

臺灣推動離岸風電對淨零碳排之影響

許智有^{1*} 林江亮²

摘 要

近年來氣候變遷議題受到各國政府與企業重視，紛紛提出減碳目標及落實的具體作法，已有 128 個國家宣示加入 2050 年淨零碳排，蘋果、微軟等國際大型企業也宣布建立碳中和或負排碳的供應鏈與產品。臺灣雖於 2015 年訂定溫管法，為因應國際淨零碳排趨勢，2021 年蔡總統在出席「永續。地球解方-2021 設計行動高峰會」時表示(總統府，2021)，政府正積極部署在 2050 年達到淨零排放目標的可能路徑，除了穩定推動中的能源轉型，包括製造、運輸、住宅、農業等部門，也必須提出系統性的減碳策略，目前能源轉型規劃 2025 年再生能源發電占比 20%，燃煤與其他 30%，燃氣 50% 之配比，同時搭配核一、核二及核三不採行延役且核四封存等作法，積極推動再生能源的設置，其中又以太陽光電 20 GW 及離岸風電 5.7 GW 最為重要，臺灣地區風力資源非常豐富，臺灣海峽、西部沿海與澎湖離島等深具發電潛力，離岸風電的推動不僅對減碳能發揮綜效，亦能帶動離岸風電產業的發展，以建構產業供應鏈增加臺灣經濟成長動能與綠色競爭力，因此，探討離岸風電的推動與預期成長，對臺灣後續達成 2050 年淨零碳排的策略擬定與路徑規劃將有其助益。

關鍵詞：離岸風力發電，淨零碳排，能源政策

1. 前 言

氣候變遷(Climatic Change)已嚴重衝擊地球環境生態，除引起大規模物種滅絕及糧食危機外，極端氣候也引發產業鏈的綠色革命，不僅影響個別產業競爭力，更攸關整體國家的發展，是國家經濟成長重要的命脈，因此，近年來國際間對氣候議題特別重視與投入。2015 年聯合國氣候峰會中通過巴黎協定，期望全球平均氣溫升幅控制在工業革命前水準以上低於 2°C 之內，並努力將氣溫升幅限制在工業化前水準以上 1.5°C 之內，2018 年聯合國政府間氣候變化專門委員會(IPCC)，特別報告中提出，欲控制升溫 1.5°C 以內 (IPCC, 2018)，2050 年全球須

達到淨零排放，2021 年規劃於英國舉行聯合國氣候變化綱要公約(UNFCCC)第 26 屆締約國大會，將針對氣候與碳排議題深入研議並擬定行動方案(UNFCCC, 2016)。

隨著歐、美、中、日、韓等上百個國家表態支持氣候政策及允諾大幅降低二氧化碳排放量，追求淨零碳排已是全球共同的目標，各國政府及企業均有一系列二氧化碳零排放的作法，超過 128 個國家已宣示加入 2050 年淨零碳排，歐盟亦規劃 2023 年實施碳關稅，國際間許多大型跨國企業如：蘋果、微軟等也宣布建立碳中和或負排碳的供應鏈與產品。臺灣以出口為導向，碳關稅勢必對臺灣的出口產業，甚至整體經濟造成衝擊，國際大廠減排要求也將影

¹ 中原大學商學博士學位學程 博士生

² 中原大學會計系 教授

*通訊作者，電話：0910-010262，E-mail: g10304606@cycu.edu.tw

收到日期: 2021 年 08 月 30 日

修正日期: 2021 年 10 月 05 日

接受日期: 2021 年 10 月 21 日

響臺灣在國際供應鏈的競爭力，因此，面對未來可能的碳關稅貿易障礙，及國際大廠的嚴格綠色供應鏈要求，臺灣應超前部屬提早因應，在行政院統籌下，政府部會已開始評估及規劃臺灣在2050年達成淨零碳排目標的可能路徑，藉由能源、工業、住商、運輸、農業及環境等六大部門研擬提出策略與具體作法。

參照2020年國家溫室氣體排放清冊，臺灣2018年總溫室氣體排放總量，淨排放量(含碳匯)為275.039百萬公噸二氧化碳當量(MtCO₂e)，主要為二氧化碳(95.38%)與其他(4.62%)，能源燃料燃燒所排放二氧化碳又占排放總量的90.08%，因此大量採用再生能源取代傳統高碳排發電，是一項關鍵作法。臺灣能源轉型以減煤、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，兼顧降低空污及減碳。為擴大再生能源的建置，經濟部訂定2025年再生能源發電占比20%政策目標，尤其以推動太陽光電及風力發電為主，預計2025年太陽光電裝置容量達20 GW，風力發電為6.9 GW，其中陸域風力1.2 GW，離岸風力裝置容量達5.7 GW以上。臺灣規劃以先開發優良風場、再推動次級風場等步驟，並參考國外推動經驗與技術發展趨勢，擬定先示範、次潛力、後區塊等3階段推動策略，推動離岸風電的設置，臺灣離岸風電整體產值逾兆元，離岸風電極具開發價值，不但促進我國能源多元化與自主供應，且藉由推動過程帶動本土塔架、電力設施、風機組件、水下基礎、海事工程等上中下游產業的發展，也能打造綠能低碳環境。

因應氣候變遷，國際間正為減少全球碳排而努力，離岸風電也是臺灣達成2050年淨零碳排的重要關鍵之一，國際工程顧問公司4C Offshore在2014年發布的全球23年平均風速觀測研究中指出(4C Offshore, 2021)，世界況最好的20處離岸風場，臺灣海峽就占16處，因此臺灣海峽是全球首屈一指的風場場域，目前已於2019年完成建置第一座離岸風電的海洋風場，其總裝置容量為128 MW，第二座台電示範風

場亦將在2021年9月完工併聯，裝置容量109.2 MW，年發電量約3.62億度，未來具商業規模的離岸風場成長潛力也非常大。

在面對全球減碳壓力與提升綠色競爭力下，臺灣推動離岸風電對淨零碳排之影響是一個值得深入探討的課題，本文藉由整理近期國內外有關淨零碳排之最新資訊與過往學者對此議題之探討等文獻，並設擬定2050達成淨零碳排所需的情境假設，運用LEAP模型(Long-range Energy Alternatives Planning System)來進行實證分析，以了解推動離岸風電對減碳的效益，並可協助後續為達成2050年淨零碳排的策略擬定與路徑規劃。

2. 文獻回顧

2.1 國際間淨零碳排之趨勢與進展

2015年12月由聯合國195個成員國(包括觀察員巴勒斯坦國及羅馬教廷)在聯合國氣候峰會中通過的氣候協議，以巴黎協定取代京都議定書，承諾在21世紀末，全球氣溫上升幅度不超過攝氏2°C，並努力控制在1.5°C以內。2018年IPCC(聯合國政府間氣候變化專門委員會)特別報告中指出，欲控制升溫1.5°C以內，2050年左右全球須達到淨零排放，2021年4月由美國主辦全球領袖氣候峰會(Leaders Summit on Climate)視訊會議，由40個國家與國際組織領導人共同參與，討論全球面對氣候變遷的挑戰與作為。隨著全球對碳排的重視，歐美亦提出碳邊境調整機制(Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM)，2019歐盟執委會提出歐洲綠色政綱(European Green Deal, EGD)(Climate Home News, 2021)，規劃對各國輸入至歐盟的產品課徵碳稅或要求購買歐盟境內溫室氣體減量額度，以降低碳洩漏風險，期望最遲於2023年前實施，美國提出氣候政策，也包括碳調整費或配額(Carbon Adjustment Fees Or Quotas)。比爾蓋茲於2021發表如何避免氣候災難一書(比爾蓋

