

財團法人台北外匯市場發展基金會

專題研究計畫

期末報告

**國際淨零排放趨勢對我國總體經濟之影響：
以歐盟碳邊境調整機制為例**

The Impact of International Net-Zero Emissions on
Taiwan's Economy: The Case of the EU Carbon Border
Adjustment Mechanism

執行期間：113 年 07 月 15 日至 114 年 3 月 31 日

執行機構及系所：國立臺北大學自然資源與環境管理研究所

計畫主持人：林晉勗 jxlin@mail.ntpu.edu.tw

計畫參與人員：林師模、馮君強、張桂鳳、林禹宏

中華民國 114 年 3 月

摘要

本研究目的在評估國際淨零排放趨勢對台灣總體經濟之影響，特別針對歐盟碳邊境調整機制（CBAM）可能帶來的衝擊與挑戰進行分析。隨著全球氣候變遷加劇，各國陸續提出碳中和或淨零排放目標，並採取碳定價、再生能源推廣等政策來減少溫室氣體排放。台灣作為高度依賴外貿的經濟體，如何應對國際淨零排放趨勢成為極需關注的議題。

本研究首先彙整國際淨零排放的趨勢及相關政策，包含歐盟 CBAM 及美國的 CCA。為深入評估 CBAM 對台灣經濟之影響，本研究運用單國動態可計算一般均衡模型（CGE）進行模擬，模擬結果顯示，CBAM 對台灣總體 GDP 影響有限，但對特定產業如基本金屬業、金屬製品業影響顯著，特別是在出口導向型企業方面，其競爭力將受到削弱。此外，由於高碳排產業的生產成本上升，相關就業市場亦將面臨挑戰，特別是基層技術人員和體力操作工可能遭受更大衝擊。

另一方面，研究結果也顯示，CBAM 將間接促進台灣再生能源及低碳產業的發展。隨著國際市場對綠電需求的增加，台灣可透過加速推動能源轉型及產業升級，創造新的綠色就業機會，減緩政策衝擊。因此，本研究建議政府應採取多元策略，包括強化金融業在綠色產業之角色以提升產業減碳能力與再生能源發展、加強勞動力轉型輔導及促進國際合作交流，確保台灣在全球淨零排放趨勢下保持競爭力。

關鍵詞：碳邊境調整、淨零排放、可計算一般均衡模型、經濟影響評估

目錄

摘要.....	i
目錄.....	ii
表目錄.....	iii
圖目錄.....	iv
第一章 研究背景與目的	1
第二章 國際淨零排放路徑及相關政策評估	4
第一節 國際淨零排放路徑及相關政策	4
第二節 我國淨零排放相關目標與政策	19
第三節 淨零排放相關政策之經濟影響評估文獻	22
第三章 研究方法	27
第一節 研究架構	30
第二節 隱含碳排放計算—環境投入產出模型	33
第三節 總體經濟模型—可計算一般均衡模型	36
第四節 模型資料	40
第四章 模擬情境設計	50
第一節 基準情境設計與設定	50
第二節 CBAM 情境設計與設定	53
第五章 模擬結果與討論	57
第六章 結論.....	67
參考文獻.....	71
附錄一：臺灣出口至歐盟受 CBAM 納管之產品清單	75

表目錄

表 1	投入產出表 (生產者價格交易表) 之架構	34
表 2	本研究 SAM 表架構.....	42
表 3	台灣受 CBAM 管制之基本金屬-鋼鐵出口至歐盟及全球概況.....	47
表 4	台灣受 CBAM 管制之基本金屬-鋁出口至歐盟及全球概況.....	47
表 5	台灣受 CBAM 管制之鋼鐵製品出口至歐盟及全球概況	48
表 6	台灣受 CBAM 管制之鋁製品出口至歐盟及全球概況	48
表 7	台灣受 CBAM 管制之化學肥料出口至歐盟及全球概況	49
表 8	台灣受 CBAM 管制之水泥出口至歐盟及全球概況	49
表 9	臺灣能源技術發展目標	52
表 10	臺灣 CBAM 納管產品出口比重、碳排放強度及影響評估	53
表 11	臺灣受 CBAM 影響產業之 CBAM 稅率.....	56
表 12	基準情境下臺灣重要經濟變數之未來值推估	57

圖目錄

圖 1	IEA (2021) 所提出之淨零路徑關鍵里程碑	8
圖 2	2050 淨零轉型之電力與非電力部門減量規劃	22
圖 3	本研究之研究架構圖	32
圖 4	本研究 CGE 模型之巢式結構	38
圖 5	本研究 CGE 模型之電力部門巢式結構	39
圖 7	CBAM 納管產品產業部門能源使用之溫室氣體排放量	44
圖 8	CBAM 納管產品產業部門能源使用之溫室氣體排放結構	44
圖 9	臺灣碳費及歐盟碳價之未來值設定	51
圖 10	歐盟 CBAM 免費核配率之設定	55
圖 11	CBAM 對臺灣實質 GDP 之影響金額與變動率	58
圖 12	CBAM 對臺灣累積就業人次之影響	59
圖 13	CBAM 對臺灣實質出口之影響金額與變動率	59
圖 14	CBAM 對基本金屬業之產值影響	61
圖 15	CBAM 對金屬製品業之產值影響	61
圖 16	CBAM 對煤製品業之產值影響	62
圖 17	CBAM 對基本金屬業之就業影響	62
圖 18	CBAM 對金屬製品業之就業影響	63
圖 19	CBAM 對煤製品業之就業影響	63
圖 19	CBAM 對太陽光電設備業之產值影響	64
圖 20	CBAM 對離岸風電設備業之產值影響	65
圖 21	CBAM 對太陽光電設備業之就業影響	65
圖 22	CBAM 對離岸風電設備業之就業影響	66

第一章 研究背景與目的

聯合國政府間氣候變化專門委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）在最新出版的第 6 次氣候變遷評估—物理科學基礎報告（AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis）中指出，自十九世紀下半葉以來，人類活動所產生的溫室氣體排放，已使得地球表升溫 1.07°C，依目前的趨勢，可能在 2040 年便跨越 1.5°C 的升溫警戒線（IPCC, 2021）。氣候變化對全球的影響日益嚴重，從極端氣候事件的頻繁發生到海平面的持續上升，這些變化對人類社會和自然生態系統構成了重大威脅，作為全球氣候治理的一部分，減緩氣候變化的措施需要國際社會的共同努力和堅定決心。

隨著全球氣候變遷的加劇，對於各國政府來說，探討並實施有效的減排策略已成為當務之急。為了進一步落實氣候行動方案，避免氣候變遷帶來的氣候風險，歐盟執委會（European Commission）率先於 2020 年 4 月 3 日揭示 2050 年氣候中和的目標，爾後各國紛紛提出碳中和或淨零排放目標，並研擬應因對策。國際能源署（International Energy Agency, IEA）指出，2015 年以來，全球能源使用效率提升的速度已放緩，因此需採取更迫切的行動（IEA, 2020），換言之，全球需要更積極的投入節能減排相關的技術研發。

氣候變遷是全球面臨的重大挑戰，為因應氣候變遷，各國紛紛採取行動減少溫室氣體排放。碳定價機制是其中一項重要的政策工具，而碳邊境調整機制（Carbon Border Adjustment Mechanism; CBAM）則是碳定價機制的一種。CBAM 是指一國針對進口產品所隱含的碳排放量徵收特別費用，其目的在於確保境內外的企業在碳排放方面面臨公平的競爭環境，並避免碳洩漏（carbon leakage）的問題。碳洩漏是

指企業為了逃避碳管制而將生產基地轉移到碳定價較低或沒有碳定價的地區進行生產。CBAM 透過對進口產品徵收碳關稅，可以抵消境內企業因碳定價而產生的成本劣勢，從而避免企業將生產基地轉移到境外。CBAM 的另一個目的是促進全球減碳，藉由提高進口高含碳產品的價格，促使企業和消費者減少對高碳產品的需求，從而推動全球減碳。除了歐盟之外，其他國家或地區也陸續宣布將推動碳邊境調整。例如：美國、英國、加拿大、日本、韓國等。

根據 Net Zero Tracker 的統計，截至 2024 年 12 月，全球已有 147 個國家宣布淨零目標，包含 187 個區域，而這些地區人口共占全球 89% 的人口，涵蓋 88% 的排放量，以及 93% 的全球生產總值（Gross Domestic Product, GDP）。¹ 順應全球淨零排放共識，我國也已於 2021 年 4 月宣示 2050 淨零轉型為我國長期減碳路徑規劃的努力方向，並於 2022 年 3 月 30 日由行政院國家發展委員會提出我國 2050 淨零排放路徑及策略。

臺灣，作為一個經濟發展迅速且工業化程度高的島國，面臨著特殊的挑戰。一方面，臺灣的經濟活動與產業發展對能源的依賴性高，另一方面，其地理位置使其對氣候變化尤其敏感。這一背景下，臺灣政府近年來積極推動環境政策，尤其是淨零排放政策，以期在保障經濟發展的同時，減少對環境的負面影響。在這樣的背景下，臺灣政府制定了《氣候變遷因應法》，將 2050 淨零排放的目標入法，並開始致力於推動淨零排放的策略。這不僅體現了臺灣在國際社會中承擔的責任，也展現了其對於可持續發展的承諾。

淨零排放政策的核心在於通過各種手段減少溫室氣體排放，從而

¹ Net Zero Tracker, <https://zerotracker.net/>.

實現碳中和的目標。其中，碳稅作為一種市場機制，旨在通過對碳排放進行定價，激勵企業和個人減少碳排放，並促進低碳技術的創新和應用。然而，碳稅的實施不僅會對高耗能產業的生產成本和產品價格產生影響，也會透過產業間的關聯互動，在能源轉型的過程中，使用較昂貴的低碳能源取代高含碳能源時，也會進一步帶動整體經濟的物價上漲，此即綠色通貨膨脹。

實務上，在政策實施前，應將相關政策之可能影響，於政策制定或採行前做一個完善的評估，所採用的評估模型應將大部份氣候政策可能涉及的政策工具、傳遞管道，總體經濟，以及經濟個體（如：總量管制、碳稅/碳費、稅收循環機制、內生技術進步機制、再生能源之設備製造、再生能源發電等）納入考量，並能夠產出政策對經濟社會重要面向或變數（如：GDP、就業、進出口、物價等）之影響效果。此外，在面對國際上重大的政策議題時，也應事先評估這些政策對我國經濟帶來的影響，以便政府及企業擬定因應策略。

為瞭解國際主要國家的淨零政策及我國政府淨零轉型政策對總體經濟與產業的影響，以提供政府與產業制定因應策略之參考。因此，本研究旨在建立一個評估架構，參酌國內外減碳政策及配套措施，並以我國政府揭示的減碳進程與政策，評估國際淨零政策對我國經濟成長、貿易及就業等總體經濟指標的影響。

在國際境零政策的部份，目前已知且已確定執行的政策主要為歐盟將於 2026 年 1 月 1 日開始徵收碳關稅的 CBAM，因此，本研究以我國淨零排放相關政策之為基礎，研析歐盟 CBAM 對我國總體經濟的影響。

第二章 國際淨零排放路徑及相關政策評估

第一節 國際淨零排放路徑及相關政策

一、 國際淨零排放路徑

IPCC 第六次評估報告 (AR6) 明確指出，自工業革命以來，全球平均氣溫已上升約 1.1°C。若排放趨勢不變，未來 20 年內，全球溫升極有可能突破 1.5°C，甚至在本世紀末升溫超過 2°C。報告強調，全球暖化對自然生態系統和人類社會造成廣泛而深遠的影響，包括：冰川融化、海平面上升、熱浪、乾旱、洪水、生物多樣性喪失等。因此，「淨零排放」(Net Zero Emissions) 已成為全球共識，目標在於通過各種手段，使人為溫室氣體排放量與移除量達成平衡，最終實現淨排放為零。2015 年《巴黎協定》的簽署標誌著國際社會正式承諾應對氣候變遷，各締約方須提交國家自主貢獻 (NDC)，以實現全球溫升控制於 2°C 以內，並努力限制在 1.5°C 以內的長期目標。近年來，越來越多國家設定淨零排放目標，其中歐盟、美國、韓國及日本承諾於 2050 年達成淨零，中國和印度分別訂於 2060 年和 2070 年達標。

為了達成 2050 淨零排放，全球需有一套指引供各國參考，制定積極具體的目標，因此國際能源署 (International Energy Agency, IEA) 根據最新的氣候科學研究和模型，於 2021 年提出《2050 年淨零排放路徑圖》(Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector)，報告中清楚揭示了全球要達到 2050 淨零時的重要指引。而後，再於 2023 年發佈了《淨零排放路徑圖：更新版》(Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach - 2023 Update)，以 2021 年的報告為基礎，更新實現 1.5°C 溫升目標的路徑圖，提出了新的策略、

加速措施以及政策建議。

IEA 所提出的兩份報告，不僅僅停留在目標設定，更進一步提出了具體、可操作的路線圖，詳細列出了未來數十年全球在能源生產、運輸、工業、建築等各個領域需要達成的關鍵里程碑，制定了實現該目標的全球能源系統轉型路徑，涵蓋政策、技術、投資等多個層面。兩份報告都強調了立即採取行動的緊迫性，並指出未來十年是實現 1.5°C 溫控目標的關鍵期。此外，IEA 更呼籲各國加強在技術研發、資金支持、政策協調等方面的國際合作，特別是發達國家需要向發展中國家提供更多的資金和技術支持，以確保全球淨零轉型的公平性和有效性。

總而言之，IEA 發布這兩份淨零排放路徑圖的核心目的在於：基於科學的氣候目標，為全球能源部門的淨零轉型提供一份具體、可操作的行動路線圖，並透過定期更新和評估，追蹤全球淨零進展、識別挑戰、調整策略，最終推動全球加速實現淨零排放，將氣溫升幅控制在 1.5°C 以內，以應對氣候變遷帶來的嚴峻挑戰。以下分別就此兩份報告彙整其中的重點內容。

1. IEA (2021)：2050 年淨零排放路徑圖

IEA 於 2021 年提出《2050 年淨零排放路徑圖》，其中指出了幾個要達到全球淨零排放的關鍵里程碑 (IEA, 2021)，如圖 1 所示。該圖清楚的呈現 IEA 認為要達成 2050 年全球淨零情境，各階段的重點任務。

短期 (2021-2025 年)：該階段的重點在於立即採取行動，控制化石燃料的生產和消費。具體措施包括：2021 年起，停止批准新的無碳捕集措施 (unabated) 燃煤電廠的開發，不再批准新的油氣田開發，

以及不再批准新的煤礦或煤礦擴建；到 2025 年，禁止銷售新的化石燃料鍋爐。這些措施目的在從源頭上遏制化石燃料的成長，並推動能源消費端的電氣化轉型。

中期 (2030-2040 年)：該階段的重點在於加速清潔能源技術的部署和應用，推動能源系統的深度轉型。關鍵里程碑包括：2030 年，實現全球普及能源服務，所有新建建築達到零碳排放標準 (zero-carbon-ready)，全球 60% 的汽車銷量為電動汽車，重工業領域的大部分新型清潔技術達到示範規模，每年新增 1020 GW 的太陽能 and 風能發電裝置容量，已開發經濟體逐步淘汰無碳捕集措施的燃煤電廠，並達到 150 Mt 的低碳氫產量和 850 GW 的電解槽裝機容量；2035 年，大多數銷售的家電和冷卻系統達到最佳能效標準，全球 50% 的重型卡車銷量為電動車，禁止銷售新的內燃機汽車，所有工業電機銷售達到最佳能效標準，已開發經濟體實現整體電力系統的淨零排放，並達到 4 Gt 的二氧化碳捕集量；2040 年，全球 50% 的既有建築改造達到零碳排放標準，航空業中 50% 的燃料為低排放燃料，重工業領域約 90% 的現有產能達到其投資周期的末期，全球電力系統實現淨零排放，並逐步淘汰所有無碳捕集措施的燃煤和燃油電廠。

長期 (2045-2050 年)：該階段的重點在於實現能源系統的全面淨零排放，並大規模部署低碳和負碳技術。關鍵里程碑包括：2045 年，全球 50% 的供暖需求由熱泵滿足；2050 年，全球超過 85% 的建築物達到零碳排放標準，全球超過 90% 的重工業生產為低排放生產，全球近 70% 的電力來自太陽能和風能，低碳氫產量達到 435 Mt，電解槽裝機容量達到 3000 GW，二氧化碳捕集量達到 7.6Gt。

若以部門別來看，包括建築 (Buildings)、運輸 (Transport)、工業 (Industry)、電力和熱力 (Electricity and Heat) 以及其他部門 (Other)：

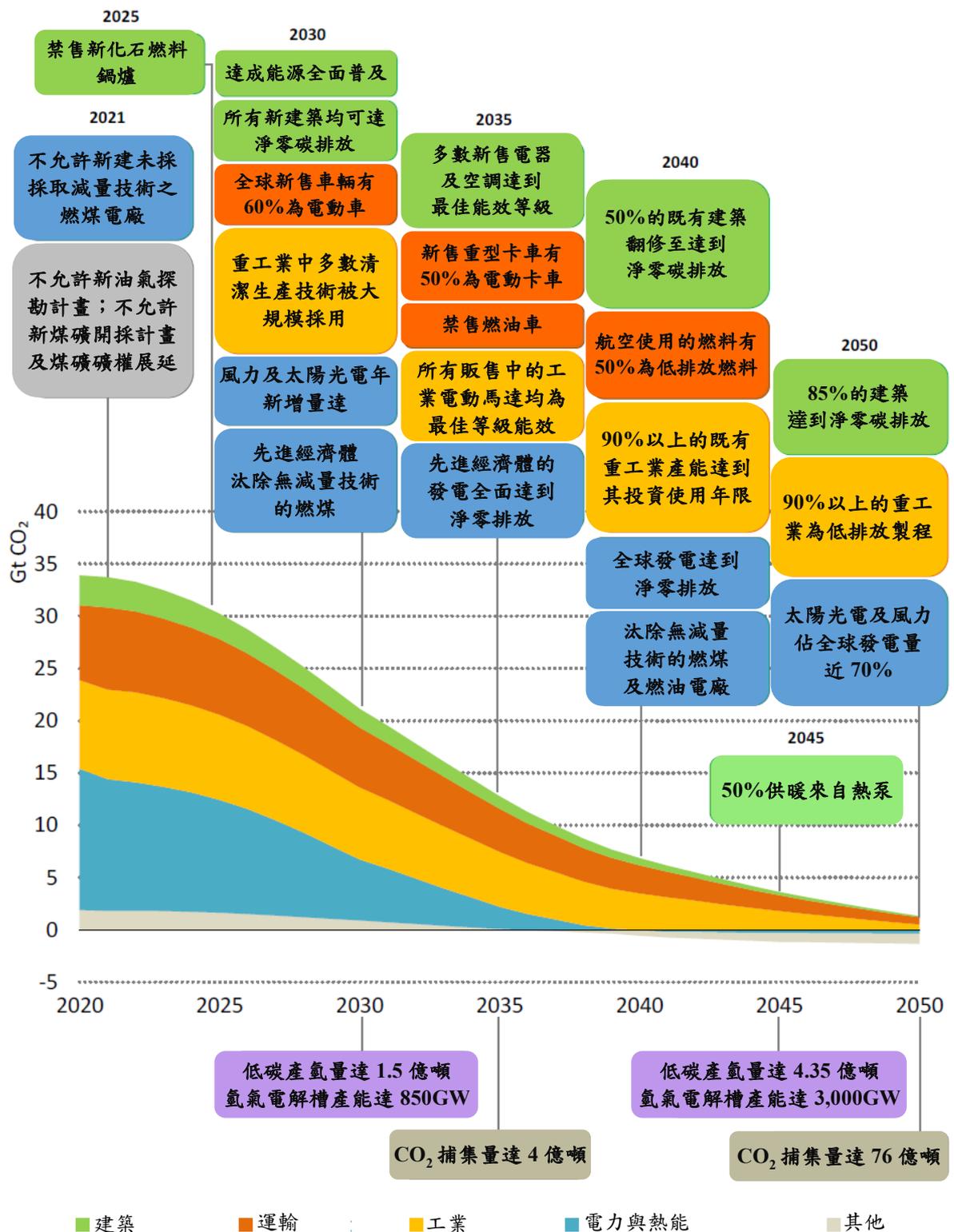
電力和熱力部門：該部門是減排的重點領域，其二氧化碳排放量的下降幅度最大，這主要得益於可再生能源發電比例的大幅提升以及燃煤和燃油電廠的逐步淘汰。

工業部門：該部門的減排主要依靠新技術的應用，例如綠氫煉鋼、碳捕集水泥生產等，以及生產效率的提升。

運輸部門：該部門的減排主要通過推廣電動汽車、發展低排放航空燃料等措施來實現。

建築部門：該部門的減排則主要依靠提高建築能效、推廣熱泵等電氣化供暖設備以及使用可再生能源來實現。

IEA(2021)的報告使用世界能源模型(World Energy Model, WEM)進行模擬，模型中包含能源需求、供應及轉換三大模組。綜合言之，2030年前全球需加速投資於電力、清潔能源及低碳技術，2030年後電力投資將逐漸減少，而對電動車、碳捕獲與封存(carbon capture, utilisation and storage, CCUS)、氫能及節能設備的投資則持續增加。



