

出國報告（出國類別：進修）

赴美國加州大學柏克萊分校進修

服務機關：國家發展委員會

姓名職稱：蔡亞諭科員

派赴國家：美國

出國期間：112年6月20日至112年8月11日

報告日期：112年11月2日

摘要

本次承蒙長官推薦及許可，奉派至美國加州大學柏克萊分校（UC Berkeley）進行二個月短期進修，大量汲取經濟理論知識、蒐集國外綠色轉型資料，有助提升個人專業知識外，並同時拓寬國際視野。藉由本次出國進修，探討當前全球再生能源轉型現況、主要國家綠色轉型相關政策，進而從中汲取可供我國借鏡之處。面對未來轉型挑戰，討論我國具體政策以及因應措施。根據本次研究謹提出建議包括：完善氣候政策提升能源自主、鼓勵釋放充沛民間資金、加快脫碳進展、尋求關鍵礦物多元化來源，以及建構新世代智慧電網等。

目 次

壹、進修目的.....	1
貳、進修過程.....	2
一、暑期課程概要.....	2
二、課程內容.....	2
參、全球能源轉型對國際經貿影響.....	4
一、當前能源轉型情勢分析.....	4
二、主要國家綠能轉型相關政策.....	8
三、未來轉型面臨挑戰.....	12
四、我國淨零轉型推動策略與因應措施.....	15
肆、心得與建議.....	19
一、心得.....	19
二、結論與建議.....	19
參考文獻.....	22

壹、進修目的

一、加州大學柏克萊分校簡介

加州大學柏克萊分校 (University of California, Berkeley, UC Berkeley) 位於美國加州舊金山灣區東北部的柏克萊市 (Berkeley)，屬於公立研究型大學，亦為加州大學系統之創始大學。該校創辦於 1868 年，迄今已近 200 多年歷史。該校於泰晤士高等教育期刊 2023 全球大學排名第 8、美國公立大學中排名則居首位。UC Berkeley 具相當豐沛教學資源，不僅學術成就卓越，更是培育出許多傑出專業人士、研究人員及政府官員。截至 2020 年 10 月止，畢業校友中共有 110 位諾貝爾獎得主，45 位麥克阿瑟獎，與 19 位普立茲獎等得主。

二、UC Berkeley 暑期學分班簡介

UC Berkeley 每年 6 至 9 月均開辦暑期學分班 (UC Berkeley Summer Sessions)，除提供該校大學部、研究所學生利用暑假加修學分外，亦開放美國各州及世界各地大學學生，以及在職進修之社會人士進行短期研習。暑期學分班提供經濟、資訊科技、商業、生物醫療、化學、歷史、藝術、語文...等領域專業課程提供進修。其中，在經濟領域方面，該校提供進階個體經濟、氣候變遷經濟、心理經濟、計量經濟學等多元化課程。有鑑於本處業務主要為經濟議題研究及經濟政策研擬，爰本次進修領域與經濟類相關。

三、進修目的

面對地緣政治緊張、極端氣候加劇，加速全球再生能源發展。隨著各國加快淨零轉型步伐，可預見世界競逐綠色轉型關鍵原物料將更趨激烈。惟目前綠色金屬產量高度分布不均，前十大礦產國占全球礦產比重超過 75%，且部分集中於巴西、中國、剛果等民主脆弱國家。加以貿易保護主義興起、地緣政治衝突升溫等風險，恐造成供應鏈瓶頸，進而危害一國之經濟安全。

臺灣在能源方面長期高度依賴進口，且政府有義務確保國內關鍵礦物供給，強韌脫碳相關技術等供應鏈安全。透過本次出國研習綠能轉型對經貿與社會之影響，與國際專業人士學術交流，進而提出建議提供施政參考，於全球新局勢中把握關鍵地位。

貳、進修過程

一、暑期課程概要

本次參加 UC Berkeley 暑期學分班共計 8 週，依規定必須修習至少 8 學分，選修課程為進階個體經濟學以及心理與經濟學，共計 8 學分。教師授課內容除專業知識外，亦安排每周學生參與討論課，藉此鼓勵學生思考與交流。因此，課餘時間需準備作業、閱讀筆記與教授提供的資料等，以下概述本次學習內容重點。

二、課程內容

(一) 進階個體經濟學

本門課程奠基於消費者理論、生產與成本理論與市場等概念再進行延伸。探討消費者、生產者、成本理論時，教授於課堂會用數學證明公式由來，鼓勵學生理解背後含意，而非純背誦公式；市場部分介紹完全競爭、獨占、差別取價 (price discrimination)、寡占 Bertrand、Cournot 模型理論等；賽局理論藉由範例講解優勢策略、Nash 均衡，以及如何尋求策略組合及均衡點等基本觀念，並透過與學生互動問答介紹何為囚徒困境。

此外，教授會於課堂中，針對當天講述概念進行 5 分鐘小測驗，請每位學生利用各自電子設備作答，並將答案統一回傳至系統，同時當作出席點名。每周亦有安排討論課以及計算題作業，檢視學生對於觀念掌握度，並鼓勵同儕間思想交流、激發不同想法。

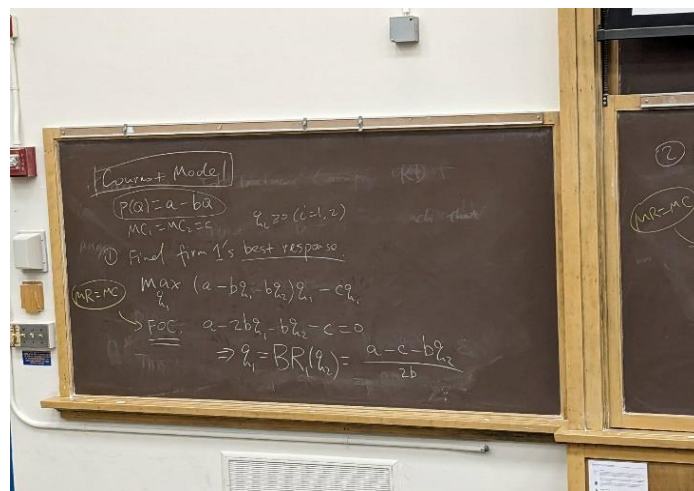


圖 1 進階個體經濟學上課情形

(二) 心理與經濟學

本堂課教授人類心理因素如何影響消費者決策，其最大意義在於並非否定傳統經濟學，而是嘗試更加完善其原有架構。過去經濟模型多半假設人是理性的，但現實社會中人並非往往在理性情況下做出選擇，產生模型無法解釋的反常現象(Anomalies)，因而促使行為經濟學(Behavioral economics)問世。此學科結合經濟與心理學，探討社會環境、認知、情感因素，形成個人及團體經濟決策之原因，從而了解市場運作與公共選擇。儘管如此，長期而言人們會逐漸修正自己的行為，形同於趨向理性思考，因此長遠來看傳統經濟學仍有用，但行為經濟學更能解釋短期決策行為。

