

行政院原子能委員會
委託研究計畫研究報告

離岸風力技術創新外溢對我國經濟效益評估
Assessment of R&D spillover effect of offshore wind in Taiwan

計畫編號：108B014

受委託機關（構）：中原大學應用經濟模型研究中心

計畫主持人：林晉勗

聯絡電話：03-2655226

E-mail address：jxlin@cycu.edu.tw

協同主持人：林師模

研究期程：中華民國 108 年 5 月至 109 年 3 月

研究經費：新臺幣 91.9 萬元

核研所聯絡人員：洪瑋嶸

報告日期：109 年 2 月 27 日

目錄

目錄.....	I
圖目錄.....	II
表目錄.....	III
中文摘要.....	1
ABSTRACT	2
壹、計畫緣起與目的.....	3
貳、離岸風力國內外發展趨勢.....	10
參、模型介紹.....	19
肆、情境設計.....	26
一、重要變數設定.....	26
二、政策情境設計.....	32
伍、模擬結果.....	36
一、參考情境結果.....	36
二、政策情境及外溢效果結果.....	40
陸、結論與建議.....	49
參考文獻.....	52

圖目錄

圖 1、全球各種技術對減碳之貢獻.....	4
圖 2、國內離岸風電產業鏈架構.....	14
圖 3、2014~2018 全球陸域及離岸風力均化發電成本	17
圖 4、離岸風力資金成本.....	18
圖 5、模型內生產巢式結構.....	21
圖 6、模型內能源投入結構.....	22
圖 7、模型內電力投入結構.....	23
圖 8、離岸風力成本結構.....	25
圖 9、國際原油及天然氣價格.....	28
圖 10、國際燃煤價格.....	29
圖 11、未來家計戶數推估	29
圖 12、未來就業趨勢設定.....	30
圖 13、減碳目標之二氧化碳排放量.....	34
圖 14、參考情境經濟成長率比較.....	37
圖 15、參考情境就業人數與總和物價指數.....	37
圖 16、參考情境二氧化碳排放量.....	38
圖 17、參考情境發電結構.....	39
圖 18、參考情境能源結構.....	39
圖 19、政策情境相較於參考情境實質 GDP 變動率	41
圖 20、各政策情境碳稅結果.....	42
圖 21、政策情境相較於參考情境就業人數變動率.....	43
圖 22、政策情境相較於參考情境總和物價指數變動率	43
圖 23、各政策情境發電結構.....	45
圖 24、各政策情境能源結構.....	46
圖 25、相較於參考情境其他相關產業產值變動率.....	47
圖 26、在不同累積產量學習彈性下我國離岸風力產業產值	48

表目錄

表 1、全球離岸風電主要營運商.....	11
表 2、全球離岸風機主要製造商.....	12
表 3、國內離岸風電設備製造相關廠商.....	15
表 4、國內海事工程業者與船舶現況.....	16
表 5、離岸風力成本結構比較.....	25
表 6、歷史年電力技術及二氧化碳排放參數更新.....	26
表 7、歷史年經濟參數更新.....	27
表 8、各部門總要素生產力假設.....	32
表 9、學習彈性設定值.....	33
表 10、再生能源政策目標與發展潛能.....	35

中文摘要

風力發電目前屬於我國相當重視且大力培養之技術及產業，而風力發電又可以分為陸域及離岸風力，我國目前陸域風力發電風場已逐漸開發完成，較無發展之空間，但離岸風力為目前政府開發之重點，為配合 2025 年非核家園之目標，我國訂定離岸風力發電在 2025 年目標為 5.5GW，且其中一個重要的目的是為了要培植我國離岸風力相關產業，但在投資相當程度的資金在離岸風力發電技術上，究竟會有多少技術外溢的效果？而這些效果在未來國家的減碳政策下，究竟能抵銷掉多大的負面衝擊？相關產業未來的發展趨勢為何？必須要透過一個嚴謹且有系統的數量方法來進行評估。而本計畫的目的在於利用過去年度核能研究所持續發展的 3E 評估模型 - GEMEET 為基礎，更新相關參數及設定，產生新的基線預測。除此之外特別將創新技術外溢的效果納入模型中，以提供 GEMEET 模型作為後續相關離岸風力發電產業效益分析之用。

Abstract

Wind power generation is currently a technology and industry that Taiwan attaches great importance to and cultivates vigorously. Wind power generation can be divided into onshore and offshore wind power. The current onshore wind power wind farm has no room for development in Taiwan. Offshore wind is the focus of current government development. To meet the goal of nuclear-free homeland policy in 2025, Taiwan has set offshore wind power generation target of 5.5GW in 2025, and one of the important purposes is to cultivate offshore wind-related industries. But how much technology spillover effect will it have on investing in offshore wind power technology? And how much industrial benefits will these spillover effects spread to other industries? It must be evaluated through a complete and systematic quantitative approach. The purpose of this project is to use the 3E evaluation model GEMEET to update relevant parameters and settings to generate new baseline forecasts. In addition, the effects of innovative technology spillovers are specifically incorporated into the model to provide the GEMEET model for benefit analysis of the offshore wind power industry.

壹、計畫緣起與目的

節能減碳在近年來已成為各國在能源及環境之議題上，迫切追求之目標。因能源在經濟發展的過程中扮演著相當重要的角色，但使用能源所產生的溫室氣體卻又是造成全球暖化的主要原因。因此，節能減碳必須要有一系列之策略性思考，絕非單一政策即可達成，而是需要多項政策互相搭配，彼此相輔相成，才能有效的減少碳排。IEA（2018）指出，未來的相關減碳策略在減碳貢獻中，以效率及化石燃料補貼改革的貢獻最大，其次為再生能源及減少低效率的燃煤電廠，其他工具如核能及碳捕捉與封存也有相當程度的幫助（圖1）。值得注意的是，再生能源扮演著相當重要的角色，而在如此龐大的減碳壓力下，各國也均對再生能源寄予厚望，挹注大量資源於扶植再生能源產業的發展，並積極鼓勵推廣無污染的可再生能源。

在台灣方面，風力發電屬於我國相當重視且大力培養之技術及產業，而風力發電又可以分為陸域及離岸風力，我國目前陸域風力發電風場已逐漸開發完成，較無發展之空間，但離岸風力為目前政府開發之重點，為配合 2025 年非核家園之目標，我國訂定離岸風力發電在 2025 年目標為 5.5GW，且其中一個重要的目的是為了要培植我國離岸風力相關產業，但在投資相當程度的資金在離岸風力發電技術上，究竟會有多少技術外溢的效果？而這些效果在未來國家

的減碳政策下，究竟能抵銷掉多大的負面衝擊？相關產業未來的發展趨勢為何？必須要透過一個嚴謹且有系統的數量方法來進行評估。

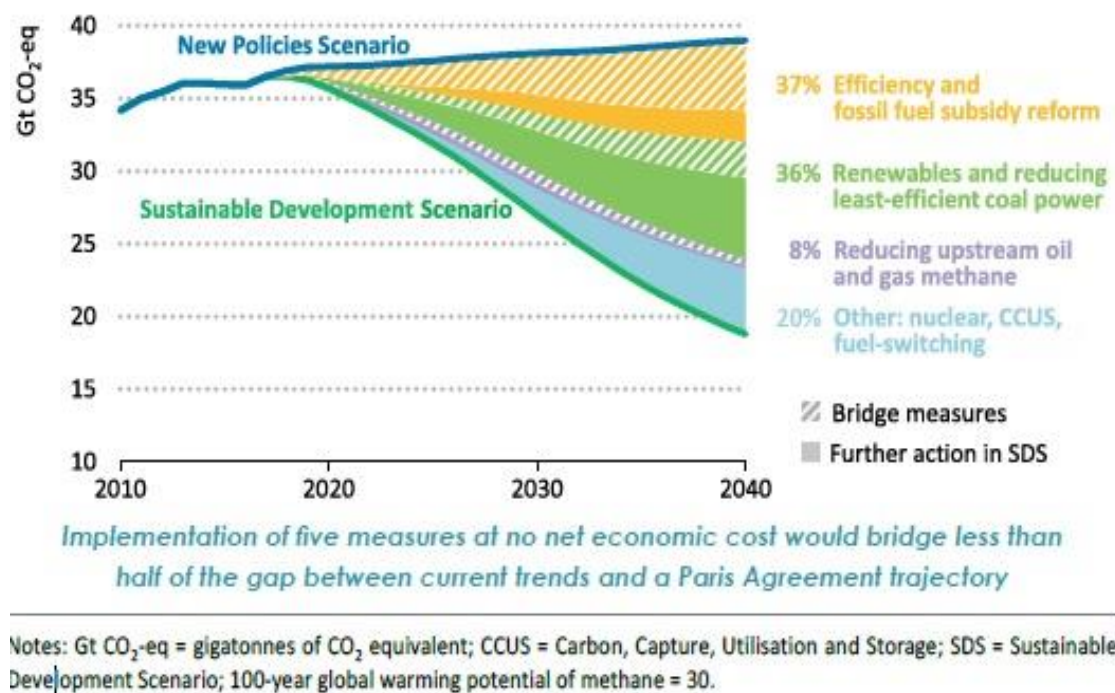


圖 1、全球各種技術對減碳之貢獻

近年來，在原子能委員會核能研究所支持與中原大學應用經濟模型研究中心的合作下，開發了適合於再生能源政策及產業發展效益評估的 3E 評估模型—GEMEET（General Equilibrium Model for Energy, Economic and Technology Analysis）。此一模型有三個最主要的重點：（1）符合經濟現況，並納入重要之新及再生能源產業與主要發電技術；（2）可以用於評估新及再生能源產業發展的成本與效益；及（3）可以與能源工程模型做軟連結，以發揮兩類模型的最大

效益，提升政策評估的品質。

在過去評估技術創新外溢之效果的文獻中，Zhang and Liu(2007)以投入產出模型向前關連與向後關聯的研發知識傳遞之排名來分析研發外溢效果。Chen et al. (2010) 利用台灣過去多年度的產業關聯表，同樣利用投入產出模型，估計各產業的創新外溢效果。Liu et al. (2010) 評估台灣製造業研發知識外溢之傳遞效果大小。Chyi et al. (2012) 針對新竹科學園區分析研發效果外溢對園區內廠商的效果。Chen et al. (2013) 則利用隨機邊界生產函數，衡量研發外溢效果對廠商未來的研發投資決策會有何影響。

利用投入產出模型可以藉由產業間的關聯效果，分析當某一產業價格變動時對其他產業的影響，而透過技術創新搭配投入產出模型，則可讓我們瞭解，當某一產業透過技術創新使其成本下降，且此一技術進步透過成本下降的方式傳遞到其他產業時，對其他產業成本的影響。由於產業關聯表中詳細的描述產業投入與產出間的關係，並可同時考量直接與間接需求的效果，Dietzenbacher (2000) 的創新外溢模型時，便說明產業關聯表所衡量的技術創新外溢效果，反映創新活動在產業間的交互影響效果，並可將創新進一步區分為產品創新 (product innovation) 及程序創新 (process innovation)。

在可計算一般均衡模型 (CGE) 方面，CGE 模型可用來評估由

政策所帶來之總體經濟影響，但 CGE 模型與真實世界中仍存在著許多差異，而在這些差異的各種原因裡，Hong et al. (2014) 著重在主要因子和用於校準係數的固定參數，同時結合研發活動的 CGE 模型作為解決以上問題的其中一個方式，該研究所提出的模型包括以下兩個設定：(1) 各部門的知識視為其中一種生產要素，(2) 其他部門的知識被視為技術外溢出來源，而且會增加總要素生產力。該研究將模型結果與實績值進行比較，是否結合研發活動的 CGE 模型比沒有考量到以上這兩種設定的標準模型更好。該研究之資料期間為 1995 年至 2010 年，主要評估這段期間韓國的經濟成長，研究結果顯示，在高總要素生產力成長的情況下，有納入研發的模型比標準模型更符合實際情況。

Grafström, and Lindman (2017) 針對歐洲風力發電之技術發展模式進行經濟分析。同時納入熊彼得提過的技術發展三步驟-發明、創新及擴散，並評估這些階段之間的關係。在方法論上，該研究使用三種計量經濟學之評估方法，首先對於發明階段使用負二項式回歸模型 (negative binomial regression model)，接著從 Cobb-Douglas 成本函數得出的學習曲線以強調創新階段，最後針對擴散模型使用追蹤資料中的固定效果回歸模型(panel data fixed effect regression)。該研究發現在整合不同的技術發展過程中，可能存在不同模型之間

的交互作用。而該研究的資料期間為 1991-2008，包含了西歐八個有風力發電的國家，有丹麥、德國、英國、西班牙、瑞典、法國、義大利籍荷蘭。該研究在負二項式回歸模型中發現無論是國家或是國際上皆存在著知識外溢現象。而技術學習模型的結果指出學習效果存在於全球市場，且鋼材價格是決定風電成本的重要因素。最後從擴散模型的結果發現，投資成本在風電裝置容量中扮演著最重要的角色，另外天然氣價格和躉購費率是風電擴散的重要因素。

由於離岸風電產業目前在台灣處於初期發展階段，高額的期初研發投入使得產品成本相較於其他化石能源產品高出許多，但隨著環境變遷，各種有利條件出現及在相關政策配合之下，再加上研發經費投入及產業學習效果，將使其成本逐漸具有競爭力。本研究為了體現再生能源產業的研發投資及產業生產的學習效果，且此學習效果會透過降低成本或提高總要素生產力的方式，將此效果外溢給其他下游產業，因此模型中將生產成本與研發資本存量及累積產品產量進行連結。

GEMEET 模型納入了許多重要的新及再生能源產業，如離岸風力發電設備、太陽光電設備業、陸域風力發電設備業、纖維酒精、生質柴油...等，也針對發電業設定了不同的發電技術，如燃油發電、燃煤發電、燃氣發電、核能發電、汽電共生、風力發電、太陽光電