資料來源：IEA (2021)，本研究整理。

圖 1 IEA (2021) 所提出之淨零路徑關鍵里程碑

此外，IEA(2021) 的報告也對於要達成全球淨零目標的投資、經濟、就業與能源等不同面向的作為及影響提出說明：

(1) 投資規模與流向的轉變

為了實現淨零排放，全球電力領域的投資規模極需大幅提升。預計到 2030 年，年均投資額需從過去五年平均的 0.5 兆美元攀升至 1.6 兆美元，隨後十年逐步縮減約三分之一。其中，再生能源將成為投資重點，到 2030 年，其投資規模預計將達到 1.3 兆美元，而清潔能源設備的相關投資也將成長至 8,800 億美元。

同時，用戶端對低碳技術的採用將帶動相關投資成長，預計達到 1.7 兆美元的規模。相反地，化石燃料產業的投資將持續萎縮，預計到 2050 年降至 1,100 億美元。

整體而言，在 2021 年至 2050 年間，能源領域的年均投資額將維持在全球 GDP 的 1% 左右。

(2) 對經濟活動的影響

邁向淨零排放的過程中，公共和私人部門在清潔能源領域的支出將顯著增加，這將對經濟產生積極的推動作用。預計到 2030 年，這部分支出將使 GDP 年成長率比基於現有政策的情境高出 0.5 個百分點。然而，隨著石油和天然氣需求下降導致價格下滑，依賴油氣出口的國家將面臨收入減少的挑戰，迫切需要開拓新的經濟動能。

淨零政策對全球經濟的整體影響仍存在一定變數，例如政府財政收入的變化、公眾健康狀況的改善以及技術進步的速度等因素，都將對最終結果產生影響。

(3) 就業市場的結構調整

清潔能源產業的蓬勃發展將創造大量新的就業機會。預計將新增 1,400 萬個工作機會，足以抵消化石燃料產業預計減少的 500 萬個職位，淨增加約 900 萬個工作機會。其中，高效能設備和電動車產業將成為主要的就業成長動能。

(4) 能源結構的重塑

油氣產業的轉型：為了實現淨零目標，將不再批准新的油氣田開發，且石油需求將大幅下降，預計從 2020 年的每日 9,000 萬桶減少到 2050 年的 2,400 萬桶，天然氣需求也將減少超過一半。部分油氣公司將尋求轉型，將業務重心轉移至低碳技術和燃料供應。

煤炭的逐步退出與關鍵礦產的崛起：煤炭需求將持續下降，而支撐清潔能源技術發展的關鍵礦產，如銅、鋰、鎳等，其需求將大幅成長。預計到 2040 年，關鍵礦產市場的規模將接近目前的煤炭市場規模。

(5) 能源消費端的變革

到 2030 年，電動汽車預計將佔據全球汽車市場 60% 的份額。到 2040 年，預計 85% 的重型卡車將採用電動或燃料電池技術，且 2050 年全球近 50% 的電力需求將來自電動車。航空和航運業將轉向使用液態低排放燃料，在政策的引導下，重工業部門也將加速減排，加快推動工業與建築的電氣化。此外，到 2030 年，低碳氫氣需求成長至 90 百萬噸，為 2020 年的 9 倍之多，主要用於工業、運輸和發電領域。此外，到 2030 年需提高能源效率 4%/年，是過去十年平均增速的兩倍。

(6) 電力系統的深度轉型

到 2050 年，全球電力需求預計將成長超過 2.5 倍，但電力系統

的快速轉型將導致電力成本增加約三倍。再生能源將成為主要的電力來源，其發電占比將從 2020 年的 29% 躍升至 2030 年的 60%，並在 2050 年達到近 90%。其中，太陽能 and 風能將主導電力市場，其發電量將相當於 2020 年全球總發電量的 90%。

已開發國家將在 2030 年前關停所有未加裝減碳裝置的燃煤電廠，而新興市場和開發中國家將在 2040 年前完成這一目標，屆時燃煤發電的排放量將幾乎降至零。到 2050 年每年需捕獲約 75 億噸二氧化碳，2030 年前需部署 200 個大型 CCUS 項目。

總體而言，實現淨零排放的道路需要依靠電力系統和清潔能源技術的大規模擴張，並輔以強有力的政策支持和市場機制，才能加速能源轉型，並有效應對伴隨而來的經濟和社會層面的挑戰。

2. IEA (2023)：淨零排放路徑圖：更新版

在經過兩年後，IEA 於 2023 年發佈了《淨零排放路徑圖：更新版》，對 2021 年以來的全球淨零工作的進展進行了評估，並更新了實現 1.5°C 溫控目標的路徑圖，提出了新的策略、加速措施以及政策建議 (IEA, 2023)。2023 年更新版的報告以 2021 年路徑圖為基礎，結合近兩年的全球發展局態，對淨零排放路徑進行了更新和調整。其主要內容可歸納為以下幾個方面：

(1) 進展評估與挑戰

IEA 指出，自 2021 年報告發布以來，全球在清潔能源領域的投資與政策推動方面取得了顯著進展，特別是在太陽能發電和電動汽車等領域。然而，這些進展仍不足以確保實現 2050 年淨零排放目標。全球溫室氣體排放量下降的速度仍未達到預期，且部分關鍵技術，如

氫能和 CCUS 技術的商業化推廣仍然面臨較大的挑戰。

(2) 新策略與加速措施

為了加快淨零轉型的步伐，2023 年更新版報告提出了一系列新的策略和加速措施，主要包括：

更積極的再生能源部署：報告呼籲到 2035 年，全球電力供應的 90% 需來自無碳能源，其中太陽能 and 風能將佔據主導地位。為實現這一目標，到 2030 年前，太陽能和風能的年新增裝機容量需達到 1,000GW。此外，報告還強調了在新興市場和開發中國家大規模建設再生能源基礎設施的重要性。

強化技術創新與擴散：報告強調了加速開發和推廣高效能儲能技術、氫能製造與應用技術的重要性，並建議各國政府與私營部門加強合作，加大對新技術研發的資金投入。

提升能源效率：報告將能源效率提升視為短期內減排的關鍵手段，並呼籲到 2030 年，全球必須每年提高能源效率 3.5% 以上。

(3) 區域間協調與支持

2023 年更新版報告進一步強調了國際合作的重要性，特別是在支持開發中國家能源轉型方面的作用。報告指出必需加大對開發中國家的資金支持，到 2030 年，每年需提供至少 1,500 億美元的氣候資金，以支持開發中國家的能源轉型和氣候適應。此外 IEA 也重申需進一步強化國際合作，呼籲各國透過 G20、COP28 等國際平台，加強在技術、資金和政策方面的協調與合作。

(4) 新增政策建議

2023 年更新報告提出了一系列新的政策建議，以促進全球淨零

轉型的加速進行，包含：

碳定價與市場機制：建議加速擴展全球碳市場，並強化碳稅政策，以提高企業減排的積極性。

公私合作模式(PPP)：鼓勵政府和私營部門通過 PPP 模式，共同投資於清潔能源基礎設施和創新技術的開發與應用。

基礎設施建設：呼籲各國優先發展電網升級、智慧電網和跨區域能源互聯網等基礎設施建設，以提升可再生能源的整合能力。

(5) 長期展望：

2023 年更新版報告再次強調，未來十年是實現 1.5°C 溫控目標的關鍵窗口期。IEA 預測，到 2050 年，全球能源結構將發生根本性的轉變，太陽能、風能和氫能將成為主要的能源來源，煤炭的使用將幾乎完全被淘汰，而石油和天然氣的需求也將大幅下降。

IEA2023 年淨零排放路徑圖更新版報告為全球實現 2050 年淨零排放目標提供了最新的行動指南。報告在肯定過去兩年全球清潔能源發展取得的進展的同時，也指出了現有行動與實現 1.5°C 溫控目標之間的差距，並提出了更加積極的策略、加速措施和政策建議。與 2021 年路徑圖相比，2023 年更新版更加強調了再生能源部署的速度和規模、技術創新的重要性、能源效率提升的潛力以及國際合作的必要性。

然而，IEA 的淨零排放路徑圖仍然是一個基於特定假設情景下的理想化模型，其實現過程將面臨諸多挑戰和不確定性，包括技術發展的進程、政策實施的力度、資金投入的規模以及國際合作的深度等。此外，該路徑圖主要關注能源領域的減排措施，對於非能源領域的溫室氣體排放，例如農業和土地利用變化等，則涉及較少。

二、 歐盟碳邊境調整機制

碳邊境調整機制(CBAM)的概念可追溯至 20 世紀 90 年代，當時學界開始探討如何運用碳定價機制來應對「碳洩漏」(carbon leakage)問題，即由於各國環境法規的寬鬆差異，導致高碳排產業轉移至法規較寬鬆的國家，進而抵消減排成效的現象(Fischer and Fox, 2012; Böhringer et al., 2012)。2009 年，瑞典曾提出對進口產品徵收碳關稅的計畫，然而該政策最終並未付諸實施。

為應對日益嚴峻的氣候變遷挑戰，歐盟於 2019 年 12 月發布了「歐洲綠色新政」(European Green Deal)，設定了 2050 年實現氣候中和(climate neutrality)的目標 (European Commission,2019)。作為實現該目標的關鍵政策工具之一，歐盟於 2021 年 7 月在「55 套案」(Fitfor55Package)的政策框架下，正式提出了 CBAM 立法草案，旨在透過對進口產品的碳含量進行定價，以確保歐盟境內外產品承擔相同的碳成本，避免碳洩漏，並促進全球減碳行動 (European Commission,2021)。

歐盟 CBAM 法案於 2023 年 4 月在歐洲議會以壓倒性多數通過，並於同年 5 月正式生效。該法案確立了 CBAM 的法律正當性，並設定了分階段實施的進程。

1. 過渡期 (2023 年 10 月 1 日至 2025 年 12 月 31 日)

此階段為 CBAM 的試行期，進口商需申報其進口產品的碳排放量數據，但無需繳納相關費用。此階段的主要目的是建立碳排放數據的申報和監測機制，並測試相關的管理系統和程序，為全面徵稅奠定基礎。

2. 正式實施期 (2027 年 1 月 1 日起)

根據最新的草案，歐盟將正式實施的時間從原本的 2026 年延至 2027 年，目前預計受管制產品之進口量低於 50 噸之企業將會被豁免，而高於此進口量受管制產品的進口商，則須根據進口產品的碳排放量向歐盟購買 CBAM 憑證，以支付進口產品的碳排放費用。CBAM 憑證的價格將與歐盟碳排放交易體系 (EU Emissions Trading System, EUETS) 的碳價掛鉤，以確保歐盟內外產品承擔相近的碳成本。

CBAM 的計算方式是基於進口產品的「隱含碳含量」(embodied emissions)，即產品在生產過程中產生的直接和間接碳排放量。進口商在申報時，若能提供第三方驗證文件證明產品在原產國已支付相應的碳排放費用 (例如碳稅或碳交易)，則可折抵 CBAM 憑證費用，避免雙重徵稅。

根據歐盟的規劃，CBAM 初期將涵蓋水泥、電力、肥料、鋼鐵、鋁以及氫氣六大類產品。這些產品的共同特點是碳排放強度高，且在歐盟進口產品中占有較大比重。

- 鋼鐵與鋁：作為碳密集型產業，其生產過程排放大量溫室氣體，且在歐盟進口中佔據重要地位，因此被列為首批管制商品。
- 水泥與混凝土：其生產過程涉及大量的能源消耗和碳排放，且在基礎建設和建築行業中應用廣泛，對其徵收碳稅具有重要的環境和經濟意義。
- 肥料：肥料生產過程需要消耗大量能源，且會產生顯著的溫室氣體排放，尤其是氧化亞氮 (N₂O)。
- 電力：將電力納入管制範圍，旨在防止電力進口導致的碳洩漏，並促進電力生產的低碳轉型。

- 氫氣：氫氣的生產方法多樣，其中使用化石燃料的灰氫和褐氫生產會伴隨大量的碳排放，即使是透過天然氣重組並結合碳捕捉、利用與封存 (CCUS) 技術的藍氫仍會排放二氧化碳，而利用可再生能源電解水製氫的綠氫雖為零碳排的製程，卻仍有高耗能的疑慮。將其納入 CBAM 的管制是為了確保各類氫能的公平競爭，避免高碳排製成的氫能因其低成本而取代綠氫。

歐盟計劃在未來幾年內逐步擴大 CBAM 的涵蓋範圍，將更多的產品類別納入管制範疇，例如有機化學品、塑膠等 (European Commission, 2021)。擴大管制範圍的目的是為了更全面地防止碳洩漏，並進一步推動全球產業鏈的低碳轉型。

歐盟 CBAM 作為一項開創性的政策工具，其目的在藉由碳定價機制解決歐盟碳洩漏的問題，並促進全球產業鏈的低碳轉型。CBAM 的實施將對全球貿易結構和產業競爭力產生深遠影響，並可能引發其他國家的效仿。儘管 CBAM 的有效性和公平性仍存在爭議 (Böhringer et al., 2012; Fischer and Fox, 2012)，但其作為推動全球氣候治理的重要嘗試，無疑將對全球減碳進程產生積極的推動作用。

三、 美國清潔競爭法案

在全球應對氣候變遷的緊迫下，雖然歐盟率先於 2021 年提出 CBAM 的政策，不過隨後美國參議院也於 2022 年提出了《清潔競爭法案》 (Clean Competition Act, CCA)，²作為一項重要的碳邊境調整機制提案。CCA 的目的也是在藉由對進口產品的碳含量進行定價，以

² S.4355, 117th Congress; S.476, 118th Congress, <https://www.congress.gov/bill/118th-congress/senate-bill/476>

減少碳洩漏風險，提升美國製造業的競爭力，並推動全球產業鏈的低碳轉型。雖然川普於擔任第 45 任美國總統時退出巴黎協定，不過該法案的提出，展現美國在全球氣候治理中的角色轉變，突顯拜登政府重振美國在氣候議題上領導力的決心。

CCA 的核心目標包含 (1) 降低溫室氣體排放：透過對進口產品徵收碳稅，促使生產商採取減排措施，降低產品的碳排放強度；(2) 遏制碳洩漏：避免因美國國內實施嚴格的碳排放限制政策，導致高碳排放產業轉移至環境法規較寬鬆的國家，從而抵消國內減排成效；(3) 營造公平競爭環境：確保美國國內企業在承擔碳排放成本的同時，不會因面臨來自碳排放成本較低國家的進口產品競爭而處於劣勢；(4) 激勵低碳技術創新：透過碳定價機制，激勵企業投資和採用低碳技術，推動綠色產業的發展，並提升美國製造業的長期競爭力。

與歐盟 CBAM 相似，CCA 的實施將分階段進行，初期階段主要針對碳排放密集型的特定商品，並設定了逐步降低的碳排放基準線。CCA 初期階段主要管制進口的鋼鐵、水泥、鋁、化肥和石化產品等碳排放密集型產品。這些產業的產品在生產過程中會產生大量的溫室氣體排放，且在全球貿易中占有重要地位。此外，法案授權行政部門在 2027 年 1 月 1 日前確定如何將使用了大量含碳產品作為原材料，並且在進口上面臨不公平的競爭的「最終產品」納入該法案的徵收範圍，這顯示了 CCA 管制範圍的動態性和擴展性。

進口商在進口時需要提供進口產品的碳排放數據，並確保數據的可信度和準確性。這些數據需要經過第三方機構的查證，以確保其符合 CCA 的要求。如果進口商無法提供可靠的碳排放數據，美國政府將依據所有進口產品的平均排放強度進行課稅，這將激勵進口商提高碳排放數據的透明度和準確性。

CCA 的碳稅計算基於產品的碳排放強度，即單位產品的碳排放量。該法案設定了一個基準線(baseline)，即美國該產業產品的平均碳密集度。進口產品碳密集度超過基準線的部分才需繳稅，且隨著時間推移，基準線將逐年降低：

2025-2028 年：基準線設定為美國產品平均碳密集度的 100%

2029 年：基準線降至 95%

2030 年：基準線降至 90%

2031 年：基準線降至 85%

2032 年及以後：基準線降至 80%

這代表初期階段，與美國國內產品碳排放強度相同或更低的進口產品將免於徵稅，但隨著基準線的逐年降低，對進口產品碳排放的要求將逐步提高。而碳稅的具體稅率將參考美國國內碳排放的社會成本來確定。根據 CCA 的規定，徵收的碳邊境稅收收入將主要用於補助美國製造業的低碳技術研發和設備升級，以提升美國製造業的綠色競爭力。

不過 CCA 也有針對滿足特定條件的國家或地區提供豁免，例如：

- (1) 與美國簽署了限制溫室氣體排放的協定，且執行力度與美國相當；
- (2) 該國的碳排放強度等於或低於美國同類產品的碳排放強度；
- (3) 該國人均國民收入低於高收入經濟體的門檻。

CCA 的提出如同歐盟 CBAM，同樣也引發了國際社會的廣泛關注和討論，尤其是美國的主要貿易夥伴。部分國家對 CCA 表示擔憂，認為其可能違反世界貿易組織(World Trade Organization, WTO) 的相關規則，構成貿易壁壘，並損害其出口利益。CCA 的 WTO 相容性是各方爭論的焦點，不過事實上 CCA 符合 WTO 的「一般例外」條款，

允許成員方為保護環境而採取必要的貿易限制措施 (Pauwelyn, 2007)。

值得注意的是，美國總統川普於今年 (2025) 一月就任後，旋即簽署行政命令，正式啟動美國第二度退出《巴黎氣候協定》的程序，無疑將對全球淨零排放進程構成嚴峻挑戰。同時川普也鬆綁環保規定與行政程序，積極推動石油與天然氣的大規模開採，並計畫削減對清潔能源產業的財政補貼，以及採取措施阻礙風力發電等再生能源發展。此舉措為 CCA 能否順利立法增添了高度不確定性。尤其在 COP29 會議上，已開發國家曾承諾每年至少向開發中國家提供三千億美元的氣候行動資金，以協助其進行減緩和調適工作。然而，在美國政府政策轉向的背景下，此項資金承諾的落實前景亦顯得益發黯淡。綜上所述，川普新政府的能源與氣候政策轉向，不僅直接影響美國國內的減排努力，更對全球邁向淨零排放的趨勢帶來顯著的負面衝擊，為國際社會共同應對氣候變遷的努力增添了巨大的阻礙。

第二節 我國淨零排放相關目標與政策

台灣雖非聯合國氣候變遷綱要公約 (UNFCCC) 的締約方，但仍積極致力於溫室氣體減量工作，以善盡地球村成員的責任，並接軌國際減碳趨勢。台灣的溫室氣體減量法制進程，主要以 2015 年公布施行的《溫室氣體減量及管理法》(簡稱溫管法) 和 2023 年修正通過的《氣候變遷因應法》(簡稱氣候法) 為兩個重要的里程碑。

溫管法是台灣首部針對溫室氣體減量與氣候變遷調適的專法，其立法目的在於降低及管理溫室氣體排放，以因應全球氣候變遷，並確保國家永續發展。該法確立了主管機關、訂定了減量目標、規範了排放源申報、盤查、查證、自願減量機制等，並授權政府訂定排放標準和總量管制等管制工具。

溫管法中明定國家溫室氣體長期減量目標為 2050 年溫室氣體排放量降為 2005 年溫室氣體排放量的 50% 以下。並以五年為一期，分階段設定減量目標。該法授權主管機關可採取的政策工具包含：(1) 排放源申報、盤查、查證與登錄制度；(2) 效能標準管制；(3) 溫室氣體排放總量管制與排放交易制度；(4) 自願減量誘因機制等。

為因應國際淨零排放趨勢，並強化台灣的氣候治理架構，立法院於 2023 年 1 月三讀通過《溫室氣體減量及管理法》修正案，並更名為《氣候變遷因應法》。氣候法的通過，象徵台灣氣候治理邁入新的階段。氣候法明確將 2050 年淨零排放目標入法，提升政策目標的法律位階和約束力，此外也強化氣候治理架構，明確規範中央和地方主管機關的權責分工，並設置行政院國家永續發展委員會，負責協調、分工、整合國家因應氣候變遷相關事務。

氣候法進一步將國家溫室氣體長期減量目標調整為由 2050 年減量至 2005 年的 50% 以下，進一步將目標調整為 2050 年淨零排放，且與溫管法相同，氣候法也同樣以五年為一期，分階段訂定各期減量目標。此外，氣候法中也明訂主管機關可針對排放源徵收碳費，並將所徵得收入專款專用於溫室氣體減量及氣候變遷調適相關工作。

在溫管法時期，台灣的國家溫室氣體長期減量目標設定為 2050 年排放量降為 2005 年排放量的 50% 以下，並設定了第一期 (2016-2020 年) 階段管制目標為較基準年(2005 年)減量 2%，第二期 (2021-2025 年) 階段管制目標為較基準年減量 10%，第三期 (2026-2030 年) 階段管制目標為較基準年減量 20%。

