

後疫情時代能源轉型與經濟復甦

張嘉玲*

一、環境永續的公約：能源轉型

極端氣候對世界各地的影響持續加劇，近年來乾旱及洪水逐漸成為常態性的天災，2019 年 9 月澳洲大規模的叢林火災，延燒至 2020 年 5 月才結束；2020 年 9 月美國加州的森林野火；2021 年美國亞利桑那州攝氏 47.78 度破紀錄的熱浪；2021 年歐洲大陸土耳其、希臘、義大利及芬蘭等國家森林大火等，皆是氣候危機所造成無可計數天然災害的證據。森林野火伴隨而來的傷害除了人員的傷亡、建物的損毀、森林植被消失之經濟損失外，大火燃燒後所產生的有毒霧霾和溫室氣體，直接影響地球上的動植物及氣候變遷惡化的速度，對經濟環境與人類健康造成的傷害，已影響各地糧食的供給及產業的發展。

為因應全球氣候與環境惡化的危機，2015 年 12 月 12 日全球 196 國於法國巴黎簽訂《巴黎協定》，目標是控制全球氣溫上升不高於工業革命前水準 2°C 以內，期望未來可再達到全球氣溫維持在高於工業革命前水準 1.5°C 以內 (UNFCCC, 2021a)。《巴黎協定》於 2016 年 11 月 4 日開始執行，簽署國家每 5 年須提出一次國家自定預期貢獻 (NDCs)，並提出達成溫室氣體排放減少的長期策略，多數國家設立的目標為 2050 年達成淨零碳排放的目標 (UNFCCC, 2021b)。

目前世界各國主要依循聯合國永續發展會議於 2015 年 9 月通過的「2030 年永續發展議程」，以 17 項永續發展目標 (SDGs) 為核心，呼籲所有國家積極建立夥伴關係，共同促進社會進步、刺激經濟成長、解決氣候變遷問題，並兼顧自然環境之保護 (UNDESA, 2021)。

此外，歐盟執行委員會於 2019 年 12 月 11 日提出《歐洲綠色政綱》(The European Green Deal) 以作為歐盟達成永續目標的藍圖，預計在 2022 年前推行 50 項政策，並期望在 2050 年歐洲成為世界上第一個氣候中和型大陸。歐洲綠色政綱的三大目標為：(1) 2050 年達到溫室氣體「淨零排放量」；(2) 降低經濟成長與資源使用間的關聯；(3) 不讓任何人和地區被排除在達成目標的藍圖外。

* 國立中興大學應用經濟學系特聘教授 (財務金融學系合聘教授)

二、能源轉型的關鍵：技術成本的下降與需求上升

以經濟投資的角度看可再生能源的優勢在於可再生能源的建造週期可以在幾個月內完成，相對於一座核電站需要幾十年的建造時間，可再生能源的資金投入及時間成本相較有彈性。除了從成本的優勢評估能源轉型外，對於偏遠無法獲得主電網電力供給的地區，再生能源技術可提供彈性優勢滿足當地的電力需求，節省龐大的資本建設成本且兼顧環境保護。

國際可再生能源機構（IRENA）指出驅動可再生能源發電成本下降的原因，主要包含穩定的科技進步、經濟規模的改變、競爭的供應鏈及開發者的經驗累積。IRENA 公布可再生能源的發電成本數據，除了地熱、水能的總安裝成本及發電均化成本些微上升以外，生質能、太陽能、風能皆明顯的下降。太陽能及風能的發電均化成本甚至已經達到化石燃料發電成本區間的中低區段（如表一與圖一所示）。

容量因素數值越高表示發電設備的穩定性越高，從表一中可以看出，水能、太陽能及風能的容量因素皆有逐年上升的趨勢，以聚光太陽能熱發電及陸上風力發電的上升最為顯著。IRENA 也指出太陽能及風能的發電成本幾乎與某些較不具永續性與價格低廉的燃煤發電廠接近，且燃煤電容量的整體成本比最新技術的太陽能發電模板及陸上風力發電整體成本多出 0.005 元美金／每千瓦小時，若將這些價格低廉且較不具永續性的燃煤發電廠替換掉，估計節省約 320 億元美金，二氧化碳排放量每年減少約 30 億噸。