茲，2021)，書中闡述未來十年沒有比公平地轉型到淨零、應對氣候變遷更重要的事，並承諾他旗下的氣候投資基金將提供15億美元給美國政府協助對應氣候變遷。

二氧化碳議題與能源使用有著極高的關聯性，根據鄭雅云(2021)，以亞洲的14個國家為例，探討二氧化碳排放量與技術進步因子、經濟成長、能源使用、製造業附加價值之間的關係，在亞洲國家專利權申請數額越高的國家，並沒有因而減少了碳排放量，而製造業附加價值的增長會降低碳排放量，比較像先進國家的結果，在能源消耗的部分對二氧化碳排放量有著正向的影響效果。國際能源總署(IEA)也發布一份關於全球如何在2050年達到淨零碳排的報告(IEA, 2021)，IEA認為全球在邁向淨零碳排的途徑中不需再投資新的化石燃料，其具體行動包含：2021年各國政府都須停止批准新的煤礦或油氣田，並計劃有效率地關閉現有相關設施，2025年禁止在新建築裝設燃氣爐，2035年不可再銷售新的燃油或柴油車，並提升建造太陽能發電廠的速度，2040年全球電力部門的二氧化碳排放量將趨近於零，這些做法與途徑可

創造更多的就業機會，提升經濟，隨著空氣污染的改善，可減緩人口的疾病，人民將生活在更健康的環境中。為達成2050年淨零碳排，世界各主要國家均提出階段目標與具體作法，並且藉由立法來促成，全球主要國家宣示淨零碳排目標與期程(表1)。

根據工研院淨零永續策略辦公室(工研院，2021a)提出，截至目前全球雖然已有128個國家宣示加入2050年淨零碳排的行列，但許多國家尚屬於口頭宣示階段，並未提出達成減碳目標的具體作法與時程規劃，國際能源署(IEA)也將這些宣示國家進一步分析，統整已將2050年淨零碳排依正式立法、立法中及已提出具體政策文件等約42個國家，其碳排放量與全球碳排之占比(圖1)。

各國除了擬定階段減碳目標外，也紛紛提出具體的執行方案，英國首相強生(GOV.UK, 2020)，提出綠色工業革命十項計畫(圖2)，主要聚焦在零碳排車輛、碳補存再利用、先進離岸風力、低碳氫能、綠色運輸、綠色融資與創新、綠色建築、環境保護、零排放航空與海運及先進核能等10項主軸，並創造和提供多達

表1 全球主要國家宣示淨零碳排目標與期程(本研究整理)

國家	政策
歐盟	2019年宣布2050年達到淨零碳排，並規劃在2023年實施碳關稅
英國	2019年修正氣候變遷法，擬定2050年達成溫室氣體淨零排放目標，2021年氣候峰會宣示2035年前將比1990年減少78%碳排的新目標
美國	拜登總統主張重新加入巴黎協定，於2050年前達成淨零碳排經濟體，2021年氣候峰會宣布2030年以前溫室氣體排放較2005年減少50%到52%
加拿大	2021年氣候峰會提出2030年以前碳排放較2005年減少30%，提升至減少40%到45%，以2050年達成淨零碳排為目標
中國	2020年聯合國大會年度會議，提出2030年以前達到碳排顛峰，承諾將在2060年前實現淨零碳排，2021年氣候峰會未提出新的政策方向
日本	2020年首相國會報告施政方針，宣示2050年達到溫室氣體實質零排放，2021年氣候峰會宣示2030年前將比2013年減少46%碳排的新目標
韓國	2020年總統在國會宣布經濟振興政策，以2050年達成淨零碳排為目標，2021年氣候峰會宣示2030年前將比2017年減少24.4%碳排的新目標
巴西	2021年氣候峰會提出承諾要在2030年以前中止非法森林砍伐且2050年前達成淨零碳排

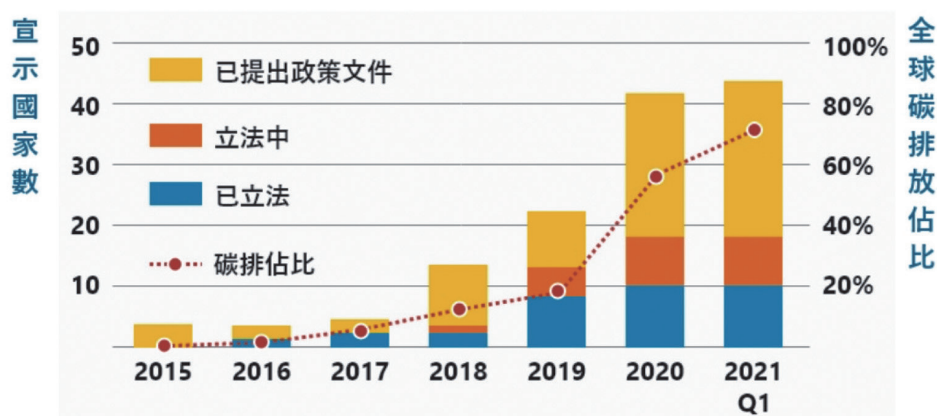


圖1 全球宣示淨零碳排的國家與碳排放量佔比(IEA, 2021；遠見，2021)



圖2 英國綠色工業革命十項計畫(GOV.UK, 2021；工研院，2021a)

438,200個以上的高技能綠色工作機會，同時促成高達635億英鎊以上之投資，日本首相菅義偉2020（經濟部國合處，2021）也宣布2050綠色成長策略(圖3)，希望在2050年將再生能源發電佔整體發電量比重提高至50-60%，且在離岸風電、電動車、氫能源、航運、航空及住宅建築等14個重點領域推動溫室氣體減排，日本也把

離岸風電列為發展再生能源重點項目之一，計畫在2030年將離岸風電提高至1,000萬千瓦，2040年進一步提高至3,000萬至4,500萬千瓦，相當於45座核電廠的發電量，同時也規畫在2030年將氫能源使用量提高至300萬噸、2050年提高至2,000萬噸，並將降低氫能源的使用成本，以普及氫能源發電。英國與日本均將離岸風力列



圖3 日本2050綠色成長策略(經濟部國合處，2021；工研院，2021a)

為國家推動重點項目之一，由此可看出推動離岸風電對達成淨零碳排的重要性。

2.2 臺灣達成淨零碳排的作業與進展

臺灣已於2015年訂定溫管法，提出國家溫室氣體階段管制目標規劃(基準年為2005年)，第一期(2016-2020年)目標為2020年較基準年減2%，第二期(2021-2025年)目標為2025年較基準年減10%，第三期(2026-2030年)目標為2030年