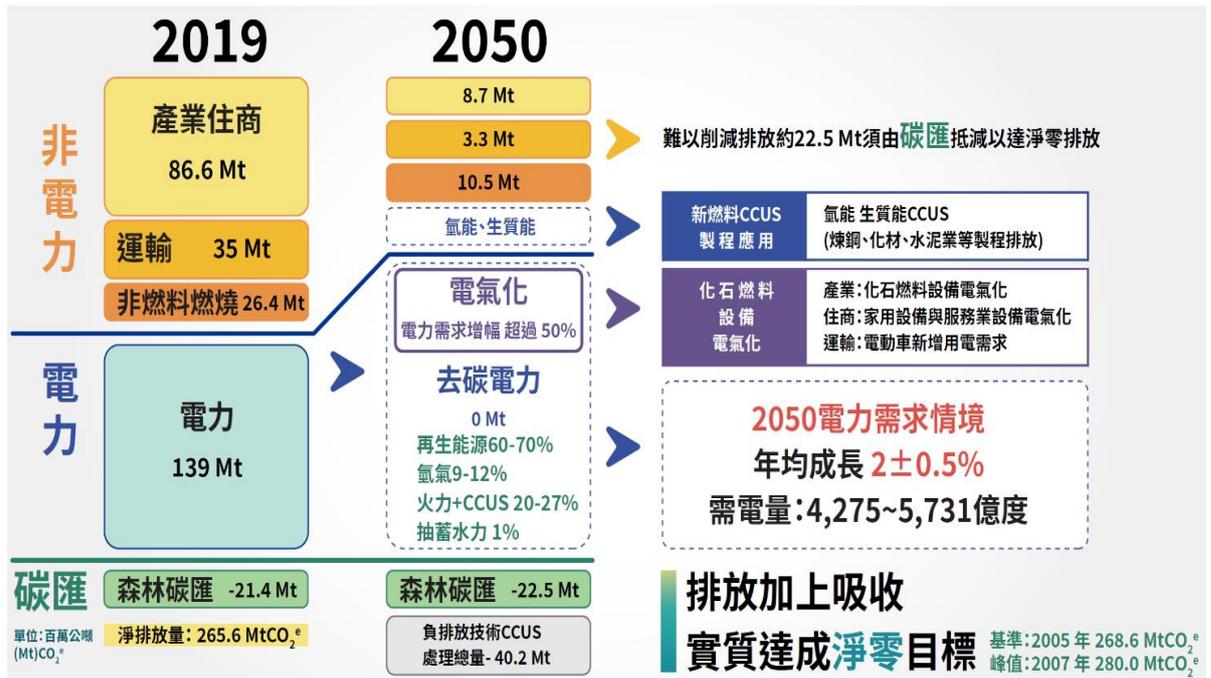
2021 年 4 月，蔡英文總統於世界地球日宣示 2050 淨零轉型是全世界的目標，也是台灣的目標。隨後，國發會開始研擬台灣的淨零排放路徑。氣候法正式將 2050 年淨零排放目標入法，並授權中央主

管機關訂定五年為一期的階段管制目標。環保署（現為環境部）於 2022 年 12 月公布「中華民國國家溫室氣體排放管制目標 (NDC)」，將 2030 年減量目標設定為較基準年 (2005 年) 減量 24%±1%，並積極推動跨部會協商。

為落實 2050 淨零排放目標，國家發展委員會（國發會）於 2022 年 3 月正式公布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」，提出台灣淨零轉型的路徑規劃和行動策略（國家發展委員會，2022）。該說明文件提出了五大路徑作為推動淨零轉型的基礎包含，「能源轉型」、「產業轉型」、「生活轉型」、「社會轉型」以及「負碳技術」等。

此外，該文件中強調以「科技研發」與「氣候法制」作為支撐淨零轉型的兩大治理基礎，並針對能源、產業、生活轉型等面向，提出十二項關鍵戰略，包含：風/光兩電、前瞻能源（氫能、地熱、海洋能、生質能）、電力系統與儲能、節能、鍋爐汰換、製程改善、碳捕獲利用及封存、運具電動化及無碳化、資源循環零廢棄、自然碳匯、淨零綠生活、綠色金融、公正轉型等十二個面向，同時也提出各項關鍵戰略之 2030 年具體目標。

在我國《氣候變遷因應法》明確將 2050 淨零排放入法後，氫能在臺灣的重要性也逐漸提升，在國發會所公佈的「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」中指出，隨產業、住商及運輸逐步電氣化，我國於 2050 的電力需求將較 2019 年增加 50%，其中去碳電力的部份，氫能將占 9%~12%，如圖 2 所示。



資料來源：國家發展委員會(2022.12.28)，「淨零轉型之階段目標及行動」簡報。

圖 2 2050 淨零轉型之電力與非電力部門減量規劃

第三節 淨零排放相關政策之經濟影響評估文獻

雖然目前僅歐盟開始試行 CBAM，且至 2026 年 1 月 1 日才正式開始徵收 CBAM 費用，尚未有其餘國家正式收取碳關稅，但相關議題已引起廣泛關注多年，且多項研究已探討 CBAM 的課徵策略與其可能造成的影響。過去文獻在分析 CBAM 對經濟及減量帶來影響時，大多使用 CGE 模型，而少數則使用多國投入產出模型及劍橋大學開發的多國總體計量模型 E3ME（Energy-Environment-Economy Global Macro-Economic, E3ME）進行分析。如 Dong and Whalley（2009）、Bao et al.（2013）、Ghosh et al.（2012）、Vlassis（2013）、Keen and Kotsogiannis（2014）、Springmann（2014）、López et al.（2015），以及 Xu et al.（2015）等研究利用 CGE 模型進行分析；Lockwood and Whalley（2008），Cui et al.（2015），以及羅聖傑（2021）使用多國投入產出

(Multi-Regional Input-Output, MRIO) 模型；而 Pollitte et al. (2012)、Park et al. (2015)、蕭代基等 (2022) 則使用英國的劍橋經濟研究所開發的歐洲能源-環境-經濟模型 (Energy-Environment-Economy Model of Europe, E3ME) 模型進行分析。也有少數文獻結合兩種方法，如郭佳憲 (2023) 結合多國投入產出模型及多國 CGE 模型。

在眾多關於 CBAM 的研究中，對於其經濟與貿易影響的評價呈現多元分歧的觀點。部分文獻指出 CBAM 可能對經濟發展造成負面衝擊，且其減碳效果亦存在不確定性。例如，Bordoff and Shoyer (2008) 的研究認為，CBAM 在防止碳洩漏和維護國際競爭力方面的成效並不顯著，甚至可能構成貿易壁壘，阻礙全球貿易的自由流通。許多採用 CGE 模型進行模擬分析的研究也得出類似的結論。Dong and Whalley (2009) 模擬了歐美國家對中國出口品徵收 CBAM 的情境，結果顯示此舉將對中國經濟造成嚴重的負面衝擊，但環境效益卻相當有限。Kasterine and Vanzetti (2010) 認為如果依農產品造成的隱含碳排放徵收碳邊境調整費用，會使開發中國家蒙受巨大的農業出口損失，因此 Kasterine and Vanzetti (2010) 特別強調在設計和實施碳市場機制時，應考慮道德層面和發展中國家的特殊需求。Bao et al. (2013) 模擬了歐盟及美國對中國課徵碳邊境稅的情況，結果顯示此機制將嚴重衝擊中國外貿，尤其是高排放強度產業，進而影響中國的經濟發展，不過 Bao et al. (2013) 也發現，鼓勵廣泛使用環境友善的燃料，對減碳效果會比碳邊境稅好。Xu et al. (2015) 利用 CGE 模型分析後發現，CBAM 雖然可以降低中國 GDP 的能源強度，但同時會對生產活動造成限制，進而推升能源成本並改變消費結構。此外，Huang and Li (2010)、Huang et al. (2014) 透過 GTAP 模型進行的研究也得出相似的結論，並進一步指出 CBAM 可能淪為已開發國家實施貿易保護主

義的工具。Banerjee (2021) 則以印度為研究對象，提出若印度同步實施碳定價政策，且稅率逐步與其他國家接近，將可有效減少碳洩漏，並建議搭配稅收回饋政策，以降低 CBAM 對經濟帶來的不利影響。

然而，亦有相當數量的研究支持 CBAM 的正面作用，認為其能有效促進全球減碳目標的實現。Ismer and Neuhoff (2007) 的研究指出，CBAM 可以促使各國積極採取節能減碳措施，減緩氣候變遷的惡化速度。Lockwood and Whalley (2008) 透過 MRIO 模型的研究發現，只要跨部門的碳稅稅率保持一致，無論是依據來源地原則還是目的地原則進行課徵，最終的結果並無顯著差異。Park et al. (2012) 則利用 CGE 模型分析亞太地區實施碳邊境稅的影響，結果顯示碳邊境稅有助於降低碳洩漏，且對經濟造成的負面影響相對有限。Vlassis (2013) 的研究更進一步表明，邊境調整稅對於達成柏拉圖最適 (Pareto Optimality) 具有必要性。Cui et al. (2015) 透過 MRIO 模型發現，CBAM 對中國經濟幾乎沒有負面影響。Böhringer et al. (2012) 彙整了 12 篇 CGE 模型研究的結果，指出 CBAM 可以減少約三分之一的碳洩漏，對全球減碳具有積極的促進作用。Burke et al. (2021) 則提出，若將 CBAM 的課稅範圍限定於原料產品，而無需涵蓋廣義的原材料和半成品，即可有效地減少碳洩漏。Park et al. (2015) 運用 E3ME 模型模擬亞太地區實施 CBAM 的效果，結果顯示同時徵收碳稅與 CBAM 能夠有效減少碳排放，並提升出口與國內產值。特別是，此外，López et al. (2015) 的研究顯示，對出口產品課徵碳稅可以提升歐盟公用事業的效率，並促進低碳技術的採用，然而，若要將課稅範圍擴大至進口產品，則需要設定較高的稅率才能對貿易量產生顯著的影響。Springmann (2014) 則提出，已開發國家對進口產品課徵碳稅，長期而言將迫使火力發電占比高的國家，例如中國和東南亞國家，透過

清潔發展機制 (Clean Development Mechanism, CDM) 進行技術調整與升級，以減少 CBAM 對其經濟造成的衝擊。

針對 CBAM 政策對我國影響的研究中，溫麗琪、周雨蓁 (2021) 針對鋼鐵業進行初步推估，認為如果歐盟 CBAM 正式實施，將會增加新臺幣 6.99 至 53.58 億元的出口成本。黃靚宜等 (2022) 由各國淨零排放趨勢下所設置的相關政策目標及法規，從企業經營的角度探討其因應措施；羅聖傑 (2021) 主要利用多國投入產出模型計算主要出口國的出口品碳含量，再透過多國投入產出價格模型評估 CBAM 對主要國家生產成本的影響，結果顯示台灣出口競爭力將面臨較為嚴重的流失風險，因而建議政府應儘早建立國內碳定價機制，以因應國際趨勢；郭佳憲 (2023) 則利用多國投入產出模型計算出口品的碳含量，並結合多國 CGE 模型—GTAP (Global Trade Analysis Project) 評估歐盟 CBAM 對我國的經濟影響。

此外，蕭代基等 (2022) 利用 E3ME 模擬我國政府在 2050 溫室氣體排放量達到 2005 年的 50% 以下目標時，分別模擬歐盟及英國實施 CBAM，以及加入美國、日本、韓國、臺灣等國實施 CBAM 時，並搭配模擬有豁免及無豁免不同情境下，碳邊境調整對臺灣的衝擊影響。其分析結果發現，當歐、美、日、韓等國實施 CBAM 時，對臺灣經濟及減碳影響不大，但臺灣實施碳稅則使臺灣的碳排放量明顯減少。若臺灣未實施與其他國家相當強度的減碳政策，2026 年要繳給其他國家的 CBAM 名目稅額為 110 億元新台幣，至 2050 年為 1,397 億元。但若臺灣於國內同步施碳稅政策，則可不用繳交 CBAM 費用給其他國家，還可以向未有碳定價，或碳價較低的國家徵收 CBAM 費用。在產業面的分析部份，當歐盟與英國實施 CBAM，對基本金屬業產值負面影響較大，相較於基準情境，產值約下降 0.03%。

然而，上述針對國內經濟影響評估的文獻中，黃靚宜等（2022）未進一步進行量化的經濟影響評；羅聖傑（2021）僅評估 CBAM 對生產成本的影響，亦未深入探討總體經濟影響評估；郭佳憲（2023）雖以多國 CGE 模型進行 CBAM 對我國經濟影響估，其採用的 GTAP 模型為普渡大學所開發維護的模型，目前 GTAP 模型已有相當完整的多國經濟與貿易資料，且模型已開發完成，不需再自行推估複雜的參數，因此分析工作已簡化許多，不過相對而言，分析議題就較受限於目前已開發的模型，使用者無法自行調整模型，因此對於臺灣減碳政策與轉型路徑未能細緻的參卓我國政府政策進行設定，且 GTAP-E（擴充環境面的 GTAP 模型）目前僅靜態模型，尚未發展動態模型，無法動態模擬我國政府的淨零政策與 CBAM 逐步取消的免費核配額度的情境。而蕭代基等(2022) 採用的是多國總體計量模型，其在分析時對於國內特定能源技術的政策目標未能加以細緻考量，且其產業資料較粗略。

綜上所述，本研究擬以林師模與林晉勗（2021）的單國動態 CGE 模型為基礎，開發一個單國動態 CGE 模型，除了較詳細的刻劃各種不同能源之間的替代性，且能較細致的考量我國能源轉型、碳費，以及其他淨零相關政策，並將出口區分為出口至歐盟及世界其他地區，以便探討歐盟對我國特定受管制商品課徵碳關稅的經濟影響。

第三章 研究方法

前述文獻中，在分析淨零政策及 CBAM 的經濟影響評估時，常見的模型包含投入產出模型、單國 CGE 模型、多國 CGE 模型，以及總體計量模型。投入產出模型的優點在於計算相對簡單，且分析較直覺易於解釋，其背後的理論為經濟學家 Leontief 的固定投入比型式，模型中沒有價格機能，因此不易反映課稅所使得相對價格變化而產生的替代效果，國際貿易與 CO₂ 排放的議題則主要用於分析「弱碳洩漏」，透過多國產業關聯計算進出口商品的隱含碳排放量，以及課徵碳稅之後對產品生產成本的影響。相對而言，CGE 模型的基礎資料亦為投入產出表，但在產品生產、需求的函數設定上較為彈性，允許產品因相對價格改變而產生替代或互補效果，國際上多用於分析政府政策對總體經濟及各產業的衝擊。

近年將 CGE 模型擴充能源與環境面資料，而逐漸發展為 3E (Energy-Environment-Economic, 3E) 模型，在國際貿易及 CO₂ 的議題，主要用於分析「強碳洩漏」及「碳洩漏率」相關議題，然而由於 CGE 模型以經濟學理論中的一般均衡理論為基礎，除了函數型式較複雜外，亦涉及許多的參數推估與設定，以及資料編製等，因此在操作上較為複雜，且模擬結果較不易直觀解釋。雖然 CGE 模型可藉由經濟機制發展動態模型，模擬政策在跨年度間的實施力度及外在總體環境的變化，然而 CGE 模型與投入產出模型的基礎資料均為某一特定年度的投入產出表，難免遭人詬病。

有別於利用單年度投入產出資料進行估計的投入產出模型及 CGE 模型，E3ME 模型主要是藉由統計總體歷史數據，利用總體計量聯立方程組進行參數估計，採用動態預測方式推估未來預測值。不過

總體計量模型主要利用經濟理論建立總體經濟變數間的關聯性，多個關係式組成聯立方程組，再利用歷史資料進行計量估計，聯立求解，因此能進假設檢定，並建立預測區間。

然而各研究方法間各有優缺點，投入產出模型為線性模型，無法考量經濟體系中的價格效果，且僅利用單一年度歷史資料進行估計，其優勢在於計算簡便，且估計結果較為直覺；CGE 模型的為投入產出模型的擴充，在經濟體系中考量價格機制、產業及消費者的決策行為模式，以及複雜的總體經濟行為模式，雖然可以透過動態機制發展成動態模型，然而其缺點為其基準資料與投入產出模型一樣僅為某一特定年度的資料，且模型過於複雜，模型建置需具相當專業背景。相較而言，總體計量模型利用多個年度的歷史資料，以聯立方程組進行計量模式推估，以多個年度的歷史資料推論總體經濟變數之間的關聯性，然而其缺點為較缺乏產業細緻資訊，因此在設定淨零轉型的細部產業政策時，較難直接設定相關政策。

為了能較細緻討論 CBAM 對特定產業課徵碳關稅，因此本研究選用 CGE 模型進行估計，而 CGE 模型又可區分為多國模型與單國模型，目前國際上採用多國模型時多利用普度大學的 GTAP 模型進行分析，雖 GTAP 模型可以較完整的評估國與國之間的互動，然而其缺點為多國模型較為複雜，資料取得不易，因此個別國家的能源技術資料無法詳細設定。因此本研究將採用單國 CGE 動態 CGE 模型，其優點在於可針對我國能源轉型政策較詳細設定，缺點為無法全面考量多國貿易互動關聯性。此外，針對僅用單一年度資料進行模型建置而易遭詬病的缺點，本研究採用歷史年度動態校準的方式，將歷史年度的重要變數校準至與總體經濟一致，以提升模型估計的準確度。

目前，國內外評估溫室氣體減量政策對經濟及產業影響評估時，

普遍採用可計算一般均衡模型 (computable general equilibrium, CGE) 為主 (Kolsuz and Yeldan, 2017; Rajbhandari et al., 2019; Feng et al., 2022; 林師模與林晉勗, 2019; 林師模與林晉勗, 2021), 其優點為在考量經濟體系中各部門及市場交互作用之基礎下, 可納入一定程度的能源部門及能源、電力技術特性, 相當適合用於評估再生能源發展效益及相關議題。要探討氣候政策對經濟體系的影響, 在 CGE 模型中必須同時納入能源部門和電力技術特性, 並考量總量管制及碳稅等政策工具。國內已有多種常見的模型應用於此類分析, 包括 TAIGEM-III (Taiwan General Equilibrium Model, TAIGEM)、TaiSEND (Taiwan Sustainable Energy Development, TaiSEND), 以及 GEMEET (General Equilibrium Model for Energy, Economic and Technology Analysis) 模型, 各具特色。

TAIGEM-III 為國內較早納入能源部門及電力技術特性的 CGE 模型, 是臺灣第三代可計算一般均衡模型, 適用於經濟、能源與環境議題分析。該模型發電技術細分為 10 種不同化石燃料發電機組與再生能源發電技術, 但受制於當時資料取得性之限制, 無法將所有再生能源發電技術皆納入考量, 再生能源僅設為單一部門 (黃宗煌, 2000; 李堅明等, 2005; 徐世勳等, 2006)。

TaiSEND 模型也同樣地納入能源及發電技術特性, 但與 TAIGEM-III 不同的地方為該模型採用混合互補 (mixed complementarity) 的方式求解, 並採階梯式 (stepwise function) 的發電技術選擇, 使高報酬、低成本的發電技術優先應用, 而再生能源部門之分類也較 TAIGEM-III 單一部門之設定較為細緻, 能更準確捕捉再生能源的特性 (楊晴雯, 2012)。

GEMEET 模型在能源技術的設定方面更加全面。該模型區分非

汽電共生與汽電共生，並依特性將非汽電共生電力分為基載與中尖載電力，基載電力包括核能與燃煤發電技術，而燃煤發電又透過將傳統燃煤與整體煤氣化複循環發電技術 (Integrated Gasification Combined Cycle, IGCC) 加上碳捕捉與封存組合而成。至於其他如燃氣、燃油、水力、陸域風力、離岸風力與太陽光電等發電技術則歸為中尖載電力 (Feng et al., 2020)。GEMEET 模型的發展時間晚於 TAIGEM 及 TaiSEND，數據完整性更高，政策模擬更為靈活。

在國際上，CGE 模型評估溫室氣體減量政策主要透過碳定價 (carbon pricing) 機制將溫室氣體的排放成本內部化，並搭配再生能源技術發展、能源使用效率提升及內生技術進步，分析不同政策產生的經濟影響，或是達成一定減量幅度所需之碳價水準。

為全面評估氣候政策對經濟體系的影響，需同時考量能源、環境及經濟三大面向 (3E 模型, energy-environment-economy)。由於主要的溫室氣體由燃燒化石能源產生，而能源又是經濟體系生產的重要投入，也是現在經濟社會不可或缺的消费商品，因此，能源、環境及經濟政策之間具有高度關聯，需在 3E 框架下進行整體分析。

第一節 研究架構

本研究之研究架構圖如圖 3 所示。本研究使用的 CGE 模型同時考量能源、環境及經濟三個面向，探討政策引導與市場反應的動態影響。當政府透過補貼引導再生能源使用比例提高時，雖可加速發電結構由化石燃料轉向再生能源，但同時可能增加政府財政負擔，導致預算排擠效應。此外，再生能源使用量的提升將促進國內相關設備業的發展，隨著產量增加，透過做中學 (learning by doing) 提升技術水準，進一步降低再生能源成本。在價格機能的引導下，市場會選擇更多再

