋求突破，例如：製造業投資在大型太陽爐(solar furnaces)的使用來改善生產過程，之後將過去五年中原本生產多晶矽(polysilicon)太陽能電池時所需的電力減半。另外一個例子是，製造業改用消耗較少能源的鑽石切割(diamond wire saw)製程來切割晶矽錠(silicon ingot)，形成晶粒(bricks)後，再製成晶片(wafers)。這些製程上的改變讓晶片的生產數目有顯著的增加，並降低成本。

除了大型太陽能製造業持續在提升生產技術外，小型的製造生產商也藉由減少生產過程中的步驟來提高生產效率，例如：美國公司 1366 Technologies，發展能直接從熔融矽(Molten Silicon)生產多晶矽晶片的方法。

工廠自動化也對太陽能製造過程帶來相當大的影響。薄膜太陽能電池(thin-film photovoltaic)製造業者 First Solar，在俄亥俄州 (State of Ohio) 設有工廠，在 2017 年初，因為與中國製造商競爭的關係，已遣散數百名員工並引進自動化生產線，之後，太陽能電池板生產所花費的時間降低了 3.5 小時，而且，製造過程中的耗電量降低到 20 美分/每瓦特。

太陽能製造商也持續改善產品設計，來提高效能和降低成本。例如：在太陽能面板中保持相同電池數目，但增加各個太陽能電池的尺寸，以提高電力輸出。以及，太陽能企業公司與學研機構合作研發高效能太陽能電池，例如：鈍化背接觸式單晶矽太陽能電池(Passivated Emitter and Rear Cells, PERC)，或是開發新材料，例如：無機元素的鈣鈦礦(Perovskite)。

當太陽能板使用期結束時，大部分的太陽能板組件皆能回收，包含 95% 的半導體材料、玻璃、化學聚合物、含鐵或非鐵金屬；國際上已有產業公司與非營利組織，例如：Fist Solar，投入在太陽能板組件回收的工作。在歐盟地區的成功例子有，德國科技公司，Geltz Umwelt-Technologie，自 2016 年起，由 European Commission 的

ELSi project 經費補助初期工作，到 2018 年，該公司已成功在德國建立太陽能板模組回收廠，運用高效節能熱裂解過程(energy-efficient pyrolysis process)分解聚合物層，成功讓玻璃、鋁、銀、銅、錫和矽回復到乾淨狀態。

(二) 風電

主要的研發重點是在生產大型風力發動機(wind turbine)、降低離岸基座結構的成本、和發展浮體式風力發動機(floating turbine)。製造業和發展人員也大量地使用大數據去提升風電設計過程與風場效能。

目前的大型風力發電機是由丹麥 MHI Vestas Offshore Wind 公司所製造的 V164-9.5MW 風機。然而，彭博新能源財經分析仍期待製造商能在 2022 年裝置 10MW 風機，到 2025 年能裝置 13MW 風機。大部分的風機被安置在典型的單樁式(Monopile)或套筒式(Jacket)水下基座；而這些水下基座能透過特殊設計來降低鋼鐵的使用量，進而降低成本。目前，能夠適應深水區域的吸力式(suction bucket)基座設計已被開發，但還尚未商業化。

最尖端的風能科技研發是能支持風力發動機的浮體式離岸風電平台(floating platforms)；在 2017 年，42MW 的浮體風電容量，已被提高到比過去發電容量的 5 倍，並已開始接受委託製作。2017 年是風電發展的指標性一年，原因是挪威國家石油公司 Statoil 發展全球第一座浮體式離岸風電廠，該公司在海上 25 公里的巴肯深淵(Buchan Deep)上安置 30MW 風場，使用蘇格蘭的風力資源來生產再生能源，估計能提供約 20,000 住戶的用電，並從 2017 年 10 月開始供電。挪威國家石油 Statoil 表示，期待到 2030 年浮體式風電的成本能下降到 40-60 歐元/每千度點。