課堂中論述觀點包含損失趨避(Loss aversion)、心理帳戶(Mental Accounting)、框架效應(Framing Effect)等。其中印象最深刻的是，傳統經濟學透過無異曲線與預算線可找出消費者最適組合。然而心理帳戶理論稱，現實中當人們獲得一筆錢財，依據其來源可能最終導致不同的決策結果，舉如透過勞動賺取的所得，在使用上會再三斟酌，可同樣金額的錢若是透過樂透獲得，相較於勤勞所得，人們更趨向於恣意花費，最終導致相同金額卻購買不同數量，出現無法用傳統模型解釋的現象。

行為經濟學範疇除金融、行銷領域外，目前在政策上也被廣泛應用，舉如英國政府利用「輕推理論¹」實驗，藉此實際提高納稅率；日本環境省主導輕推減碳計畫，雖仍在實驗階段，惟建議提出後2個月確實達到節能減碳效果。特別是當前我國政府致力於淨零減碳永續發展，若能善用其原理，有助於大幅提升政策成效，加速邁向永續社會。

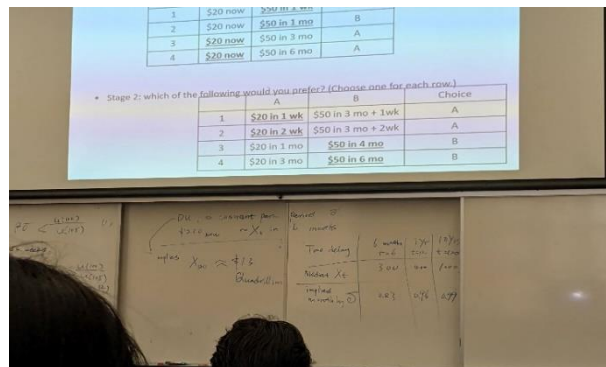


圖 2 心理與經濟學上課情形

¹ 輕推理論 (Nudge Theory) 係指運用適度誘因或鼓勵、提醒等方式，在不被受試者察覺情況下改變其決策行為。

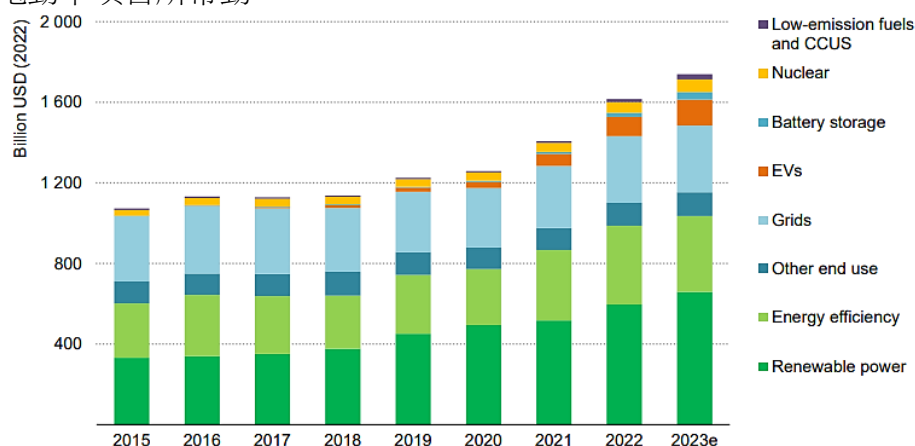
參、全球能源轉型對國際經貿影響

一、當前能源轉型情勢分析

(一) 綠色轉型投資逆勢成長

1. 再生能源及電動車快速發展

面對俄烏戰爭引發能源危機，經濟活動呈現放緩，惟 2021 年起清潔能源投資速度明顯加速。IEA 預測，2023 年全球清潔能源投資成長率有望達 24%，總額高於 1.7 兆美元以上，主要以太陽能為首的再生能源以及電動車項目所帶動。



圖一、2015-2023 年(預估)各項清潔能源投資金額

資料來源: IEA, World Energy Investment 2023, May 2023

2. 資金來源於非能源部門比例提高

近十年來約有 70% 再生能源跨國併購，係來自從事能源生產外產業如金融業控股公司等²，舉如：2018 年荷蘭註冊集團 Ingka Holding 旗下之宜家(IKEA)家具零售商，透過購買一座風電場為 30 間宜家商場提供電力，擴大再生能源投資，同時有助於減少碳足跡排放。

(二) 轉型所需關鍵礦物需求強勁

由於全球加速對清潔能源部署，助長太陽能、電動車等低碳和零排放技術所需關鍵礦物需求。IEA 報告顯示，在強勁需求、價格高昂等因素帶動下，過去 5 年市場規模增加一倍至 2022 年的 3,200 億美元。其中，2017

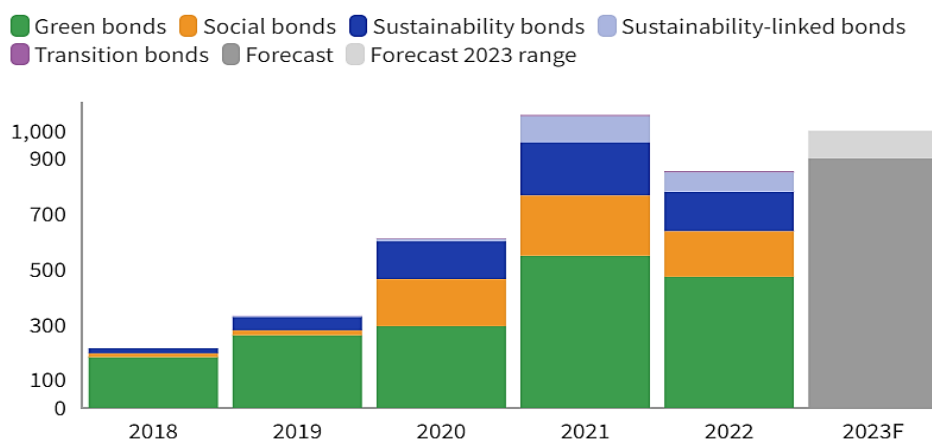
² OECD, Trends, investor types and drivers of renewable energy FDI, November 2022