發電...等。利用此一模型，研究團隊已進行了許多政策的模擬，如二氧化碳減量、能源使用效率提升、核電廠延後除役，課徵能源稅及碳稅、學習曲線效果、再生能源學習曲線效果、R&D 投資效益評估、躉購費率政策評估、能源安全評估...等。基於過去多年的研發成果及經驗，今年度本計畫模型的重點將為更新動態 3E 模型參數資料庫，進行重要變數如總要素生產力、再生能源成本結構估計及設定等，並進行歷史模擬完成基線推估，並將技術創新外溢之效果透過行為方程式、相關參數或情境納入至 GEMEET 模型中，作為後續模型進行相關模擬之依據。以下則針對今年度計畫目的詳細說明。

一、更新動態 3E 模型參數資料庫及進行重要變數之估計及設定

蒐集正確且可利用的資料，是任何研究最重要的一個步驟，綜觀本研究由技術分析、模型驗證與確認、3E 效益評估、成本效益評估，一直到提出產業化建議為止，所需的資料相當眾多，包含產業面的生產技術特性、成本結構、技術演進等，也包含總體面的總體經濟資料、人口資料、國際能源價格資料等，此外更需參考國內外相關研究文獻，以及國際間對市場潛力之評估等。過去已針對主計處最新 100 年之產業關聯表，將各個新能源產業包含離岸風電產業拆解出來。但由於近年來國際上離岸風電發展快速，且國內正極力培植發展，有必要更新相關成本參數如投入結構、自製率等。

二、基線推估

在完成上述資料更新及未來年重要之參數推估後，即可進行參考情境或基線之推估，而推估完所要觀察之重點結果為經濟成長率、實質 GDP、電力及能源結構等。

三、將技術創新外溢之效果透過行為方程式、相關參數或情境納入至 GEMEET 模型中

GEMEET 經過幾年的研發及持續的資料更新，目前已具備了完備的能源政策評估功能，也能夠與能源工程模型 TIMES 進行整合，因此可以用於評估更多元的新及再生能源政策。但在過去模型較少著墨於技術創新外溢方面，而此部分對於我國目前大力扶植的離岸風力產業又屬相當重要，故本研究有別於過去之研究，將透過模型內二因子學習曲線，設定離岸風力設備製造及相關再生能源產業之累積產量及研發學習彈性，透過產業關聯效果將學習效果擴散至其他產業，進而納入技術創新外溢效果。

貳、離岸風力國內外發展趨勢

到目前為止，離岸風電在全世界的供應鏈約有數百億美元之規模，其中包含了風場開發、建設、安裝、運轉及維護與除役相關活動等。離岸風電也吸引了許多廠商投資，從 2010 年不到 80 億美元的規模，快速成長到 2018 年的 200 億美元。而從全球再生能源投資來看，離岸風電占整體風電投資額約 25%。而在歐盟，離岸風電的投資相當高，其占整體風電的投資總額約為一半，占再生能源投資約四分之一。

離岸風電的投資計畫大部分都是由大型的公用事業或是投資基金所主導，主要是因為這些投資的前期資金成本較高，一個 250 MW 的離岸風電投資項目的成本大約為 10 億美元，相比之下，太陽能及陸域風電的前期成本較低，對於投資者來說障礙也較小。整體來說，全球的離岸風力市場係由歐洲的廠商為主（如表 1 所示），而最大的廠商為丹麥的 Ørsted，除了歐洲以外也擴展到其他市場如美國及亞洲，德國的 RWE 則是透過收購 E.ON 及 Innogy 在北海及波羅地海的離岸風電後，成為世界第二大離岸風電營運商。

離岸風機的製造商大部分都在歐洲，而且市場集中在少數幾間公司上（如表 2 所示），西班牙的 Siemens Gamesa 及 Vestas 與 Mitsubishi Heavy Industries 共同成立的合資企業 MHI Vestas，主導了

全球離岸風機製造商的地位，在 2018 年這兩家廠商占了全球三分之二的裝置容量，如果從 1995 年開始累積的話已超過 80% 的容量。中國製造商的市占率逐漸在擴大，其主要重點市場在亞洲，2018 年的新增裝置量接近約 30%。而在整個離岸風電的價值鏈中相當重要的一個部分為建置及運維服務，在 2010 至 2018 年間，每年將近有 40 億美元用於投資在歐洲及中國的離岸風電建置，而運維每年則花費約 10 億美元。

表 1、全球離岸風電主要營運商

公司名稱	規模 (GW)			市場份額	總部所在地	所有權
	營運中	建設中	規劃中			
Ørsted	2.97	2.79	5.23	12.86%	丹麥	私營
RWE	2.41	0.51	1.83	10.44%	德國	私營
China Longyuan	1.23	0.4	1	5.34%	中國	國營
Vattenfall	0.88	1.01	4.92	3.82%	瑞典	國營
Macquarie Capital	0.87	0.07	0.1	3.78%	澳洲	私營
Northland Power	0.64	0.27	0.63	2.78%	加拿大	國營
Global Infrastructure Partners	0.63	0.61	-	2.73%	美國	私營
Iberdola	0.55	0.97	0.81	2.36%	西班牙	私營
Equinor	0.48	-	2.17	2.10%	挪威	國營
Siemens Financial Services	0.46	-	-	1.98%	德國	私營
Public Pension, Denmark	0.45	-	-	1.97%	丹麥	國營
Électricité de France	0.43	-	1.67	1.85%	法國	國營
Stadtwerke München	0.41	-	-	1.79%	德國	國營
China Three Gorges	0.4	0.88	6.87	1.74%	中國	國營
Scottish and Southern Energy	0.34	0.24	0.52	1.49%	英國	國營

資料來源：IEA (2019)

表 2、全球離岸風機主要製造商

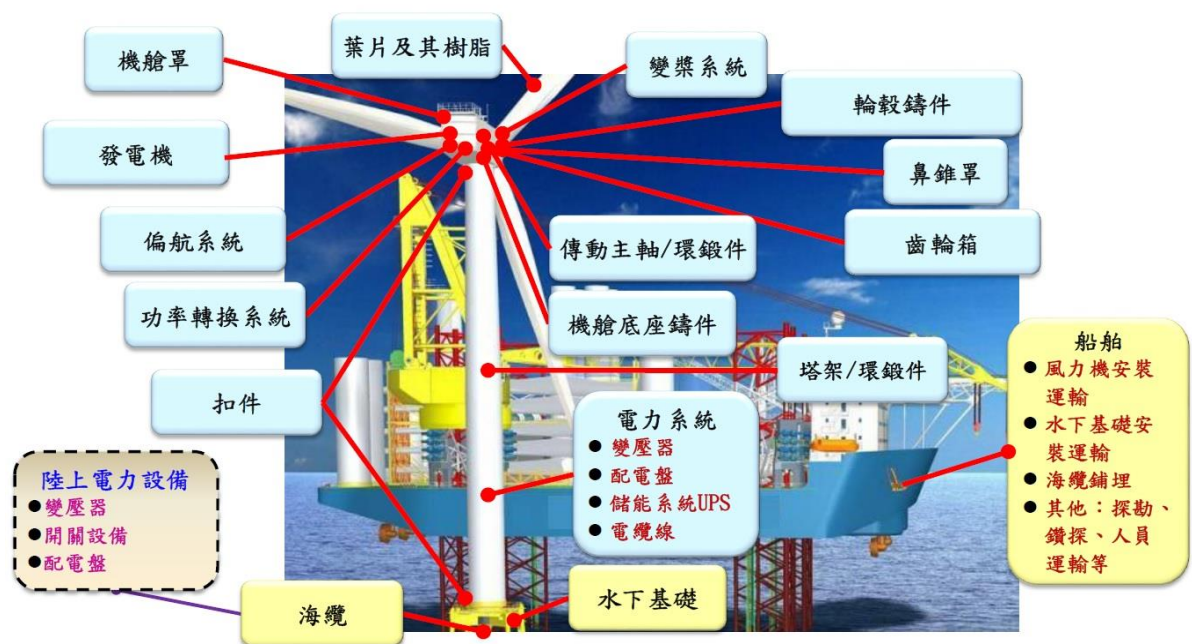
排名	公司名稱	2018 年離岸風力市場占比	1995-2018 年離岸風力市場占比	1995-2018 年已售出容量 (MW)
1	Siemens Gamesa	41%	63%	13881
2	MHI Vestas	30%	18%	3882
3	Envision	15%	4%	804
4	Goldwind	8%	3%	574
5	Ming Yang	2%	1%	113
6	Sewind	2%	1%	306
7	GE Renewable Energy	0.4%	1%	177
8	Taiyuan	0.2%	0%	10
9	Senvion	-	6%	1253
10	Bard	-	2%	4

資料來源：IEA（2019）。

在政府政策推動之下，我國離岸風力發電產值將由 2016 年之 21 億元逐年上升至 2020 年之 856.12 億元，而我國目前 2025 年離岸風電目標為 5.5 GW，政府同時希望能夠推動離岸風電之產業發展，建構相關的產業鏈（如圖 2），先以國內市場為主，未來再拓展至國外相關市場，而整個離岸風電產業鏈包含設備製造及服務。國內目前正極力培植的產業主要在設備製造及海事服務，而這兩部分所牽涉的相關產業鏈如圖 2 所示。在設備製造方面，2016 年由中鋼公司領軍，與國內 27 家相關業者成立離岸風力機國產化聯盟（Wind-Team），目的在於完成國內離岸風電產業能量之盤點，未來建構離岸風機系統之國產化供應鏈。2017 年則成立「Wind-Team 國

際合作聯盟」，與國際風力機系統及零組件廠商合作，建立本土自主之製造能量。而表 3 為目前國內相關設備製造相關廠商，這些廠商過去雖然不完全具有供應離岸風機之實績，大多數都有相關或類似產品之生產線，但是否符合各風力機系統廠之認證規定則還需系統廠認定。

至於海事服務方面，2016 年由台船與國內相關廠商成立離岸風電海事工程產業聯盟（Marine-Team），致力於離岸風電海事工程之規劃、離岸風機安裝及維護，以提升整體海事工程效率與規劃的精準度。但與國內設備製造商相比，我國目前海事工程的現有能量較為缺乏，除了風機與水下基礎運輸及安裝之拖船與海洋勘查船以外，其他種類的船舶較為缺乏，或是雖然具備，但規格不足以從事風場建設（表 4）。



資料來源：經濟部工業局（2018）

圖 2、國內離岸風電產業鏈架構

表 3、國內離岸風電設備製造相關廠商

風力機零組件業者			
項目		業者	
塔架	中鋼機械 ■ + 世紀鋼 ■ 銘榮元 ■ 剛健	功率轉換系統	台達電 ■ +
		電纜線	大同 ■ 大亞 ■ 華新麗華 ■
扣件	恒耀 ■ + 春雨 ■ +	齒輪箱	台朔重工 ■
		偏航變槳系統	東元電機 ■
變壓器	士林電機 ■ 華城電機 ■ + 亞力電機 ■	發電機	大同 ■ 東元電機 ■ +
		傳動主軸	南隆 ■ 三英 ■
儲能系統 UPS	台達電 ■ +	環鍛件	南隆 ■ 三英 ■
輪轂/機艙底座鑄件	永冠能源 ■ + 源潤豐 ■ 台灣正昇 ■		葉片及其樹脂
鼻錐罩/機艙罩	先進複材 ■		
配電盤	大同 ■ 士林電機 ■ 雅莉電機 ■ 南亞塑膠 ■		
水下基礎業者		海纜製造業者	
中鋼機械 ■ 世紀鋼 ■ 台朔重工 ■ 銘榮元 ■		大亞 ■	

■ 代表有相關或類似產品之生產線；+ 有供應陸域或離岸風力機之實績。

資料來源：經濟部工業局（2018）。

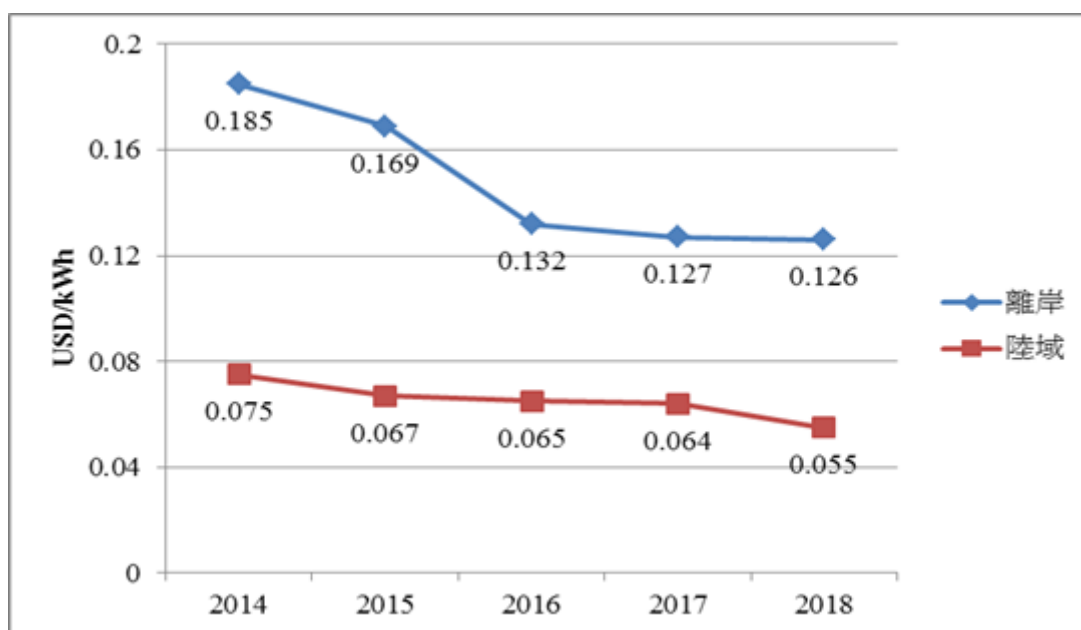
表 4、國內海事工程業者與船舶現況

項目	船舶種類	現有 能量	業者	現況說明
風力機運輸安裝	拖船	O	台船、宏華、樺棋、穩晉、台灣港務港勤公司	馬力 5200HP 以內
	浮式起重船	X		
	自升式平台船	X		
水下基礎運輸與安裝	拖船	O	台船、宏華、樺棋、穩晉	馬力 5200HP 以內
	自升式平台船	*	宏華、樺棋	無海上吊車，工作水深約 20m
	浮式起重船/重吊船	*	基隆港務分公司、宏華、穩晉	起重與吊裝能力均不足
	駁船	*	台船、宏華、樺棋	缺載重 3000 噸以上，現有船無壓艙水調配功能
海纜鋪埋	鋪纜船	*	穩晉	尚未取得船級認證
探勘鑽探	海洋勘查船	O	銓日儀、海科中心	4 艘以上
	海床鑽探自升平台船	*	環島、萬大	最大工作水深 30~40m，平台結構須強化
	海床鑽探調查船	X	環島	待建置，需可工作水深>30m
人員運輸	人員運輸船	*	宏華、國際海洋船舶、台灣港務港勤公司(建造中)	載運人數少