較基準年減20%為努力方向，且滾動式檢討。根據行政院環保署所發布之「2020年中華民國國家溫室氣體排放清冊報告」(行政院環保署，2021)，2018年臺灣溫室氣體排放總量達296.546百萬公噸二氧化碳當量(MtCO₂e)，淨排放量(含碳匯)：275.039 百萬公噸二氧化碳當量(MtCO₂e)，其中主要為二氧化碳(占比95.38%) (圖4)，燃料燃燒排放二氧化碳占排放總量的90.08%。根據鄒馨慧(2020)，利用Kaya恆等式

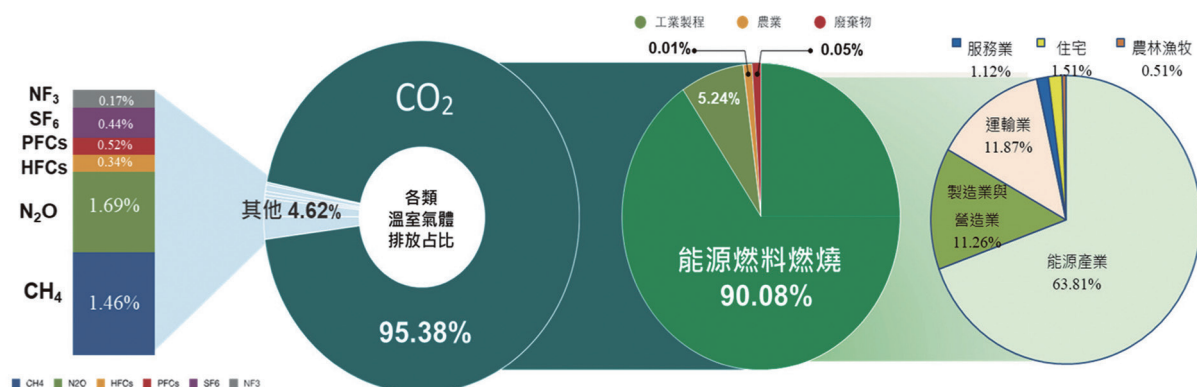


圖4 臺灣溫室氣體排放來源(行政院環保署，2021)

部門，也必須提出系統性的減碳策略；立法院也提出溫管法修法與調整為氣候變遷行動法，並將2050年淨零碳排放目標法制化，期盼透過法規強化、驅動政府因應氣候危機、達成減碳成效。依據IEA(2020)能源技術展望報告，已成熟技術尚不足以達成2050淨零排放，須仰賴技術創新研發與投資，經濟部主導之能源部門其作業架構(圖6)，並已規劃展開2050淨零碳排放之技術科學檢核與長期能源願景溝通，擬藉由新興低碳科技的導入以促進零碳目標的達成，藉由離岸風電的推動除達成減碳目標外，亦可結合臺灣海峽風場的優勢，將技術創新與產業商業化，以搶占國際減碳市場，增進經濟成長動

2021年4月蔡總統提出在行政院統籌下，由國發會統籌擬定政府部會淨零碳排作業架構(圖5)，政府已開始評估並規劃臺灣在2050年達到淨零排放目標的可能路徑，除了穩定推動中的能源轉型，包括製造、運輸、住宅、農業等

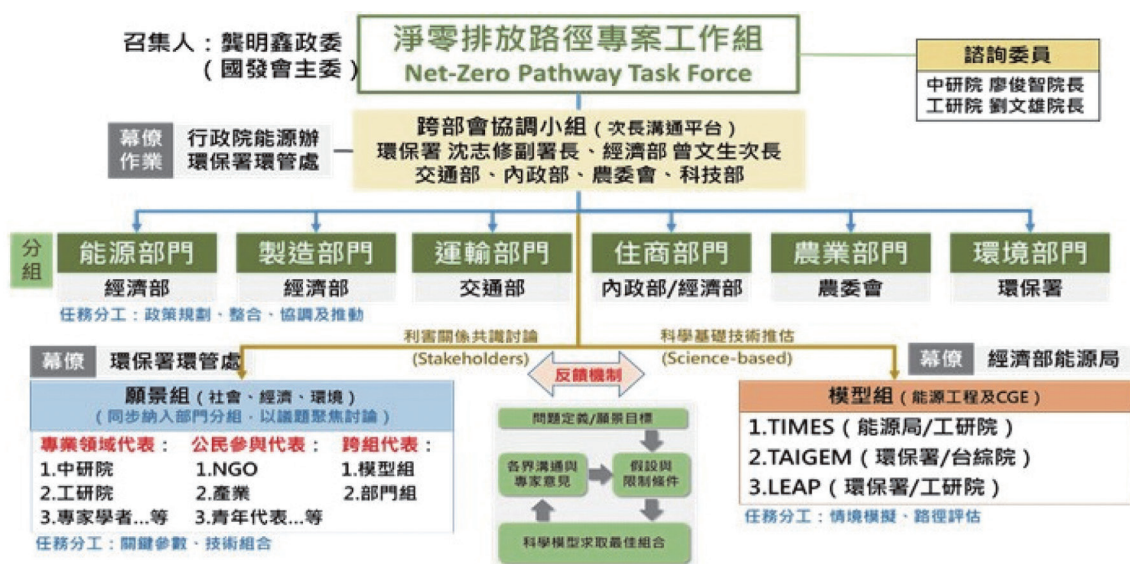


圖5 政府部會淨零碳排作業架構(行政院國發會，2021a)

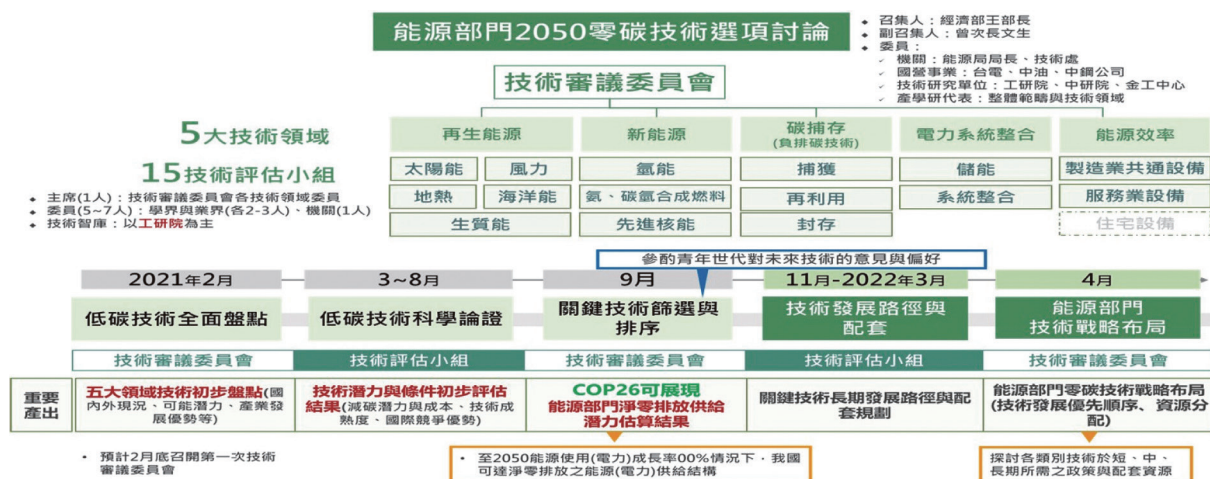


圖6 能源部門淨零碳排作業架構(經濟部能源局，2021a)