年至 2022 年間，鋰礦整體需求呈三倍成長，鈷需求暴增 70%，鎳需求攀升 40%。³

(三) 永續債券發行量增加

1. 2023 年債券發行量預計恢復成長

2022 年面對全球金融環境緊縮、地緣政治升溫，以及經濟前景不明朗等情況下，債券發行數量出現停滯。隨著經濟持續復甦，S&P Global 預測 2023 年全球債券發行總量預計成長 2.5%⁴，其中綠色、社會、永續和與永續發展相關債券(Green, social, sustainability and sustainability-linked bonds, GSSSB)發行量預計可達 9,000 億至 1 兆美元，佔所有發行債券 14%-16%。



圖二 2018-2023 年(預估)全球 GSSSB 債券發行量

資料來源: S&P Global, Sustainable bond issuance will return to growth in 2023, March 2023

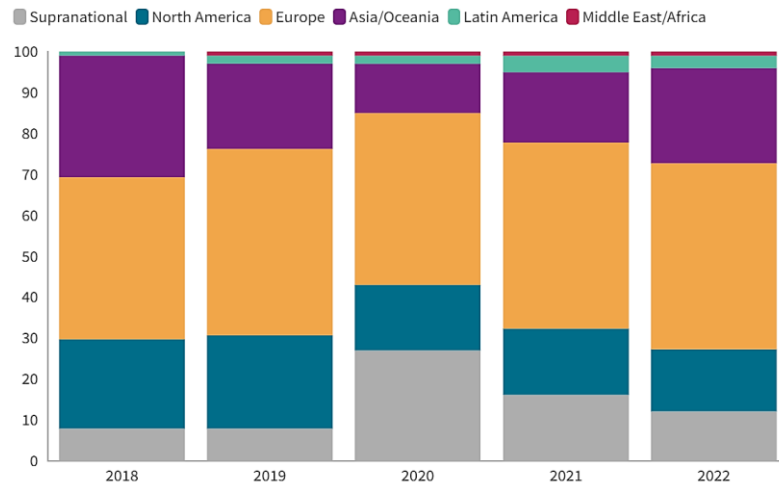
2. 歐洲地區發行量處於主導地位

以地區觀之，受惠於德國、義大利、英國、法國和奧地利等國大量發行綠色債券，2022 年歐洲發行量處於領先地位；亞太地區隨著中國、日本、韓國等國持續推動脫碳，預計發行量亦持續成長；至於北美地區受利率上升，以及投資者對可持續發展連結債券 (Sustainability-Linked Bond, SLB) 有效性存疑影響，發行量出現下降。惟《通貨削減法案》提供之稅收抵免，有望帶動非金融企業發行量反彈，促使 2023 年 GSSSB 恢

³ IEA(2023), "Critical Minerals Market Review 2023"

⁴ S&P Global(2023), "Sustainable bond issuance will return to growth in 2023"

復成長。

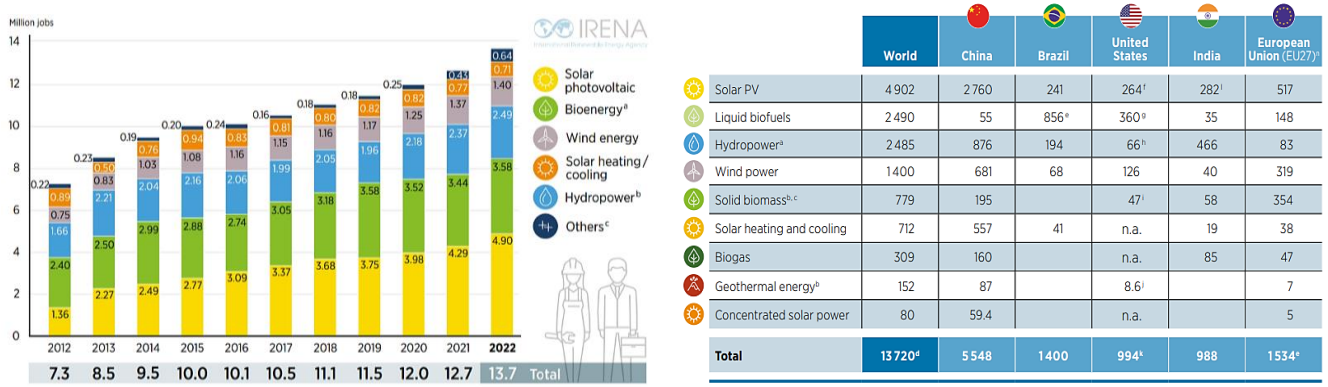


圖三、2021年、2022年各地區GSSSB發行量比率

資料來源：S&P Global, Sustainable bond issuance will return to growth in 2023, March 2023

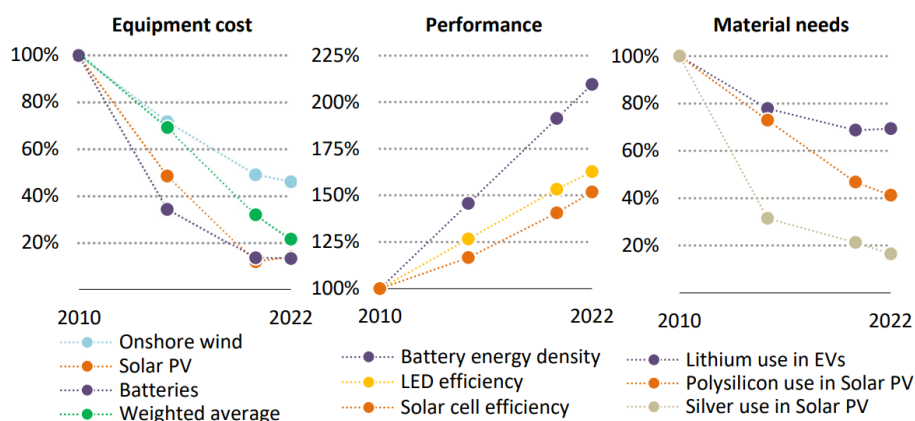
(四) 再生能源相關職缺擴大

過去十年內，全球再生能源就業人數呈擴大趨勢。2022年全球再生能源就業人數約13.7百萬人次，較2021年12.7百萬人增加，主要成長為太陽能、生質能、水力和風力發電等方面的相關職缺。以國家觀之，約三分之二就業機會位於亞洲，且在設備製造與安裝技術領先國家中，以中國佔比(40.4%)最高，其次為歐盟(11.2%)及巴西(10.2%)。