O：具備； *：具備，但規格不足以從事風場建設；X：缺乏。

資料來源：經濟部工業局（2018）。

若將離岸風電與陸域風電相比，陸域風電的技術門檻較離岸低，成本也相對低，但不論陸域或是離岸風電，近幾年其成本皆呈現下降的趨勢（如圖 3），雖離岸風力的成本較高，但在 2014 ~ 2018 年間下降了約 32 %，高於陸域風力的 26 %，顯示離岸風力的技術發展快速，陸域風力相對較為成熟。在離岸風機部分，其整體尺寸通常大於陸域風機，主要係由於其受到交通、噪音、景觀和土地的限制較少，風力發電機的尺寸較不受到限制，所以整體來看離岸風力主要是透過提升機組發電容量來降低成本，提高競爭力。

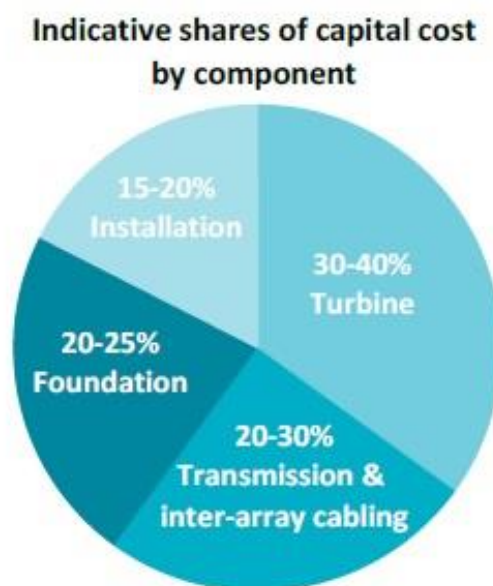


資料來源：IRENA (2019)。

圖 3、2014~2018 全球陸域及離岸風力均化發電成本

在資本成本方面，全球 2018 年完工的離岸風電平均資本成本為 4353 美元/kW，預估的平均容量因素為 43% (IRENA, 2019)。而離

岸風力發電機占總資本成本 30-40%之間（圖 4），為了能提高風機的經濟性，整個離岸風電的計畫規模會越來越大，並增加風機數量以提高規模經濟，同時設備供應商會使用更輕量及彈性的材料用於葉片上。另外增加風機的尺寸也可減少水下基礎及佈線的數量，對於降低安裝及運維成本有相當的幫助。而傳輸、陣列間電纜及海上變電站成本約占 20-30%之間。水下基礎則占了約四分之一左右，目前單樁式為主流之技術，占了約 80%（WindEurope, 2019），而且在某些情況下水深 55-60 公尺也可使用，可減少成本較高但適用於深水的套筒式基礎之需求。



資料來源：IEA（2019）。

圖 4、離岸風力資金成本

參、模型介紹

本研究所使用之 GEMEET 模型有幾個最主要的重點：(1) 加入重要之新及再生能源產業與主要發電技術 (2) 可以用於評估新及再生能源產業發展的成本與效益；及 (3) 將新能源的學習效果納入考量。另外本模型最大之特色，在於過去透過訪談本所其技術團隊，蒐集許多相關新及再生能源成本及投入資料，最後把這些資訊納入模型當中以建立許多重要的新及再生能源產業，如太陽光電、風力發電設備、纖維酒精、生質柴油...等，也針對發電業設定了不同的發電技術，如燃油發電、燃煤發電、燃氣發電、核能發電、汽電共生、風力發電、太陽光電發電及燃煤 + CCS 等。所以在進行減碳政策之分析時，能夠凸顯各個能源技術之貢獻及重要性。而目前建置的 GEMEET 模型特色可歸納如下：

- 一. 納入特殊之新能源及再生能源部門 (包含纖維酒精製造業、生質柴油製造業、風力發電設備製造業、太陽光電發電設備製造業、纖維酒精設備製造業)。
- 二. 發電部門係由不同之發電技術所組成 (包含傳統的火力發電、水力發電、核能發電，與新及再生能源發電如太陽光電發電、風力發電、燃煤加 CCS 等)。
- 三. 部份新及再生能源主要用於發電，部份則以作為一般消費為主，

另有一些則屬於零組件及設備製造為主。

四. 考量了內生技術變動的機制（學習曲線效果及 R&D 累積），並連結了科技政策的影響機制。

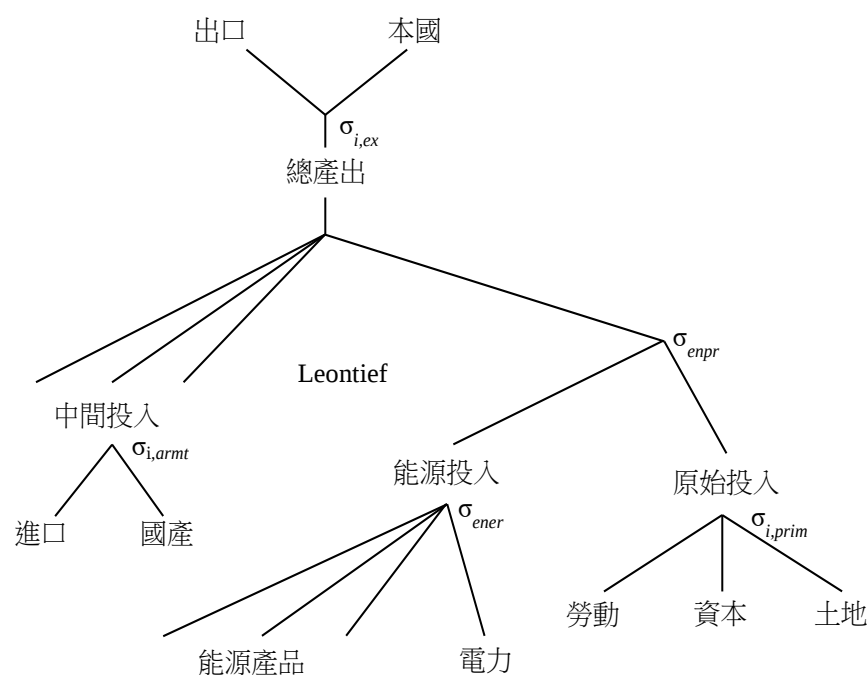
五. 考量了能源政策中的誘因或補貼政策，針對租稅及補貼有特殊的處理。

六. 考量環境政策的施行，設計了課徵碳稅或能源稅，以及直接進行總量管制之機制。

七. 納入社會會計矩陣並涵括詳細所得分配機制，可進行所得分配相關議題之分析。

GEMEET 模型之生產者行為的設定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取最適的產出。在投入面方面，圖 5 下層的投入組合代表各個產業是採用 Leontief 生產函數將中間產品與複合能源原始投入作為要素來生產商品，這樣的設定代表著上述各項投入之間無替代性，只是反映出各生產投入將隨著產出的擴張或緊縮而呈等比例的增減。而中間投入各商品的組合是由該商品國產與進口品透過 CES（Constant Elasticity of Substitution, CES）函數加總而成之複合產品。而在 CES 函數中，則是透過其替代彈性（ σ ）的大小來反應投入之間的替代性。而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，能

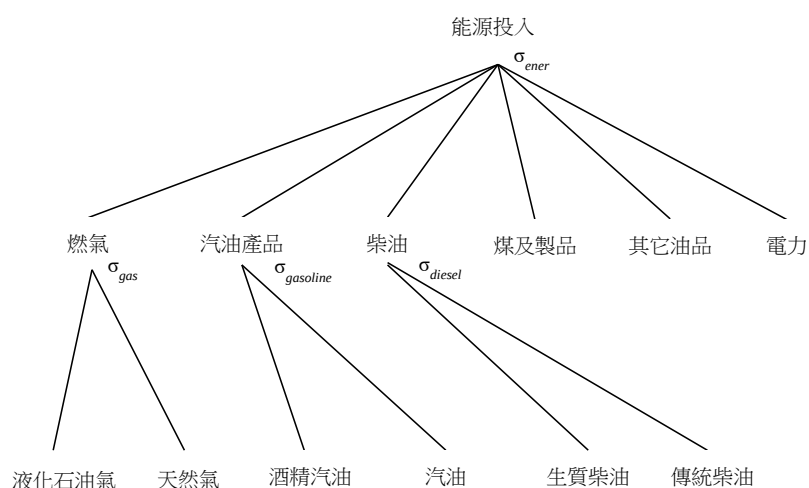
源投入在模型內也有相當詳盡之刻畫。而原始投入一樣是由勞動、土地、資本透過 CES 函數加總而成。在產出的部分，圖 5 最上層的 CET (Constant Elasticity of Transformation, CET) 加總函數所代表的是生產者在追求利潤極大化的前提下，以固定轉換彈性決定最適的產出分配。換句話說，國內的產業會依照各個產品的價格進而決定各種產品的生產比例來追求收入的最大化。而廠商生產供本國或是出口使用的比例則是由本國與出口的相對價格而定。



資料來源：馮君強 (2016)。

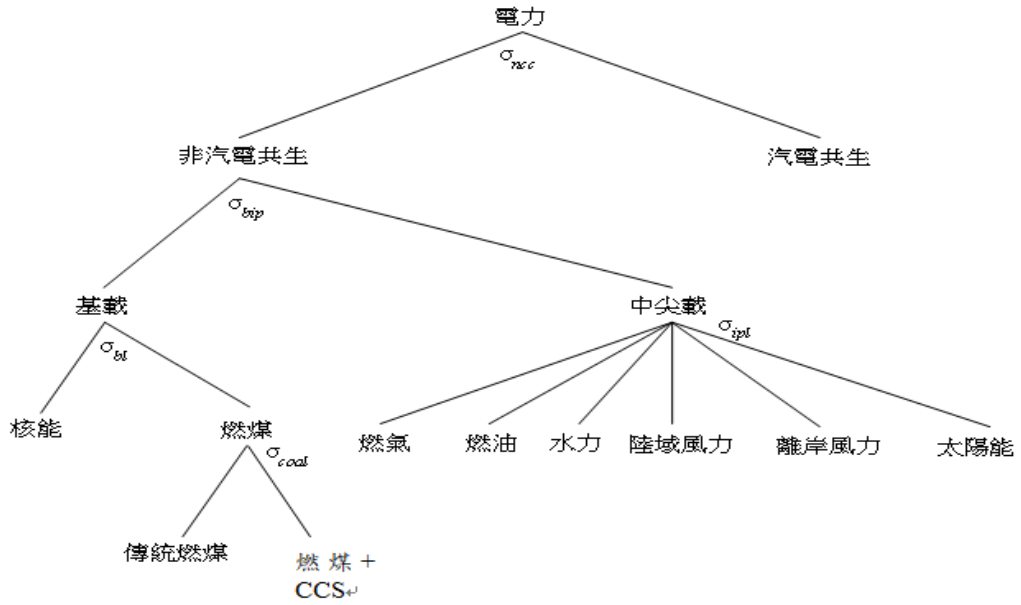
圖 5、模型內生產巢式結構

本模型也涵蓋了相關能源產品，其所包含之範圍及結構如圖 6 所示。在能源投入中，煤及製品、燃氣、汽油產品、柴油、其他油品以及電力互相為一不完全替代之關係，而汽油產品分別由酒精汽油與汽油做複合加總而成，燃氣則為液化石油氣及天然氣所組成。現實社會的狀況也類似於此，當其中某種能源相對價格高漲，廠商對該種能源之需求量會減少，自然會提高其他能源的需求量。在電力投入方面，圖 7 顯示目前模型內電力主要分為非汽電共生及汽電共生，非汽電共生則依照不同發電技術之特性再區分為基載與中尖載電力，基載電力包含了核能與燃煤發電技術，而在燃煤發電中，又透過將傳統燃煤與 燃煤 + CCS 複合加總而成。其他的發電技術則歸類至中尖載。