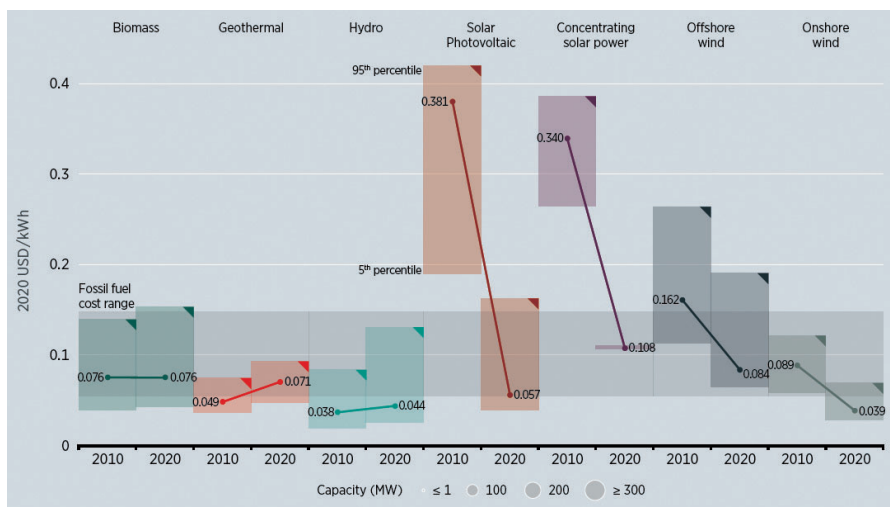
歐盟 2019（2020）年再生能源占總能源生產約 27%（38.1%），主要來源為風能及水能，化石燃料占總能源生產約 34%（37%）。再生能源發電的產量從 2010 年 600 兆瓦／小時增加至 2020 年 1,053 兆瓦／小時，2020 年更是首次超越化石燃料的產量，多出約 30 兆瓦／小時。歐盟在化石燃料的消費上，除了天然氣以外，石油產品、褐煤及無煙煤自 2019 年開始皆有顯著的下降且 2020 年較 2019 年同時期還低（Eurostat, 2020, 2021a, 2021b）。

美國 2019（2020）年再生能源占總能源生產約 17.6%（19.8%），主要來源為風能及水能，化石燃料占總能源生產約 62.8%（60.3%）。再生能源發電的產量從 2010 年 0.427 兆瓦／小時增加至 2020 年 0.792 兆瓦／小時，且為 2020 年所有能源中唯一較 2019 年增加者，2020 年化石燃料發電的產量則約 2.427 兆瓦／小時。美國在化石燃料的消費上，煤炭、天然氣和石油自 2007 年以來有緩慢下降的趨勢，2019 年至 2020 年間石油呈現顯著的下降，2020 年美國的化石燃料消費是近 30 年來最低的一次，較 2019 年相比減少約 9%（EIA, 2021a, 2021b, 2021c, 2021d）。

表一：再生能源的發電成本變化

	總安裝成本 (Total installed costs)			容量因素 (Capacity factor)			發電均化成本 (LCOE)		
	2020 USD/kW			%			2020 USD/kWh		
	2010	2020	△ %	2010	2020	△ %	2010	2020	△ %
生質能 Biomass	2,619	2,543	-3%	72	70	-2%	0.076	0.076	0%
地熱 Geothermal	2,620	4,468	71%	87	83	-5%	0.049	0.071	45%
水能 Hydro	1,269	1,870	47%	44	46	4%	0.038	0.044	18%
太陽能發電 模板 Solar photovoltaic	4,731	883	-81%	14	16	17%	0.381	0.057	-85%
聚光太陽能 熱發電 Concentrating solar power	9,095	4,581	-50%	30	42	40%	0.340	0.108	-68%
陸上風力發電 Offshore wind	1,971	1,355	-31%	27	36	31%	0.089	0.039	-56%
離岸風力發電 Onshore wind	4,706	3,185	-32%	38	40	6%	0.162	0.084	-48%