(五) 清潔能源轉型成本大幅下降

受惠於清潔能源技術取得巨大進步，以及製造規模經濟等因素，過去十年設備成本以及所需原物料投入量呈下行趨勢，效能表現亦大幅提升。其中，清潔能源技術如太陽能光電、風能、熱泵和電池等成本累計下降近 80%。

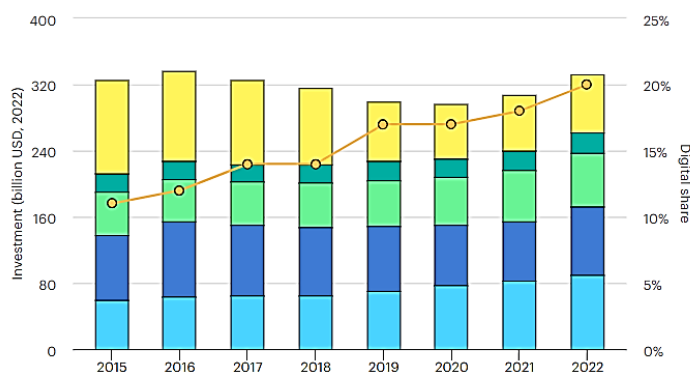


圖四、清潔能源設備成本、效能與原料投入量變化率

資料來源:IEA, Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach, September 2023

(六) 加速智慧電網佈局

隨著全球加快對電網投資，舉如歐盟預計 2030 年底對電網投資 6,330 億美元、日本去(2022)年宣布成立 1,550 億美元基金，鼓勵投資新電網技術，並重點關注於智慧電網以及區域電網間連接順暢等，2022 年電網投資較 2021 年成長 8%。惟 IEA 指出，如欲在 2030 年步入 NZE 軌道，電網投資平均每年需要約 6,000 億美元，約目前投資水準兩倍。



圖五、近十年各地區電網投資金額及成長比率

資料來源:IEA, Smart Grid Overview

二、主要國家綠能轉型相關政策

為應對氣候變遷及加速完成 2050 年淨零轉型目標，各國紛紛祭出一系列綠色轉型戰略，透過借鑑他國作法有助於提供我國研擬相關政策，以下將政策重點摘述如次：

(一) 美國通膨削減法案 (Inflation Reduction Act)

美國總統拜登於 2022 年 8 月簽署《2022 降低通膨法案》(The Inflation Reduction Act of 2022)，盼以租稅扣抵、獎勵與補貼等方式，鼓勵綠色能源發展，進而降低高油價引發之通膨。政策主要包含強化基礎環境、提高財政誘因促進投資、人才培訓與國際合作等。

1. 促進能源基礎設施升級

透過能源基礎設施再投資(EIR)計畫，協助重新利用或升級已停止運營或仍在運營的能源基礎設施，包括碳捕捉、利用和封存 (CCUS)等。此外挹注 120 億美元資金至能源部，擴大能源貸款擔保計畫規模。美國財政部今(2023)年 8 月稱該法案已吸引超過 250 件投資計畫(約 5,000 億美元)，其中將近 150 件計畫案(約 2,000 億美元)，投入潔淨能源、電動車和電池領域。

2. 加強在職培訓與培育人才

擴大註冊學徒制，為符合現行工資標準並僱用足夠比例合格學徒的風能、太陽能、儲能和其他可再生能源項目企業提供高達 30%稅務抵免。透過激勵措施推動投資，預計在未來十年內為能源和相關製造業提供超過 100 萬個就業機會⁵。

培育人才方面，美國能源部 2022 年 12 月宣布撥款 250 萬美元，在大學開展培訓項目，研究開發將天然氣轉為高價值產品的技術，並促進 STEM 人才培育(如補助北達科他大學研究將伴生石油氣轉換為零碳氫氣)。

⁵ U.S. Department of The Treasury(2023), "FACT SHEET: How the Inflation Reduction Act's Tax Incentives Are Ensuring All Americans Benefit from the Growth of the Clean Energy Economy"

3. 促進民間對綠色產業投資

投資設備成本之稅賦減免(ITC)比例由 26%提高至 30%，並延長至 2032 年，2033 年後將逐步降低。若滿足特定比例於美國製造，則可再獲得最高 10%額外抵減；提高再生能源生產稅收抵免 (PTC) 稅率至每千瓦時 2.6 美分，綠色製氫則給予每公斤 3 美元的抵免，並將依通貨膨脹率進行調整。

4. 鼓勵民眾消費綠色產品

民眾若購買符合條件之新電動汽車，最高可獲 7,500 美元稅收抵減，二手電動車則為 4,000 美元。另一方面，符合條件的居家裝修（如於屋頂裝設太陽能板）將有資格獲得總支出 30% 稅收抵免，若購買新節能電器亦可獲得稅收抵減。

5. 國際合作

積極尋求與歐盟 G7 盟友建立關鍵礦產聯盟，透過符合環境、勞工保護標準的礦產聯盟合作，確保能源轉型所需關鍵礦物供應，以及供應鏈多元與分散化。

(二) 歐盟綠色新政產業計畫(Green Deal Industrial Plan)

奠基於此前相關倡議與政策框架基礎，歐盟 2023 年 2 月公布「綠色新政產業計畫」(Green Deal Industrial Plan)，旨在為擴大淨零排放技術與產品之製造能力提供更有利的環境，提高淨零產業競爭力，並支持氣候中和轉型。

1. 可預測與簡化的監管環境

制定「淨零產業法案」確定淨零產業產能目標，並提供有利產業技術快速部署的簡化監管框架；提出「關鍵原物料法案」透過多元化採購，避免過度仰賴單一國家供給。此外，促進提煉、加工及回收，減少材料使用，並開發其他生物基材料替代品。

2. 加快融資管道

修訂臨時危機與過渡框架(TCTF)，簡化對再生能源部署的補助規則、

產業去碳援助，加強戰略性淨零技術投資支持計畫等；修訂《一般集體豁免條例》(GBER)，調整對會員國的補助門檻，並簡化歐洲共同利益重要項目(IPCEI)相關項目的審批，加快實施與 IPCEI 相關的小型創新專案。