資料來源：馮君強（2016）。

圖 6、模型內能源投入結構



資料來源：馮君強（2016）。

圖 7、模型內電力投入結構

在內生技術成長方面，離岸風電產業透過累積生產及 R&D 投資，進而使其生產成本下降或生產力提升，在模型中可透過二因子學習曲線機制的設定來加以體現，其設定係透過以下的方程式來完成：

$$GC_{k,t} = a \times CP_{k,t}^{-b} \times KS_{k,t}^{-c} \quad (1)$$

$$KS_{k,t} = KS_{k,t-1} \times (1 - s) + AR\&D \times ypp_t \quad (2)$$

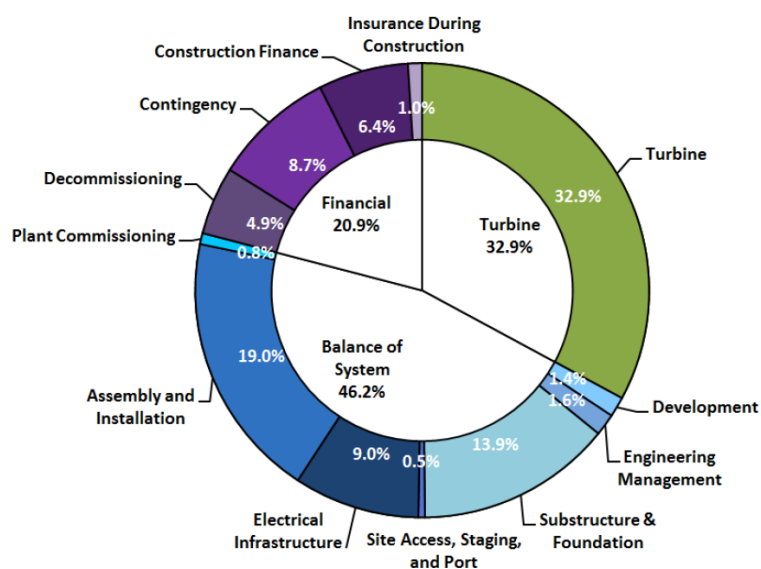
式中： $GC_{k,t}$ 表示為第 t 期 k 產業之單位成本； $CP_{k,t}$ 表示為第 t 期 k 產業之累積產量； $KS_{k,t}$ 表示為第 t 期 k 產業之研發資本存量； b 為累積產量學習彈性； c 為 R&D 資本學習彈性； s 為折舊率； $AR\&D$ 為總研發投資； ypp_t 為研發投資各年之支出比例。

由（1）式可知，在二因子學習曲線設計中，產業的單位成本將受到該產業的累積產量與累積研發投資（即研發資本存量）兩項因子所影響，而影響大小則是分別由累積產量彈性與 R&D 資本彈性所決定，而不同的再生能源技術依據過去相關文獻給予不同之彈性值；（2）式則為研發投資之資本累積方程式。

在資料的編製方面，是建立經濟模型的過程中是相當重要的一個步驟，資料的正確性直接影響模擬結果的可靠性。過去已針對主計處最新 100 年之產業關聯表，將各個新能源產業包含離岸風電產業拆解出來。¹但由於近年來國際上離岸風電發展快速，且國內正極力培植發展，有必要更新相關成本參數，故本年度研究團隊透過新公布之國際報告，更新離岸風電產業中間投入結構。本研究主要參考 NREL（2016）裡的離岸風力成本結構（圖 8），整個成本結構裡風機的占比最大，占了將近 33%，接下來依序為組合及安裝、水下結構及基礎等。接著將這些成本結構與產業關聯表內的部門進行對應，如表 5 所示，目前所使用的成本結構資料較為細緻，故拆出的成本項目與過去相比較多，另外過去所參考的成本結構資料並未將一些重要的產業拆分出來如鋼鐵業，本研究參考新的資料也將之拆分出來以利分析。最後在自製率方面，雖政府依據離岸風力設備及

¹ 主計處所公布之產業關聯表並無涵蓋離岸風力發電設備業，但本計畫為了要分析此產業，必需將之拆分出來，並假設其原先是在電力設備產業。而拆分所需之資料為成本結構及分配結構，本研究是以過去文獻的成本結構來拆分本研究的離岸風力設備業。分配結構則是參考原先電力設備產業的分配結構。

服務不同部分有訂定分年自製率達 100% 之目標，但在目前國內廠商缺乏經驗及不確定之情況下，本研究以較保守之角度設定離岸相關產業之自製率為 50%。



資料來源：NREL (2016)

圖 8、離岸風力成本結構

表 5、離岸風力成本結構比較

新編製之成本結構		過去編製之成本結構	
部門名稱	占比 (%)	部門名稱	占比 (%)
化學製品	10.20	化學材料	32.13
鋼鐵	20.81	電力設備	22.80
其他金屬	2.63	機械設備	12.44
金屬製品	0.99	營造工程	21.77
電力設備	16.24	運輸倉儲	6.43
機械設備	3.95	資訊服務	4.43
資訊服務	0.99		
金融及保險	7.40		
運輸倉儲	19.00		
專業、科學及技術服務	17.40		
其他服務	0.40		

肆、情境設計

一、重要變數設定

GEMEET 模型為一動態可計算一般均衡模型，主要以所編製完成 2011 的新能源產業關聯表為基期，透過歷史模擬至 2018 年，而從 2019 年逐步求解模擬至 2050 年，本研究稱 2011-2018 這段期間為歷史年。而歷史年相關參數之設定及更新如下(表 6 及表 7)。

表 6、歷史年電力技術及二氧化碳排放參數更新

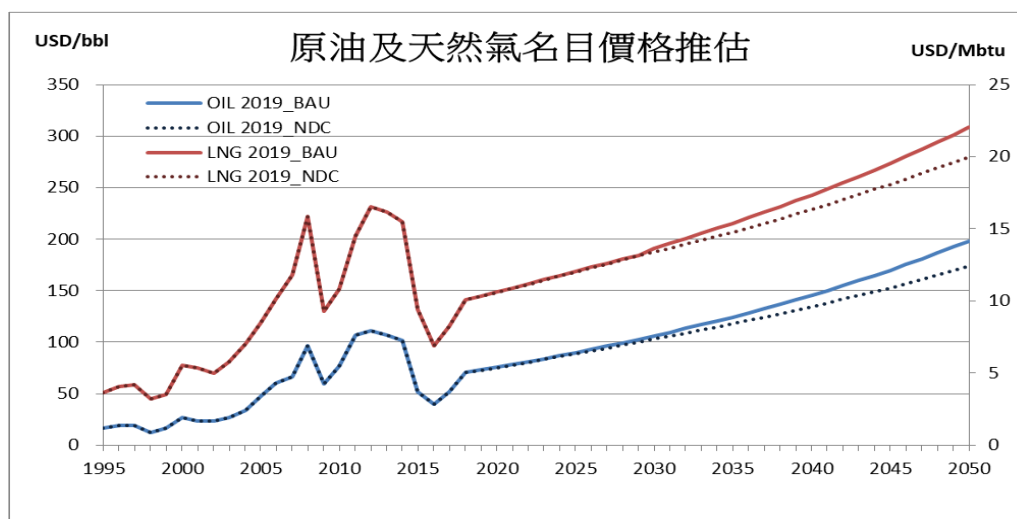
單位：百萬度	2011 (基準年)	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	資料來源
汽電共生	36,328.0	33,981.6	36,761.3	38,175.6	35,709.8	34,876.7	33,734.7	37,200.6	經濟部能源局「能源統計月報」
太陽光電	70.2	173.1	337.9	551.7	875.4	1,132.2	1,691.6	2,739.6	
風力發電	1,492.8	1,413.4	1,640.0	1,500.4	1,525.2	1,457.1	1,722.5	1,685.9	
核能發電	42,116.5	40,421.7	41,639.4	42,389.0	36,471.1	31,661.4	22,445.5	27,682.4	
水力發電	3,999.7	5,669.5	5,422.9	4,317.9	4,470.1	6,562.1	5,446.8	4,468.4	
火力燃煤	91,122.3	91,180.8	86,890.6	87,274.3	83,211.4	88,181.6	95,819.9	95,902.8	
火力燃油	7,307.7	5,659.8	5,275.3	6,603.5	10,687.8	10,447.9	11,595.3	6,855.6	
火力燃氣	63,404.0	65,522.3	67,740.1	72,479.1	78,550.7	82,916.3	90,961.8	91,928.8	
台灣整體二氧化碳排放量 (單位：千公噸)	262,533	256,184	257,609	262,005	259,127	263,487	269,857		經濟部能源局，「我國燃料燃燒 CO2 排放統計與分析」，2018

表 7、歷史年經濟參數更新

	2011 (基準年)	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	資料來源
國內生產毛額 (單位: 百萬元台幣)	14,312,200	14,607,569	14,929,292	15,529,606	15,654,835	15,891,514	16,380,812	16,812,286	行政院主計總處所公布之歷年各季國內生產毛額依支出別分
民間消費 (單位: 百萬元台幣)	7,798,976	7,940,907	8,126,434	8,405,582	8,626,919	8,830,947	9,055,548	9,236,074	
政府支出 (單位: 百萬元台幣)	2,167,595	2,214,447	2,197,054	2,277,570	2,275,198	2,357,050	2,342,307	2,428,050	
固定資本 (單位: 百萬元台幣)	3,346,945	3,259,477	3,432,126	3,502,539	3,560,091	3,644,042	3,639,825	3,729,729	
出口 (單位: 百萬元台幣)	10,419,700	10,462,131	10,828,138	11,462,929	11,420,203	11,639,789	12,504,304	12,973,361	
平減指數 (單位: %)	100	101	102	104	107	108	107	106	
匯率 (單位: 元/美元)	29.47	29.62	29.77	30.37	31.91	32.33	30.44	30.16	行政院主計總處所公布之國民所得常用統計表
家計戶數 (單位: 戶)	7,959,828	8,077,323	8,191,640	8,290,000	8,386,495	8,458,223	8,559,187	-	行政院主計處所公布之家庭收支調查報告
就業人數 (單位: 千人)	10,709	10,860	10,967	11,079	11,198	11,267	11,352	11,434	行政院主計處所公布之就業、失業統計表

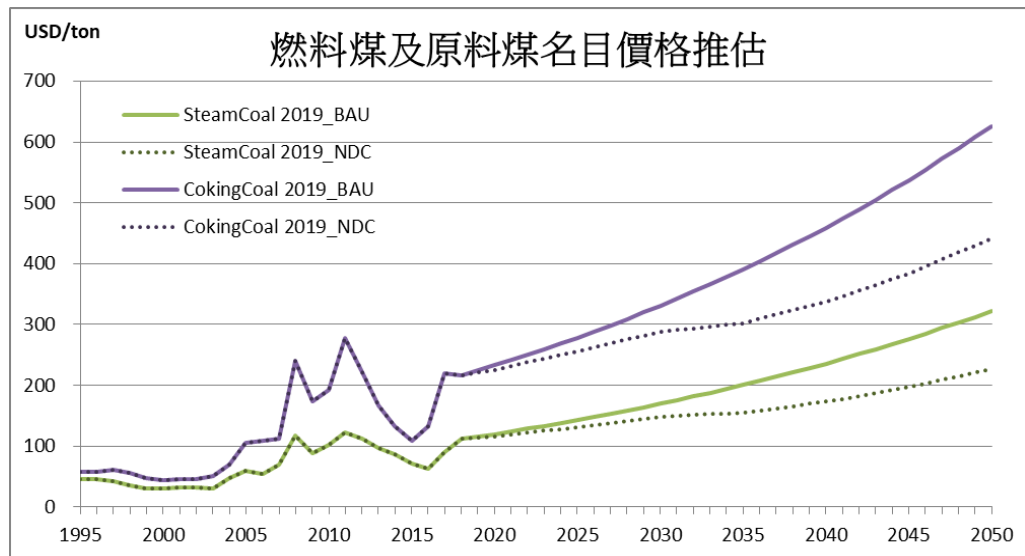
而在未來年（2019-2050 年）的估計結果，則如以下內容所示：

1. 再生能源設定：在參考情境中我們使其自然成長，無設定任何補助機制及相關又因政策。
2. 國際能源價格：為了能反映國際能源價格變動對模型內相關能源及電力之使用成本的變化，本研究將國際能源價格設定為外生變數，且參考核研所與麻省理工學院(Massachusetts Institute of Technology, MIT) 合作開發的 Economic Projection and Policy Analysis- Taiwan (EPPA-Taiwan) 全球可計算一般均衡模型未來的情境分析結果，其中包括參考情境及國內外減碳政策情境（NDC+溫室氣體減量及管理法）。本研究將在參考情境及政策模擬情境分別使用 EPPA-Taiwan 在不同情境所推估之國際能源價格結果（圖 9 及圖 10）。



資料來源：核能研究所 (2019)

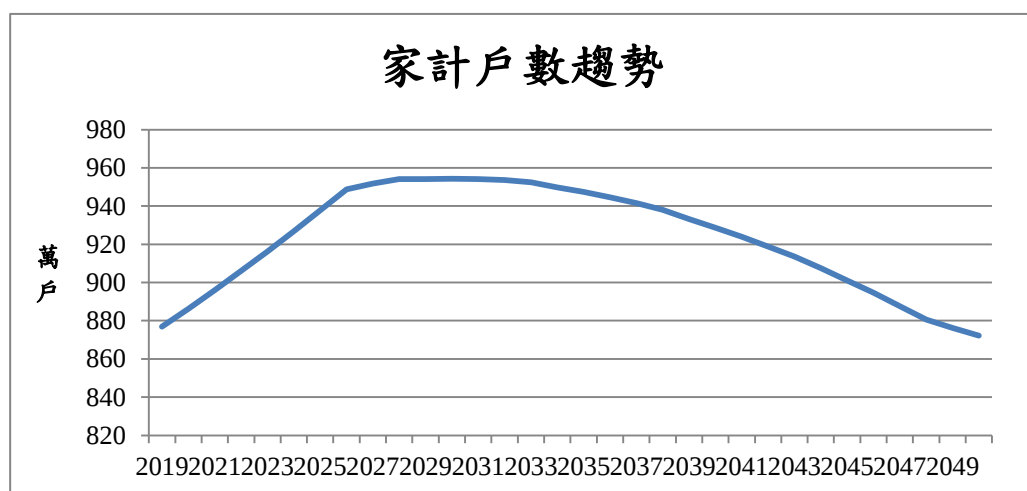
圖 9、國際原油及天然氣價格



資料來源：核能研究所 (2019)