資料來源：IRENA (2021a)，△ %：變動率。



資料來源：IRENA (2021a)

圖一：再生能源的發電均化成本之變化

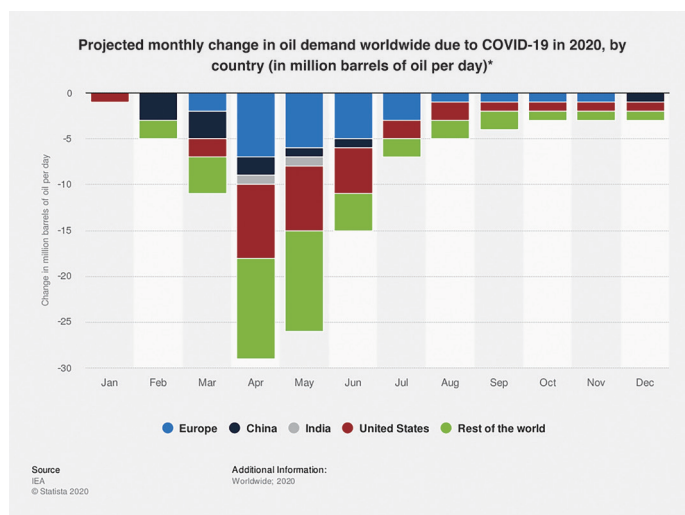
三、後疫情時期能源需求的變化

2019 年底新型冠狀病毒（COVID-19）重創全球經濟，油價下跌化石燃料公司的利潤下降，為補救失業及保護現有的能源與技術，多國政府仍以補助化石燃料為優先考量。國際能源署（IEA）公布 2020 年 4 月美國石油需求平均減少約 800 萬桶／每日，並預測在 2020 年下半年，石油需求將會恢復（如圖二）。

全球能源需求變化各地區表現也不盡相同，美國和歐盟對可再生能源的需求增加，同時降低石油、煤炭、天然氣的石化能源需求。相較於歐美，中國可再生能源需求增加幅度較大，原因可能與中國政府的電價補貼政策有關，但預計 2021 年後中國政府取消電價補貼優惠，可再生能源需求增加幅度將相對降低（如圖三）。

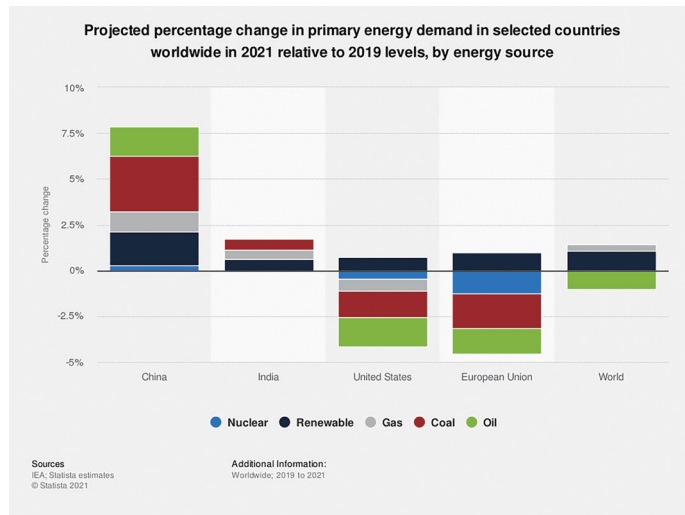
世界氣候及能源智能團 Ember 亦指出可再生能源是 COVID-19 疫情期間發電量成長的唯一能源，風能和太陽能發電量同比增長 15%，相比之下，煤炭發電量下降了 3.8%。總體而言，全球電力需求同比僅下降 0.1%（如圖四）。

新型冠狀病毒的爆發，激發人類活動與自然環境間的平衡議題之重視，為預防人類未來遭遇比 COVID-19 更嚴峻的全球氣候變遷危機，歐盟執行委員會將「推行再生能源發展」與「降低化石燃料使用意願」視為後疫情時代帶動經濟復甦的產業政策，除了加快能源轉型的步調外，也將整體社會恢復力（resilience）視為重要的政策目標（European Parliament, 2020; European Commission, 2021）。