能。根據周桂田(2021)，歐盟規劃 2023年施行碳邊境調整機制，臺灣尚未施行碳定價制度，若未能加速推動碳定價措施，對於整體貿易競爭力將有極大的影響，若臺灣以2050年淨零排放為長期能源轉型目標，在風力跟太陽光電兩大綠能產業下，2025年後還可創造數兆元的綠能投資商機。

工研院院長劉文雄(工研院，2021b)於天下經濟論壇時提出，臺灣要達成2050淨零碳排目標可由五個構面著手進行，第一，供給面，將追求零碳排電力供應，建立次世代再生能源發電，包括氫能、地熱等，加速能源轉型，發展新興低碳能源科技等選項，配合虛擬電廠調度，建立電力承載順序，帶動新興電力服務產業發展。第二，需求面，最重要是改變消費行為，藉由全面交通電氣化及提升能源使用效率，或創造低碳共享的創新商業模式與新經濟生態。第三，製造面，低碳製造為重點，尤其在高碳排產業如：鋼鐵、石化、水泥等。第四，環境面，積極發展碳捕捉與碳循環，研發先進負碳排技術，直接捕捉二氧化碳及再利用技術，開創多元高價值的新商品，導入生物固碳或製成綠色燃料，重建健康碳循環。第五，經貿與法規面，各國都在擬定碳關稅，臺灣應以國際貿易措施與手段應對氣候變化，研判減

碳貿易措施衝擊，並提出國內法規修訂與國際經貿談判作為。

工研院也認為，世界要在2050年達到淨零碳排是非常挑戰性的目標，臺灣要邁向淨零碳排的願景，需要產官學研的合作參與，工研院也提出3個建議作法(工研院，2021c)：因2050年距離今尚有30年，中間產生的變數及影響很多，不確定性大，可採用科學化方法與工具，推演出臺灣2050淨零排放可能路徑推演供各界參考(圖7)；其次，能源燃料燃燒占臺灣溫室氣體排放量九成以上，使用低碳或無二氧化碳排放的電力發電，是臺灣達成2050淨零碳排的重要基石，需啟動2050年淨零碳排的能源供需情境評析，協助政府從低碳、無碳著手，大幅提高能源效率與擴大再生能源，並建立電力承載順序>Loading Order)，達成零碳電力目標；最後，持續以科技研發及產業合作加速循環經濟的推動，逐步替換現有的生產消費模式，建立創新的商業模式，引領產業綠色轉型。

2.3 臺灣能源政策與離岸風電的推動

臺灣98%能源依賴進口，提升能源自主刻不容緩，因此2016年5月在能源安全、綠色經濟、社會公平及環境永續等考量下全面啟動能源轉型，以積極節能抑低用電需求的增加，用



圖7 臺灣2050淨零排放可能路徑推演(工研院，2021a)

多元創能確保電力穩定供應，採智慧儲能強化電網調度與穩度，能源轉型正逐步改變臺灣的發電結構。以技術成熟可行、成本效益導向、分期均衡發展、帶動產業發展及電價影響可接受等5大原則，規劃2025年再生能源發電占比20%，燃煤與其他30%，燃氣50%之配比，臺灣再生能源發展概況(表2)，同時搭配核一、核二及核三不採行延役且核四封存等作法，各類再生能源設置目標，又以太陽光電20 GW及離岸風電5.7 GW最為重要。根據黃嘉偉(2020)之研究，產業政策是政府訂定目標，建立策略，

介入市場，分配資源進而達到扶持產業成長的手法，政府規劃發展離岸風力產業，透過優惠的躉購費率，優先併網等優惠條件吸引民間投資，亦要求外商來臺投資，將開發經驗分階段性移轉給國內廠商，以促成風電產業國產化之目的。

根據經濟部能源局之再生能源資訊網資訊(再生能源資訊網，2021)，臺灣地區風力資源非常豐富，主要分布於臺灣海峽、西部沿海與澎湖離島等地，年平均風速可達5~6公尺/秒以上，離岸風電開發潛能區塊(圖8)，甚具開發潛

表2 臺灣再生能源發展概況(經濟部能源局，2020b)

項目	再生能源裝置容量(MW)			再生能源發電量(億度)		
	2019	2020	2025	2019	2020	2025
太陽光電	4,150	6,500	20,000	40	81	256
陸域風力	717	814	1,200	17	19	28
離岸風力	128	520	5,667	2	19	204
地熱	0.3	150	200	0	10	13
生質能	709	768	813	38	38	43
水力	2,093	2,100	2,150	55	64	66
燃料電池	0.3	22.5	60	0	2	5
總計	7,796	10,875	30,090	152	233	615

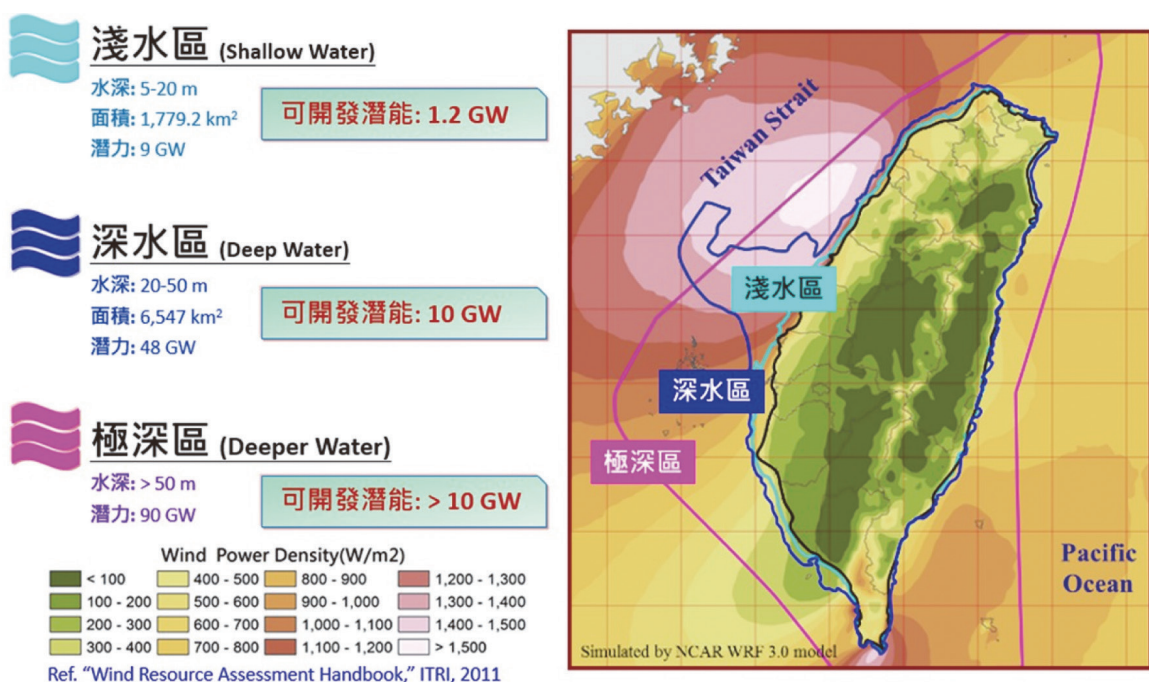


圖8 臺灣離岸風電開發潛能區塊圖(經濟部能源局，2020a)