圖 10、國際燃煤價格

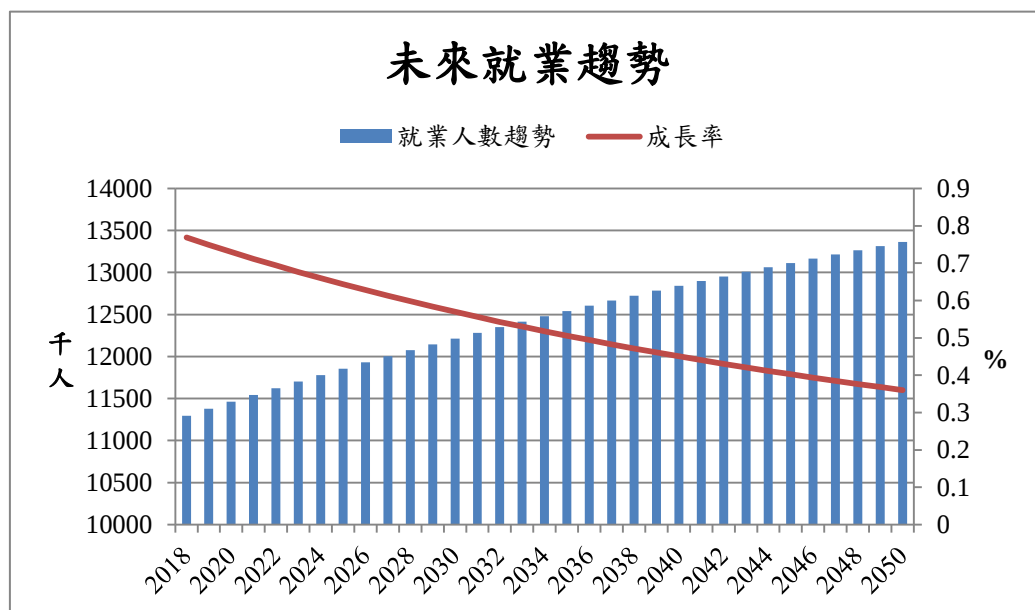
3. 家計戶數趨勢：模型內家計戶數主要反映家計消費之總額，本研究利用資策會產研所（2014）所估計之未來戶量趨勢，搭配國發會中推計之未來人口預測結果，來推估未來家庭戶數的趨勢（如圖 11）。



資料來源：本研究推估。

圖 11、未來家計戶數推估

4. 未來就業趨勢：利用時間序列方法所估計之未來就業人口仍呈現上升的趨勢，但依成長率來看，就業人口成長的速度在減緩中。



資料來源：本研究推估。

圖 12、未來就業趨勢設定

5. 自發性投資及出口需求：依過去台灣投資及出口的歷史平均值（2009-2018），設定模型內自發性投資與出口，未來設定每年成長率固定各為 3.48%及 5.62%，直到 2050 年。
6. 核能發電假設：依照目前所規劃之核能政策，依照目前所規劃之核能政策，核一停役、核二~核三無延役、核四封存。

7. 水力發電假設：由於台灣水力發電之河川有限，且也已幾乎開發殆盡，所以在未來年裡發電量並不會有太大幅之增加。但如果在模型內不去外生限制其發電量的話，那麼在其低成本之優勢下未來年會持續地大幅成長且不符合現實狀況。故在模型內我們將水力發電設定為外生變數，並依據再生能源政策目標做設定。
8. 自發性能源使用效率提升（autonomous energy efficiency improvement, AEEI）：由於經濟模型較不易考慮詳細能源技術之效率改善，所以必須透過模型內刻劃各產業對於能源需求函數中的技術參數，也就是 AEEI。而國際中相關知名模型如 IPCC、MIT EPPA 模型等也皆以 AEEI 來反映效率改善。而在參考情境中本研究假設每年 1% 之能源使用效率改善。
9. 總要素生產力：本研究依主計總處多因素生產力報告（2018）產業別 2009 至 2016 年之平均值做設定（表 8）。由於多因素生產力報告無針對農業進行估計，本模型中的農業則是參考梁啟源（2013）農業過去所估計之平均值進行設定，當中有些許產業如電力及然氣供應業、用水供應及汙染整治業、營造業、不動產業等的歷史平均值為負（如括號內數字所示），實際則依該所屬三級產業之歷史平均值做設定。

表 8、各部門總要素生產力假設

部門	設定值 (%)	部門	設定值 (%)
農業	1.60	運輸及倉儲業	0.75
工業及服務業	0.72	住宿及餐飲業	0.22
工業部門	0.88	資訊及通訊傳播業	0.25
礦業及土石採取業	2.34	金融及保險業	0.28
製造業	1.05	不動產業	0.47 (-1.54)
電力及燃氣供應業	0.88 (-0.38)	專業、科學及技術服務業	0.47 (-1.37)
用水供應及污染整治業	0.88 (-0.31)	支援服務業	0.24
營造業	0.88 (-0.76)	醫療保健服務業	0.47 (-1.06)
服務業部門	0.47	藝術、娛樂及休閒服務業	1.09
批發及零售業	0.56	其他服務業	0.95

二、政策情境設計

在政策情境模擬中，我們設計三組情境，以下分別針對情境設定內容作詳細之說明：

(一) 再生能源政策及減碳政策情境 (RE2030)

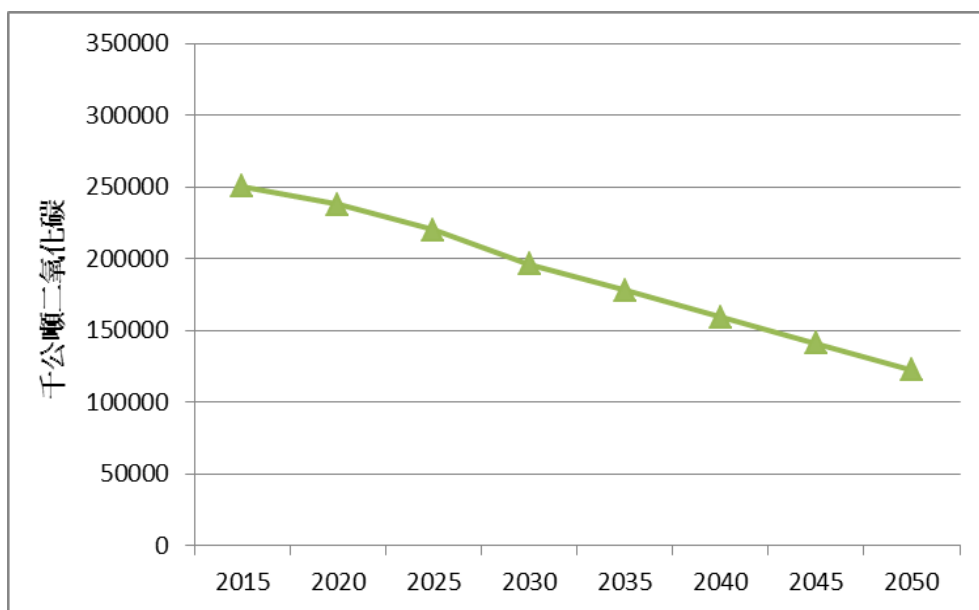
在此情境本研究主要以政府所設定之再生能源發展目標為主，針對太陽光電、陸域風力及離岸風力這三項再生能源提高其 R&D 投資來降低成本，以提高超額利潤吸引廠商投入以達到政策目標，2030 年以後則假設再生能源不再成長。另外根據溫管法，明訂國家溫室氣體長期減量目標為：2050 年溫室氣體排放量，降為 2005 年溫室氣體排放量 50% 以下。另外根據我國的 INDC，明確宣示

我國於 2030 年溫室氣體排放量要比基準年 2005 年減量 20%。因此在本情境，我們除了考慮 2025 年再生能源政策目標以外，另外透過課徵碳稅達到我國減碳目標，而未來的二氧化碳排放量亦即減碳目標之設定如圖 13。由於我國 INDC 及溫管法皆是針對溫室氣體，而本研究僅考慮二氧化碳排放，故假設 2030 及 2050 年之減碳目標為 2005 年的二氧化碳排放量之 20% 及 50%。其他年度則以線性遞減之方式設算。

另外在再生能源發展情境我們也考慮到學習曲線的設定，依方程式 (1) 所示，模型內有設定內生技術變動之機制，也就是說透過產業自身累積的產量及累積之 R&D 資本存量，可使產品的單位成本下降，進而將成本下降之好處擴散及外溢給其下游產業，單位成本下降的幅度除了取決於所累積之產量及研發資本大小以外，也依該產業的學習彈性及研發學習彈性而定，本研究參考 JRC (2017) 及 JRC (2014) 根據各個新能源技術設定相關彈性值 (表 9)。

表 9、學習彈性設定值

	產量累積彈性	研發學習彈性
離岸風力設備製造業	-0.18	-0.16
陸域風力設備製造業	-0.10	-0.16
太陽光電設備製造業	-0.26	-0.18



資料來源：本研究推估。

圖 13、減碳目標之二氧化碳排放量

(二)積極再生能源發展及減碳政策情境（RE2050）

在先前情境中，關於再生能源部分，我們僅考慮到 2030 年的政府政策目標，但 2030 年之後某些再生能源之設置仍具潛力，在太陽光電部分，以便於政策執行，及避免與民爭地並不影響農業產出這作為建置我國地面型太陽光電的用地選擇，並以每公頃可裝設 0.67 MW 評估我國可裝設的太陽光電容量，可得我國太陽光電裝置上限為 30 GW（韓佳佑與陳治均，2017）。另外在離岸風力部分，參考台灣離岸風力潛能與優選離岸區塊場址研究，考慮在臺灣西海岸之淺海區域（5~20 m 水深）潛能完全開發（張嘉諳等，2017）。表 10 為整理上述再生能源政策發展目標及上限

潛能之結果。而在本情境中我們同樣透過提供超額利潤來促使其達到所設定之政府政策目標及發展潛能上限，及設定相關學習曲線的機制，另外再加上課徵碳稅達到我國減碳目標。

表 10、再生能源政策目標與發展潛能

單位: MW	再生能源政策			本研究假設之發展潛能			
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
太陽光電	6,500	20,000	20,000	22,504	25,008	27,512	30,016
陸域風力	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
離岸風力	968	5,730	10,730	11,250	12,500	13,750	15,000

資料來源：核能研究所 (2019)

(三) 能效提升及積極再生能源發展與減碳政策情境 (RE2050&EEI)

除了供給端的發電技術以外，需求端的節能對於減碳方面也扮演著重要的角色。在參考情境中，我們假設自發性能源使用效率在未來每年提升 1%，而在此情境中，本研究參考亞太經合組織在 2016 年的報告 APEC Energy Demand and Supply Outlook 6th 裡的效率提升情境，針對台灣每年效率提升 2%之假設進行設定。另外再搭配積極再生能源發展及減碳政策情境之設定。

伍、模擬結果

一、參考情境結果

根據前述所設定未來相關參考情境之設定，我國經濟成長率由去年度的 2.71% 逐年緩慢下滑，到 2050 年約 1.5% 左右（圖 14）。如跟國際機構進行比較的話，可以發現國際知名機構 Global Insight 由於尚未將 2019 校準至實績值，故從 2019 年開始即低於本研究之預測值，而且在 2023 年以前下降的速度相當快，甚至 2021 年 GI 預測我國的經濟成長率已低於 2%，而 2023 年之後則大約維持在 1.7%~1.8% 間。在就業人數方面，受到本研究所設定未來就業趨勢之影響，未來我國就業人數呈現穩定成長但成長速度趨於減緩，在 2050 年將近為 1300 萬人（圖 15），而目前模型在勞動這部分並無考量到未來可能的少子化及人力不足之問題，而是從過去歷史的趨勢推算未來可能的就業趨勢，最後模型在透過動態工資調整方程式根據模型所求解出的就業與就業趨勢比較，當均衡就業大於趨勢時工資則上漲，下一期廠商則會減少勞動需求。相反的，如果均衡就業小於趨勢時工資則會下降，導致廠商增加需求。另外在總和物價指數方面（圖 15），本研究假設 2011 年為基期 100，再根據之後每年的物價上漲率計算出每年的物價指數，而在正常經濟發展的情況下，我國未來的物價也是呈現穩定上升的現象。