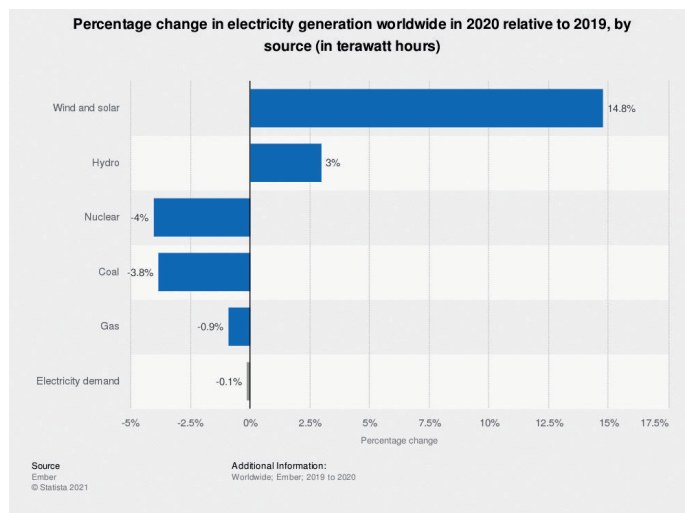
資料來源：Statista (2021a)，* 預測值。

圖二：2020 年 COVID-19 期間石油需求之變化



資料來源：Statista (2021b)

圖三：2021 年後疫情時期 COVID-19 期間石油需求之變化



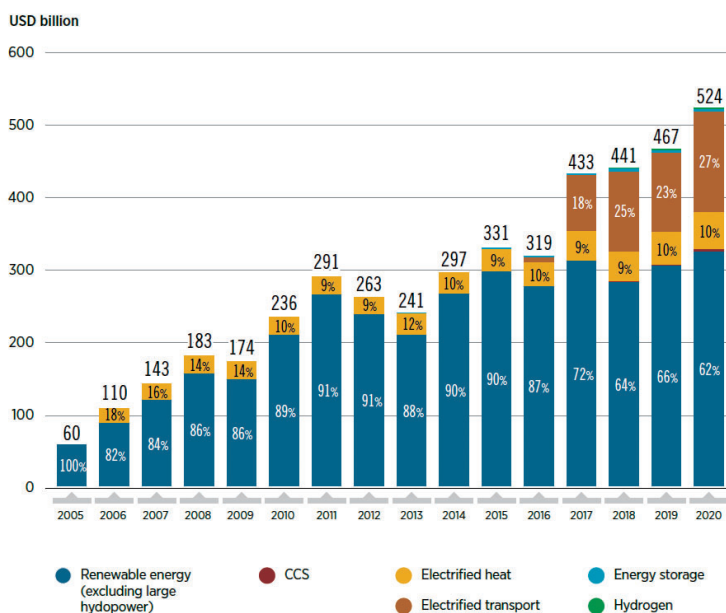
資料來源：Statista (2021c)

圖四：COVID-19 期間石油需求之變化

四、後疫情時代的能源投資

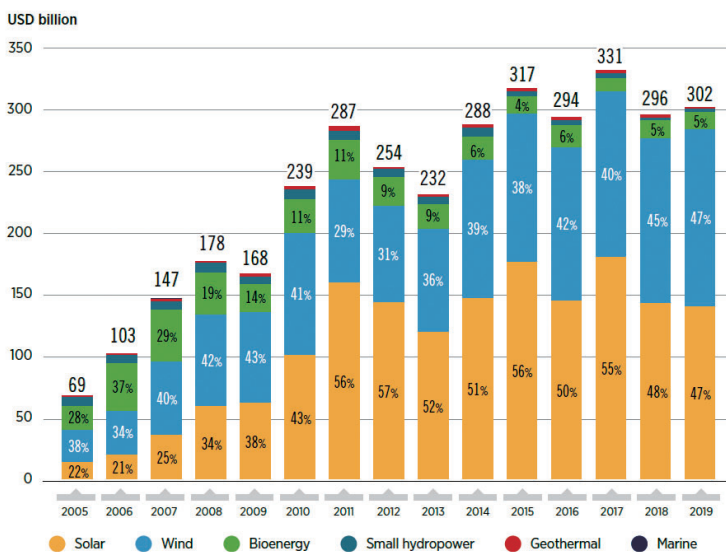
國際可再生能源機構 (IRENA) 指出全球雖受到新型冠狀病毒 (COVID-19) 爆發的影響，2020 年全球能源轉型技術的投資總額仍創歷史新高。雖然再生能源技術投資金額 2020 年達到 5,240 億元美金，但占比卻有下降的趨勢，原因是其他型態的能源轉型技術逐漸受到重視，包含電熱、電力傳輸、能源儲存、碳