此外，政府亦加快協調會員國對 2020 年資本市場聯盟(CMU)行動計畫之立法達成共識，以擴大資本市場規模，並為清潔技術等領域的歐盟企業提供融資管道，減少對銀行融資依賴。

3. 提升技能

監測綠色轉型相關部門技能需求與就業情況，建立淨零產業學院，於關鍵原料、氫能及太陽能等戰略領域提出培訓計畫。透過歐洲技能公約，建立再生能源提升技能具體願景，並建立熱泵技能夥伴關係。另提供技能認證快速通道，發展歐盟人才庫，促進第三國國民投入歐盟優先產業之勞動市場，以及擴大對中小企業培訓補助，研議《歐盟復甦計畫》15 億歐元投入綠色技能培訓等。

4. 開放具韌性之供應鏈貿易

支持世界貿易組織(WTO)，以及推進歐盟自由貿易協定網路，使貿易為綠色轉型服務，並加強與美國、印度、澳洲、非洲等供應鏈雙邊合作。透過與理念相近夥伴合作，建立關鍵原材料俱樂部確保供應安全。此外，發展清潔能源與綠色工業夥伴關係，促進全球採用淨零技術，使歐盟的製造能力為全球清潔能源轉型鋪路。

(三) 日本綠能轉型 (Green Transformation, GX) 基本方針

為確保能源供應穩定、加速清潔能源發展，日本內閣府 2023 年 2 月 10 日批准綠色轉型 (Green Transformation, GX) 基本方針⁶，估計未來 10 年投資規模將超過 150 兆日元。

1. 保障能源供應

透過補貼節能投資計畫，加強對中小企業、家庭之節能；依據節約能源法，制定鋼鐵化工水泥造紙汽車行業再生能源轉換指導方針。且 2030

⁶ 日本內閣府(2023)，「GX 實現に向けた基本方針」。

年以再生能源占比 36~38%為目標，加速電網等基礎設施。另以確保安全為前提，同意將退役核反應爐改造成新世代核反應爐。

2. 實踐成長型碳定價理念

規劃未來 10 年發行約 20 兆日圓之 GX 經濟轉型債券，優先投資具備產業競爭力或有助於減碳之計畫；2026 年全面實行「碳排放交易制度」、設定碳價區間、針對發電業階段性實施「有償拍賣」等，並設立「GX 推進機構」負責碳定價實施。建立公私部門資金相互結合的金融工具，吸引民間資金投資綠色轉型產業，以及促進永續金融。

3. 國際戰略

推動「亞洲零排放共同體」(Asian Zero Emissions Community, AZEC)，加強與各國能源合作。除透過技術、資金、人力交流拓展出口技術輸出外，利用資源外交擴大供給國，從而建構強韌供應鏈。另一方面，建立國際綠色產品、企業溫室氣體減排貢獻之相關評估制度。

(四) 韓國碳中和綠色成長基本計畫

韓國政府依據《碳中和基本法》於 2023 年 3 月公布第一次「國家碳中和綠色成長基本計畫(草案)⁷」，初步建構 2023 年至 2042 年國家戰略與發展藍圖，預計 2030 年溫室氣體排放量相較 2018 年減少 40%為目標。

1. 規劃各部門中長期溫室氣體減排

能源方面，減少煤炭發電、擴大核電與可再生能源，並建設電網、儲能系統等基礎設施。政府亦提供激勵措施如設立技術創新基金、擴大補貼和貸款等，來誘導企業自願減排。此外，推動交通工具低碳化，如促進電動汽車和氫燃料汽車普及，將所有柴油火車轉換為電動火車，以及發展無碳船舶核心技術等方式減少交通運輸工具碳足跡。

在氫能與碳捕捉、利用和封存(CCUS)技術上，發展示範水電解綠氫等核心技術，建設氫液化廠、氫氣管網等基礎設施，指定氫城市擴大氫使用範圍；制定包含 CCUS 產業、安全、認證標準等相關法律。

⁷ 韓國政府(2023)，「2050 탄소중립 달성과 녹색성장 실현'을 위한 윤석열 정부 탄소중립·녹색성장 청사진 공개」。

2. 向碳中和社會過渡

強化地面觀測網絡與衛星的三維監測系統、改進洪水預報系統，以及構建健康和福利安全網，降低氣候變遷弱勢群體負擔。此外，通過政策、民間資金支持，發展 100 項韓國綠色核心技術開發，以及持續推廣綠色金融如可持續發展相關債券等。

人才培育上，擴大與碳中和相關院校和專業研究機構合作，為產業培育未來所需綠色人才。同時支持企業轉型諮詢、教育和培訓，最大限度地減少企業因產業轉型和在職人員的轉職培訓中而造成的損失，進而達成公正轉型。

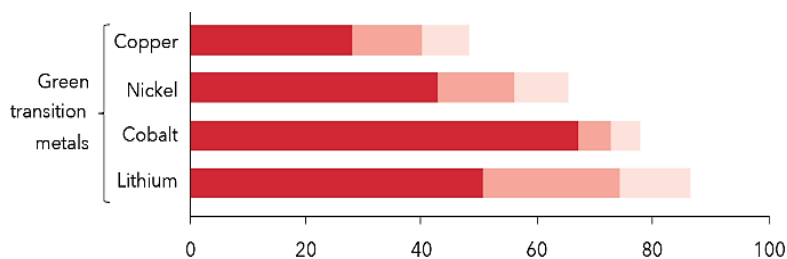
因地制宜擬定地方政府基本規劃、創建碳中和城市，以及提高各區溫室氣體統計準確性，並強化地方政府與中央之溝通與合作，共享與傳播成功案例。國際合作部分，積極參與聯合國氣候變化框架公約(UNFCCC)、G20 等國際協商機構，擴大綠色政府開發協助 (ODA) 計畫，協助開發中國家減排。

三、未來轉型面臨挑戰

(一) 關鍵礦物可能出現超級循環

1. 生產地過於集中

大量綠色轉型所需關鍵礦產開採，集中於少數甚至是民主脆弱國家。舉如，剛果民主共和國生產全球 70% 以上的鈷，而澳洲、智利和中國鋰產量合計佔據全球九成以上⁸，進而對供應鏈安全產生危害。



圖六、關鍵礦物前三大生產國佔全球產量比率

資料來源:IMF, *Geoeconomic Fragmentation Threatens Food Security and Clean Energy Transition*, October 2023