力，在離岸風電方面，規劃2025年達5.7 GW為目標，以積極務實態度區分三階段來推動，第一階段為示範獎勵，主要為提供補助並引導業者投入，2017年在苗栗外海完成8 MW示範機組，2020年兩座示範風場共計230 MW；第二階段為潛力場址公告與開放申請，2015年公開36處潛力場址，2017年10.5 GW通過環評，2025年規劃5.5 GW商轉區分遴選3.8 GW及競價1.7 GW；第三階段為區塊開發，由政府主導並建立產業，規劃2026-2035年每年將新增1 GW，且納入價格考量，降低開發成本，延續潛力場址產業關聯成果，並考量在地化。第一座海洋示範風場已於2019年12月完工，總容量128 MW、岸距2至6公里、水深15至35公尺，包含4 MW示範機組2架與6 MW機組20架次，年發電量4.8億度，可提供12.8萬戶家庭使用，第二座台電示範風場亦將在2021年9月完工併聯，裝置容量109.2 MW，年發電量約3.62億度。根據陳慶禎(2016)之研究，離岸風力發電機之苗栗風場做個案探討，比較國內外廠商在經營此示範風場上之淨現值及內部報酬率，並以敏感度分析找出包括：期初成本、保修成本、躉售電價、容量因子等變數變動的情形，國內外廠商之獲利能力，並提出現行政策的盲點以及可能的改進方式，例如：電價的調整、產業自主的重要性、政策目標的優先順序等。根據陳翰韋(2019)之研究，針對臺灣和英國離岸風力發電發展之進程，並透過法規議題和解決方案進行比較研究，其認為將離岸風電可歸屬為高發展潛力的再生能源，亦能為臺灣的未來帶來乾淨且充足的能源。

根據巫冠緯(2020)之研究，臺灣海峽海域為主要風場開發地，夏季西南季風與冬季東北季風強盛，風力強大，臺灣擁有如此優渥的條件，其分析國外多年發展離岸型風力發電的經驗，對於未來臺灣發展離岸型風力發電將面臨的挑戰，提出優勢、弱勢、機會與威脅等四大發展面向，認為臺灣推動離岸風電深具機會。根據許弼程(2020)之研究，以離岸風電生命週

期各階段成本預測模式，及臺灣離岸風電電價政策，進行未來成本預測，並根據相關結果進行均化能源成本(LCOE)之估算，以作為電價合理性之衡量指標，在追求離岸風電產業鏈快速成長及達成國產化目標，目前遴選潛力風場躉購價格尚屬合理，隨技術及產業鏈成熟，預期將可逐漸接近國際離岸風電電價水準。

3. 實證分析

隨著再生能源政策的推動，離岸風電的逐年布建，本研究為探討臺灣推動離岸風電對減碳的影響，同時考量GDP成長、用電成長、離岸風電裝置容量、技術成長及電力供需結構等因素，運用LEAP模型(Long-range Energy Alternatives Planning System)來進行實證分析，以了解離岸風電對於減碳效果是否有顯著的貢獻。

3.1 LEAP模型(Long-range Energy Alternatives Planning System)

國際間均普遍認為推動再生能源以取代傳統化石燃料有助於二氧化碳的減量，臺灣擁有世界上極佳的風場場域，加上政府已明確制定離岸風電推動政策，因此了解臺灣推動離岸風電對減碳的效益，有其重要性，本研究運用LEAP模型(Long-range Energy Alternatives Planning System)來進行實證分析。LEAP模型是一項長期能源替代規劃系統，是一個運用情景分析的能源及環境核算工具，由斯德哥爾摩環境研究所與美國波士頓大學共同開發，目前LEAP模型已被60個國家之200個以上的組織及國內外許多學者廣泛採用，包含需求分析(Demand Analysis)、統計差異(Statistical Differences)、轉換分析(Transformation Analysis)、存量變化(Stock Change)、資源分析(Resource Analysis)、非能源部門影響分析(Non-Energy Sector Effects Analysis)等。運用LEAP模型進行能源需求分析，包含能源供應、能源轉

換、終端能源需求等環節，該模型主要可用於國家和城市中长期能源環境規劃，可以用來預測不同驅動因素的影響下，社會中长期的能源供應與需求，並計算能源在流通和消費過程中的大氣污染物以及溫室氣體排放量。

3.2 臺灣推動離岸風電對減碳的效益

為探討臺灣推動離岸風電對減碳的效益，本研究情境設計為：驅動臺灣2050年淨零碳排的目標，需落實能源轉型方案於2025年再生能源供給達20%，且2030年二氧化碳排放量相較2005年減量30%，因臺灣首座風場海洋離岸風力發電廠於2019年十月完工並正式進入商轉，故以2019年為基礎年(基礎情境)。臺灣地區風力資源豐富，臺灣海峽、西部沿海及澎湖離島等地區均具有開發潛力，參照經濟部能源局有關資料顯示(經濟部能源局，2021b)，在水深5-20公尺的淺水區(Shallow Water)具有9 GW的潛力，開發潛能為1.2 G，在水深20-50公尺的深水區(Deep Water)具有48 GW的潛力，開發潛能為10 G，在水深50公尺以上的極深區(Deeper Water)具有90 GW的潛力，開發潛能大於10 G以上，且配合目前風力電廠建置及政府規劃，2025年離岸風力將達5.7 GW的建置，且2026年起至每年仍以1GW的成長，在場域容許下，離岸風電的推動可能區分兩種情況，情況一：推動離岸風電取代既有燃煤與燃氣電廠，情況二：燃氣電廠全面二氧化碳捕獲與封存(Carbon Capture and Storage, CCS)，風力發電部分可用來產氫提供給石化與煉鋼使用，運用LEAP模型內建參數及部分設定後計算出離岸風電推動後的電力排放係數，最後再藉由電力排放係數計算減碳效果，本研究將著重於情況一之取代效果。