捕捉與封存技術（CCS）及氫燃料。全球再生能源 2020 年投資金額約 3,200 億元美金，以太陽能及風能技術的投資為主，二者加總的投資金額皆超過總再生能源投資 90% 的占比（如圖五及圖六）。



資料來源：IRENA (2021b)

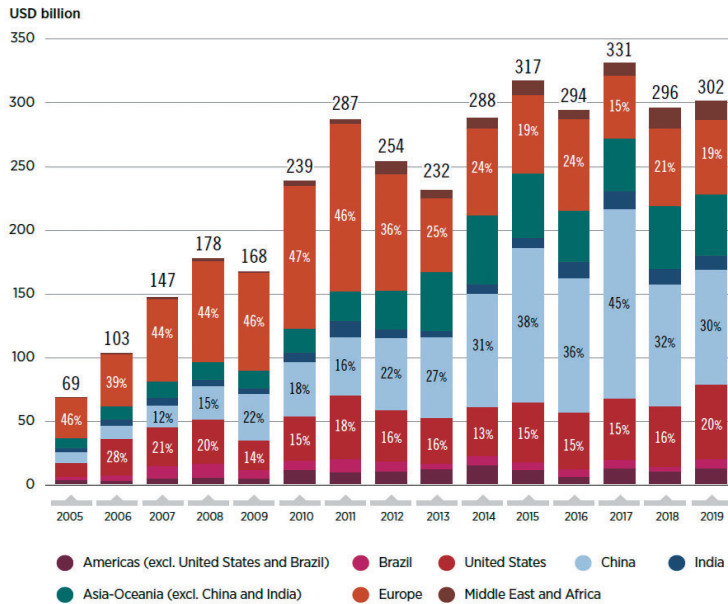
圖五：全球 2005-2020 年能源轉型技術投資金額



資料來源：IRENA (2021b)

圖六：全球 2005-2019 年再生能源投資金額

全球再生能源的投資雖呈現穩定的成長，但卻集中在特定的區域及國家，中國及印度是目前再生能源投資占比最高的區域，2005 年至 2019 年平均占比約 55%；其次為歐盟，平均占比約 20%；第三高為美國，平均占比約 16%；其他主要以開發中及新興國家，例如：非洲、中東及南美洲地區，平均僅占比約 15%，並沒有顯著提升的現象（如圖七）。



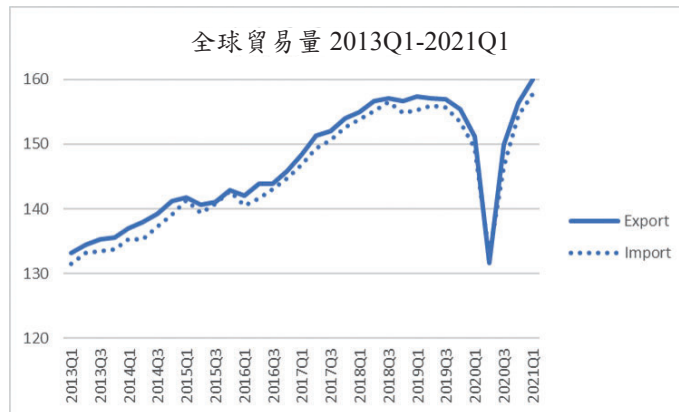
資料來源：IRENA (2021b)