⁸ IEA, *Energy Technology Perspectives 2023*, January 2023

2. 交貨時間過長致供不應求

在全球加速轉型期程背景下，對關鍵原物料競逐勢必更趨激烈。惟 IEA 分析指出，採礦從發現到首次生產平均需要 16.5 年時間⁹，交貨時間過長恐無法應付強勁需求，進而引發供應鏈瓶頸，價格大幅攀升。

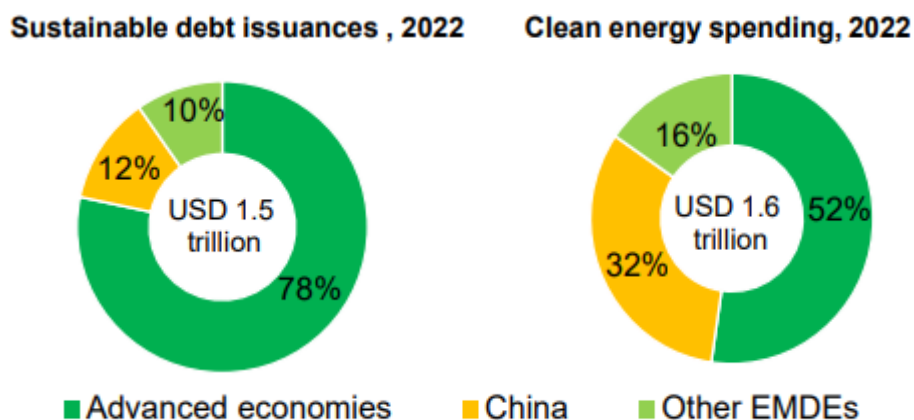
3. 氣候暴險程度高

部分礦物在煉製過程中，需要使用大量水資源，惟現今約超過 50% 銅、鋰等關鍵礦物集中於水資源緊張程度較高地區¹⁰。此外，澳洲、中國和非洲等主要產區也易遭受極端高溫或洪水影響，從而加深更加深礦產業生產風險。

(二) 全球轉型不平等加劇

1. 永續融資資金多集中於先進國家

2013-2020 年再生能源投資約 75% 來自私部門¹¹，然而私人資金更傾向於規避風險，加以主要國家政府推動一系列強而有力政策，約有 9 成投資項目集中於中國大陸、歐美等國¹²。面對 2022 年永續債券發行約 8 成集中於先進經濟體，恐造成開發中或落後國家轉型困難。



圖七、2022 年永續債券發行與清潔能源支出

資料來源: IEA, World Energy Investment 2023, May 2023

⁹ IEA, The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions, May 2021

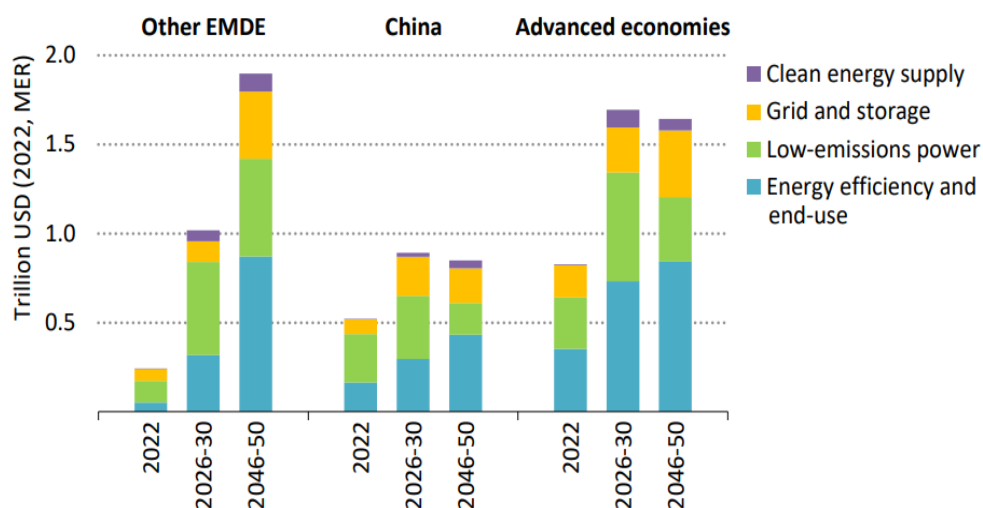
¹⁰ IEA, The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions, May 2021

¹¹ IRENA, Global landscape of renewable energy finance 2023, February 2023

¹² IEA, World Energy Investment 2023, May 2023

2. 開發中國家投資缺口持續擴大

發展中國家自疫後復甦較慢，加以戰爭導致高通膨、債務增加等因素下，2022 年再生能源投資僅吸引 5,440 億美元，與每年所需 1.7 兆美元相去甚遠¹³。IEA 預估，中國以外的新興經濟體相較於 2022 年，2046-2050 年發展清潔能源所需投資成長將近七倍多，顯示投資缺口持續擴大。



圖八、先進國家、開發中國家發展清潔能源預估所需投資金額

資料來源：IEA, Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach, September 2023

3. 女性參與綠色職缺比例偏低

2019 年能源產業女性就業比例為 22%，其中在再生能源領域佔 32%¹⁴，就業比率遠低於男性，原因可能與教育、就業門檻、性別偏見等因素有關。舉如，工程學等科學、技術、工程和數學(STEM)領域的女性入學率僅 8%¹⁵，即使順利進入該勞動市場，比起男性也更容易離開職場。

然而世界銀行報告指出，目前最新證據表明，女性決策領導者與員工更願意針對氣候變遷採取行動¹⁶。自《巴黎協定》之後，性別多元化公司較管理層中男性較多公司，減少了 5%二氧化碳排放量。

¹³ UNCTAD, UNCTAD calls for urgent support to developing countries to attract massive investment in clean energy, July 2023

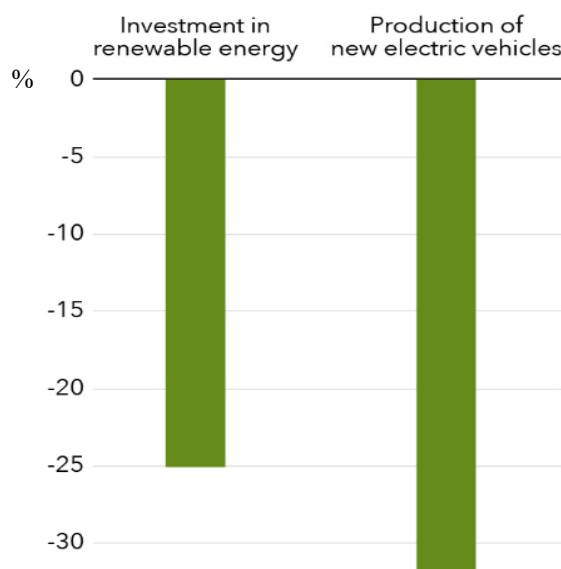
¹⁴ IRENA, Renewable Energy: A Gender Perspective, January 2019