3.2.1 基礎情境建立：

1. GDP成長：經濟成長率(Economic Growth Rate)是指實質總產出或實質國內生產毛額(Gross Domestic Product, GDP)的年增率，參

考行政院國發會資料(行政院國發會，2021b) 2019年及2020年臺灣實質GDP分別為19兆1,946億元和19兆7,913億元，109年臺灣經濟成長率為3.11%。根據行政院國發會引述IHS Markit預測(行政院國發會，2018)，2020-2030年之經濟成長率則預估落於2.7%~3.0%間，臺灣至2030年老年人口約占總人口25%，進而抑制未來潛在勞動供給的成長，本研究假設至2050年平均GDP成長為2.4%。

2. 用電成長：參照經濟部能源局公布之2020年及2019年全國電力資源供需報告(經濟部能源局，2021c)，2020年用電量為2,711億度，相較2019年成長2.1%，工業部門增加2.1%、住宅部門約6.4%，2020年發電量為2,798億度，較2019年增加57億度，燃氣機組發電量為999億度，較2019年增加87億度；太陽光電發電量61億度，較2019年增加21億度；風力發電量為23億度，較2019增加4億度。因應半導體產業擴產計畫、美中貿易戰帶動臺商回流等因素，能源局也預估2021年至2027年用電需求每年平均成長2.5%，為達成2050年淨零碳排，原則上用電成長不能無限制上升，本研究假設基礎情境用電量至2050年平均成長必須落在0.5%以下。
3. 離岸風電建置量：目前經濟部已明訂離岸風電建置目標至2025年離岸風電發電裝置將達5.7 GW，且考量臺灣具有優渥風場場域，2026年至2035年每年仍以1 GW的成長。
4. 技術成長性：因經濟部已明定至2025年各項再生能源裝置目標，且為達成目標也成立推動辦公室負責進度之追蹤，技術成長已反應於裝置目標的建置，故本研究暫不考慮技術進步性。
5. 電力供需結構：電力部門基礎情境之建構，考量滿足國內用電需求，用電需求成長率基準情境假設受經濟行為帶動，以臺灣至2050年GDP成長率作為帶動用電需求量成長之推估。而淨零減碳情境，則以「全國電力資源供需報告」108年至116年電源規劃之能效改

善進展進行推估。發電端則利用台電長期電源開發方案與全國電力資源供需報告108年至116年電源規劃情形，進行模式參數設定(台電公司電源開發處，2018；經濟部能源局，2021a)。風力以外之再生能源依據《再生能源發展條例》第六條第一項「未來二年及中華民國一百十四年再生能源推廣目標各類別再生能源所占比」及其發展計畫與方案規劃，離岸風電自2026年起至2035年每年增加1 GW，2050年額外增加10 GW則2050年臺灣再生能源發展概況(表3)。

3.2.2 運用LEAP模型運算結果分析：

1. 電力排碳係數：由於國家整體發電結構的規

劃直接影響最終的溫室氣體排放量，電力排碳係數則將作為國家溫室氣體排放階段管制目標之能源部門管制項目，統計範疇包括公用售電業銷售電量及再生能源直供或轉供電量。參照臺灣歷年電力排碳係數(圖9)，配合能源轉型與積極推動再生能源，在考量2050年淨零碳排的情境，運用LEAP模型運算得知2020年至2050年減碳情境下電力排碳係數(表4)，即十年內2030年需達0.287公斤二氧化碳當量/度(kgCO₂e/度)，相較現況而言，尚有極大的努力空間。

2. 離岸風電減碳效益：目前能源政策中規劃2025年再生能源發電量占總發電量比例達20%，也藉由綠電的推動降低二氧化碳的排

表3 2050年臺灣再生能源發展概況(本研究整理)

再生能源 MW	2025	2030	2035	2050
水力	2,150	2,150	2,150	2,150
地熱	0.3	0.3	0.3	200
太陽能	20,000	20,000	20,000	20,000
陸域風電	814	814	814	814
離岸風電	5,700	10,700	15,700	25,700
生質能	85.7	85.7	85.7	85.7
廢棄物	631.93	631.93	631.93	631.93

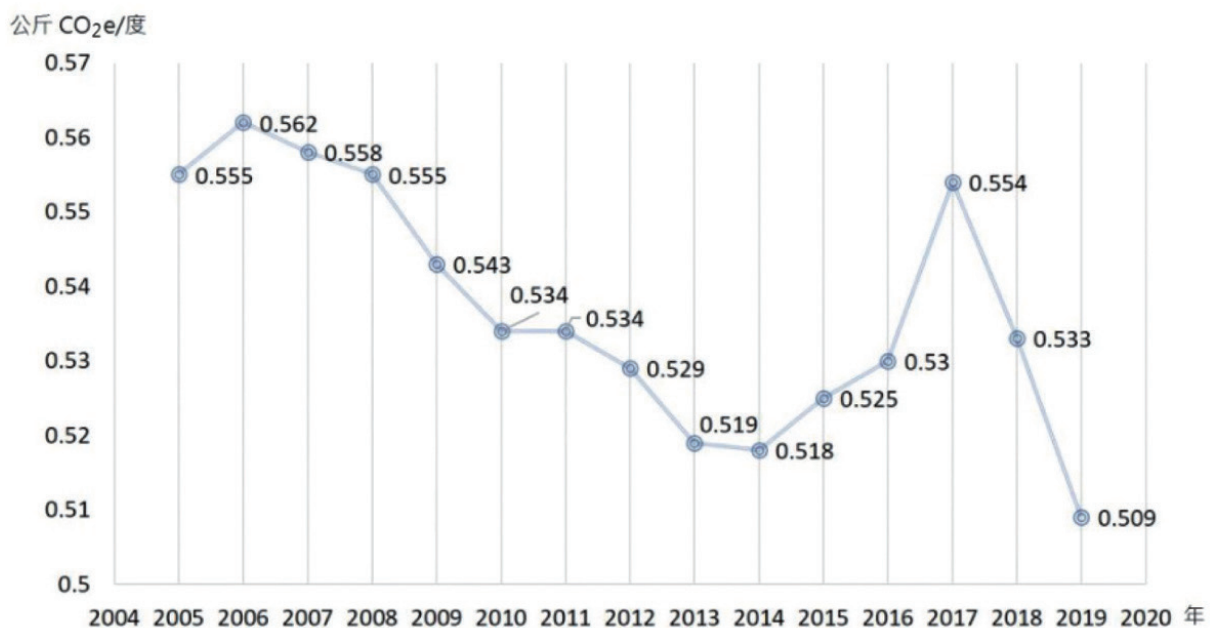


圖9 臺灣電力排碳係數統計圖(經濟部能源局 2020c)

表4 減碳情境下電力排碳係數(本研究演算)

電力排碳係數，單位：公斤二氧化碳當量/度

情境	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
基礎情境	0.502	0.394	0.424	0.417	0.412	0.408	0.404
減碳情境	0.502	0.393	0.287	0.258	0.235	0.242	0.210

放，臺灣整體風電包含陸域及離岸之發電概況(表5)，臺灣第一座海洋示範風場已於2019年12月完工，總容量128 MW，第二座台電示範風場亦將在2021年9月完工併聯，裝置容量109.2 MW，整體離岸風電發電概況(表6)(圖10)，運用LEAP模型運算，推動離岸風電取代既有燃煤與燃氣電廠，2025年至2050年減碳效益將從6.88百萬公噸成長至16.54百