生能源替代化石能源，而再生能源成本下降亦可能導致政府調降躉購費率 (Feed-in Tariff, FIT)，進一步減少補貼支出，形成政策與市場之間的動態互動。

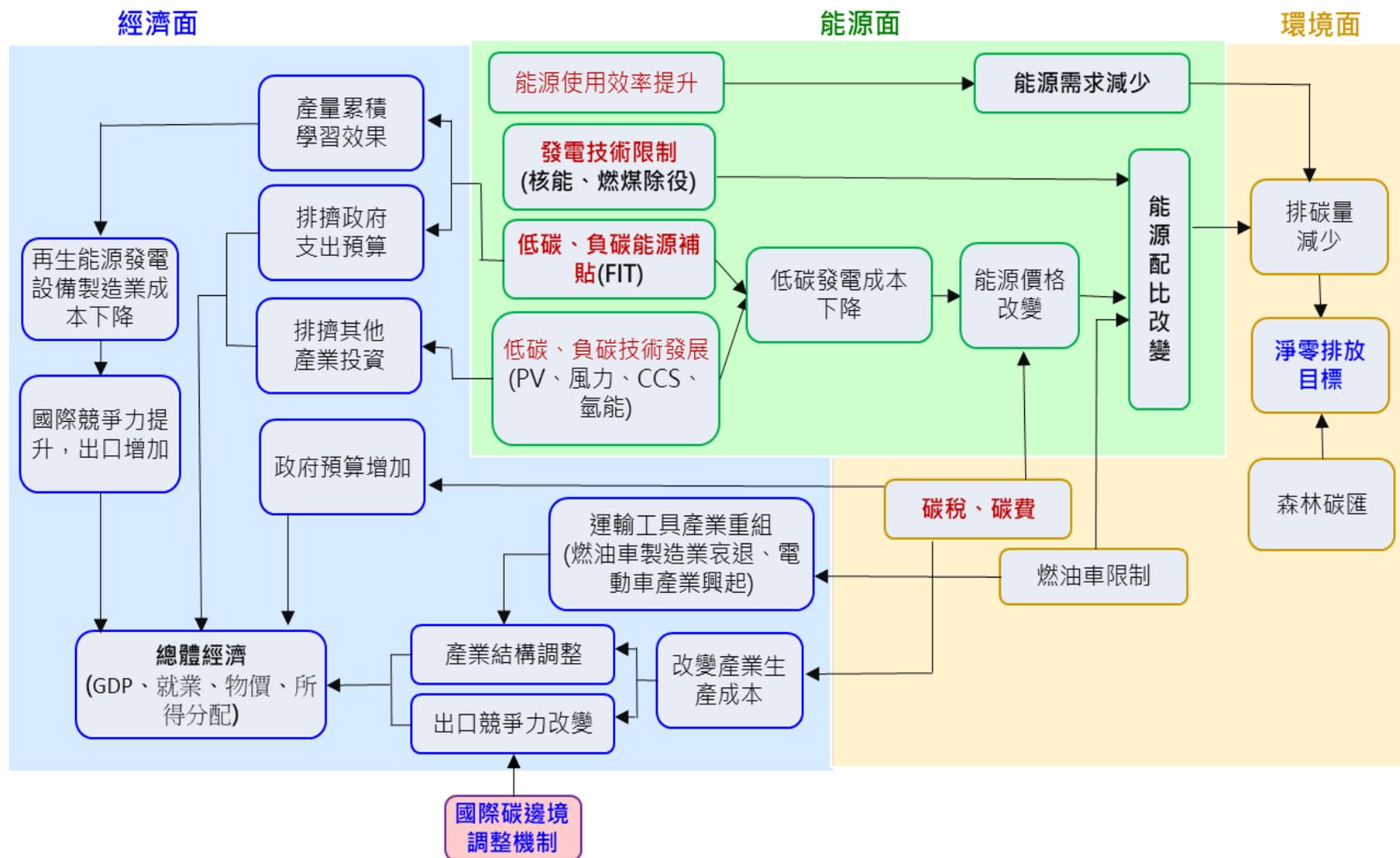


圖3 本研究之研究架構圖

第二節 隱含碳排放計算—環境投入產出模型

在所有國家碳排放減量議題中，「貿易中所隱含的排放」(emissions embodied in trade, EET) 已逐漸受到許多研究所關注。在 IPCC 的定義中，排放範圍是根據“國家領土和近海區域的管轄範圍”來衡量，亦即以生產面為基礎進行計算(production based accounting)。相對的，碳足跡(carbon footprint) 主要係從產品及服務的消費端出發，以消費面為基準的基礎計算(consumption based accounting)，即包含整個生命週期過程所直接與間接產生的排放。

由於中間財貿易的盛行，各國碳排放的狀況已明顯受到國際貿易中碳洩漏的影響，Wang and Ang (2018) 及 Lin et al. (2020) 均指出，全球的 CO₂ 排放中，有相當高的比例是透過國際貿易的碳洩漏所造成的。Xu and Dietzenbacher (2014) 則發現，在許多發達國家中，進口中隱含的排放成長遠高於出口中隱含的排放成長。

在計算貿易財隱含的碳排放時，一般而言可利用廠商盤查的方式進行，不過較難追溯至產品生命週期，而本研究的主要目的係評估國際碳邊境稅對我國經濟影響，當由產業的角度出發，而 Miller and Blair (2021) 指出，利用投入產出模型(input-output model) 來計算國際貿易中的碳排放量，能夠觀察到最終需要的變化對環境及能源的直接及間接影響；Xu and Dietzenbacher (2014) 亦認為投入產出模型已成為環境政策分析的重要工具之一。事實上，國內外已有許多文獻以投入產出模型分析貿易中的碳排放議題，如 Machado et al. (2001)、Ahmad and Wyckoff (2003)、Sánchez-Chóliz and Duarte (2004)、Pan et al. (2008)、Liu et al. (2010)、Hasegawa et al. (2015)、Sun et al. (2017)、林師模等(2017)、Lin et al. (2018)、陳雅筑(2018)、Lin et al. (2020)、

羅聖傑 (2021)、李淑鶯 (2023)、呂欣穎 (2024)。

投入產出表為經濟學家 Wassily W. Leontief 於 1936 年所提出，主要將一般均衡的概念運用至一國國民所得會計帳，用以記錄整體經濟在某一段時間（通常為一年）的生產與消費活動，並以矩陣方式呈現各部門的生產投入以及產出消費的關係，其中包含中間交易（或稱中間投入或中間需要）、原始投入，以及最終需求等三個部份。假設在單國架構下，該國沒有進、出口，且國內有 n 個產業部門，每個部門各自生產 1 種產品，則該國的投入產出表架構如表 1 所示。

表 1 投入產出表 (生產者價格交易表) 之架構

		中間需要部門				最終需要				總需要	進	總產出
		<i>1</i>	<i>2</i>	...	<i>n</i>	<i>C</i>	<i>I</i>	<i>G</i>	<i>E</i>	TD	M	X
中間投入部門	<i>1</i>	Z_{11}	Z_{12}	...	Z_{1n}	C_1	I_1	G_1	E_1	TD_1	M_1	X_1
	<i>2</i>	Z_{21}	Z_{22}	...	Z_{2n}	C_2	I_2	G_2	E_2	TD_2	M_2	X_2
	:	:	:	...	:	:	:	:	:	:	:	:
	<i>n</i>	Z_{n1}	Z_{n2}	...	Z_{nn}	C_n	I_n	G_n	E_n	TD_n	M_n	X_n
原始投入		V_1	V_2	...	V_n							
總投入		X_1	X_2	...	X_n							

表 1 顯示基本的投入產出表架構，利用投入產出表建構一般均衡架構下的生產投入與產出分配間的關聯，即為投入產出模型。投入產出表中各部門之生產及分配必然達成平衡，亦即總供給等於總需要。當經濟體系達到均衡時，經濟體系的總產出=中間需要+最終需，則表中部門 i 之間的橫向關係可表示如下（可參閱 Miller and Blair, 2021）：

$$Z_{i1} + Z_{i2} + \dots + Z_{in} + C_i + I_i + G_i + E_i = X_i + M_i \quad (1)$$

其中， Z_{ij} 表示商品 i 投入到產業 j 作為中間投入的金額， C_i 、 I_i 、

G_i 、 E_i 分別表示商品 i 銷售至家計單位、固定資本形成、政府部門以及出口至其他國家的金額， M_i 則為商品 i 的進口金額， V_j 表示產業 j 的附加價值， TD_i 為商品 i 的總需要，可由中間需要及最終需要的加總而得，而 X_i 則為商品 i 的總產出。若令 $C_i + I_i + G_i + E_i - M_i = Y_i$ ， Y_i 即為商品 i 的最終需要，則 (1) 式可以改寫為

$$Z_{i1} + Z_{i2} + \dots + Z_{in} + Y_i = X_i \quad (2)$$

而後利用 Leontief 的固定投入係數的概念，若令 a_{ij} 為部門 i 投入部門 j 的投入係數，並以 $a_{ij} = Z_{ij}/X_j$ 衡量，則 (2) 式可以改寫為

$$X_i = a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{in}X_n + Y_i \quad (3)$$

將 n 個產業的 n 條方程式，以矩陣及向量形式可表示為：

$$X = AX + Y \text{ 或 } X = (I - A)^{-1} \cdot Y, \quad (4)$$

其中， X 為維度 $n \times 1$ 的部門產出向量， I 為維度 $n \times n$ 的單位矩陣， A 為維度 $n \times n$ 的投入係數矩陣， Y 為維度 $n \times 1$ 的最終需求向量， $(I - A)^{-1}$ 為 Leontief 逆矩陣，又稱為產業關聯係數矩陣。

若要衡量一國最終需要中隱含的本國二氧化碳含量，可將(1)式乘此碳強度係數向量，亦即各產業每單位產出的直接排放。此外，由於式(1)中的投入係數中包含國產品及進口品的投入，若僅要估算本國出口品的排放，則應將投入係數矩陣調整為僅計算國產品的國產品投入係數矩陣 A_d ，且最終需要向量進一步調整為僅包含出口品的出口向量：

$$C = \hat{f}(I - A_d)^{-1} \cdot E, \quad (5)$$

式中， f 為維度 $n \times 1$ 的各產業排放係數向量， \hat{f} 則代表將 f 向量取對角矩陣， E 為維度 $n \times 1$ 的各產業出口向量， C 即為該國各產業出口品中

所含的本國直接及間接排放量。

本研究在評估我國出口品中的碳含量時，以主計總處所公佈之 2016 年投入產出表為基礎資料捕捉產業生產投入與產出分配間的結構，雖主計總處已於 2024 年 11 月公佈 2021 年版本的投入產出表，礙於本研究時程，尚無法採用最新年度投入產出表，不過在能源投入及溫室氣體排放的計算部份，本研究採用經濟部能源署 2022 年的能源平衡表，編製各產業的各種能源使用資料，並搭配環境部氣候變遷署 2024 年所公告的 2022 年溫室氣體排放清冊資料，雖產業的投入產出結構並非最新資料，但在能源使用與溫室氣體排放資料已更新至目前最新資料，對估計結果應不致有太大偏差。³

第三節 總體經濟模型—可計算一般均衡模型

本研究在進行總體經濟影響評估時，採用的國際上目前普遍用於評估氣候政策對經濟影響的經濟模型—可計算一般均衡模型。CGE 模型是以經濟學理論中的一般均衡理論為核心，生產者行為是在成本最小化的前提下，在特定的生產函數中選擇最適投入組合以求成本最小化的產出。在投入面，中間投入與能源及原始投入所組合之要素投入結合來生產商品，且其間無替代性，即設定成 Leontief 之函數形式，以反映出各生產投入隨產出的擴張或緊縮而呈等比例增減的情況；中間投入各商品的組合是由該商品國產與進口品，透過固定替代彈性（constant elasticity of substitution, CES）函數組合而成之複合產品，

³ 本研究採用 105 年度產業關聯表作為模型基礎資料，主要基於以下考量：儘管主計總處於 2024 年 11 月 29 日公佈了 110 年度產業關聯表，但因新資料需進行新興產業部門拆分、平衡處理及模型測試等作業，耗時較長，短期內無法直接應用。因此，採用 105 年度資料並針對重要的社經變數進行歷史年度校正，可確保數據穩定性與一致性，滿足模型構建與政策評估需求。

可以透過替代彈性的​​大小來反映投入之間的替代可能性。其他部份，原始投入是由勞動與資本透過 CES 函數組合而成，複合能源原始投入則代表著能源與原始投入之間有相互替代之關係，如圖 4 下半部所示。

假設國內的產業會依照各個產品的成本及價格，決定各種產品的生產比例來追求利潤的最大化；而廠商生產供本國或是出口使用的比例則是由本國與出口的相對價格而定，在模型內以固定轉換彈性（constant elasticity of transformation, CET）函數決定最適的產出分配，如圖 4 上半部所示。在出口的部份，為模擬本國出口至歐盟受 CBAM 的影響，因此又將出口區分為出口至歐盟或世界其他地區（rest of the world, ROW）。

本研究模型也透過各種固定替代彈性函數（constant elasticity of substitution, CES）捕捉產業在使用各種電力與能源產品（如煤及其製品、燃氣、汽油、柴油等）間的不完全替代關係，在考慮產業的能源使用特性下，反映實務淨零政策導致能源相對價格變化，造成能源產品需求量變動之消長關係，如圖 4 下半部能源的巢式結構所示。

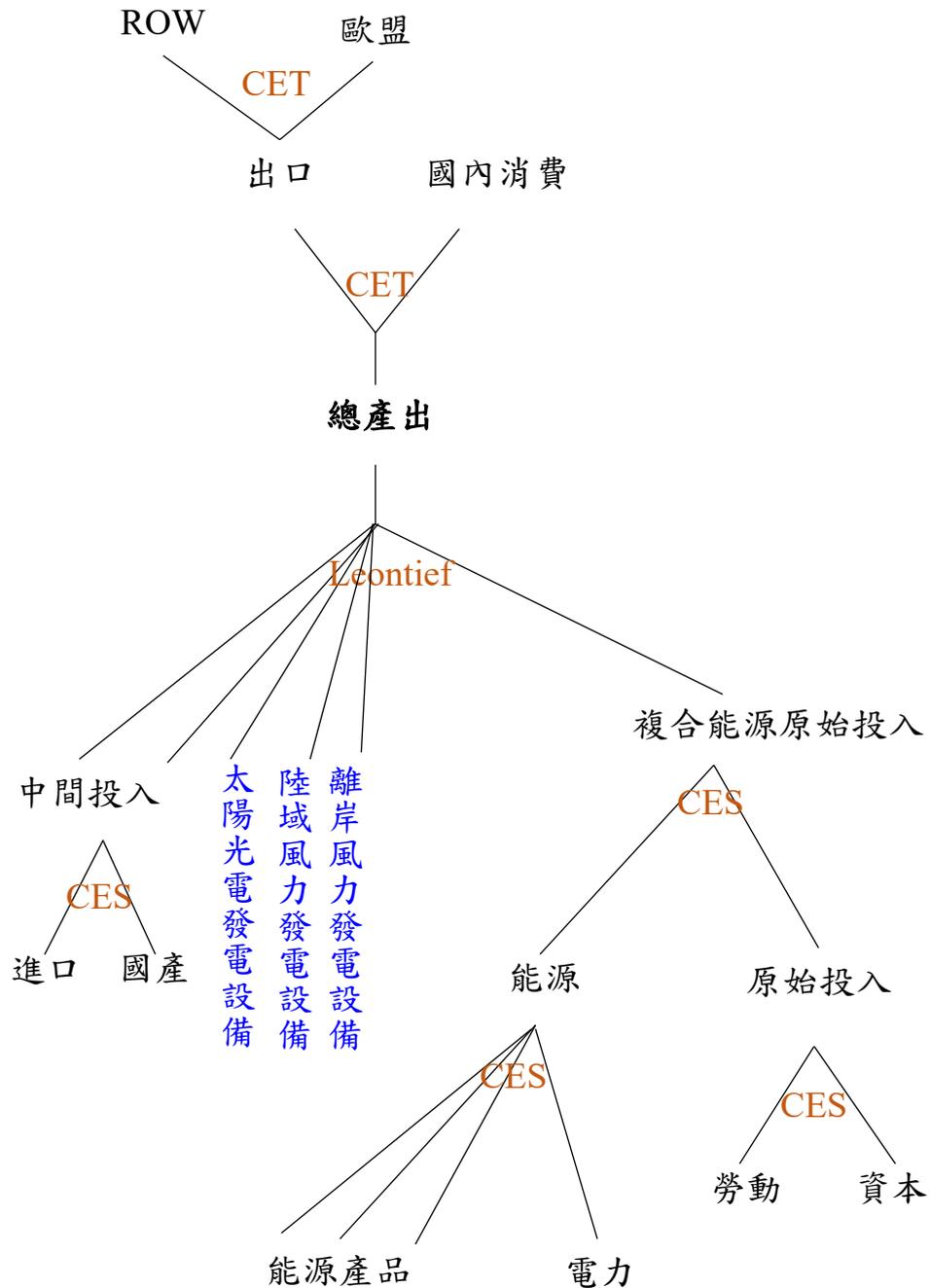


圖 4 本研究 CGE 模型之巢式結構

此外，本研究的 CGE 另一特點為對發電技術有詳細的設定，並區分出傳統發電（如燃煤發電、燃氣發電、燃油發電、核能發電）、再生能源發電（如太陽光電、離岸風力、陸域風力及水力發電），如圖 5 所示。此外，根據國發會 2022 年的「淨零轉型之階段目標及行動」，

去碳電力中又包含火力+CCUS (carbon capture utilisation and storage) 及氫能，因此本研究的模型也進一步包含燃煤+碳捕捉封存、燃氣+碳捕捉封存，以及氫能等發電技術。

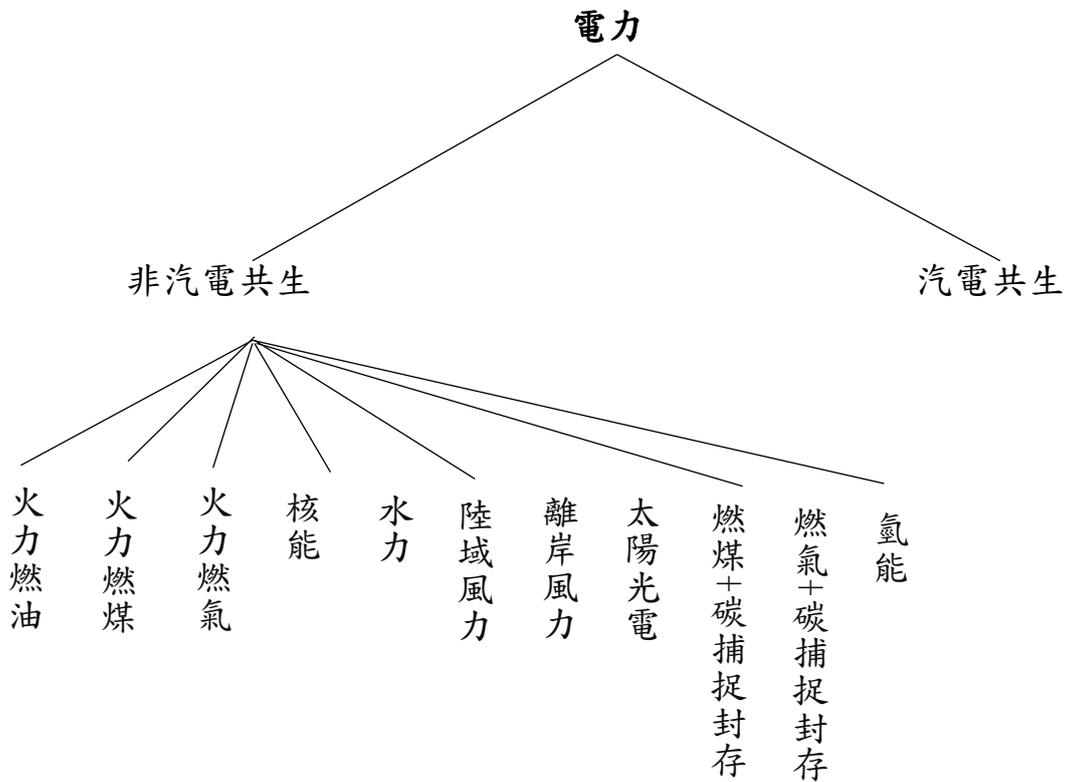


圖 5 本研究 CGE 模型之電力部門巢式結構

發電技術之外，模型之產業部門也納入再生能源發電設備製造，並且考量這些部門的內生技術進步機制。在這樣的設定下，相關政策之推動會有資本存量累積所產生之成本下降效果，進而促成技術或產業之加速發展，以捕捉綠能經濟所帶來的產業發展效益及就業效果。

準此，本研究採用的 3E 動態 CGE 模型具備多項特色，包括：納入先進低碳及再生能源發電技術，並考量溫室氣體總量管制、燃燒與製程排放及內生技術進步；涵蓋再生能源設備產業及其綠色經濟效益；整合社會會計矩陣 (social accounting matrix, SAM)，捕捉個體與總體

經濟流向及產業互動；能模擬碳排放總量管制、租稅與補貼政策，並具稅收回饋機制，全面評估政策對經濟、環境及社會的影響。

第四節 模型資料

一、社會會計矩陣

本研究採用動態 3E CGE 模型模擬國際減碳政策影響，基礎資料為社會會計矩陣 (SAM)，核心數據來自行政院主計總處 2016 年投入產出表 (使用該年基礎資料之原因詳見註 3)，再結合國民所得帳、家庭收支調查及人力運用調查資料 (勞動區分為 8 類職業)，編製符合需求的 SAM 彙整表，作為模型分析基礎，詳如表 2。雖投入產出表距今有多年，經濟體系已有相當程度變化，不過本研究所建立的 CGE 模型係一動態模型，在歷史年度期間，可透過歷史校準使主要總體經濟變數求解結果與歷史實績值一致。