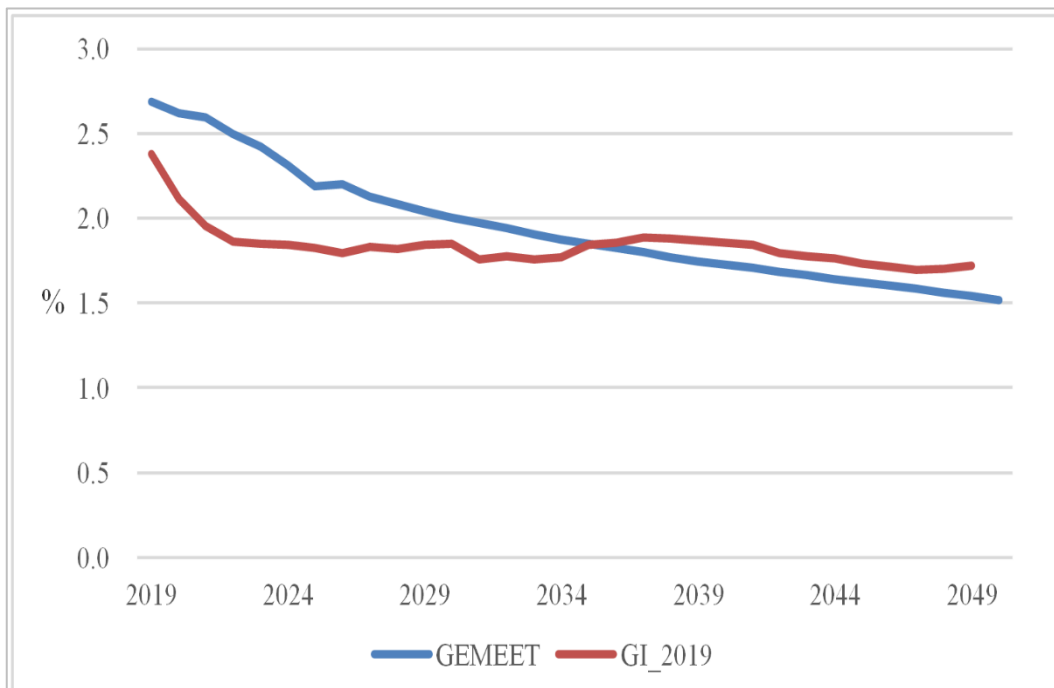


圖 14、參考情境經濟成長率比較

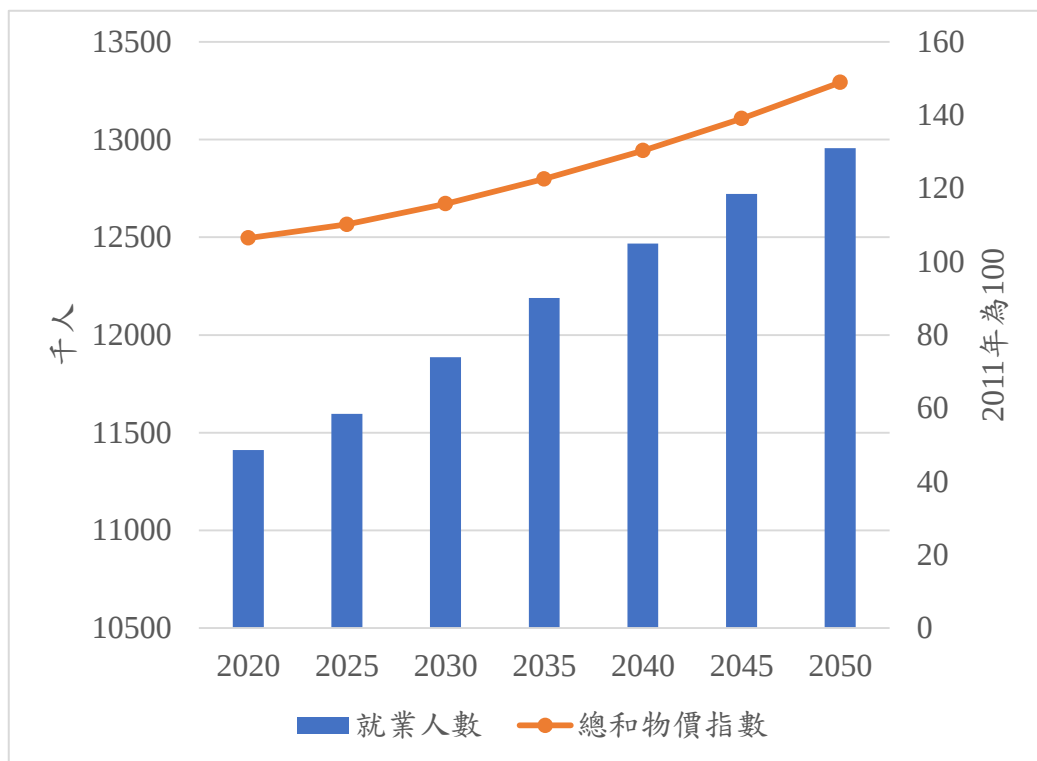


圖 15、參考情境就業人數與總和物價指數

在環境與能源結果方面，我國二氧化碳排放量隨著經濟成長，排放量逐年增加，在 2050 年總排放量約為 4 億 2000 萬噸(圖 16)。在發電結構中(圖 17)，2025 年以前在核能機組陸續除役下，由於模型設定核能與燃煤發電同為基載電力並有可替代性，故該時期燃煤發電增加的速度稍微高於其他發電技術，2025 年之後成長的速度則開始趨緩，也可發現燃煤發電增加的幅度較緩慢。至於再生能源方面，可以看出在沒有任何補助及政策刺激之誘因下，我國再生能源的成本還是高於其他傳統化石燃料之發電技術，不具成本競爭性，導致未來成長緩慢。整體的能源消費結構中(圖 18)仍以石油產品為最大比例，而電力成長的幅度相較於其他能源產品快，煤及天然氣之占比在未來則沒太大變化，主要反映模型內電力其他能源替代的機制，在未來能源價格持續上升的情況下，電力相對於能源產品的價格較低，直接替代掉部分能源產品，導致電力的占比日益增加。

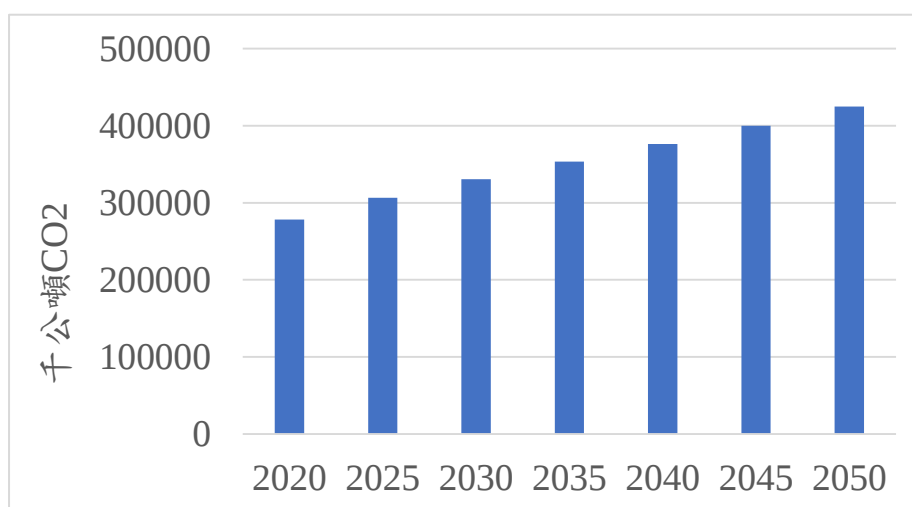


圖 16、參考情境二氧化碳排放量

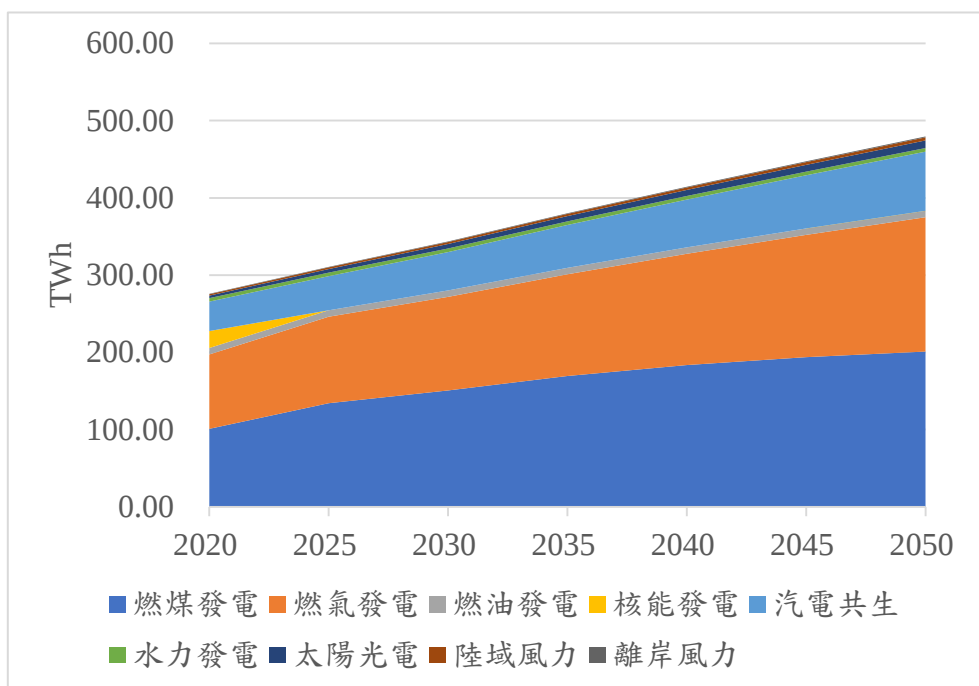


圖 17、參考情境發電結構

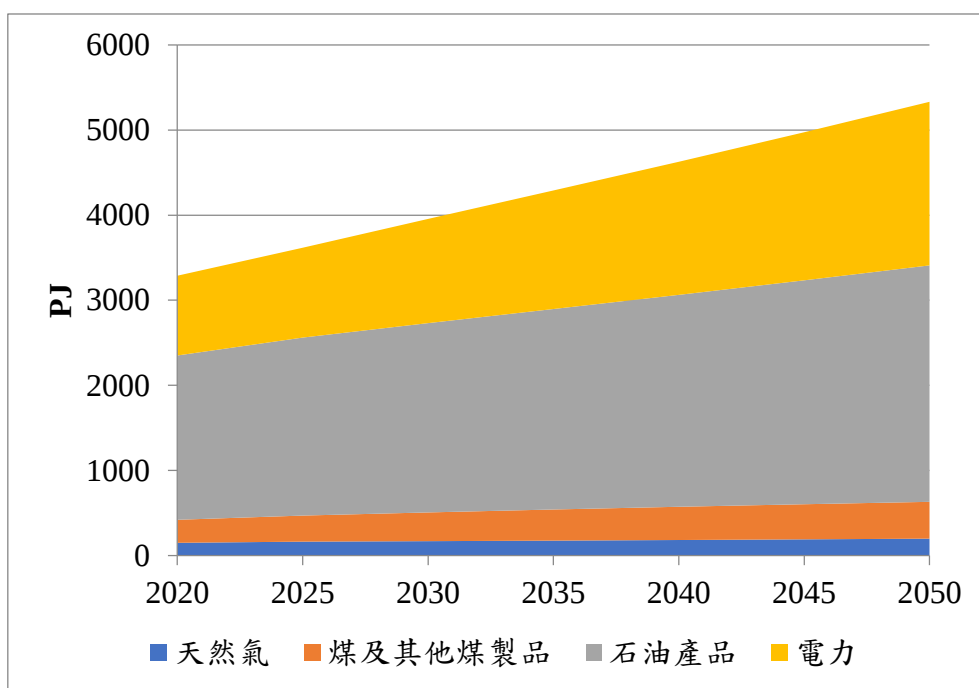


圖 18、參考情境能源結構

二、政策情境及外溢效果結果

圖 19 及圖 20 為各情境相對於參考情境之實質 GDP 變動率及碳稅之結果，首先在再生能源政策及減碳政策情境（RE2030）中，減碳政策讓整體經濟透過課徵碳稅將外部成本內部化，以將二氧化碳排放量降至政府所訂定之排放目標，此時廠商的能源使用成本增加，導致價格上升需求減少，但同時在政府再生能源政策下，政府投入大量資源如研發投資等，再加上廠商自身的學習效果，透過產業關聯效果把技術進步的效果外溢給其他產業，接著也帶動國內再生能源相關上游產業，對於整體經濟會有正面之效果，但仍無法抵銷掉碳稅所帶來之負面效果，在 2050 年相較於參考情境將有超過 14% 的實質 GDP 衝擊（圖 19）。即使在 2030 年之後持續發展再生能源（RE2050 情境），所減緩的衝擊仍有限，代表著單靠再生能源發展對於減碳幫助有限，導致在面對氣候變遷減緩的政策下，調適能力較為不足，需要靠相當高的碳稅（2050 年高達將近 50,000 ~ 53,000 元新台幣/噸）來降低二氧化碳排放量（圖 20）。但減碳單靠發電供給面的發展可能會有其極限，例如新及再生能源之發展會有氣候、土地及環評等限制。故需再搭配需求面管理如能源效率改善等，如果自發性能源使用效率從參考情境的 1% 提升至 2%，再加上供給面再生能源的持續發展，可大

幅將經濟衝擊降低至近 6%，碳稅雖下降到 36,000 元新台幣/噸，但仍遠高於 IPCC AR5 在 2050 年之減碳成本 7,400 元新台幣/噸。而如果將這些結果與馮君強等 (2017) 進行比較，可以發現負面的衝擊皆有相當程度的縮小，主要的原因是本研究有進一步考慮再生能源的學習曲線，包含累積產量及研發投資的效果，所以在考量到這些效果的情況下，整體產業會有較快的發展，減緩因減碳政策所造成的負面衝擊。