萬公噸(表7)，隨著離岸風電的布建，對於減碳效果有顯著的貢獻。

4. 結論與建議

臺灣能源政策已趨完善，近年來政府積極推動增氣、減煤、展綠的措施，藉由再生能源的推動、節能技術的提升、儲能的普及與二

表5 整體風電發電概況，單位：十億度電(本研究演算)

情境	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
基礎情境	2.6	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7
減碳情境	2.6	20	35.3	50.6	62.9	72.1	81.3

表6 離岸風電發電概況，單位：十億度電(本研究演算)

情境	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
基礎情境	0.4	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5
減碳情境	0.4	17.5	32.8	48.1	60.4	69.6	78.8

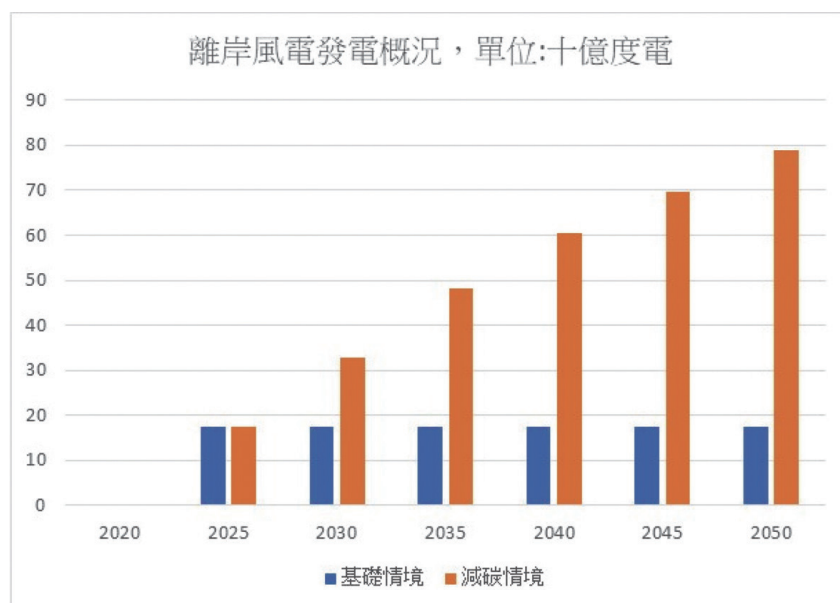


圖10 離岸風電發電概況(本研究演算)

表7 離岸風電減碳效益，單位：百萬公噸二氧化碳當量(本研究演算)

情境	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
基礎情境離岸風電減碳量	0.20	6.88	5.02	4.52	4.12	4.24	3.67
減碳情境離岸風電減碳量	0.20	6.88	9.41	12.42	14.21	16.86	16.54
減碳情境相對基礎情境效果	0.00%	0.00%	87.45%	174.78%	244.90%	297.64%	350.68%

氧化碳捕獲與封存的布建，對於減碳將更能發揮綜效，台電公司也投入減煤力道且採低碳調度模式，再生能源及核能為優先供電，其次燃氣為主燃煤為輔的供電模式，未來也配合政策擴大使用天然氣與再生能源提高再生能源併網容量，提升機組效能，降低發電機組燃料消耗與降低溫室氣體排放。本研究運用LEAP模型(Long-range Energy Alternatives Planning System)分析，在現有政策下臺灣推動離岸風電從2020年至2050年間，約可減少二氧化碳排放0.2至3.67百萬公噸(表7)，若考量2050達成淨零碳排的減碳情境下，2030年須先達成相較2005年減少30%的二氧化碳排放，其二氧化碳約可減少0.2至9.41百萬公噸(表7)，2035年減碳效益為12.42百萬公噸，2050年達16.54百萬公噸(表7)，減碳情境相對基礎情境的效果達到3.5倍之多，對臺灣邁向淨零碳排有非常顯著的貢獻。離岸風電的推動不僅能降低二氧化碳的排放，亦能帶動離岸風力發電產業發展，以建構產業供應鏈，搶攻亞太市場，藉由離岸風電產業園區，帶動廠商投資，形成產業聚落，同時以市場誘因推動國際風電設備廠商來臺，促使國內外業者建立合作關係，形成產業供應鏈，增加臺灣經濟成長動能與綠色競爭力。

歐盟執委會(European Commission, EC)於2019年12月提出歐洲綠色政綱(European Green Deal, EGD)，希望帶領全歐在2050年實現碳中和，且「一個人都不能少」，同時提到歐盟將於2021年針對特定部門提出碳邊境調整機制提案，目的在於降低歐盟境內產業外移所導致之

碳洩漏(Carbon Leakage)的風險(EC, 2021)，除了歐盟國家的產業必須符合減碳規定，其他沒有碳定價地區的貨品要進入歐盟時，都可能被課以碳關稅(carbon border tax)，全球推動碳交易與碳關稅迫在眉睫，這將對以出口為導向的臺灣產生巨大衝擊，雖然政府有關部會已積極研擬碳費或碳稅的因應之道，惟應儘速參考國際碳稅價格，研議合宜之開徵碳稅方案，在2025年臺灣將有20%再生能源的供給，其中離岸風電亦扮演重要角色，後續研究者亦可探討離岸風電與碳稅關聯之議題。

參考文獻

- 工研院，2021a。彭裕民 - 續策略辦公室成立記者會簡報，2021年3月。
- 工研院，2021b。劉文雄 - 2050淨零碳排可能嗎？工研院5大策略拚永續：使用但不擁有2021天下經濟論壇，<https://www.cw.com.tw/article/5117254> (檢索日期2021年7月30日)。
- 工研院，2021c。彭裕民 - 2050淨零排放能源部門技術評估報告簡報，經濟部主管部門2050淨零碳排規劃會議，2021年2月。
- 比爾蓋茲，2021。如何避免氣候災難，天下雜誌出版社。
- 台電公司電源開發處，2018。長期電源開發方案，<https://www.taipower.com.tw/upload/212/106%E5%B9%B4%E9%95%B7%E6%9C%9F%E9%9B%BB%E6%BA%90%>