圖七：全球 2005-2019 年以地區分類之再生能源投資金額

聯合國亞洲及太平洋經濟社會委員會也強調 COVID-19 的疫情擴散使亞太地區私部門面臨供應鏈中斷、現金流量下降及政府政策方向不確定性增加的窘境，進而造成整體亞太地區的再生能源投資下降且降低亞太地區達成聯合國永續發展目標 7 (SDG 7)「人人可負擔之永續能源」的進度 (UNESCAP, 2021)。

五、後疫情時代的經濟復甦

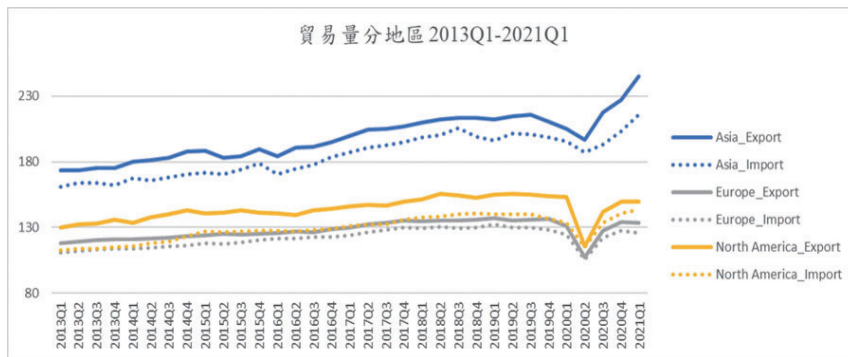
如圖八所示，全球商品貿易出口量從 2013 年第一季至 2019 年第三季間都呈現穩定上升的趨勢，COVID-19 疫情爆發，世界各國實行邊境管制和旅遊限制影響各地的進出口，全球貿易出口量下跌至 2013 年的水準。2020 年底隨著疫苗施打率提高及重大財政政策支持，全球貿易出口量於 2020 年第四季激增，恢復至疫情爆發前的水準。



資料來源：WTO data, Indices, 2005=100，本研究繪製。

圖八：全球商品貿易進出口量

亞洲地區經濟受疫情的影響相對較小，2020年第三季至2021年第一季出口量增長為10.41%及7.83%；進口量於2021年第一季創下歷史新高，高達6.19%。歐洲2020年第三季出口成長率為18.79%；2020年第三季進口成長率為15.97%。北美2020年第三季出口成長率為22.37%；2020年第三季進口成長率為16.19%（如圖九）。



年	Export				Import			
	2020	2020	2020	2021	2020	2020	2020	2021
季	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1
全球	-12.84	13.82	4.27	2.37	-11.11	10.32	5.39	2.2
北美	-24.46	22.37	5.50	0.07	-14.06	16.19	5.39	2.27
南美	-6.10	4.26	0.09	0.19	-12.49	0.20	17.22	7.01
歐洲	-17.88	18.79	4.93	-0.30	-15.37	15.97	4.51	-1.57
亞洲	-4	10.41	4.55	7.83	-4.35	3.26	5.39	6.19

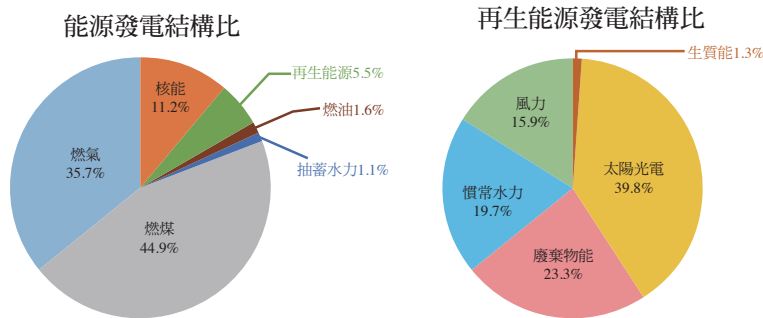
資料來源：WTO data, Indices, 2005=100，本研究繪製。

圖九：地區商品貿易量（季節調整）

六、臺灣可再生能源政策與目標

臺灣能源發展以能源安全及滿足民生基本需求為主要目標。根據經濟部能源局《109 年能源統計手冊》的資料，臺灣能源 98% 以上仰賴進口，對化石能源依存度高，近年來因應全球暖化策略，能源轉型朝向減煤、增氣、展綠、非核之潔淨能源發展方向為規劃原則，確保電力供應穩定，並兼顧空汙及減碳之降低。