而其他浮體式風電發展商所使用的替代性方式，例如：法國 Ideol 公司上市全球第一具 2MW 浮體式風機 Floatgen，Floatgen 的開發專案有接受歐盟補助，屬於歐盟第七研發架構計畫（7th Framework Programme for Research and Technological Development, FP7）中的一部分；在開發案初期，另一法國公司 Eolink 對 Floatgen 設計進行海上測試，其中包含使用較輕但承受力較強的錐形結構(pyramidal structure)，去取代單一風塔(wind tower)。以及，西班牙尖端風能科

技公司 Saitec Offshore 目前已完成規格 1:35 SATH(Swining Around Twin Hull)的平台測試，該設計主要為解決風電平台上的壓力，以及降低平均電力成本(levelized cost of energy, LCOE)。並且，風電科技中已使用大數據來提高風電單機和電力生產過程的效能，最重要的功能在於提供有預期性的機械維護，例如：熱與震動(vibration)感應器安裝於風力發動機中，所提供的數據可幫助專案人員事先預期機械元件損壞的可能發生時間。

(三) 生質能源、海洋能源與潮汐能源

生質能源(biofuel)科技研發方面仍處於低迷狀況下，僅有極小的成長。例如：在美國，生質能源產業依舊在克服低油價與市場的不確定性，以及法規上的挑戰。

海洋能源(marine energy)所生產的再生能源仍需要再降低研發成本和提高研發成果的可信度，在近幾年，過程中也不斷受到阻礙，原因是公司造成的失誤和在早期研發階段，缺乏投資者能承擔與克服海底設備方面的風險。

潮汐能源(tidal stream)使用科技儀器類似於水下風力發動機從潮流中獲取再生能源，在全球海洋地區國家，如英國、法國、荷蘭和加拿大，已在進行 15MW 的潮汐能專案，其發展進度目前已超越波浪能源(wave energy)。

五、結論

從以上的分析結果與數據佐證，本研究報告找出全球加速再生能源普及化的原因，其各分為對環境的貢獻，對經濟的助益，與對人體健康的益處。而再生能源科技的持續進步、市場競爭性採購與經驗豐富的國際再生能源專案開發商，促使全球許多國家已能夠提供低成本的電力。本研究報告也發現中國目前正進行能源革命，大幅度的發展再生能源，相反地，歐洲降低對再生能源的投資。但是，對再生能源的研究發明投資，歐洲仍居領導地位。在整體再生能源研發投資中，太陽能光電研發佔最大部分，第二大投資部分是在風能。而各國最新的再生能源科技發展皆朝向能準確管控電力生產量且不影響能源來源穩定性的技術方法努力。

參考文獻

1. European Commission (2018) State-of-the-art solar panel recycling plant. Retrieved April 30, 2018 from <https://cordis.europa.eu/project/rcn/202719/brief/en>
2. Frankfurt School-UNEP Collaborating Centre (2018). Global Trends in Renewable Energy Investment 2018. Retrieved April, 2018 from <https://www.uncclean.org/learning-resources/library/20751>
3. Intergovernmental Panel on Climate Change (2011). Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Retrieved May 9, 2011 from <http://www.ipcc.ch/report/srren/>
4. International Energy Agency (2017). World energy outlook 2017: Global shifts in the energy system. Retrieved November 14, 2017 from <https://www.iea.org/weo2017/#section-1>
5. International Renewable Energy Agency (2017). Renewable power generation costs in 2017. Retrieved January 8, 2018 from <http://www.irena.org/publications/2018/Jan/Renewable-power-generation-costs-in-2017>
6. Mooney, C. (2017). Trump's budget expected to massively slash research on renewable energy — and 'clean coal'. *The Washington Post*. Retrieved May 18, 2017 from https://www.washingtonpost.com/news/energy-environment/wp/2017/05/18/trumps-budget-expected-to-massively-slash-research-on-renewable-energy-and-clean-coal/?utm_term=.2cfe3451103b
7. Terrapon-Pfaff, J., Dienst, C., König, J., & Ortiz, W. (2014). A cross-sectional review: Impacts and sustainability of small-scale renewable energy projects in developing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 1-10.
8. Union of Concerned Scientists (2017). Benefits of renewable energy use. Retrieved December 20, 2017 from <https://www.ucsusa.org/clean-energy/renewable-energy/public-benefits-of-renewable-power#references>