- [E9%96%8B%E7%99%BC%E6%96%B9%E6%A1%88\(10610%E6%A1%88-107%E5%B9%B41%E6%9C%88%E4%BF%AE%E6%AD%A3%E6%A1%88\).pdf](#) (檢索日期2021年6月30日)。
- 行政院國發會，2018。2019-2030年經濟情勢及產業趨勢分析，<https://ws.ndc.gov.tw/001/administrator/18/refile/0/8591/9d10274c-b46c-4d1d-a08f-84bc7468c55e.pdf> (檢索日期2021年7月1日)。
- 行政院國發會，2021a。我國淨零排放目標期程及因應作為第三次研商會議，簡報，2021年4月。
- 行政院國發會，2021b。經濟小辭典_經濟成長，https://www.ndc.gov.tw/News_Content.aspx?n=01B17A05A9374683&sms=32ADE0CD4006BBE5&s=8F1B7698DDB3EA97 (檢索日期2021年7月5日)。
- 行政院環保署，2021。2020我國國家溫室氣體排放清冊報告，https://unfccc.saveoursky.org.tw/nir/tw_nir_2020.php (檢索日期2021年8月1日)。
- 再生能源資訊網，2021。風力發電知識館，<https://www.re.org.tw/knowledge/more.aspx?cid=202&id=690> (檢索日期2021年8月5日)。
- 巫冠緯，2020。臺灣離岸型風力發電發展分析，未出版碩士論文，彰化師範大學。
- 周桂田，2021。臺灣氣候風險與機會，研究報告，臺灣大學風險社會與政策研究中心。
- 陳翰章，2019。發展離岸風力發電作為臺灣長期與永續能源政策-臺灣與英國法規議題與解決方案之比較研究，未出版碩士論文，臺北商業大學。
- 陳慶禎，2016。臺灣離岸風力發電之發展模式-苗栗示範風場個案研究，未出版碩士論文，政治大學。
- 許弼程，2020。臺灣地區離岸風力發電均化成本分析，未出版碩士論文，中興大學。
- 黃嘉偉，2020。政策支持與產業發展之關聯性研究-以我國風力發電產業為例，未出版碩士論文，臺灣大學。
- 鄒馨慧，2020。以多元線性迴歸分析推估工業部門之能源消費與二氧化碳排放量，未出版碩士論文，中興大學。
- 經濟部能源局，2020a。離岸發電發展現況與展望簡報，經濟部會議，2020年6月。
- 經濟部能源局，2020b。再生能源推動現況與後續作法簡報，經濟部會議，2020年11月。
- 經濟部能源局，2020c。108年度我國燃料燃燒CO₂排放統計與分析，https://www.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/content/SubMenu.aspx?menu_id=114 (檢索日期2021年7月20日)。
- 經濟部能源局，2021a。因應國際淨零排放本部整體因應規劃簡報，經濟部主管部門2050淨零碳排規劃會議，2021年2月。
- 經濟部能源局，2021b。風力發電4年推動計畫，https://www.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/content/ContentLink2.aspx?menu_id=48&sub_menu_id=8750 (檢索日期2021年7月20日)。
- 經濟部能源局，2021c。108_109年度全國電力資源供需報告，https://www.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/content/ContentLink2.aspx?menu_id=48&sub_menu_id=8749&fbclid=IwAR1V51hCckUurlh-CH3FsmrHWyzv8egz1_W5qcrXrd7UloS3DVSGlgt5yOg (檢索日期2021年7月1日)。
- 經濟部國合處，2021。日本能源轉型規劃-綠色成長戰略，https://www.moea.gov.tw/MNS/ietc/bulletin/Bulletin.aspx?kind=51&html=1&menu_id=33594&bull_id=9107 (檢索日期2021年8月1日)。
- 鄭雅云，2021。以STIRPAT和EKC模型探討二氧化碳排放量與其決定因素之關係-以亞洲14國為例，未出版碩士論文，銘傳大學。

遠見，2021。2021年8月號，2050全球淨零之戰烽火已然! 43兆美金的資產將驅動產業再度轉型? <https://www.gvm.com.tw/article/81338> (檢索日期2021年8月5日)。

總統府，2021。總統出席永續。地球解方－2021設計行動高峰會，2021年4月，<https://www.president.gov.tw/News/26056> (檢索日期2021年7月5日)。

4C Offshore, 2021. Global Offshore Wind Speeds Rankings, from: <https://www.4coffshore.com/windfarms/windspeeds.aspx> (Data retrieved on July 3, 2021).

Climate Home News, 2021. The EU releases its Green Deal. Here are the key points, from: <https://www.climatechangenews.com/2019/12/12/eu-releases-green-deal-key-points/> (Data retrieved on September 28, 2021).

EC, 2021. European Commission, The European Green Deal sets out how to make Europe the first climate-neutral continent by 2050, boosting the economy, improving people's health and quality of life, caring for nature,

and leaving no one behind. from: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_19_6691 (Data retrieved on September 29, 2021).

GOV.UK, 2020. UK Government, The Ten Point Plan For a Green Industrial Revolution, Policy Paper, from: <https://www.gov.uk/government/publications/the-ten-point-plan-for-a-green-industrial-revolution/title> (Data retrieved on July 22, 2021).

IEA, 2020. World Energy Outlook 2020, from: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020> (Data retrieved on July 20, 2021).

IEA, 2021. Net Zero by 2050, Flagship Report, from: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050> (Data retrieved on July 20, 2021).

IPCC, 2018. Global Warming of 1.5°C, Special Report, IPCC, from: <https://www.ipcc.ch/sr15/> (Data retrieved on July 15, 2021).

UNFCCC, 2015. The Paris Agreement, from: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement> (Data retrieved on July 5, 2021).

The Effects of Offshore Wind Power Promotion to Net-Zero Emissions in Taiwan

Chih-Yu Hsu^{1*} Chiang-Liang Lin²

ABSTRACT

In recent years, the issue of climate change has attracted the attention of governments and enterprises all over the world. They have put forward the goal of decarbonization and the specific measures to implement them. 128 countries have announced to join the 2050 net zero carbon emissions. Large international enterprises such as Apple and Microsoft have also announced the establishment of carbon neutral or negative carbon emission supply chains and products. Although Taiwan enacted the Greenhouse Gas Reduction and Management Act in 2015, in response to the international trend of net zero carbon emission, the government also started to evaluate and plan the possible path for Taiwan to achieve the net zero emission target by 2050 in 2021. In addition to steadily promoting the established energy policies, including manufacturing, transportation, housing, agriculture and other departments, it is also necessary to put forward systemic decarbonization strategies. The current energy transition plan for power generation, renewable energy, coal and others, and gas accounts for 20%, 30% and 50% respectively. Simultaneously, in combination with the decommissioning of Nuclear Power Plant No. 1, No. 2 and No. 3 and the storage of Nuclear Power Plant No. 4, actively promote the installation of renewable energy. Among these installation, solar photovoltaic 20GW and offshore wind power 5.7GW are the most important. Taiwan is very rich for wind power generation in the Taiwan Strait, western coast and Penghu Islands. The promotion of offshore wind power can not only play a comprehensive effect for carbon reduction, but also drive the development of offshore wind power industry, so as to build an industrial supply chain and increase Taiwan's economic growth momentum and green competitiveness. Therefore, discussing the promotion and expected growth of offshore wind power will be helpful to Taiwan's sustainable strategy formulation and path planning to achieve net zero carbon emission in 2050.

Keywords: SOffshore wind power, Net-zero emissions, Energy policy.

¹ Ph.D. Student, College of Business, Chung Yuan Christian University.

² Professor, Department of Accounting, Chung Yuan Christian University.

* Corresponding Author, Phone: +886-910-010262, E-mail: g10304606@cycu.edu.tw

Received Date: August 30, 2021

Revised Date: October 5, 2021

Accepted Date: October 21, 2021