根據能源局《109 年能源統計手冊》的資料，2020 年再生能源占總能源生產約 5.5%，風能、水能、太陽能、生質能及廢棄物能為主要再生能源發展項目。臺灣目前再生能源發電，以太陽光電占比最高 39.8%，廢棄物能第二 23.3%，慣常水力第三 19.7%，風力第四 15.9%。化石燃料以燃煤（44.9%）及燃氣（35.7%）為主（如圖十）。經濟部訂定 2025 年達到再生能源占總發電比 20% 的政策目標，預計 2025 年太陽能裝置容量達到每小時 200 億瓦及離岸風力裝置容量達每小時 57 億瓦以上。

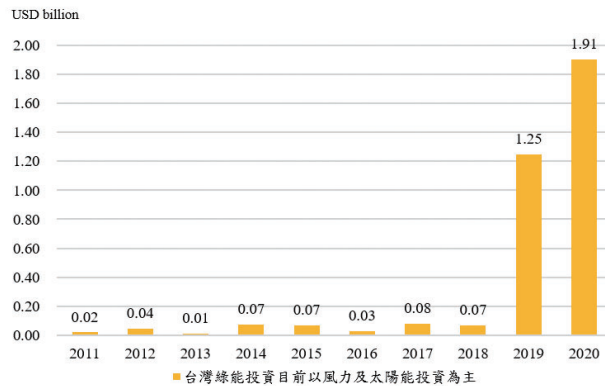


資料來源：能源局，本研究繪製。

圖十：臺灣2020年發電及再生能源結構比

臺灣綠能投資主要以太陽能、風電及沙崙綠能科學城等相關研發為主，2017-2021 年總共投入新臺幣 207.85 億元特別預算，透過「綠能科技產業創新方案」，吸引國內外頂尖大型廠商來臺投資，帶動國內相關綠色產業發展與創新。近年僑外投資臺灣綠能產業持續增加，2020 年核准金額更高達約 19.1 億美元，年增率為 52.8%（如圖十一）。

為達成能源轉型減少空氣汙染的目標且考量天然氣占總發電比例將達到 50% 的現況，我國政府擬將工業用鍋爐設備從燃燒煤、重油改用天然氣能源的比例逐漸提升，此將使國內天然氣用量大幅成長。臺灣於 2025 年前未規劃新擴建任何燃煤機組，燃煤機組除役後，改建為燃氣機組。



資料來源：中華民國經濟部，本研究繪製。

圖十一：2011 年至 2020 年僑外對臺灣綠能投資額

七、結語

近幾年全球氣候惡化對經濟與環境的災害已經為常態性的天災，過度倚賴化石燃料無疑增加一國經濟、環境與政治的風險。可再生能源誕生於 1970 年代的石油危機，當時能源價格非常高，因此驅使替代能源的開發。工業革命後各國追求經濟成長，高度依賴化石燃料及燃燒炭煤，二氧化碳排放經年累月持續累積，造成溫室效應使得地球平均氣溫逐年上升。聯合國政府間氣候變化專門委員會 (IPCC) 於 2021 年 8 月 9 日指出 2030 年平均氣溫上升將超過攝氏 1.5°C，比 2018 年 Global Warming of 1.5°C 特刊預測溫度上升的時間提早十年。

COVID-19 造成的邊境管制與旅遊限制使全球貿易出口量大幅下跌至 2013 年的水準，後疫情時代隨著各國疫苗施打率的提高及各國政府重大財政政策的投入，使得全球貿易出口量於 2020 年第四季激增，貿易進出口量甚至恢復至疫情爆發前的水準。