¹⁵ WEF, 3 things to know about women in STEM, February 2020

¹⁶ World Bank, Green jobs for women can combat the climate crisis and boost equality, NOVEMBER 2022

(三) 大宗商品市場碎片化拖累清潔能源發展

俄烏戰爭爆發引發貿易保護主義興起，為確保糧食、能源等關鍵物資供應，2022 年大宗商品貿易限制政策措施較 2021 年增加兩倍多，進一步導致大宗商品市場趨向碎片化。面對關鍵礦物需求擴增，以及市場碎片化加劇原物料取得不易，IMF 預測相較於基準情境(無發生碎片化情形)，再生能源、電動車投資恐減少 30%，從而拖累淨零轉型步伐。



圖九、再生能源投資及電動車產量下降比率

資料來源:IMF, *Gioeconomic Fragmentation Threatens Food Security and Clean Energy Transition*, October 2023

(四) 轉型技術集中於少數國家

清潔能源供應鏈相關技術集中在少數國家，如中國生產高達 60%清潔能源技術，佔據全球渦輪機 60%產能與出口總額一半，在太陽能板、電池和熱泵亦佔據相當大比率。隨著中美緊張情勢與其他地區地緣政治升溫，恐對關鍵設備和零件供應造成風險。

四、我國淨零轉型推動策略與因應措施

(一) 公布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」

面對全球加速再生能源發展，國家發展委員會於 2022 年 3 月公布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」，以能源、產業、生活、社會等

四大領域轉型，及科技研發、氣候法制兩大治理基礎，並輔以十二項關鍵戰略，轉型重點內容摘述如次：

1. 能源轉型

打造零碳能源系統，逐步去碳、建構零碳燃料供應系統、適時導入先進技術，增加零碳能源運用空間；優先擴充再生能源電網基礎設施、擴大再生能源所需儲能設備，提升能源系統韌性。此外，打造綠能產業生態系、促進去碳投資與國際合作。

2. 產業轉型

- 製造部門:推動製程改善、能源轉換、循環經濟
- 建築部門:跨域整合再生能源與建築、提升家電能效。
- 商業部門:推動設備或操作行為改善、使用低碳能源、商業模式低碳轉型、綠建築
- 運輸部門:提高電動車比率、推廣公共運輸、完備自行車環境與私人汽機車管理。

3. 生活轉型

減少使用一次性產品，強化源頭減量，並推動碳足跡標籤及碳足跡減量標籤，促進綠色消費。另一方面，提高電動運具數量，完善使用環境配套，推動產業技術升級轉型。

4. 社會轉型

確保轉型過程落實「盡力不遺落任何人」核心價值，追求政策目標平衡性、社會分配公正性與利害關係包容性；強化各形態之公民參與機制，與納入地方政府的能量，最大化社會共識與各領域社群支持。

(二) 提供經濟誘因促進轉型

1. 綠色金融行動方案 3.0

金管會於 2022 年 9 月發布「綠色金融行動方案 3.0」，推動重點包含金融機構碳盤查及氣候風險管理、發展永續經濟活動認定指引、促進 ESG 及氣候相關資訊整合、強化永續金融專業訓練，以及協力合作凝聚淨零共識。

2. 國家融資保證機制

為促進綠能與重大公共建設之推動，政府針對從事綠能建設開發、供應或輸出綠能設備及服務業者等提供融資保證，藉此鼓勵廠商進行綠色轉型。資金來源係由國發基金與參與銀行共同提供專款，作為授信保證，金管會得予適度獎勵鼓勵銀行參與此方案。

(三) 建構氣候風險資料庫

政府與其他機構合作建置風險資料庫並開放資料共享，有助於民間企業或相關機構掌握氣候變遷和相關風險，進而及早研擬應對措施。舉如，歐洲環境局（EEA）氣候變化影響與適應數據中心、美國全球變化研究計畫（USGCRP）全球變化數據和信息庫等，整合並提供各領域氣候變化、生態系統變化等全球數據。

我國國科會亦建構臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫（TCCIP），由中研院、交通部、國衛院等經驗豐富且瞭解政府實務操作需求的學者與研究員共同組成。研析臺灣氣候變遷資料產製與趨勢，提供國人更了解本土氣候資訊變化，掌握區域合作動態及氣候變遷政策，有助於企業管理供應鏈風險與強化供應鏈韌性。

(四) 培育永續人才

培育跨領域永續專業人才，仰賴產、官、學、研共同攜手合作，透過不同機構依其專長領域互補，提供多元永續相關課程。例如英國帝國理工學院（Imperial College）商學院提供氣候變化、管理和金融碩士學位。另一方面，香港金管局於去年公布為期三年規模 2 億元之「綠色和可持續金融培訓先導計劃」，對接受可持續培訓及獲取相關資歷人士提供資助，藉此擴大綠色金融人才儲備。

我國則於 2023 年 6 月 5 日成立「台灣氣候學院」協助 ICT 產業培育永續綠色管理人才，教學範疇兼具永續知識與實務案例。課程除包含「氣候變遷趨勢」、「碳資產管理」、「國際標準規範」等內容，依照企業內部需求，規劃「氣候永續決策會」、「氣候永續主管實務課程」及「氣候新銳線上學習營」，協助參與者內化專業知能，創造企業永續能量、落實永續發展。

肆、心得與建議

一、心得

本次承蒙會內長官推薦及評審小組成員許可，奉派至美國加州大學柏克萊分校（UC Berkeley）短期進修。透過汲取大量經濟理論知識，有助於提升個人專業知能。課程期間教學內容充實，課後討論課除提升英語口說能力，亦增進對國際經濟議題之視野。此外，印象較深刻的是國外學生上課時踴躍舉手發問或主動表達見解，教授亦給予其不同回饋。透過雙向互動與交流，有助於引發學習興趣與刺激思考，真正讓學生參與於課堂中，而非教授單向式傳授知識。