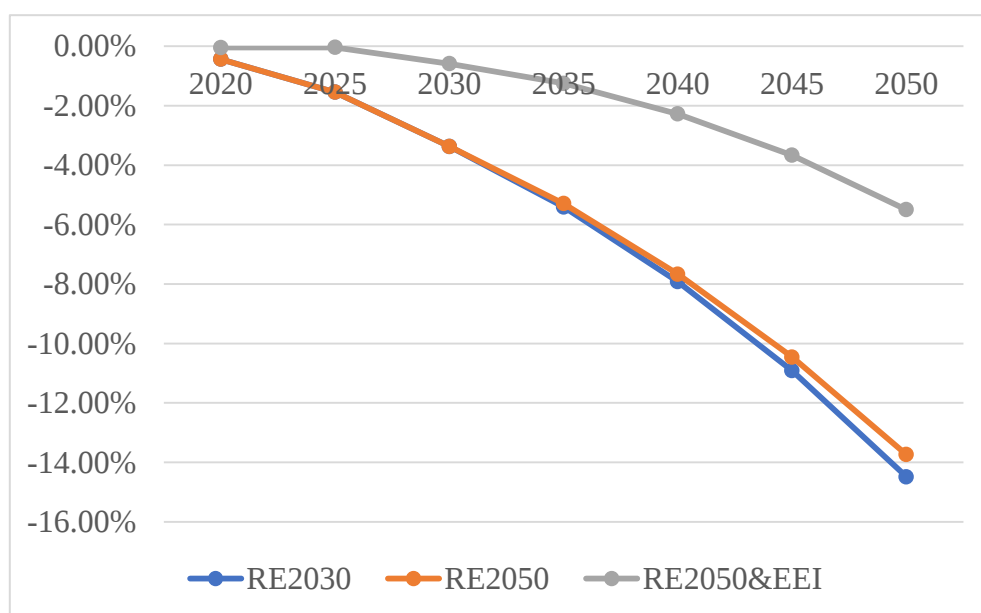


圖 19、政策情境相較於參考情境實質 GDP 變動率

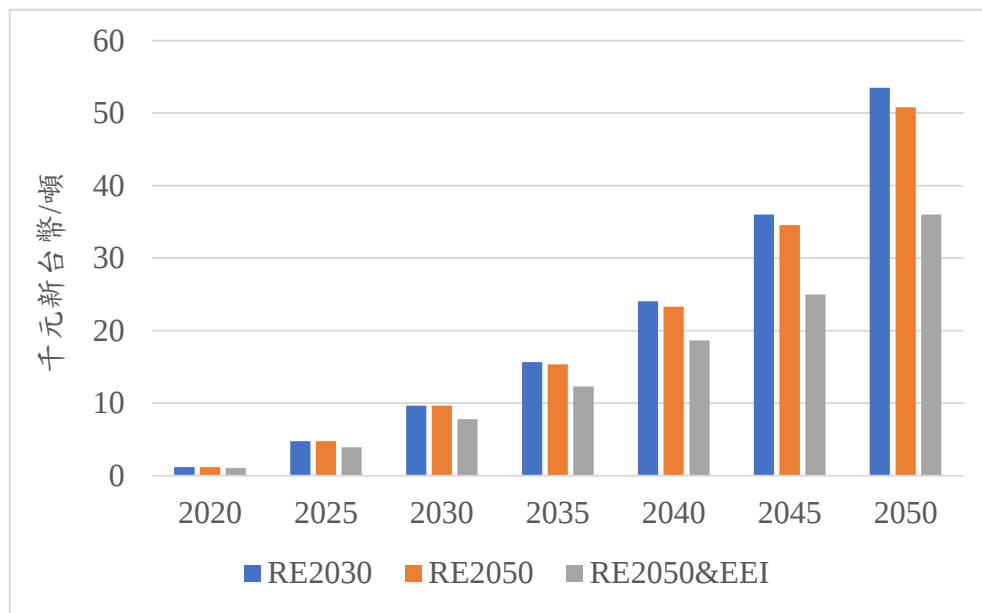


圖 20、各政策情境碳稅結果

至於就業人數的變化（圖 22），廠商在課徵碳稅的情況下，產出皆有所減少，同時也代表著不在需要這麼多的要素投入，導致整體經濟的就業跟著下降，而衝擊最大的仍是再生能源政策及減碳政策情境（RE2030），到 2050 年對於整體勞動相較於參考情境有 2.5% 的負面影響，2030 年之後持續發展再生能源同樣幫助有限。但在能源使用效率進一步提升的情況下，勞動市場有顯著的改善，減少超過一半的負面衝擊，使得 2050 年的就業相較於參考情境只剩約 1.2% 的負面衝擊。而在物價指數方面（圖 22），在沒有需求面能源使用效率更進一步改善的情況下，課徵碳稅對於需求面的影響太大，使得需求大幅減少也降低了物價指數，在 2050 年對於物價會減少 6%~6.8% 之間，但若能更進一步的提升能源使用效率，相當於降低

使用能源的成本，對於需求面的衝擊有相當程度的減緩作用，甚至在 2035 年之前物價有望能有正面之成長，雖然之後仍有通貨緊縮的現象。

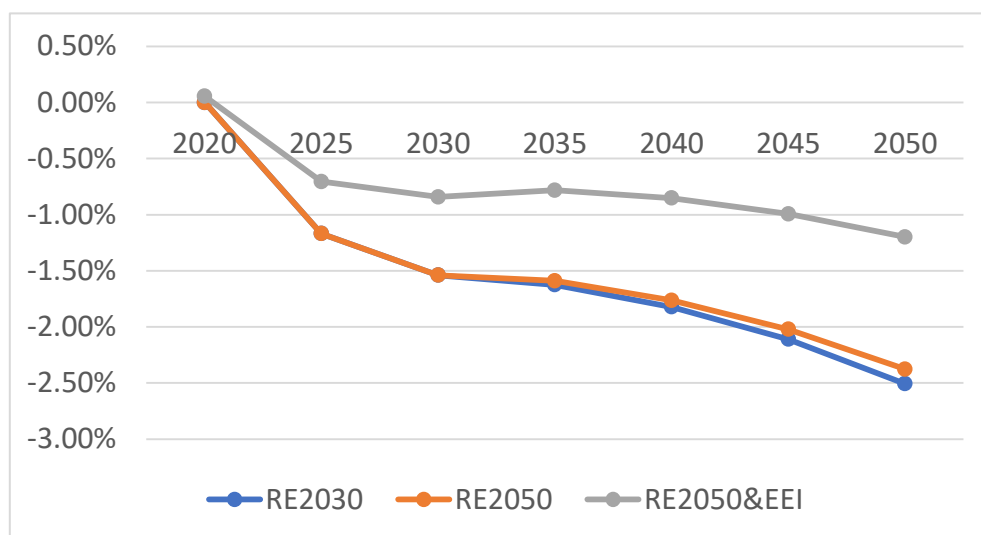


圖 21、政策情境相較於參考情境就業人數變動率



圖 22、政策情境相較於參考情境總和物價指數變動率

在發電結構方面（圖 23），三個情境總發電量不同主要因為達到減碳目標下，相當於對整體經濟課徵碳稅，碳稅會造成廠商生產成本增加，進而反映至產品售價給消費者，而消費者則因產品價格上升減少使用，接著廠商生產也跟著減少，最後均衡狀態下導致用電減少。而減少的幅度則跟情境設計有關，當只有再生能源只發展到 2030，之後沒有再增加能減緩碳稅衝擊之再生能源，故需較高的碳稅來抑制需求來達到減碳目標，而高碳稅轉嫁到商品上對於消費衝擊也最大，故在 RE2030 情境中，總發電量相較於其他情境還要來的低。若與政府 2025 年燃氣、燃煤及再生能源占比目標 50%、30%、20% 相比，本研究各情境在 2025 年燃氣約占 39%，燃煤加上汽電共生約 49%，再生能源約 12%，反映著透過市場價格機制及發電特性，屬於基載電力的燃煤發電仍無法很快的被再生能源及燃氣替代。而能源結構（圖 24）裡，影響最大的則是石油產品與煤及煤製品。

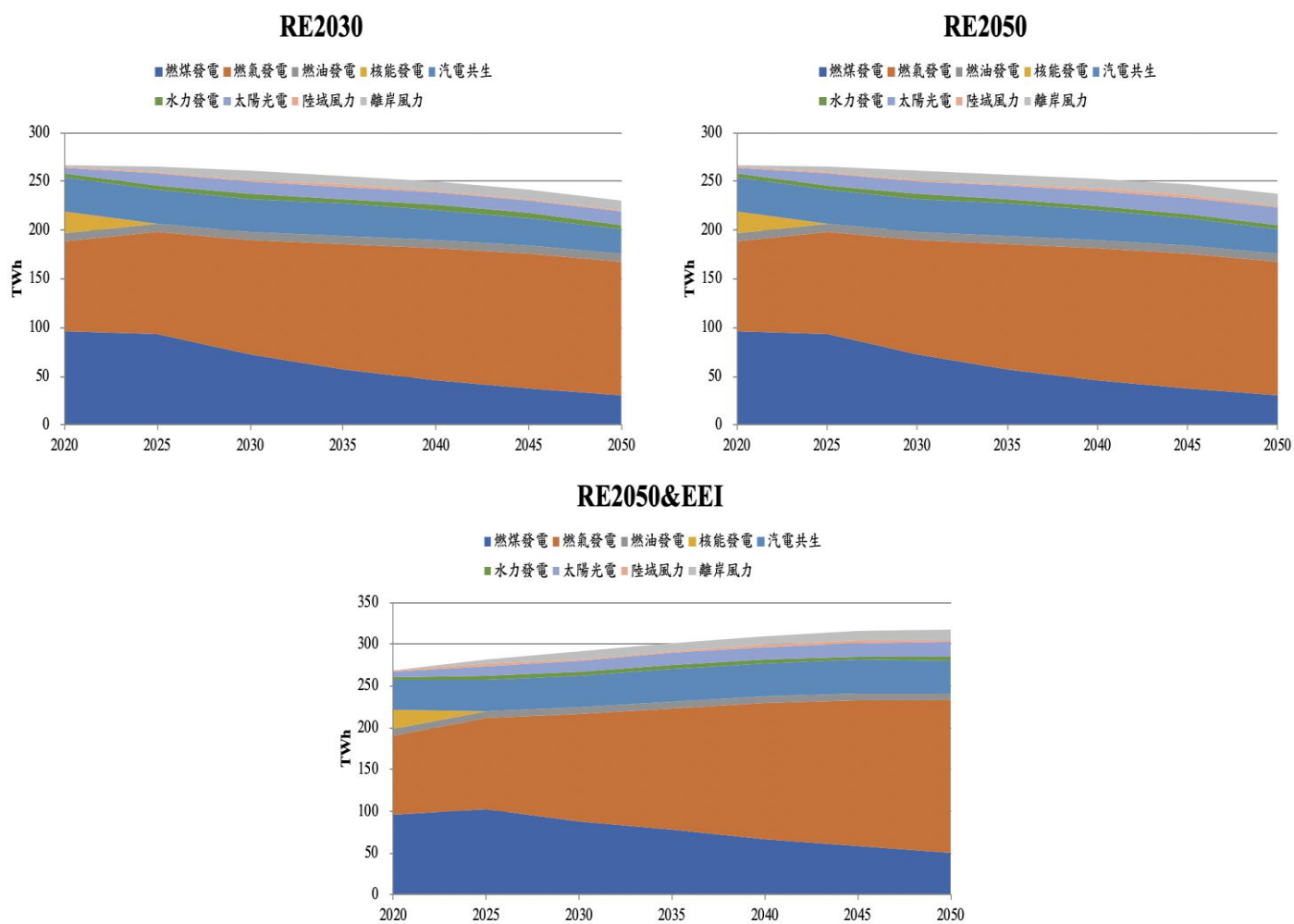


圖 23、各政策情境發電結構

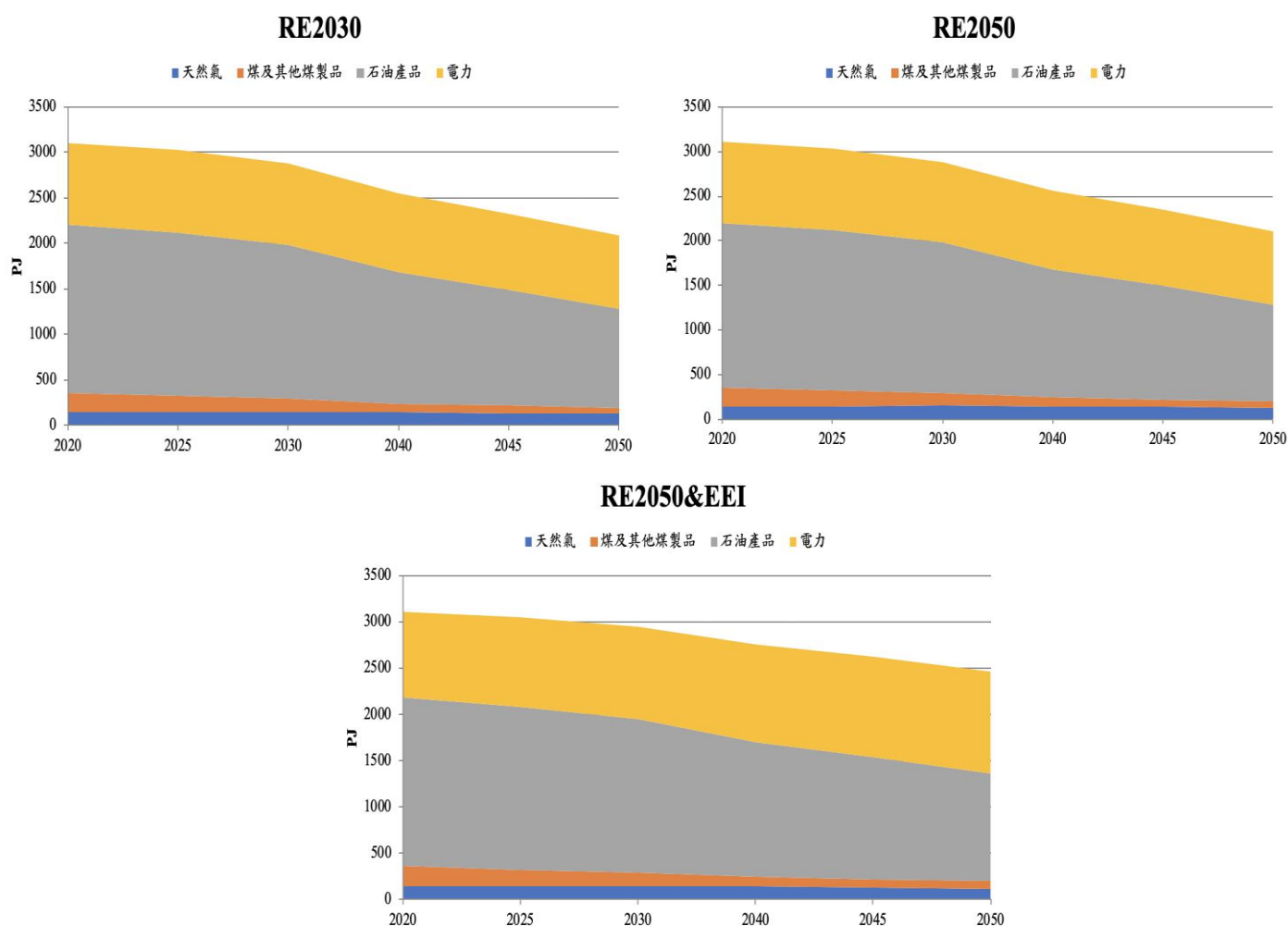


圖 24、各政策情境能源結構

政府投資相當程度的資金在這些再生能源產業上，尤其是離岸風力產業，會透過產業關聯效果帶動帶動其他相關產業的發展，進而產生外溢效果，另外本研究也同時考量到二因子學習曲線，包含產量產量之累積及研發投資，在更進一步的加速離岸風力產業相關產業的發展，如圖 25，這些在減碳情境下仍有較大效益的產業與離岸風力設備業有很大的關係，也是因有外溢效果而受益之產業。