新型冠狀病毒激發人類重視社會與環境平衡的議題，為預防人類可能遭遇比 COVID-19 更嚴峻的氣候危機，歐盟執委會將整體社會恢復力 (resilience) 視為重要政策目標，後疫情時代將成為全球加快能源轉型及推動可再生能源促進經濟成長的最佳時機。全球可再生能源的投資比例將預測持續增加，能源轉型投資對經濟成長的重要性將更加緊密。為了地球的永續發展，我們必須將化石燃料能源變成昂貴的能源，將汙染、環境與健康之外部成本內生化到能源定價上，如此可再生能源價格將比化石能源便宜。

參考文獻

- EIA. (2021a). What Is U.S. Electricity Generation by Energy Source? United States Energy Information Administration. Retrieved from <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=427&t=3>(accessed August 2, 2021)
- EIA. (2021b). Electricity in the United States. United States Energy Information Administration. Retrieved from <https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/electricity-in-the-us.php>(accessed August 2, 2021)
- EIA. (2021c). U.S. Energy Facts Explained. United States Energy Information Administration. Retrieved from <https://www.eia.gov/energyexplained/us-energy-facts/>(accessed August 2, 2021)
- EIA. (2021d). U.S. Fossil Fuel Consumption Fell by 9% in 2020, the Lowest Level in Nearly 30 Years. United States Energy Information Administration. Retrieved from <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=48596>(accessed August 2, 2021)
- European Commission. (2021). Recovery Plan for Europe. Retrieved from https://ec.europa.eu/info/strategy/recovery-plan-europe_en(accessed August 2, 2021)
- European Parliament. (2020). Opportunities of Post COVID-19 European Recovery Funds in Transitioning towards A Circular and Climate Neutral Economy. European Commission. Retrieved from [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document.html?reference=IPOL_BRI\(2020\)658186](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document.html?reference=IPOL_BRI(2020)658186)(accessed August 2, 2021)
- Eurostat. (2020). Wind and Water Provide Most Renewable Electricity. European Commission. Retrieved from <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/DDN-20200129-1>(accessed August 7, 2021)
- Eurostat. (2021a). Renewable Energy Largely Spared from Pandemic Effects. European Commission. Retrieved from <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20210629-1>(accessed August 2, 2021)
- Eurostat. (2021b). What A Difference A Year Makes - Impact of COVID-19 Pandemic on EU Energy Supply in 2020. European Commission. Retrieved from <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20210506-1>(accessed August 2, 2021)
- IRENA. (2021a). Renewable Power Generation Costs in 2020. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.
- IRENA. (2021b). World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway, Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.
- Statista. (2021a). Projected Monthly Change in Oil Demand Worldwide due to COVID-19 in 2020. Retrieved from <https://www.statista.com/statistics/1118002/change-in-oil-demand-globally-by-country/>(accessed August 5, 2021)
- Statista. (2021b). Projected Percentage Change in Primary Energy Demand in Selected Countries Worldwide in 2021 Relative to 2019 Levels. Retrieved from <https://www.statista.com/statistics/1243592/change-in-primary-energy-demand-globally-by-fuel-and-country/>(accessed August 5, 2021)
- Statista. (2021c). Percentage Change in Electricity Generation Worldwide in 2020 Relative to 2019. Retrieved from <https://www.statista.com/statistics/1243434/electricity-generation-percent-change-worldwide-by-source/>(accessed August 5, 2021)
- UNDESA. (2021). The 17 Goals. United Nations. Retrieved from <https://sdgs.un.org/goals> (accessed August 8, 2021)

- UNESCAP. (2021). Shaping a Sustainable Energy Future in Asia and the Pacific: A Greener, More Resilient and Inclusive Energy System. New York City: United Nations.
- UNFCCC. (2021a). The Paris Agreement. United Nations Framework Convention on Climate Change. Retrieved from <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>(accessed August 7, 2021)
- UNFCCC. (2021b). Communication of Long-term Strategies. United Nations Framework Convention on Climate Change. Retrieved from <https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/long-term-strategies>(accessed August 7, 2021)