表 2 的 SAM 表橫列代表各部門收入來源，縱欄代表支出去向，經濟體系各部門收入與支出呈平衡，代表供需均衡狀態以 SAM 為核心的 CGE 模型，其優點在於能捕捉經濟體系各部門間相互作用的複雜性，也能模擬政府政策的經濟影響。例如，當政府為引導廠商確實執行能源轉型，減少高含碳能源的使用，並增加低碳能源的使用，此時常用價格誘因即為碳定價，如碳稅、碳費或碳交易等。若政府採用碳稅政策，廠商生產成本提高，受價格機制影響便會改以低碳能源替代高碳能源，並因成本上升導致供給減少。

當政府課徵碳稅後，稅收收入呈現在 SAM 表中第 1 欄活動帳第 5 列間接稅，第 5 列向右合計成為政府稅收收入，等於第 5 欄第 8 列的政府稅捐，為政府收入的一部份。第 8 列向右合計為政府收入總額，

此金額在均衡時必定等於第 8 欄政府支出。也就是，當稅收收入增加時，無論用於按政府預算分配結構分配，或抵減所得稅，或減免貨物稅，或部分移轉給低所得消費者等，都會帶動經濟需求，進而刺激廠商生產行為並再進一步推升物價。在 SAM 架構下，便能完整捕捉經濟這樣一連串的關聯互動。

表 2 本研究 SAM 表架構

		活動帳	商品帳	要素帳		稅收	機構帳			資本帳		國外帳	合計
支出		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
收入		產業	國產品	勞動(8種勞動職業)	資本	間接稅	家計(10個所得分配階層)	企業	政府	投資	存貨	外匯收入	
1	產業		MAKE 37,716										銷售 37,716
2	商品帳	中間投入 20,613					家計消費 8,934		政府消費 2,482	固定資本形 成 3,722	存貨 -11	出口 11,348	總需要 47,088
3	勞動(8種勞動職業)	勞動報酬 8,759											勞動收入 8,759
4	資本	營業盈餘 7,837										國外財產企業 所得收入 929	資本收入 8,885
5	稅捐	生產稅 451、營業 稅 56、 碳稅	進口稅 200				所得稅 582 、家計消費營 業稅 148	企業直接稅 636		投資支出營 業稅 86	存貨變動營 業稅 1	出口品營業稅 18	稅捐 2,177
6	家計(10個所得分配階層)			家計單位勞 動報酬 8,759	家計資本 所得 2,466		家計移轉 家計 481	利潤分配 287	政府移轉家計 903			家計國外 所得收入 246	家計收入 13,141
7	企業				企業資本 所得 5,575				政府移轉企業 391				企業收入 5,966
8	政府				政府資本 所得 362	政府稅收 2,177	家計移轉 政府 1,462	企業移轉 政府 180				政府國外 所得收入 2	政府收入 4,183
9	儲蓄						家計儲蓄 1,192	企業儲蓄 4,862	政府儲蓄 286			對外經常 交易餘額 -2,542	儲蓄 3,798
10	存貨									存貨 -10			存貨 -10
11	外匯支出		進口 9,172		國外財產 企業所得 482		家計移轉 國外 343		政府移轉 國外 2				外匯支出 10,000
	合計	產值 37,716	總供給 47,088	勞動支出 8,759	資本支出 8,885	稅捐 2,177	家計支出 13,141	企業支出 5,966	政府支出 4,183	私人投資 3,798	存貨 -10	外匯收入 10,000	

二、溫室氣體排放矩陣

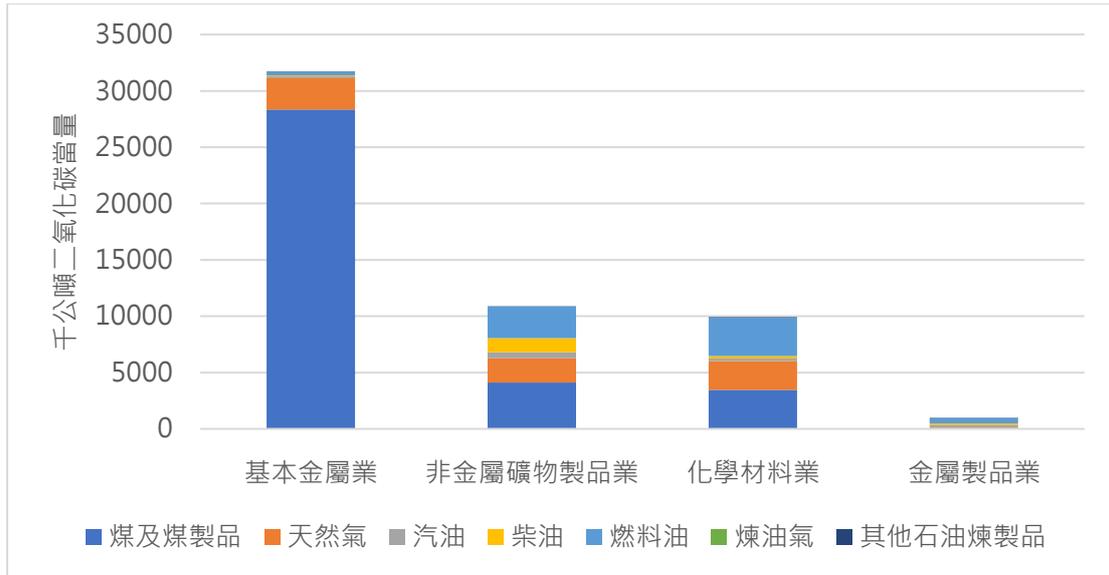
溫室氣體排放矩陣是評估環境政策影響的重要基礎工具，用於量化各產業及家計部門因能源使用所產生的溫室氣體排放（通常以公噸二氧化碳當量（CO₂e）表示）。本研究的編製過程係根據能源署發布的《能源平衡表（熱值單位）》數據，先編製能源使用矩陣，量化各部門對能源產品的消費，再將能源消費（包括電力消費）轉化為溫室氣體排放量。⁴ 所有溫室氣體排放量統一轉換為二氧化碳當量後加總，進行調整以符合環境部《中華民國國家溫室氣體排放清冊報告》的部門排放數據，並根據投入產出表中的國產品與進口品相對比例，細分為國產品及進口品的排放量，納入模型進行分析使用。⁵

透過上述的溫室氣體排放矩陣，可將各部門的能源使用轉換為排放量，特別在模擬 CBAM 與國內碳費政策時，計算廠商的碳費負擔及其對產品價格的影響。產品價格上升可能削弱出口競爭力，進而影響國際貿易，同時高排放產業可能因成本壓力而減產或外移，對就業及經濟帶來潛在的挑戰。

本研究從溫室氣體排放矩陣中摘錄與歐盟 CBAM 納管產品（如水泥、鋁、肥料及鋼鐵類產品）相關的四大產業部門，包括化學材料業、非金屬礦物製品業、基本金屬業及金屬製品業之溫室氣體排放情形，並繪製於圖 6 與圖 7。

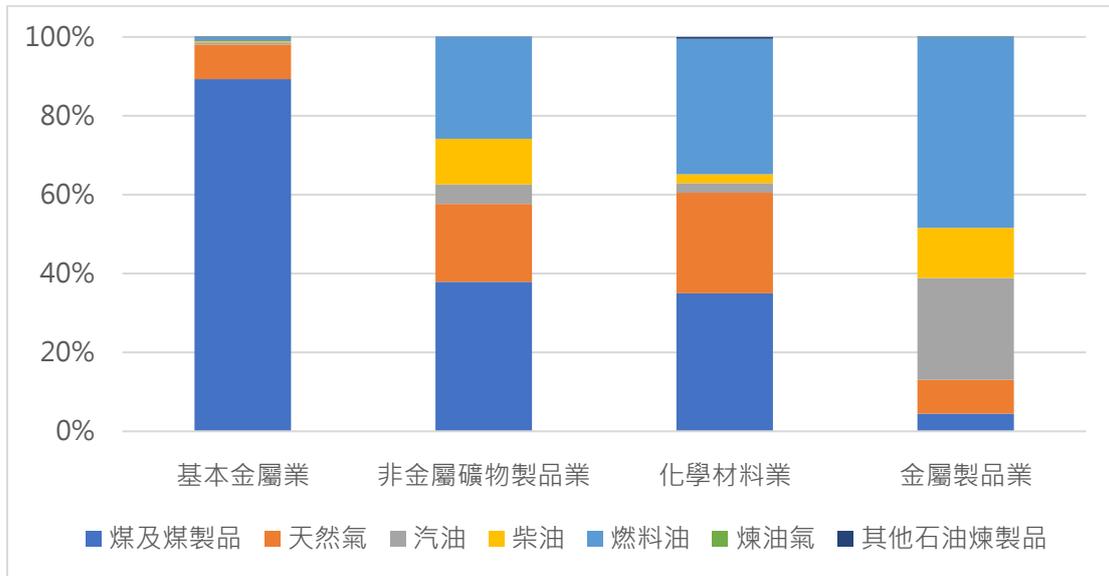
⁴ 排放量的計算公式如下：排放量（公斤二氧化碳當量）=能源消費（10⁷ 千卡）×0.041868×排放係數（公斤溫室氣體/（10¹² 焦耳））×溫室氣體全球暖化潛勢。

⁵ 除了考量燃料燃燒產生的排放，也納入非燃料燃燒產生的排放。此部分本研究採用簡化處理，參考燃料燃燒排放的計算方式，全數歸為國內生產的排放，以反映產業製程中溫室氣體的排放。



註：圖中為本研究推估 105 年產業部門的排放量，並非僅納管產品的排放量。

圖 6 CBAM 納管產品產業部門能源使用之溫室氣體排放量



註：圖中為本研究推估 105 年產業部門的排放量，並非僅納管產品的排放量。

圖 7 CBAM 納管產品產業部門能源使用之溫室氣體排放結構

三、我國受 CBAM 管制商品的出口概況

為瞭解我國出口受 CBAM 的影響，首先需瞭解受 CBAM 管制商品的出口概況，以及出口至歐盟的比例，本研究依附錄一所列的受 CBAM 管制商品 CCC Code，於財政部關務署的海關進出口統計查詢，並整理各類商品出口至全球及出口至歐盟的概況。

表 3 及表 4 整理出近年我國受 CBAM 管制的基本金屬對全球及歐盟出口值，包含鋼鐵及鋁，從表 3 可發現，我國鋼鐵對歐盟出口比重持續增加中，由 2010 年約 6.839% 增加至 2023 年的 24.476%，出口歐盟的金額由 2010 年的 655.3 百萬美元，至 2023 年增加至 2,107 百萬美元，歐盟儼然成為我國鋼鐵出口的重要市場。在鋁的部份，我國鋁的出口約不到鋼鐵出口的十分之一，且對歐盟出口亦非主要市場，2023 年我國鋁對歐盟出口僅 19.69 百萬美元，僅占我國鋁出口值的 2.972%。由此可見，鋼鐵出口會受到 CBAM 較大的衝擊。

表 5 及表 6 整理出鋼鐵製品及鋁製品的出口概況，由表中可觀察到，我國鋼鐵製品的出口值亦逐年攀升，至 2022 年已成長至 9,257 百萬美元，較 2010 年成長近一倍，雖 2023 年因中國大陸產能過剩而低價競爭，不過出口金額仍有 1,508 百萬美元。而鋼鐵製品出口至歐盟的比例則穩定占我國總出口金額的約 20~22%。鋁製品的部份，近年出口值略為成長，出口金額較鋁稍高，2022 年來到歷年出口值新高，907.4 百萬美元，不過同樣受大中國大陸的低價競爭，出口值降至 721.6 百萬美元，而我國 2023 年鋁製品出口歐盟的比例約占整體出口值的 13.684%，顯見歐盟為我國鋁製品的重要市場之一。

至於化學肥料及水泥的部份，如表 7 及表 8 所示我國化學肥料雖 2022 年增加至 103.6 百萬美元，但 2023 年因全球景氣衰退，而降至

71.9 百萬美元，出口至歐盟僅占整體出口值的 6.409%，約 4.6 百萬美元，因此預估化學肥料業受 CBAM 的影響較小；而水泥業的部份，我國由於石灰石開採環評趨於嚴格，水泥產量減少，因此出口值大幅下滑，至 2023 年出口值已由 2010 年的 243.5 百萬美元減少至 33.4 百萬美元，而歐盟一直非台灣水泥出口的主要市場，2023 年出口至歐盟僅 9 千美元，占我國水泥出口值的 0.027%。

綜合上述，雖 CBAM 所管制商品我國皆有對歐盟出口，不過主要以鋼鐵及鋼鐵製品為主，其次為鋁及鋁製品，預料此兩個產業受 CBAM 衝擊會較大，而化學肥料對的出口值較前兩個產業低，且歐盟亦非主要市場，歐盟亦非我國水泥主要出口市場，且近年水泥出口已大幅減少，料對化學肥料業及水泥業的衝擊亦不大。

表 3 台灣受 CBAM 管制之基本金屬-鋼鐵出口至歐盟及全球概況

	歐盟		全球		對歐盟出口比例
	美元(千元)	新臺幣(千元)	美元(千元)	新臺幣(千元)	%(以美元計算)
2010	655,303	20,602,499	9,581,336	302,052,300	6.839
2011	969,113	28,366,426	11,170,067	327,594,638	8.676
2012	625,059	18,449,920	9,844,285	291,067,780	6.349
2013	747,587	22,123,264	9,680,774	286,525,626	7.722
2014	1,003,761	30,311,498	10,076,799	304,745,855	9.961
2015	463,394	14,767,447	7,518,580	237,919,093	6.163
2016	669,549	21,590,310	7,191,492	231,659,806	9.310
2017	1,095,665	33,323,068	9,022,204	274,724,046	12.144
2018	1,553,973	46,694,891	9,844,549	296,358,047	15.785
2019	1,067,870	33,051,342	8,168,081	252,737,057	13.074
2020	653,546	19,329,891	7,025,834	207,745,795	9.302
2021	2,387,355	66,763,407	12,091,279	338,358,723	19.744
2022	2,156,190	63,621,746	11,506,288	339,264,041	18.739
2023	2,107,028	65,367,899	8,608,580	267,666,558	24.476

資料來源：本研究按附錄一所列的 CCC Code 於財政部關務署的海關進出口統計查詢。

表 4 台灣受 CBAM 管制之基本金屬-鋁出口至歐盟及全球概況

	歐盟		全球		對歐盟出口比例
	美元(千元)	新臺幣(千元)	美元(千元)	新臺幣(千元)	%(以美元計算)
2010	18,301	577,489	740,556	23,354,979	2.471
2011	18,942	553,738	815,016	23,913,994	2.324
2012	11,801	348,761	786,179	23,229,151	1.501
2013	8,798	260,592	710,467	21,035,395	1.238
2014	8,860	268,464	696,291	21,066,666	1.272
2015	8,396	266,641	719,031	22,817,029	1.168
2016	9,047	292,511	651,280	20,987,237	1.389
2017	9,673	295,123	666,005	20,263,430	1.452
2018	14,195	428,413	771,642	23,276,159	1.840
2019	10,163	314,201	710,292	21,974,453	1.431
2020	9,894	293,204	639,830	18,910,746	1.546
2021	19,052	532,214	706,176	19,779,823	2.698
2022	28,831	848,294	834,380	24,771,823	3.455
2023	19,690	612,190	662,539	20,643,512	2.972

資料來源：本研究按附錄一所列的 CCC Code 於財政部關務署的海關進出口統計查詢。

表 5 台灣受 CBAM 管制之鋼鐵製品出口至歐盟及全球概況

	歐盟		全球		對歐盟出口比例
	美元(千元)	新臺幣(千元)	美元(千元)	新臺幣(千元)	%(以美元計算)
2010	1,114,038	35,090,316	5,314,684	167,489,271	20.962
2011	1,508,426	44,220,573	6,424,350	188,428,990	23.480
2012	1,275,223	37,708,245	6,223,568	183,997,872	20.490
2013	1,291,891	38,250,247	6,172,017	182,740,016	20.931
2014	1,498,108	45,316,257	6,675,559	201,976,018	22.442
2015	1,336,376	42,352,262	6,168,073	195,363,775	21.666
2016	1,297,604	41,871,994	5,680,377	183,194,505	22.844
2017	1,492,167	45,430,354	6,593,437	200,761,089	22.631
2018	1,665,124	50,148,915	7,456,478	224,739,755	22.331
2019	1,485,301	45,943,037	6,812,967	210,769,841	21.801
2020	1,284,599	37,996,222	6,052,101	179,027,247	21.226
2021	1,754,192	49,136,233	8,018,939	224,563,499	21.876
2022	1,971,462	58,431,389	9,257,254	274,509,583	21.296
2023	1,508,000	46,831,288	7,000,358	217,746,226	21.542

資料來源：本研究按附錄一所列的 CCC Code 於財政部關務署的海關進出口統計查詢。

表 6 台灣受 CBAM 管制之鋁製品出口至歐盟及全球概況

	歐盟		全球		對歐盟出口比例
	美元(千元)	新臺幣(千元)	美元(千元)	新臺幣(千元)	%(以美元計算)
2010	70,154	2,212,703	531,031	16,737,468	13.211
2011	80,575	2,360,361	625,434	18,343,664	12.883
2012	74,321	2,198,591	624,283	18,455,352	11.905
2013	72,295	2,140,383	612,842	18,143,264	11.797
2014	77,795	2,353,932	631,577	19,115,530	12.318
2015	79,497	2,521,566	643,176	20,386,463	12.360
2016	83,421	2,688,438	616,717	19,891,051	13.527
2017	99,824	3,039,791	655,085	19,950,530	15.238
2018	113,041	3,404,916	715,973	21,573,215	15.788
2019	92,985	2,876,283	653,386	20,213,254	14.231
2020	79,451	2,351,994	647,943	19,165,738	12.262
2021	107,302	3,005,787	836,881	23,440,203	12.822
2022	115,979	3,431,568	907,448	26,883,629	12.781
2023	98,746	3,067,075	721,606	22,448,295	13.684

資料來源：本研究按附錄一所列的 CCC Code 於財政部關務署的海關進出口統計查詢。

表 7 台灣受 CBAM 管制之化學肥料出口至歐盟及全球概況

	歐盟		全球		對歐盟出口比例
	美元(千元)	新臺幣(千元)	美元(千元)	新臺幣(千元)	%(以美元計算)
2010	664	20,931	50,412	1,585,885	1.318
2011	872	25,583	74,941	2,198,867	1.164
2012	894	26,415	93,016	2,751,753	0.961
2013	662	19,570	61,474	1,819,999	1.077
2014	346	10,471	44,626	1,349,296	0.776
2015	327	10,402	43,012	1,357,643	0.761
2016	327	10,565	40,942	1,317,165	0.799
2017	366	11,204	53,172	1,619,377	0.688
2018	353	10,696	65,237	1,966,516	0.541
2019	294	9,077	57,646	1,785,149	0.510
2020	278	8,234	34,795	1,026,714	0.799
2021	4,693	130,993	98,356	2,750,178	4.771
2022	4,264	126,234	103,613	3,075,742	4.115
2023	4,610	143,144	71,934	2,239,761	6.409

資料來源：本研究按附錄一所列的 CCC Code 於財政部關務署的海關進出口統計查詢。

表 8 台灣受 CBAM 管制之水泥出口至歐盟及全球概況

	歐盟		全球		對歐盟出口比例
	美元(千元)	新臺幣(千元)	美元(千元)	新臺幣(千元)	%(以美元計算)
2010	0	0	243,520	7,692,561	0.000
2011	0	0	224,338	6,575,462	0.000
2012	0	10	216,196	6,386,379	0.000
2013	1	32	256,520	7,591,945	0.000
2014	0	0	162,578	4,919,919	0.000
2015	1	38	151,593	4,801,316	0.001
2016	0	0	139,295	4,502,382	0.000
2017	0	0	104,766	3,199,749	0.000
2018	18	549	100,003	3,011,013	0.018
2019	13	385	106,746	3,302,302	0.012
2020	0	0	99,393	2,940,201	0.000
2021	0	0	85,879	2,410,396	0.000
2022	14	405	60,548	1,793,139	0.023
2023	9	291	33,399	1,034,134	0.027