二、結論與建議

本次進修透過觀察全球能源轉型當前趨勢，與各國綠色能源相關政策，對於國內綠色轉型政策措施，謹研提幾點建議如下：

（一）完善氣候政策提高能源自主

為加速再生能源發展、達成淨零排放目標，我國於今(2023)年 5 月 29 日立法院會修正通過《再生能源發展條例》，重點包括配合國際風電技術發展，擴大離岸風電設置範圍可至海域空間；未來新建/增建或改建建築屋頂，須設置一定規模以上的太陽光電設備，將兼具屋頂隔熱並增加綠電等。惟現行離岸風電開發案在地化生產規定嚴苛，致使工程延誤與成本增加，以及扶植本土企業配套措施有待加強等問題仍存。

根據 OECD 研究結果顯示，完善氣候政策對再生能源領域投資具有關鍵作用。舉如，上網電價補貼與再生能源領域 FDI 數量呈正相關，表明投資激勵措施有助於鼓勵綠色投資。因此建議透過持續檢討與滾動式調整現行法規與政策，除有助於吸引綠能領域研發投資，開發更高效能源技術、節能技術和新興綠色能源解決方案，亦能提升國內能源自主，鞏固我國經濟安全。

（二）鼓勵釋放充沛民間資金，有助動員氣候融資

為因應氣候衝擊，全球需更強有力投資及創新。其中，關鍵投資優先項目包括能源轉型，開發中國家應對氣候變遷日益脆弱問題，以及恢復對自然與生物多樣性的破壞等。根據聯合國估計至 2030 年，每年再生能源約

需要投資 4 兆美元，才可望在 2050 年實現淨零排放；全球朝低碳經濟轉型，預計每年需要投資至少 4 至 6 兆美元。

我國 2023 年度中央政府總預算案已編列 662 億元淨零相關預算，2024 年度淨零相關預算整體規模達 964 億元，增幅逾四成。然僅靠公共部門資金尚無法足夠因應氣候挑戰，加上淨零轉型為投資基礎設施、能源等領域潛存雄厚商機，建議參考國際氣候金融發展動態，以創新方法或新政策，激勵引導民間充沛資金投入氣候融資，舉如保險資金、退休基金等中長期資金，擴大我國氣候融資範疇，提高對氣候變遷的抵禦及調適能力。

（三）促進低碳能源轉型，加快脫碳進展

目前全球總發電量僅近 3 成來自再生能源，聯合國亦指出如欲實現《巴黎協定》目標，全球需在未來八年將再生能源裝機容量占比提高至 6 成，並輔以綠色氫能以及永續的生質能。因此，為如期達成 2050 全球淨零目標，加速再生能源、低碳電力發展成重要關鍵，舉如氫能之生產與應用為現階段各國關注重點領域。

我國目前透過「十二項關鍵戰略」之投入，提升再生能源裝置容量，並配合電力系統與儲能設備建置，擴大再生能源使用。儘管台電已與西門子簽訂混氫之備忘錄，然相對於國外綠氫技術發展，我國發展步伐仍有提升空間。建議宜加速建置氫能發展之輸儲及使用之基礎設施，並尋求擴大國外企業合作研發之機會，奠定我國氫能發展基礎。

（四）尋求關鍵礦物來源多元化

隨著俄烏戰爭引發能源危機，各國確保轉型關鍵礦物重要性不言而喻。因此近年來各國陸續提出政策，或尋求國際合作分散風險。舉如，歐盟提出「關鍵原物料法案」、日本與美國於 2023 年 6 月簽訂電動汽車電池關鍵礦物貿易協議，以及法國與澳州、加拿大簽署關鍵金屬合作協議等。

鑑於我國關鍵礦物多來自進口，建議透過與地緣政治相近夥伴進行國際結盟與合作、建立採購管道與機制，使資源獲取管道多元化，分散來源過度集中於單一國家風險。確保關鍵礦物供應，同時提升國家經濟安全。

(五) 建構新世代智慧電網並加強資安防護，強化電網韌性

據 Precedence Research 資料¹⁷，伴隨著疫情對能源影響，降低能耗等議題，各國均積極透過電網數位化，化解電力損失、輸配電基礎設施薄弱等問題，預估 2023 年全球智慧電網市場規模為 376 億美元，預計到 2032 年將達 1,667.7 億美元，2023 年至 2032 年複合年增長率將達 18%。

我國為促進再生能源發展及升級電力基礎設施，積極推動智慧電網建設，行政院已於 2022 年 9 月公布「強化電網韌性建設計畫」，將於 10 年內投入 5,645 億元，提升全國電網面對突發事故的因應能力，並預期將推升台灣智慧電網市場規模。惟電網穩定前提是通訊穩定，加上國際案例已現新型網路資安攻擊針對電廠、電網等關鍵基礎設施，考量降低穩定電網的變因，建議強化資安防護，並在電力通訊範疇導入防護機制，以降低安全風險。

¹⁷ <https://www.precedenceresearch.com/smart-grid-market>

參考文獻

1. IEA, Critical Minerals Market Review 2023 , July 2023
2. IEA, Energy Technology Perspectives 2023 , January 2023
3. IEA, Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach , September 2023
4. IEA, The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions , May 2021
5. IEA, World Energy Investment 2023 , May 2023
6. IMF, Geoeconomic Fragmentation Threatens Food Security and Clean Energy Transition , October 2023
7. IRENA, Renewable Energy: A Gender Perspective , January 2019
8. IRENA , Global landscape of renewable energy finance 2023 , February 2023
9. OECD, Trends, investor types and drivers of renewable energy FDI , November 2022
10. S&P Global, Sustainable bond issuance will return to growth in 2023 , March 2023
11. U.S. Department of The Treasury, FACT SHEET: How the Inflation Reduction Act’s Tax Incentives Are Ensuring All Americans Benefit from the Growth of the Clean Energy Economy , October 2023
12. UNCTAD, UNCTAD calls for urgent support to developing countries to attract massive investment in clean energy , July 2023
13. WEF, 3 things to know about women in STEM , February 2020
14. World Bank, Green jobs for women can combat the climate crisis and boost equality , November 2022
15. 日本內閣府(2023) , 「GX 実現に向けた基本方針」。
16. 韓國政府(2023) , 「2050 탄소중립 달성과 녹색성장 실현’을 위한 윤석열 정부 탄소중립·녹색성장 청사진 공개」。