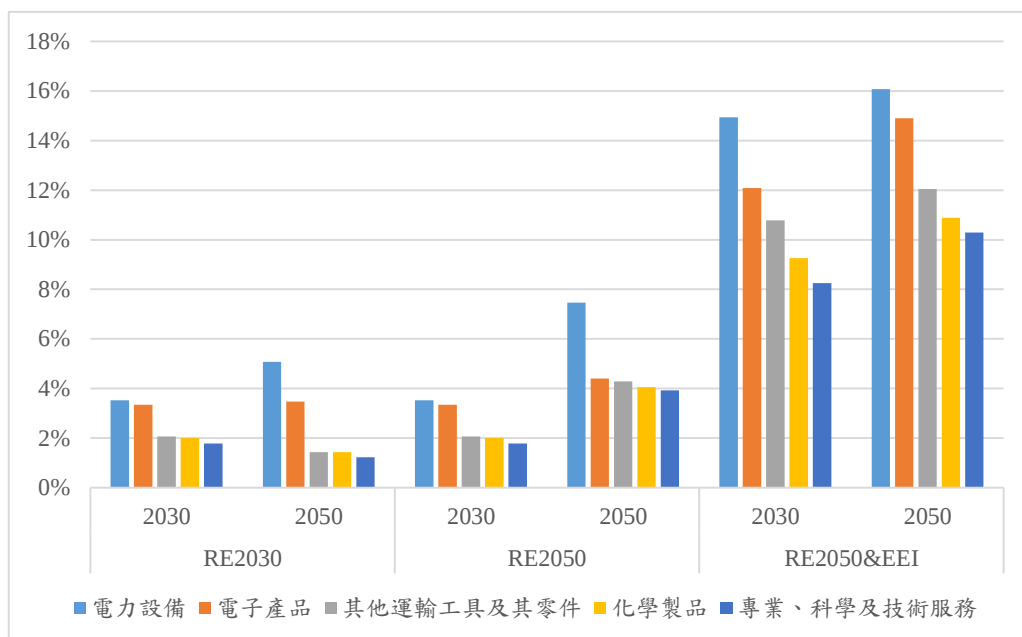


圖 25、相較於參考情境其他相關產業產值變動率

最後本研究在能效提升及積極再生能源發展與減碳政策情境（RE2050&EEI）的基礎下，參考 JRC（2017）裡針對離岸風力設備業的累積產量彈性所設定的高案（-0.32）、原先設定值（-0.18）及低案（-0.07），進行敏感度分析，而影響學習彈性的因素有很多，例如員工的在職訓練、人員的相關經驗、整個製造流程改進等，如能針對這些部門進行改善，則學習彈性也會有所改變。觀察我國離岸風力設備業未來產值趨勢。如圖 26 所示，在 2030 年以前受到我國離岸風力政策目標影響，無論在高低彈性下我國離岸風力設備業成長快速，之後成長的速度則趨於緩慢，此時必須要積極拓展國外市

場，才能解決之後成長趨緩的問題。另外如果將本研究結果與政府 2025 年目標相比，可以發現只有高累積產量彈性的情況下才有可能達到政府目標，而中累積彈性需要到 2030 年才有辦法達到目標，至於低彈性就算到 2050 年仍無法達到目標，顯示必須要短期及快速的累積及厚實我國相關離岸風力之經驗才有可能促使我國離岸風力產業快速發展達成目標。

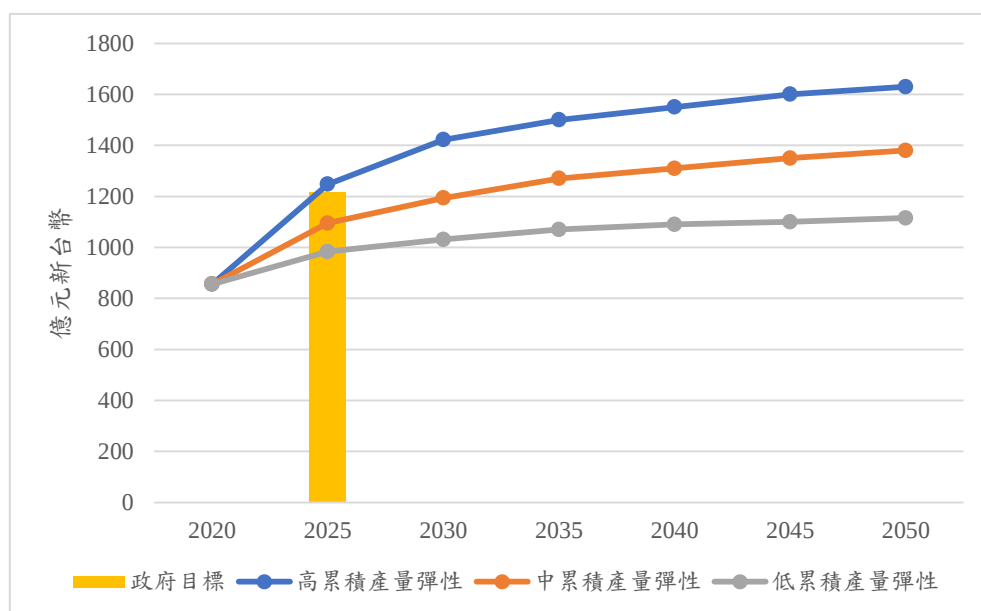


圖 26、在不同累積產量學習彈性下我國離岸風力產業產值

陸、結論與建議

節能減碳在近年來已成為各國在能源及環境之議題上，迫切追求之目標。但能源在經濟發展的過程中扮演著相當重要的角色，而使用能源所產生的溫室氣體卻又是造成全球暖化的主要原因。因此，節能減碳必須要有一系列之策略性思考，絕非單一政策即可達成，而是需要多項政策互相搭配，彼此相輔相成，才能有效的減少碳排。值得注意的是，再生能源扮演著相當重要的角色，而在如此龐大的減碳壓力下，各國也均對再生能源寄予厚望，挹注大量資源於扶植再生能源產業的發展，並積極鼓勵推廣無污染的可再生能源。在台灣方面，離岸風力為目前政府開發之重點，為配合 2025 年非核家園之目標，我國訂定離岸風力發電在 2025 年目標為 5.5GW，且其中一個重要的目的是為了要培植我國離岸風力相關產業，但在投資相當程度的資金在離岸風力發電技術上，究竟會有多少技術外溢的效果？而這些效果在未來國家的減碳政策下，究竟能抵銷掉多大的負面衝擊？相關產業未來的發展趨勢為何？必須要透過一個嚴謹且有系統的數量方法來進行評估。本研究中我們利用核研所近年來所開發建置完成之動態可計算一般均衡 GEMEET 模型來進行分析。除了原本就涵蓋的詳細新能源和再生能源的技術以外，同時也加入了內生技術變動的機制。使整個分析更貼近實務之狀況。

本研究發現，在政府減碳政策下，若只靠發電供給端再生能源的發展，很難減緩因碳稅所造成之負面衝擊，顯示減碳單靠發電供給面的發展可能會有其極限，同時再生能源之發展會有氣候、土地及環評等限制。需再搭配需求面管理及能源效率改善等，才能有效的降低減碳所造成之經濟衝擊。從碳稅的結果來看，本研究在 2025 年所求解出來的碳稅約在 3900~4800 元新台幣/噸之間，若與 2018 年諾貝爾經濟學獎得主 Nordhaus 之 RICE 全球模型研究結果相比，欲溫升小於 2 度 C，2025 年碳價為 142 美元/噸（約 4260 元新台幣/噸），落在本研究所解出的碳稅區間，與本研究結果具一致性。但在 2050 年需約 36,000 元新台幣/噸的碳稅來抑制傳統化石能源的使用以達到減碳目標，遠高於 IPCC AR5 研究結果之 7,400 元新台幣/噸，主要是後續國內相關減碳的技術及工具有限，在核能陸續除役的情況下，導致需要相當高的碳稅來抑低能源的使用以節能減碳。若按 IPCC 之減碳成本，我國 2030 及 2050 年減碳量應分別為 2005 年排放量的 15%及 33%（馮君強，2017），顯示我國訂定之減碳目標可能過於嚴峻，或可擴大新及再生能源的使用及提高節能目標，否則未來在面對減碳政策目標時將會有相當程度的經濟衝擊。另外也可考慮排放交易，如南韓 2030 年須較 BAU 減量 37%，其中國內減量 25.7%、國際碳市場機制 11.3%，可透過國際碳市場的交易機制有效減輕國內碳排放減量的壓力。

在我國離岸風力產業發展方面，根據本研究結果顯示，唯有高的累積產量彈性下，才有可能在政府所期望的時間內實現離岸風力設備業的目標，若不幸的是，當國內廠商的生產水準在中彈性或低彈性下，這可能需要數十年，甚至沒有機會實現。也就是說像國內離岸風力這樣的新興產業在發展初期時，必須要多加強國際研發合作，以充分利用各國的研發能力，盡速地累積我國在離岸風力的相關經驗，以達到學習效果，另外研發投入也會帶來新技術及知識的累積，加速我國離岸風力產業之發展進程，以達成政府所設定之目標。

未來的研究方向可朝向整體電力系統之彈性能源方向規劃，如考量需量反應及儲能等。另外由於台灣已公布新年度的投入產出表(105 年度)，之後也可更新投入產出表再做分析，學習曲線裡的相關參數應針對本土的數據再做更新。而在情境設定方面，未來自製率的情境可再多樣化，也可納入不同的碳稅支用規劃情境。

參考文獻

主計總處 (2018)，多因素生產力報告2018。

經濟部工業局 (2018)，「107年1月18日離岸風力發電產業政策簡報」

張嘉諳、陳治均、葛復光 (2017)。離岸風力技術對我國中長期電力系統供需之影響，核能研究所研究報告，INER-13555。

韓佳佑、陳治均 (2017)。太陽光電技術對我國中長期電力系統供需之影響。核能研究所研究報告，INER-13139。

馮君強 (2016)，國際能源市場趨勢之我國新及再生能源發展策略評估。能源價格、自主減量貢獻與能源配比研討會。

馮君強、楊皓荃、張桂鳳、柴蕙質、秦安易、洪瑋嶸、郭春河 (2017)，我國減碳政策與新及再生能源發展策略評估。核能研究所研究報告。

核能研究所 (2019)，再生能源技術策略研究。第二次專家座談會。

Bernstein, J. I. and M. I. Nadiri (1988), "Interindustry R&D Spillovers, Rates of Return, and Production in High-Tech Industries," *NBER Working Paper*, No. 2554.

Chen, K. H., H. M. Hsiao, and H. Y. Yang (2010), "Spillover Effects of Innovation: Taiwanese Evidence," *Applied Economics*, 42(26), 3417–3437.

Chyi, Y. L., Y. M. Lai, and W. H. Liu (2012), "Knowledge Spillovers and Firm Performance in the High-Technology Industrial Cluster,"

- Research Policy*, 41(3), 556–564.
- Dietzenbacher, E. (2000). Spillovers of innovation effects. *Journal of Policy Modeling*, 22(1), 27-42.
- Grafström, J., & Lindman, Å. (2017). Invention, innovation and diffusion in the European wind power sector. *Technological Forecasting and Social Change*, 114, 179-191.
- Hong, C., Yang, H., Hwang, W., & Lee, J. D. (2014). Validation of an R&D-based computable general equilibrium model. *Economic modelling*, 42, 454-463.
- IEA (2018). World Energy Outlook 2018.
- IEA (2019). Offshore Wind Outlook 2019.
- JRC (2014). Modification of GEM-E3 technological innovation module.
- JRC (2017). Cost development of low carbon energy technologies
- Liu, H. L., H. Y. Lin, and S. K. Peng (2010), “The Spillover Effects of R&D on Manufacturing Industry in Taiwan’s Metropolitan Areas,” *The Annals of Regional Science*, 45(3), 519–546.
- NREL (2016). Cost of Wind Energy Review.
- WindEurope (2019), Offshore Wind in Europe, Key trends and statistics 2018.
- Zhang, H. and X. Liu (2007), “The R&D Interindustry Spillover Change in China: On the Analysis of 1997 and 2002 IO Tables of China,” The 16th International Input-Output Conference, Istanbul: International Input-Output Association.