資料來源：本研究按附錄一所列的 CCC Code 於財政部關務署的海關進出口統計查詢。

第四章 模擬情境設計

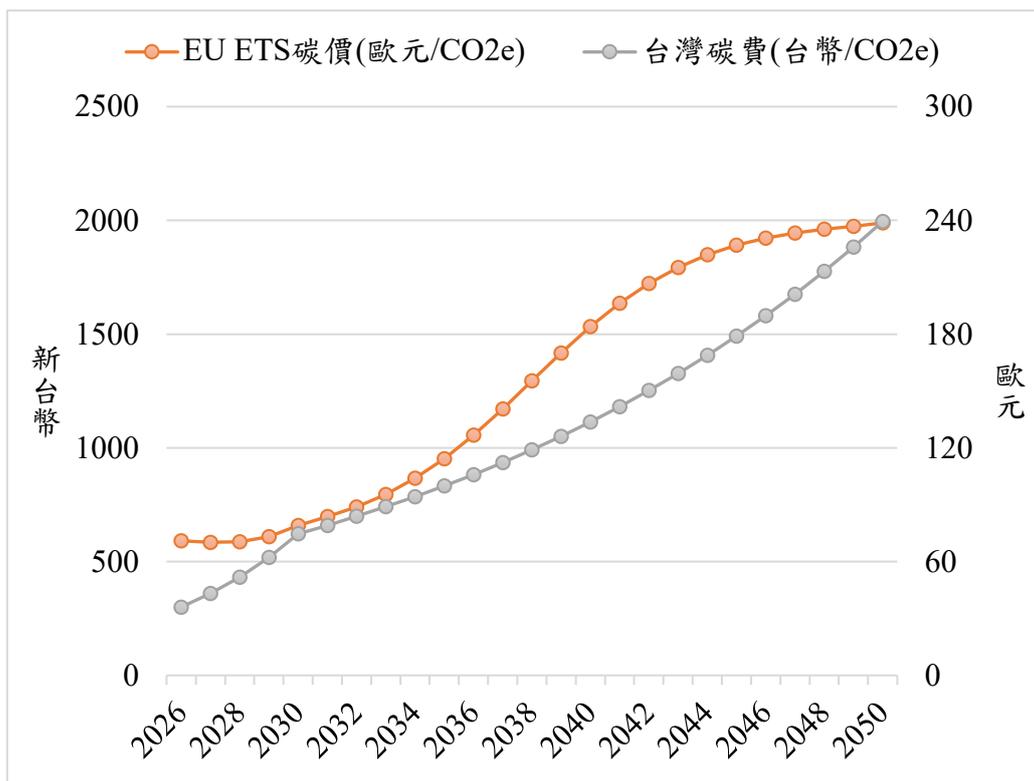
本研究以歐盟 CBAM 機制作為國際淨零排趨勢，並評估該機制對臺灣體經濟之影響。本研究設計兩種模擬情境：基準情境與 CBAM 情境，並將模擬分析延伸至 2050 年，透過 CGE 模型從 CBAM 對特定產業的影響，量化分析至對臺灣整體經濟的潛在影響。

第一節 基準情境設計與設定

基準情境係假設臺灣經濟在現行淨零相關政策框架下運行，如碳費徵收、新及再生能源發展目標、節能政策等，並且未考慮歐盟 CBAM 政策的影響。基準情境主要設定說明如下：

1. **碳費徵收**：本研究依據環境部的規劃，假設 2025 年臺灣起碳費起徵價為每公噸二氧化碳當量新台幣 300 元，2026 至 2030 年間參考新加坡碳定價的成長趨勢，設為每年成長 20%，由於新加坡的規劃僅至 2030 年，所以 2031 至 2050 年間參考 S&P Global 對歐盟碳價的預測走勢，設為每年成長 6%。臺灣碳費及歐盟碳價的未來值設定如圖 8 所示。⁶

⁶ (1) 依據新加坡永續發展與環境部網站之碳定價法案 (Carbon Pricing Act)，2019~2023 過渡期碳稅稅率訂為 5 新幣/tCO₂e，2024~2025、2026~2027 年提高為 25、45 新幣/tCO₂e，2030 年達到 50~80 新幣/tCO₂e，據此設算 2025~2030 年碳價年均成長率為 15~26%。(2) S&P Global 2023/2/24 對歐盟碳價的預測，取自 <https://www.spglobal.com/esg/insights/featured/special-editorial/eu-carbon-border-adjustment-mechanism-to-raise-80b-per-year-by-2040>。據此設算碳價 2031~2050 年的年均成長率約 5.68%。(3) 由圖中歐盟碳價走勢可觀察到 2040 年以後成長的速度明顯趨緩，可能的原因是歐盟未來碳價成長到 2040 年已在高水準的狀態 (超過 180 歐元/CO₂e)，同時加上未來許多新能源技術的加入 (如氫能、CCUS 等)。



資料來源：歐盟碳價為 S&P Global 2023/2/24 的預測；臺灣費率為本研究自行假設。

圖 8 臺灣碳費及歐盟碳價之未來值設定

2. **能源使用效率提升**：根據能源署統計資料顯示，2013 年至 2023 年間，臺灣能源消費密集度呈現逐年下降的趨勢，平均年下降率達 2.4%，近五年更加速達 5.1%。為反映淨零轉型政策的推動及技術進步的效果，本研究設定未來能源使用效率的提升幅度如下：2024 年至 2029 年間，每年提升 3%；2030 年至 2050 年間，每年提升 4%。
3. **能源技術發展目標**：根據經濟部能源發展之規劃（如淨零轉型關鍵戰略行動計畫及能源轉型白皮書），假設新及再生能源之發電裝置容量皆能如期達成，各特定年度的設定如下（其餘年度則以線性成長設定）：

- 太陽光電：2025 年裝置容量達 20GW，2030 年達 31GW，2050 年進一步提升至 40~80GW。
- 離岸風力：2025 年裝置容量達 5.6GW，2030 年達 13.1GW，2050 年提升至 40~55GW。
- 陸域風力：2025 年裝置容量目標為 1.2GW，假設 2030 及 2050 年目標與 2025 年相同。
- 水力發電：2025 年裝置容量目標為 2.15GW，2030 及 2050 年同樣維持此目標。
- 氫能發電：2025 年裝置容量為 91MW，2030 年達 891MW，2050 年大幅提升至 7.3~9.5GW。
- 碳捕捉利用封存（CCUS）：參考 2050 年 CCUS 技術的減碳貢獻目標及近年火力發電的裝置容量、發電量及排放實績值，推算未來 CCUS 結合火力發電的裝置容量：2030 年達 1.65GW，2050 年提升至 14GW。

表 9 臺灣能源技術發展目標

能源類別	裝置容量目標		
	2025 年	2030 年	2050 年
太陽光電	20GW	31GW	40~80GW
離岸風力	5.6GW	13.1GW	40~55GW
陸域風力	1.2GW	1.2GW	1.2GW
水力發電	2.15GW	2.15GW	2.15GW
氫能發電	91MW	891MW	7.3~9.5GW
CCUS	1.65GW	1.65GW	14GW

資料來源：本研究整理。

第二節 CBAM 情境設計與設定

在 CBAM 情境中，本研究將聚焦於臺灣出口中受 CBAM 納管的產品產業，進行出口衝擊模擬，以分析臺灣總體經濟可能面臨的挑戰與潛在影響。本小節將先說明受 CBAM 納管產品的出口結構及碳排放特性，後續將進一步闡述產業出口衝擊幅度（即產業 CBAM 稅率）的設算方法及相關情境設定。

一、CBAM 納管產品的出口結構及碳排放特性

依據經濟部國際貿易署於綠色貿易資訊網站上發布的「臺灣出口至歐盟受 CBAM 納管產品清單」，納管產品涵蓋鋼鐵、鋁、肥料、水泥、氫氣及電力六大類。其中，由於臺灣並無出口氫氣及電力，故本研究將其排除於分析範圍外，鋼鐵和鋁類產品則進一步細分為基本金屬及其製品，共計六項產品。本研究根據上述六項產品的中華民國輸出入貨品分類號列（CCC Code），並採用財政部關務署的海關進出口統計資料（不含復出口），計算 2023 年各產品出口至歐盟的金額占該產品總出口之比重，相關結果如表 10 所示。

表 10 臺灣 CBAM 納管產品出口比重、碳排放強度及影響評估

產品類別	臺灣出口至 歐盟比重(%)	碳排放強度 (千公噸/百萬元)	受 CBAM 影 響可能性
鋼鐵	高 (24.4)	極高 (0.125)	高
鋼鐵製品	高 (21.5)	高 (0.042)	高
鋁	低 (3.0)	高 (0.023)	低
鋁製品	中 (13.7)	高 (0.042)	中
肥料	低 (6.4)	高 (0.039)	低
水泥	極低 (0.03)	極高 (0.145)	低

資料來源：本研究整理；碳排放強度為本研究根據溫室氣體排放矩陣自行估算。出口比重為 2023 年臺灣出口至歐盟的金額占該產品總出口之比重。

根據表 10，歐盟 CBAM 納管產品中對臺灣的影響集中在鋼鐵和鋁產業。鋼鐵類產品對歐盟的出口比重高（鋼鐵 24.4%、鋼鐵製品 21.5%），顯示該產業對歐盟市場的依賴程度較大，加上鋼鐵產業的碳排放強度較高，尤其是在煉鋼業中，高爐煉鋼過程需要大量的能源投入，特別是煤製品（如圖 6），使得碳排放強度居高不下，因此鋼鐵產業成為受 CBAM 影響最顯著的產業。

雖然初級鋁生產的碳排放強度也相當高，但由於臺灣缺乏上游採礦業和煉鋁業（如純鋁錠生產），鋁產業以再生鋁和加工鋁製品為主，整體碳排放強度相對較低。同時，基本鋁產品對歐盟的出口依賴較低（3.0%），因此影響有限。然而，鋁製品出口至歐盟仍有相當比重（13.7%），因此鋁製品業仍屬於潛在受影響的產業。

相較之下，肥料及水泥雖然具有高碳排放特性，但其對歐盟的出口比重較低（分別為 6.4% 和 0.03%），因此受 CBAM 直接影響的可能性相對有限。以下將針對進一步闡述產業出口衝擊幅度（即產業 CBAM 稅率）的設算方法及相關情境設定。

二、產業出口衝擊設定-產業 CBAM 稅率

根據上述臺灣可能受 CBAM 影響的高碳排放產品產業，本研究模擬歐盟自 2026 年起正式實施 CBAM，對出口至歐盟地區的產品可能面臨的額外碳稅（即 CBAM 稅率）進行分析。CBAM 稅率的設計以歐盟碳排放交易體系（EU ETS）的碳市場價格為基礎，旨在平衡進口產品與歐盟內部生產者的碳成本，並減少「碳洩漏」現象的發生。產品的 CBAM 稅率係針對每單位出口產品徵收的額外碳稅，其計算公式如下：

產品CBAM 稅率_t

$$= \frac{\text{排放量}}{\text{出口額}} \times (1 - \text{免費核配率}_t) \times (\text{歐盟碳價}_t - \text{臺灣碳價}_t)$$

- 排放量：包括範疇 1（直接排放）與範疇 2（間接排放）。按產品的排放強度乘以各年度產品出口額計算。
- 出口額：產品出口至歐盟之金額，以 2023 年出口額計算。
- 免費核配率：歐盟初期提供一定比例的免費排放配額（類似優惠費率、排放量調整係數），免費核配率逐年遞減，預計在 2034 年免費配額歸零，如圖 9 所示。
- 歐盟碳價：歐盟 ETS 的價格由市場機制決定，根據 S&P Global 預測，2026 年約為 71 歐元/噸 CO₂e，2030 年為 79 歐元，2050 年達 238.7 歐元，如圖 8 所示。
- 臺灣碳費：臺灣碳費由環境部規劃，2025 年起碳費為新台幣 300 元/噸 CO₂e，2030 年達 622 元，2050 年達 1,995 元，如圖 8 所示。

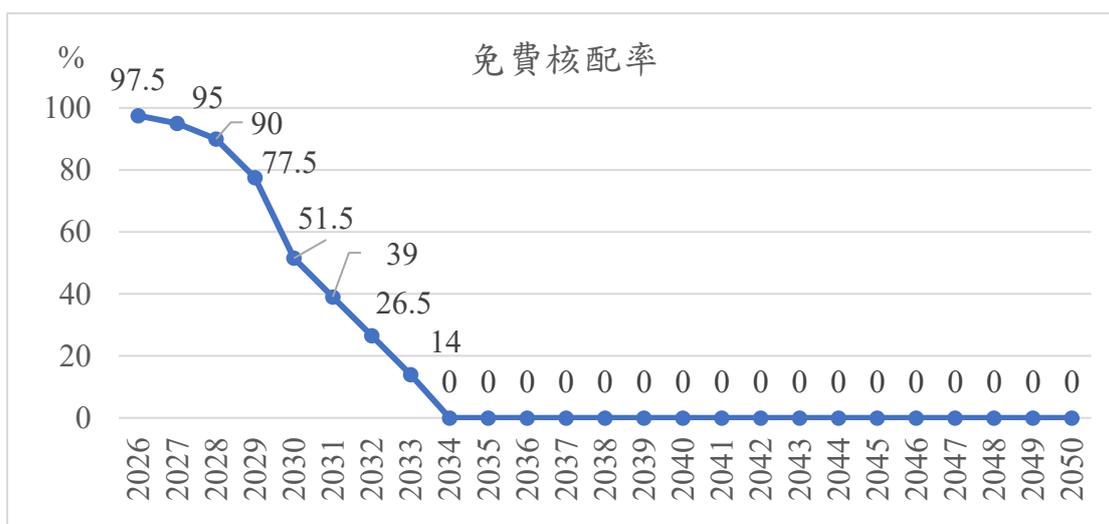


圖 9 歐盟 CBAM 免費核配率之設定

根據上述公式，可計算出各年度產品出口至歐盟時需繳交的 CBAM 稅率（產品 CBAM 稅率_t），將該稅率乘以該產品對歐盟出口額占該產品所屬產業對歐盟總出口額的比例（以 2023 年出口數據計算），即可得出各年度該產品產業每單位對歐盟出口額外徵收的碳稅（產業 CBAM 稅率_t），作為模型內出口衝擊的設定，計算公式如下式，結果詳見表 4。

$$\text{產業 CBAM 稅率}_t = \text{產品 CBAM 稅率}_t \times \frac{\text{產品出口額}}{\text{產業出口額}}$$

表 11 臺灣受 CBAM 影響產業之 CBAM 稅率

單位：%	產業 CBAM 稅率				
	2026	2028	2030	2032	2035
化學材料業	0.002	0.007	0.033	0.055	0.095
非金屬礦物製品業	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002
基本金屬業	0.596	2.169	10.788	18.204	32.605
金屬製品業	0.140	0.509	2.539	4.294	7.701

資料來源：本研究。

第五章 模擬結果與討論

表 12 描繪了臺灣在基準情境下，未來數十年重要經濟變數的發展趨勢。從結果中可以看出，未來實質 GDP 預計將持續穩定成長，從 2023 年的 22.6 兆元逐步攀升至 2050 年的 41 兆元，同時，商品及服務輸出也從 2023 年的 4.7 千億美元成長到 2050 年的 11.9 千億美元，反映出臺灣未來在淨零相關政策框架下，全球市場的競爭力仍不斷提升。然而，就業人數的變化趨勢則略有不同，預計將從 2023 年的 11.5 百萬人緩慢成長至 2030 年的 12.5 百萬人，之後略微下降至 2050 年的 12.4 百萬人。這與臺灣勞動結構的變化有關，例如少子化和老年化等因素，這些因素皆會對勞動力市場的供給產生影響。

表 12 基準情境下臺灣重要經濟變數之未來值推估

	實績值		預估值				
	2023	2026	2030	2035	2040	2045	2050
實質 GDP(兆元)	22.6	24.9	27.1	30.1	33.4	37.0	41.0
商品及服務輸出(千億美元)	4.7	5.6	6.2	7.1	8.3	9.9	11.9
就業人數(百萬人)	11.5	11.9	12.3	12.5	12.6	12.5	12.4

資料來源：主計總處；本研究推估。實質以 110 年為參考年。

如在上述基準情境下加入 CBAM 的總體經濟衝擊，結果如圖 10~圖 12 所示。圖 10 顯示了在 CBAM 情境與基準情境之間實質 GDP 的差異。換言之，其差異也為 CBAM 政策對相關總體經濟變數之影響。而差異又以「影響金額」和「變動率」這兩種方式來表示。圖表中使用了兩種不同的顏色來表示這兩種情境，橙色代表影響金額，藍色代表影響變動率。橫軸代表年份，從 2026 年到 2050 年，縱軸則代表實質 GDP 受影響的程度（相較基準情境），以新台幣和變動率兩個單位

來表示。

從圖表中可以看出，無論是影響金額還是影響變動率，都會對臺灣的實質 GDP 產生負面影響，而受到的影響在 2040 年後皆會呈現縮小之現象，主要是因為歐盟碳價在 2040 年後成長趨緩，縮小歐盟與臺灣碳定價之間的差異，對於 CBAM 費率來說增加的速度減緩，自然對經濟之衝擊也會縮小。在影響金額方面，實質 GDP 的衝擊到 2040 年將達到約 70 億元新台幣，之後呈現出逐漸縮小的趨勢，到 2050 年約為 27 億元新台幣。至於實質 GDP 的變動率，在 2040 年衝擊最高約為-0.02%，之後影響逐漸下降，到 2050 年，變動率約為-0.006%。可見 CBAM 對實質 GDP 的影響有限，對實質 GDP 之影響最高僅有 0.02%。

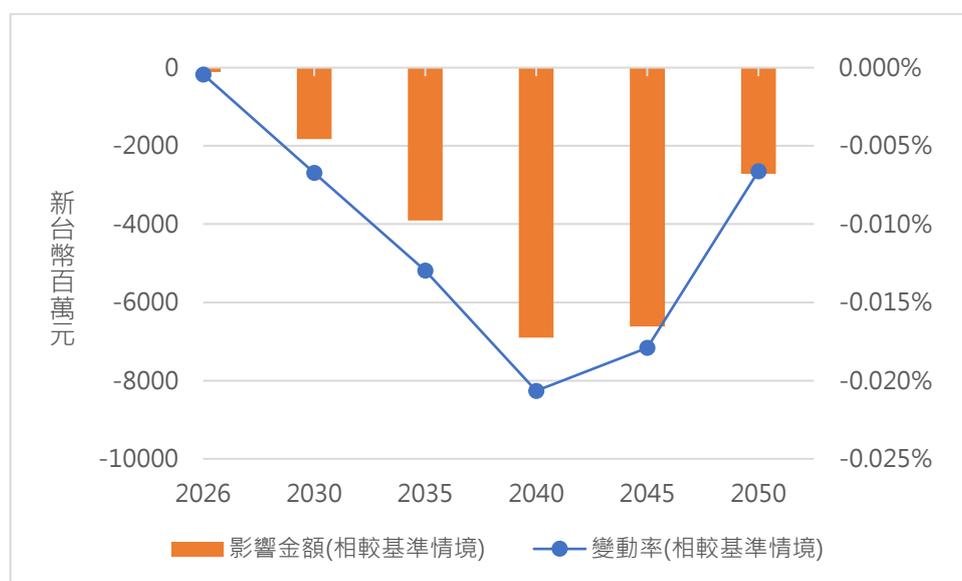


圖 10 CBAM 對臺灣實質 GDP 之影響金額與變動率

CBAM 除了對實質 GDP 有負面衝擊以外，對臺灣的就業和出口也會帶來負面之影響，尤其提高臺灣高碳排產業，如鋼鐵、鋁等，在歐盟市場的出口成本，削弱其價格競爭力，進而影響出口量和相關產

業的就業機會，從總體的就業與出口結果來看（圖 11 與圖 12），累積就業影響至 2045 年最高將近 5000 人次，而出口的影響金額在 2045 年將超過 25 億美元，但從變動率來看相較於基準情境僅影響 0.27% 左右，影響程度並不大。

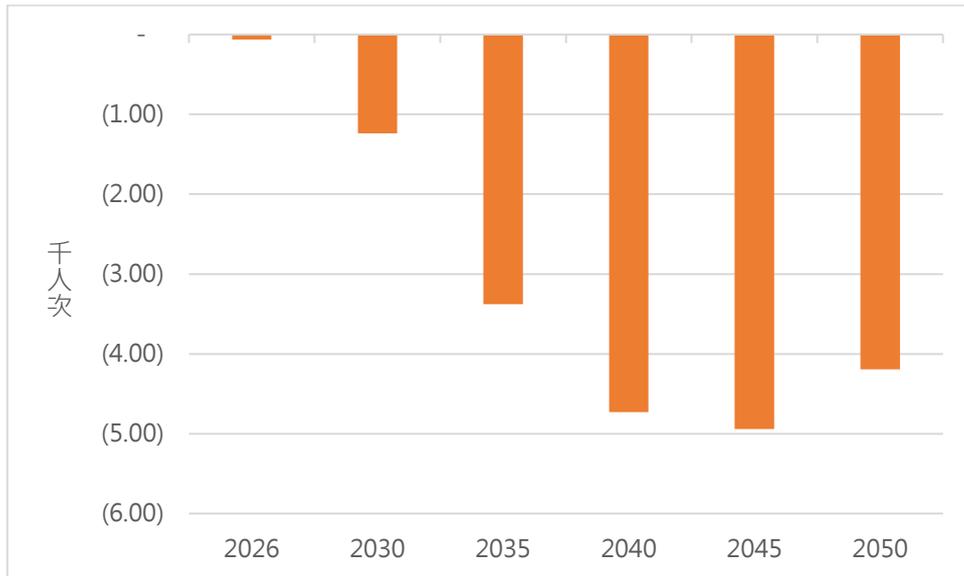


圖 11 CBAM 對臺灣累積就業人次之影響

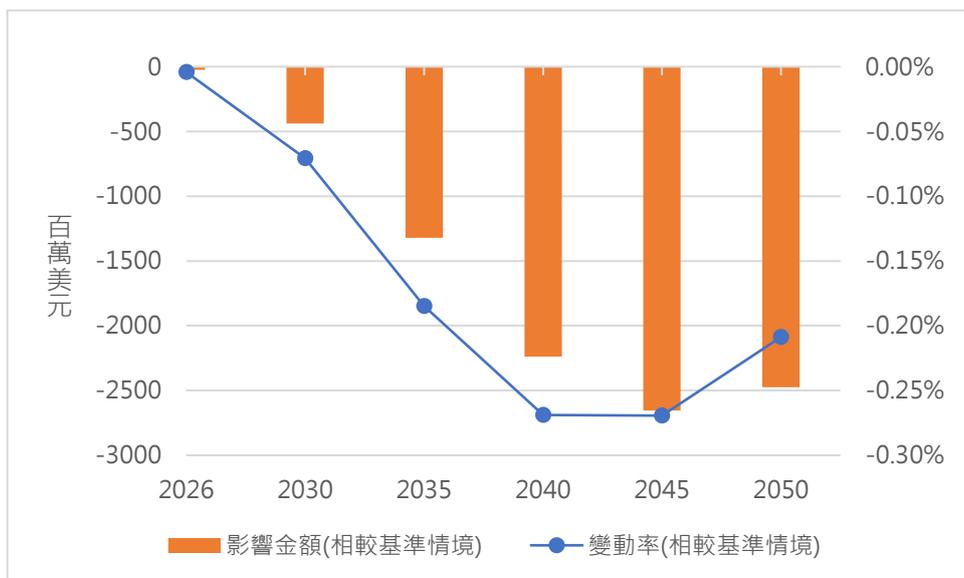


圖 12 CBAM 對臺灣實質出口之影響金額與變動率

前述結果皆是從總體經濟的角度出發，觀察 CBAM 對整體經濟的衝擊幅度，如從影響之產業來看，前三大影響產業分別為基本金屬業、金屬製品業及煤製品業。如從這三大影響產業之產值來看，基本金屬業製 2050 年影響將高達 2000 億元新台幣（圖 13），相較於基準情境影響幅度將近有 10%，其負面衝擊不可小覷。其次為金屬製品業，2045 年衝擊為 800 億元新台幣，影響幅度為 7.3%（圖 14）。這兩個產業衝擊較大的原因為基本金屬裡包含了鋼鐵與鋁，如從 CBAM 納管產品對歐盟出口總額之比例來看，其 2023 年佔了將近 93%，而金屬製品業則涵蓋了鋼鐵製品與鋁製品，與基本金屬相比，僅有約 65% 的產業出口受 CBAM 管制。

至於煤製品業，則是基本金屬業尤其是鋼鐵在生產過程中，扮演著不可或缺的角色。焦炭作為主要的煤製品，在煉鐵過程中既是還原劑，將鐵從氧化物中置換出來，又是重要的熱源，為高爐提供高溫環境。此外，焦炭還能作為支撐劑，維持爐料的透氣性，並作為滲碳劑，調整鋼鐵的含碳量。煉焦過程中產生的焦爐煤氣，更可作為燃料發電，為鋼鐵廠提供部分電力。因此當基本金屬業受 CBAM 影響的情況下，煤製品業在 2040 年最高也會有將近 32 億元新台幣之衝擊，影響幅度達 6.3%（圖 15）。⁷

⁷ CBAM 對總體 GDP 較三個主要產業產值之總影響小，主要因為產業的產值除了附加價值 (GDP) 以外，還有中間原材料等相關投入等，加上有其他具有正向效益的產業產值增加，最後對總體 GDP 的影響會較產業產值的影響低。

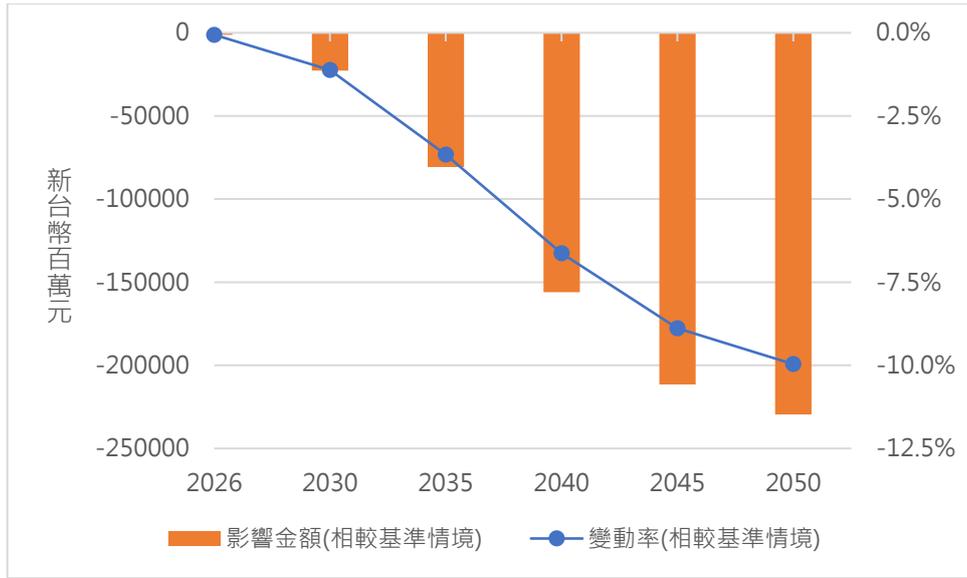


圖 13 CBAM 對基本金屬業之產值影響

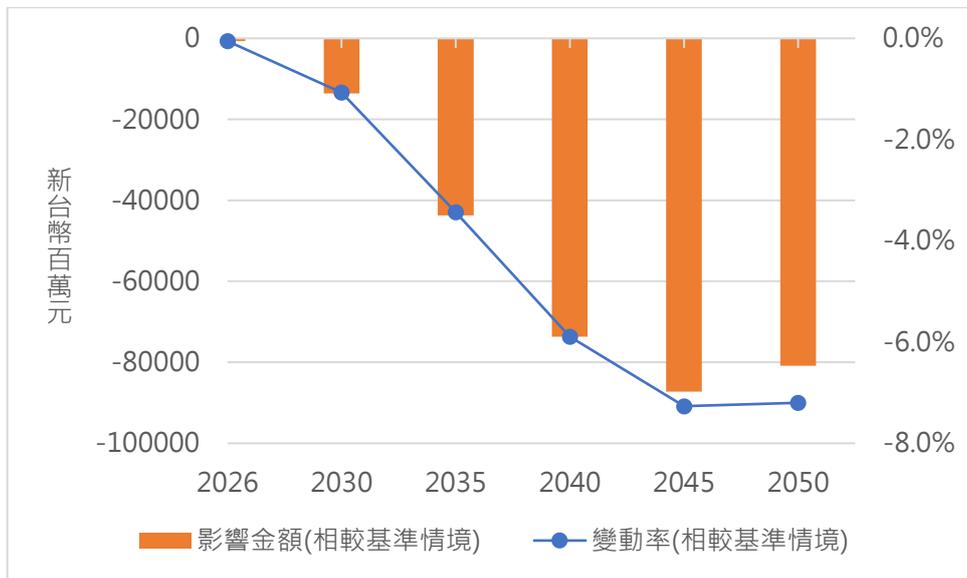


圖 14 CBAM 對金屬製品業之產值影響

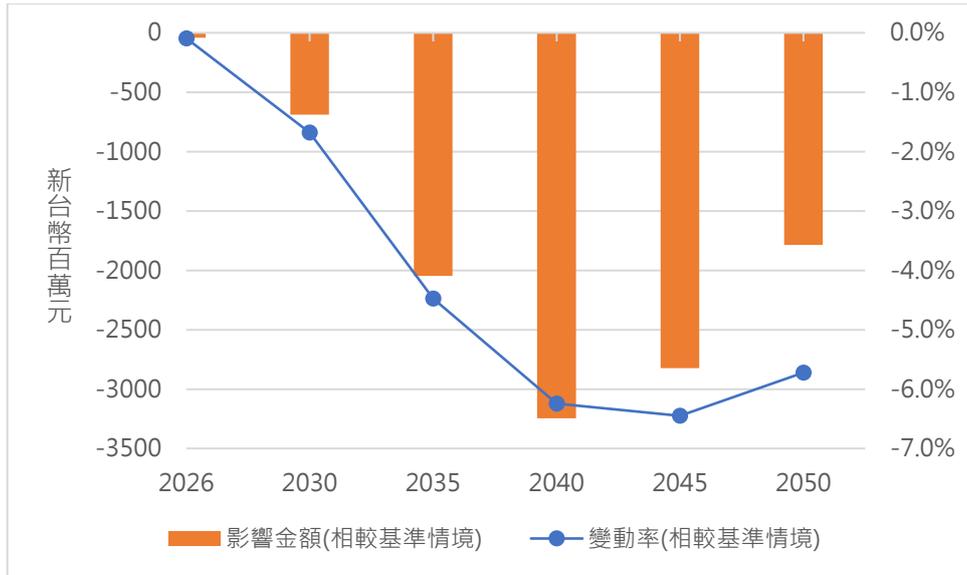


圖 15 CBAM 對煤製品業之產值影響

至於就業方面，產值影響之前三大產業則因產業就業人數型態不同，所以對於就業影響也有所差異。基本金屬業的就業人數影響在 2045 年最高，衝擊約 8,600 人次，而金屬製品業則因就業人數較多，所以受衝擊的人次也較基本金屬業高，到 2045 年可達約 2 萬人次。至於煤製品業則因就業人數原本就少，雖產值影響大，但對就業的影響則微乎其微，僅有十幾人。

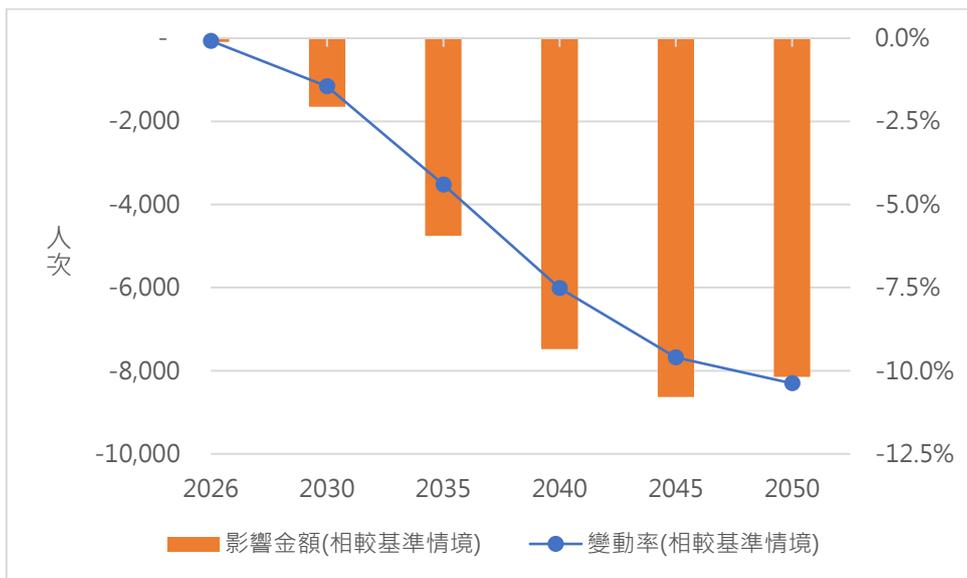


圖 16 CBAM 對基本金屬業之就業影響

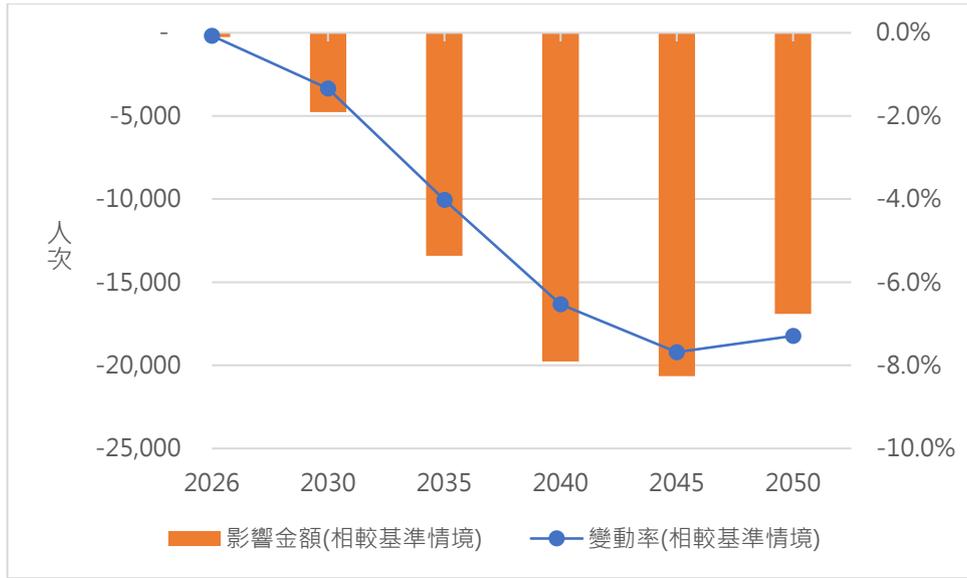


圖 17 CBAM 對金屬製品業之就業影響

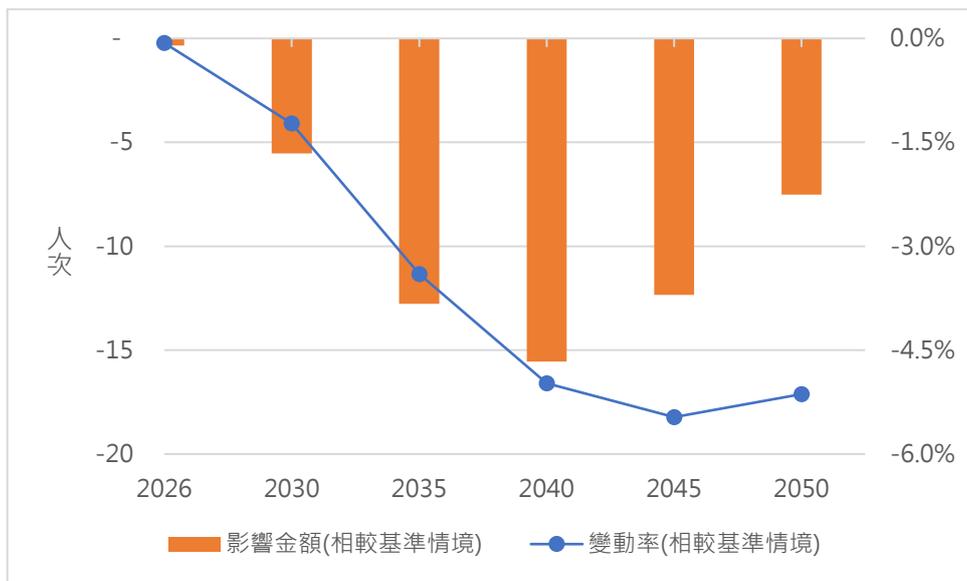


圖 18 CBAM 對煤製品業之就業影響

從上述結果得知，CBAM 會對基本金屬業、金屬製品業及煤製品等產業產生負面之衝擊，但也會對某些產業有正向之效益，如再生能源設備業等。圖 19~圖 22 為 CBAM 對太陽光電及離岸風電設備業產

值與就業的影響，從產值來觀察，太陽光電設備業因 CBAM 到 2050 年會增加 23 億元的產值（圖 19），離岸風電則有 7 億元產值之效益（圖 20）。就業方面 CBAM 對太陽光電設備業至 2050 年會增加 3 百多人次之就業，離岸風電在 2040 年最高會創造近 120 人次的就業機會。所以從結果來看，歐盟 CBAM 對台灣再生能源產業帶來的影響整體而言是正向的。主要由於歐盟 CBAM 針對相關碳密集型產品徵收碳邊境稅，為了減少碳排放和降低 CBAM 成本，台灣企業將更有動力使用綠電，預期會增加對再生能源的需求，刺激再生能源產業的發展，並吸引更多國內外投資者投入台灣再生能源產業，加速台灣能源轉型，創造更多綠色就業機會。⁸

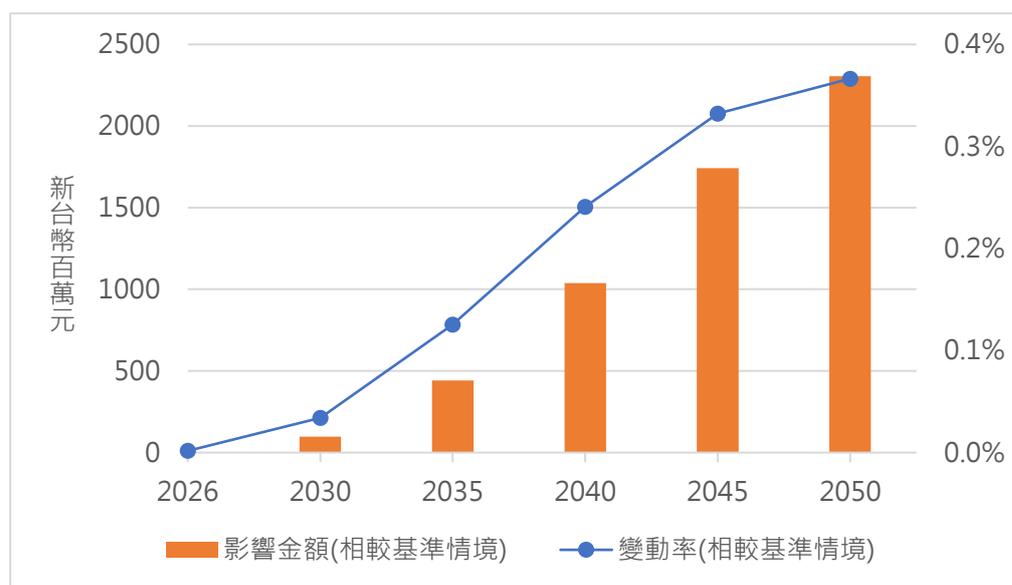


圖 19 CBAM 對太陽光電設備業之產值影響

⁸ 若從本文結果來看，總體就業減少人次（約 5 千人次）與三個主要受影響之產業合計（約 2 萬 6 千人次）差距大的原因為除了再生能源產業外，還有許多其他產業有正面效益，經過加總最後得到此總體就業淨影響的結果。

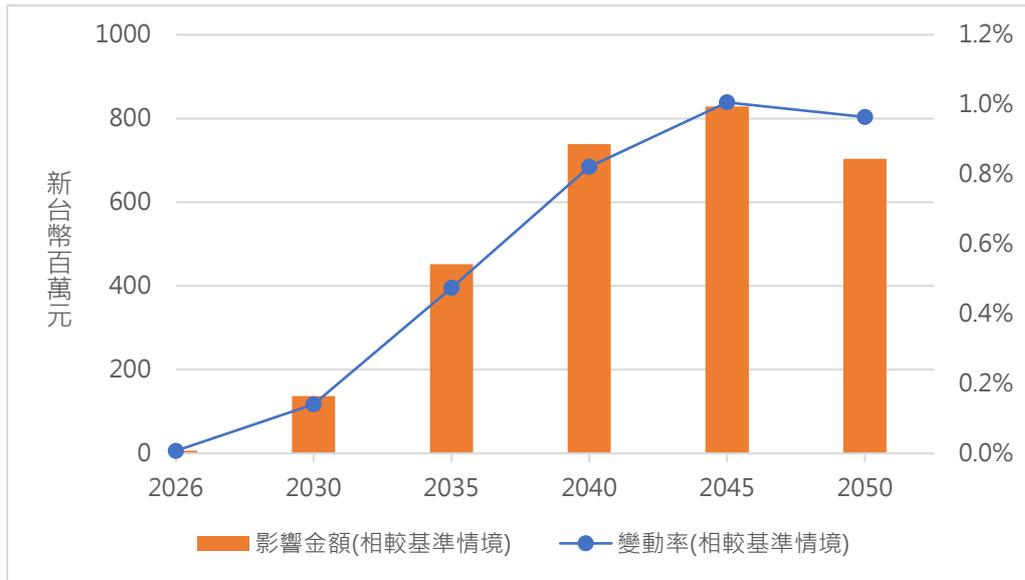


圖 20 CBAM 對離岸風電設備業之產值影響

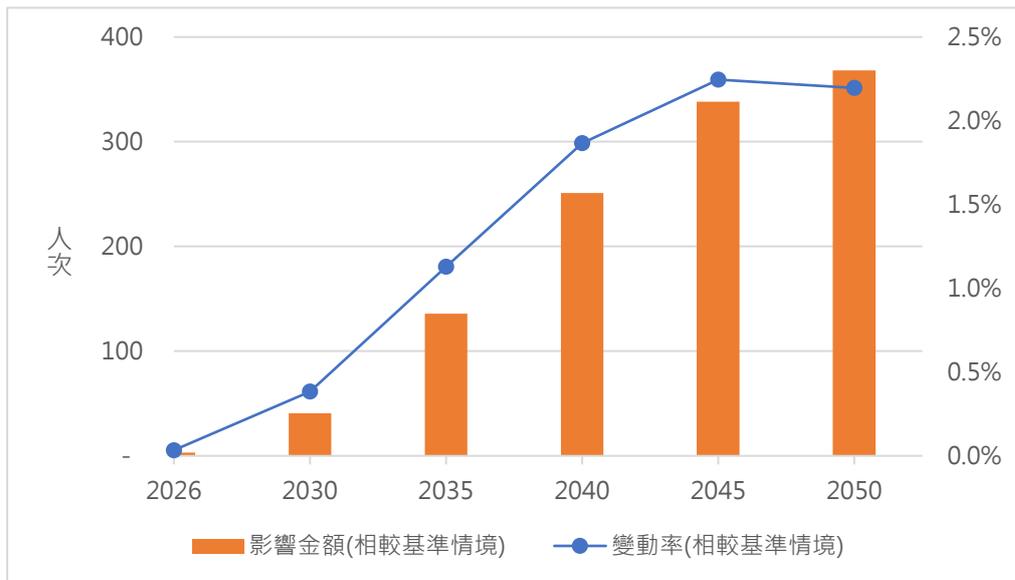


圖 21 CBAM 對太陽光電設備業之就業影響

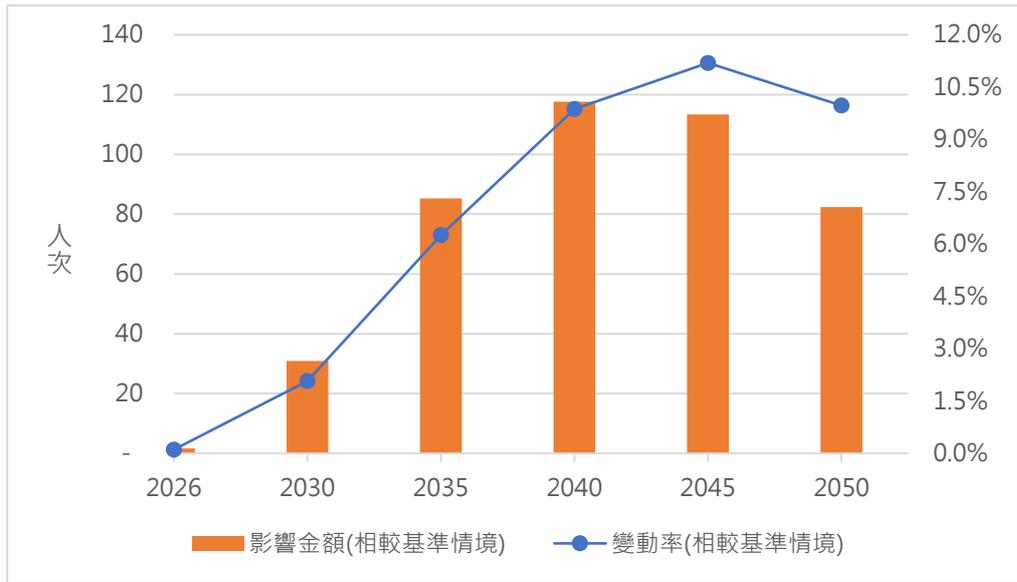


圖 22 CBAM 對離岸風電設備業之就業影響

第六章 結論

全球氣候變遷加劇，各國積極尋求減排策略，臺灣亦積極推動淨零排放政策，以期兼顧經濟發展與環境保護。IPCC 第六次評估報告（AR6）指出氣候變遷對全球的嚴重影響，凸顯國際合作減緩氣候變遷的急迫性。臺灣制定《氣候變遷因應法》並推動淨零排放策略，展現其對可持續發展的承諾。碳定價機制是減緩氣候變遷的重要政策工具，而碳邊境調整機制（CBAM）則可確保境內外企業公平競爭，避免碳洩漏，並促進全球減碳。歐盟已於 2021 年通過 CBAM，將於 2026 年起對進口至歐盟的六大類產品課徵碳關稅，其他國家如美國、英國、加拿大等也陸續宣布將推動 CBAM。為瞭解這些政策對臺灣總體經濟與產業的影響，本研究擬建立全面的研究架構，參酌國際減碳政策及配套措施，並以臺灣政府揭示的減碳進程與政策，透過單國動態 CGE 模型評估其對臺灣經濟成長、貿易及就業等總體經濟指標的影響，以提供政府與產業制定因應策略之參考。

本研究結果顯示，CBAM 對總體經濟的衝擊有限，但從產業面來看，主要負面之影響反映在基本金屬業和金屬製品業。但無論是總體經濟或是產業面的影響，依據不同之產業特性及勞動力結構，衝擊將於 2040 至 2045 年左右達到高峰，GDP 大約較基準情境減少 0.02%，之後隨著歐盟碳價成長趨緩，其所造成的影響也會有所下降，到 2050 年對 GDP 的衝擊逐漸收斂至 0.006%。

而從產業的就業來看，基本金屬業的產值將至 2050 年將比基準情境減少 10%，而金屬製品亦較基準情境減少 7%，由於歐盟為此兩個產業的主要出口市場，因此受到 CBAM 的衝擊亦相當大。預估至 2050 年，基本金屬業產值受衝擊的金額約為 2,250 億元新台幣，而金

屬製品製造業則約 800 億元新台幣。

至於 CBAM 對化學肥料及水泥的衝擊相當小，但受影響較大的產業中，另有煤製品製造業，主要係因煤製品生產後會投入基本金屬業作為其原料，而基本金屬對受 CBAM 的影響相當大，間接使得煤製品業受到影響，預估至 2040 年影響最大，約較基準情境減少 5.5% 的影響，而後至 2050 年收斂至 3.5% 左右。此外，產值受衝擊金額約為 1.5 億至 3 億新台幣。

在就業影響部份，影響最鉅時約會造成 5000 個就業機會受影響，主要集中在基本金屬及金屬製品製造業，其從業人員涵蓋專業人員、銷售人員及基層技術人員，其中專業人員以本國籍勞動力為主，而基層技術人員則以移工居多。金屬製品業以基層技術人員及勞力工佔多數，雖有一定比例的移工，但龐大的就業人數衝擊意味著本國勞動力亦面臨失業風險。

面對此衝擊，建議政府可採取多層次策略。首先，針對基本金屬業，應區分不同勞動力族群，提供客製化的職業輔導，精進其自動化技術，以因應產業自動化趨勢。針對基層技術人員，則應加強第二職業技能的培訓，提升其就業彈性，以利轉往其他產業。此外，政府也應積極協助基本金屬業和金屬製品業提升減碳能力。具體措施包括：加強產業對 CBAM 的認知與應對能力，輔導企業進行碳盤查和減碳，並鼓勵產業升級，鼓勵廠商申請產業創新條例 10-1 項下的租稅優惠，推動投資節能設備等減碳技術等。

從另一個角度來看，本研究結果也顯示歐盟 CBAM 對台灣再生能源產業的影響整體而言是正向的，企業將更有動力使用綠電，預期會增加對再生能源的需求，刺激再生能源產業的發展，創造綠色就業

機會，促進經濟結構轉型。然而，從實務面來看，台灣也需要積極應對潛在挑戰，例如短期內可能面臨綠電供應不足或不穩定的問題，或許可透過延役既有核能發電可解決短期綠電產生之問題。此外綠電成本可能高於傳統能源，仍需政府政策的扶持和技術的進步來降低成本。整體而言，CBAM 讓台灣在面臨前所未有的挑戰時，也為台灣再生能源產業帶來了發展的動力，台灣需要妥善應對挑戰，才能充分把握 CBAM 帶來的機遇，加速能源轉型，邁向永續發展的未來。

從金融面的角度來看，先前國際上美國和日本的主要金融機構，因擔憂美國川普總統領導的新政府可能採取不利於氣候行動的政策，進而退出淨零銀行聯盟（Net-Zero Banking Alliance, NZBA），雖這可能會在長期和間接層面上對全球氣候融資和投資產生影響，但對歐盟已經開始實施的 CBAM 機制本身並不會造成直接顯著之影響。主因 CBAM 主要是防止歐盟碳洩漏之風險，其有效性更多取決於其自身的法律框架、執行力度以及國際貿易夥伴的反應。至於國內金融業者，則建議應積極推動綠色金融，例如發行綠色債券和提供優惠綠色貸款，引導資金流向 CBAM 管制產業，支持其投資於更清潔的生產技術、採用再生能源以及提升能源效率，從而直接降低產品的碳排放強度，最終減少因 CBAM 而產生的碳關稅成本。

另外金管會為協助我國企業及早因應訂定其減碳目標，也分階段推動「上市櫃公司永續發展路徑圖」要求全體上市櫃公司於 2027 年前完成溫室氣體盤查，2029 年前完成溫室氣體盤查之查證，相關受納管事業及廠商辦理溫室氣體排放量盤查及查證需求將急速成長，唯目前溫室氣體之查驗證機構有 26 家，但我國 2024 年上市櫃公司有超過 1800 家，顯然我國查驗能量明顯不足，建議多開放確信機構（目前 10 家）訓練課程之辦理，以滿足我國未來可能急增之盤查需求。

面對國際淨零排放趨勢與歐盟 CBAM 的衝擊，臺灣應積極推動能源轉型與產業升級，並強化國內碳定價機制，以降低外部政策對經濟的不利影響。同時，強化金融業在綠色產業中的角色，以加速再生能源與綠色產業的發展，有助於提升臺灣在全球綠色經濟中的競爭力，並實現永續發展目標。

參考文獻

- Ahmad and Wyckoff (2003), Carbon dioxide emissions embodied in international trade of goods. OECD Science, Technology and Industry Working Papers 2003/15.
- Banerjee, S. (2021), Conjugation of border and domestic carbon adjustment and implications under production and consumption-based accounting of India's National Emission Inventory: A recursive dynamic CGE analysis. *Structural Change and Economic Dynamics*, 57, 68-86.
- Bao et al. (2013), Impacts of border carbon adjustments on China's sectoral emissions: Simulations with a dynamic computable general equilibrium model. *China Economic Review*, 24, 77-94.
- Böhringer, C., E.J. Balistreri, and T.F. Rutherford (2012), The role of border carbon adjustment in unilateral climate policy: Overview of an Energy Modeling Forum study (EMF 29), *Energy Economics*, 34(2), S97-S110.
- Bordoff, J.E. and A.W. Shoyer (2008), International Trade Law and the Economics of Climate Policy: Evaluating the Legality and Effectiveness of Proposals to Address Competitiveness and Leakage Concerns, *Brookings Trade Forum*, 35-68.
- Burke, J., R. Byrnes, and S. Fankhauser (2021), How to make carbon border adjustment work for developing countries, London: Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment and Centre for Climate Change Economics and Policy, London School of Economics and Political Science.
- Cui, Lian-Biao, P. Peng, and L. Zhu (2015), Embodied energy, export policy adjustment and China's sustainable development: A multi-regional input-output analysis. *Energy*, 82, 457-467.
- Dong, Y., & Whalley, J. (2009), Carbon motivated regional trade arrangements: Analytics and simulations (No. w14880), National Bureau of Economic Research.
- European Commission. (2019). The European Green Deal. COM/2019/640 final.
- European Commission. (2021). Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council establishing a carbon border adjustment mechanism. COM/2021/564 final.
- Feng, C. C., Chang, K. F., Lin, J. X., Lee, T. C., & Lin, S. M. (2022). Toward green transition in the post Paris Agreement era: The case of Taiwan. *Energy Policy*, 165, 112996.
- Feng, C. C., Chang, K. F., Lin, J. X., Lee, T. C., and Lin, S. M. (2020). The distributional effect of a carbon tax on income in Taiwan. *Sustainability*, 12(4), 1530.
- Fischer, C., & Fox, A. K. (2012). Comparing policies to combat emissions leakage: Border carbon adjustments versus rebates. *Journal of Environmental Economics and Management*, 64(2), 199-216.

- Gosh, M., D. Luo, M.S. Siddiqui, Y. Zhu (2012), Border tax adjustments in the climate policy context: CO₂ versus broad-based GHG emission targeting. *Energy Economics*, 34 (S2), pp. S154-S167
- Hasegawa, R., S. Kagawa, and M. Tsukui (2015), Carbon footprint analysis through constructing a multi-region input-output table: A case study of Japan. *Journal of Economic Structures*, 4(5), DOI: 10.1186/s40008-015-0015-6.
- Ismer, R., and Neuhoﬀ, K. (2007). Border tax adjustment: a feasible way to support stringent emission trading. *European Journal of Law and Economics*, 24, 137-164.
- Kasterine, A. and D. Vanzetti (2010), The Effectiveness, Efficiency and Equity of Market-based Mechanisms to Reduce Greenhouse Gases in the Agri-Food Sector. In: Trade and Environment Review 2010, United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), Geneva.
- Keen, M. and C. Kotsogiannis (2014), Coordinating climate and trade policies: Pareto efficiency and the role of border tax adjustments. *Journal of International Economics*, 94(1), 119-128.
- Kolsuz, G., & Yeldan, A. E. (2017). Economics of climate change and green employment: A general equilibrium investigation for Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 1240-1250.
- Lin, J.X., L.C. Tseng, K.F. Chang, and S.M. Lin (2020), Carbon content in production and consumption and the pollution haven hypothesis: An inter-industry input-output analysis. *Journal of Taiwan Energy*, 7(2), 119-132.
- Lin, S.M., Y.T. Chang, and J.X. Lin (2018), Energy and carbon embodied in the exports of Taiwan: An input-output structural decomposition analysis. *Taiwan Economic Review*, 46(1), 1-46.
- Lockwood, B. and J. Whalley (2008), Carbon-motivated border tax adjustments: old wine in green bottles? *World Economy*, 33(6), 810-819.
- López, Luis-Antonio, María-Angeles Cadarso, Nuria Gómez, and María-Ángeles Tobarra (2015), Food miles, carbon footprint and global value chains for Spanish agriculture: assessing the impact of a carbon border tax. *Journal of Cleaner Production*, 103, 423-436.
- Miller, R. E., and Blair, P. D. (2022). Input-output analysis: foundations and extensions(3rd). Cambridge university press.
- Park, S. J., Ogawa, Y., and Kawakatsu, T. (2015). The double dividend of an environmental tax reform in East Asian economies. Low-carbon, *Sustainable Future in East Asia*, 147-165, Routledge.
- Park, S. J., Yamazaki, M., and Takeda, S. (2012). Environmental tax reform: 136 major findings and policy implications from a multi-regional economic simulation analysis. UN. ESCAP.
- Pauwelyn, J. (2007). U.S. Federal Climate Policy and Competitiveness Concerns: The Limits and Options of International Trade Law. Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions Working Paper, 7(01).

- Pollitt, H., P. Summerton and C. Thoung (2012), Modelling the impact of policy interventions on carbon leakage, assessment with the E3MG model. Climate Strategies Working Paper. Available at <https://climatestrategies.org/wp-content/uploads/2012/06/assessment-with-the-e3mg-model-final-120612.pdf>.
- Rajbhandari, S., Limmeechokchai, B., and Masui, T. (2019). The impact of different GHG reduction scenarios on the economy and social welfare of Thailand using a computable general equilibrium (CGE) model. *Energy, Sustainability and Society*, 9, 1-21.
- Springmann, M. (2014), Integrating emissions transfers into policy-making. *Nature Climate Change*, 4, 177-181.
- Vlasis, N. (2013). The welfare consequences of pollution-tax harmonization. *Environmental and Resource Economics*, 56, 227-238.
- Xu, S.C., W.W. Zhang, C. Gao, R.Y. Long, and H. Chen (2015), Impacts of carbon tariffs on China's economic structure and carbon intensity: Simulation analysis using a dynamic CGE model. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(7), 4742-4756.
- 呂欣穎 (2024)，以結構路徑分析探討臺灣金融業在綠色價值鏈中扮演之角色，國立臺北大學自然資源與環境管理研究所，碩士論文。
- 李堅明、林幸樺、林師模、黃宗煌、楊晴雯、蘇漢邦 (2005)，「溫室氣體減量模式、減量情境、減量成本及其影響評估：TAIGEM-III 的應用」，臺灣經濟論衡，3(2)，1-50。
- 李淑鶯 (2023)，電子業全球價值鏈中之隱含二氧化碳排放路徑分析，中原大學國際經營與貿易學系，碩士論文。
- 林師模、林晉勗 (2019)，第二期溫室氣體階段管制目標之經濟影響評估，行政院國家發展委員會委託研究計畫。
- 林師模、林晉勗 (2021)，臺灣減碳可能路徑與因應，行政院國家發展委員會委託研究計畫。
- 林師模、楊皓荃、林晉勗 (2017)，國際碳排放責任分擔之跨國比較分析，應用經濟論叢，110，67-107。
- 徐世勳、李秉正、徐世榮 (2006)，「能源、經濟與環境整合策略之評估」，行政院環境保護署委辦研究計畫。
- 國家發展委員會 (2022)，臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明。
- 郭佳憲 (2023)，歐盟碳邊境調整機制經濟衝擊評估與因應策略，國立臺北大學自然資源與環境管理研究所，碩士論文。
- 陳雅筑 (2018)，以鄰為壑：跨國碳洩漏之變化及成因探討，中原大學國際經營與貿易學系，碩士論文。
- 黃宗煌 (2000)，「臺灣溫室氣體基線排放與減量評估--臺灣動態一般均衡模型

(TAIGEM) 之應用」，財團法人國家政策研究基金會。

黃靚宜、賴彥鈞、林若蓁 (2022)，國際淨零減碳趨勢之衝擊與企業因應措施，臺灣經濟研究月刊，45(4)，頁 104-112。

楊晴雯 (2012)，能源效率與部門減量成本分析：動態 CGE 模型的建置與應用，國立中央大學產業經濟研究所，博士論文。

溫麗琪、周雨蓁 (2021)，淺談歐盟「碳邊境調整機制」對我國之可能影響及因應建議。經濟前瞻，198，123-128。

廖佳韋 (2023)，由全球價值鏈的角度衡量綠色供應鏈管理，國立臺北大學自然資源與環境管理研究所，碩士論文。

蕭代基、黃琇、林師模、傅俞瑄 (2022)，國際碳邊境調整機制對臺灣減碳與經濟的影響。臺灣能源期刊，9(1)，1-24。

羅聖傑 (2021)，全球碳邊境調整對產業價格之影響及因應策略，中原大學國際經營與貿易學系，碩士論文。

附錄一：臺灣出口至歐盟受 CBAM 納管之產品清單

經濟部國貿署所建立的綠色貿易資訊網，係根據歐洲議會與歐盟部長理事會於 2023 年 5 月 16 日刊登在歐盟公報 (Official Journal) 之 CBAM 法案正式文本，列出了納管產品的歐洲共同海關稅則 (CN Code)，而 CN code 前六碼與世界各國通用的稅號 (HS Code) 完全一致，因此本研究可以與中華民國輸出入貨品分類號列 CCC Code 進行比對，並透過財政部關務署的海關進出口統計，蒐集水泥、鋁、肥料以及鋼鐵類產品近幾年出口至歐盟與全球的統計金額。臺灣出口至歐盟受 CBAM 納管之產品清單彙整如下表格。

產品分類	臺灣前 6 碼相同之海關編碼			對應產業部門
水泥	250700	252310	252321	非金屬礦物製品製造業
鋁	760110	760511	760692	基本金屬製造業
	760120	760519	760711	
	760310	760521	760719	
	760320	760529	760720	
	760410	760611	760810	
	760421	760612	760820	
	760429	760691		
	760900	761210	761490	
	761010	761290	761610	
	761090	761300	761691	
761100	761410	761699	金屬製品製造業	
肥料	280800	310240	310520	化學材料製造業
	281410	310250	310530	
	281420	310260	310540	
	283421	310280	310551	
	310221	310290	310559	
	310229	310510	310590	
	310230			
鋼鐵	260112	721061	721914	基本金屬製造業
	720110	721069	721921	
	720120	721070	721922	
	720150	721090	721923	

產品分類	臺灣前 6 碼相同之海關編碼			對應產業部門
	720211	721113	721924	
	720219	721114	721931	
	720241	721119	721932	
	720249	721123	721933	
	720260	721129	721934	
	720310	721190	721935	
	720390	721210	721990	
	720510	721220	722011	
	720521	721230	722012	
	720529	721240	722020	
	720610	721250	722090	
	720690	721260	722100	
	720711	721310	722211	
	720712	721320	722219	
	720719	721391	722220	
	720720	721399	722230	
	720810	721410	722240	
	720825	721420	722300	
	720826	721430	722410	
	720827	721491	722490	
	720836	721499	722511	
	720837	721510	722519	
	720838	721550	722530	
	720839	721590	722540	
	720840	721610	722550	
	720851	721621	722591	
	720852	721622	722592	
	720853	721631	722599	
	720854	721632	722611	
	720890	721633	722619	
	720915	721640	722620	
	720916	721650	722691	
	720917	721661	722692	
	720918	721669	722699	
	720925	721691	722710	
	720926	721699	722720	
	720927	721710	722790	
	720928	721720	722810	
	720990	721730	722820	
	721011	721790	722830	
	721012	721810	722840	
	721020	721891	722850	
	721030	721899	722860	
	721041	721911	722870	
	721049	721912	722880	
	721050	721913	722920	
			722990	
鋼鐵	730110	730539	730830	金屬製品製造業
	730120	730590	730840	
	730210	730611	730890	
	730230	730619	730900	
	730240	730621	731010	
	730290	730629	731021	
	730300	730630	731029	
	730411	730640	731100	
	730419	730650	731811	
	730422	730661	731812	
	730423	730669	731813	
	730424	730690	731814	

產品分類	臺灣前 6 碼相同之海關編碼			對應產業部門
	730429	730711	731815	
	730431	730719	731816	
	730439	730721	731819	
	730441	730722	731821	
	730449	730723	731822	
	730451	730729	731823	
	730459	730791	731824	
	730490	730792	731829	
	730511	730793	732611	
	730512	730799	732619	
	730519	730810	732620	
	730520	730820	732690	
	730531			