

減碳政策在台灣：補貼或課稅？

蕭代基（中央研究院經濟研究院研究員）

傅俞瑄（中央研究院經濟研究院研究助理）

林師模（中原大學國際經營與貿易學系特聘教授/應用經濟模擬研究中心主任）

黃琇琇（嶺東科技大學財政系副教授兼系主任）

文章資訊

接受日期：2020.06

關鍵詞：

- 碳稅
- 再生能源固定收購電價制度
- 所得分配

內文摘要 (Abstract)

再生能源固定收購電價制度 (feed-in tariffs, FIT) 是對再生能源價格之補貼，這是國際上常見的、也是我國主要的減碳經濟工具，然而，多數經濟學家認為對溫室氣體排放引起的氣候變遷，最有效的補救措施是碳稅及能源稅，但是，我國政府卻長年不採行碳稅或能源稅，僅採用FIT，主要原因是行政與立法部門都擔心碳稅或能源稅對經濟成長與所得分配的負面衝擊，降低其政治接受度。本研究目的為在可設定的最大潛在費率下，比較碳稅與FIT兩種減碳經濟工具何者的減量成效較能做到深度減碳政策目標。本研究首先根據全球減碳目標設定台灣的深度減碳目標，再比較碳稅與FIT兩種減碳經濟工具的減碳效果，及其對電力結構、經濟成長與所得分配的影響。我們設計多種綠色稅制改革方案，在政府總稅收不因課徵碳稅而增加的原則下，設計四種碳稅稅收循環方案，包含：（1）調降營業稅率、個人綜合所得稅率、雇主負擔之社會安全捐；（2）增加社會安全給付與社會福利給付；（3）定額移轉（以每人等額的方式發還全民現金）；（4）定額移轉與調降營業稅率併行。我們應用E3ME總體經濟計量模型 (energy-environment-economy global macroeconomic model) 進行政策模擬分析。結果發現：（1）碳稅的節能與減碳效果較FIT大很多，以2030年為例，相較基準情境，實施碳稅的總發電量減少約30%，FIT僅減少約2%；碳稅的減碳幅度約46%，FIT則約3.6%；（2）碳稅與FIT都可增加再生能源發電量，碳稅情境再生能源發電量約250億度，FIT情境只有約166億度；且碳稅情境的再生能源占比大於FIT情境的占比，分別為15%與7%；（3）FIT對經濟成長與所得分配有小幅但負面的影響，而碳稅若搭配各種稅收循環策略都可以促進經濟成長與提高所得分配公平。最後，根據研究成果我們提出深度減碳政策建議。

CARBON MITIGATION POLICY IN TAIWAN: SUBSIDIES OR TAXES?

Daigee Shaw (Institute of Economics, Academia Sinica)

Yu-Hsuan Fu (Institute of Economics, Academia Sinica)

Shih-Mo Lin (Department of International Business, Chung Yuan Christian University)

Wen-Hsiu Huang (Department of Public Finance, Ling Tung University)

Information	Abstract
Accepted date : 2020.06 Keywords : • Carbon tax • feed-in tariff • Income distribution	The renewable energy feed-in tariff (FIT) is considered a price subsidy for electricity from renewable sources. This policy tool is commonly seen globally and has been one of the major climate change mitigation measures in Taiwan over the past two decades. The main reason why government agencies in Taiwan always prefer FIT to carbon or energy taxes can be attributed to their fear over those possible adverse effects that taxation may have on economic growth and income distribution, and, consequently, low public acceptability. Nevertheless, the majority of economists still regard carbon and energy taxes as the most effective economic incentives to mitigating climate change resulting from greenhouse gas emissions. This paper aims to compare the effectiveness of carbon tax and FIT in meeting the policy target of deep-decarbonization with their respective highest possible rates. By doing this, we first determine the carbon emission targets for Taiwan based on the global targets and then compare the effects of the two policy tools on emission reduction, energy structure of electricity, economic growth, and income distribution. For carbon tax simulations, we further incorporate in the simulations four potential green-tax reform measures that will recycle the entire carbon tax revenue: 1) lower VAT, and enterprise and household income tax rates, as well as the social security payment accrued to employers; 2) increase in social security and welfare payments to low-income households; 3) uniform transfers; and 4) combined uniform transfers and VAT reduction. We apply the E3ME model to conduct the analysis. Three significant results emerge. First, the carbon tax is far more effective than FIT in terms of carbon emissions reduction. In 2030, the carbon tax will reduce electricity generated by 30% relative to the baseline, while FIT can reduce only 2%. Similarly, the carbon tax can curtail 46% of carbon emissions, while FIT can mitigate only 3.6%. Secondly, both carbon tax and FIT will increase the electricity from renewable sources. In 2030, that amounts to 25 billion kWh for the carbon tax, and only 16.6 billion kWh for FIT, which corresponds to 15% and 7% of total generated electricity, respectively. Thirdly, FIT will have a negligible yet negative effect on economic growth and income distribution. However, carbon tax, when coupled with tax revenue recycling strategies, do have positive growth and distributional effects on the economy. Based on these results, this paper offers policy suggestions for deep decarbonization in Taiwan

壹、前言

聯合國氣候變遷小組 (Intergovernmental Panel on Climate Change , IPCC) 在2018年10月發布的《全球升溫1.5°C報告》(Global Warming of 1.5°C) 指出,「若要使地球溫升回到1.5°C以內,在2030年全球的二氧化碳淨排放量,應比2010年的排放量少40%到60%;2050年歸零」,雖然2050年二氧化碳淨排放量歸零之深度減碳目標尚未成為全球共識,但是,各國對於碳排量必須減少是有共識的,因此我國也有實施深度減碳政策的必要。我國的二氧化碳排放量逐年快速增加,1990年燃料燃燒二氧化碳排放量為124 MtCO₂e (百萬噸二氧化碳當量),逐年持續增加,2005年增加至267 MtCO₂e,2016年則為279 MtCO₂e。面對逐年增加的二氧化碳排放量,2015年7月我國公布施行《溫室氣體減量及管理法》,明定我國「國家長期減量目標為2050年溫室氣體排放量降為2005年的百分之五十以下」,確立我國因應氣候變遷減碳的決心。

為減少碳排放量,再生能源固定收購電價制度 (feed-in tariffs , FIT) 是國際上常見的減碳政策之一,也是我國主要的減碳經濟工具。FIT是由政府訂定一固定優惠費率保證電力公司會以這個價格收購再生能源業者所產之電力,使再生能源可以與發電成本較低的高碳排放量化石能源競爭,促進再生能源的發展。由於電力公司必須以政府訂定的價格收購,成本提高,因此電力公司會調漲電價,轉由電力消費者負擔FIT的部分費用,國際上的FIT制度皆是如此,然而,我國現行FIT制度之設計雖然同樣是保證台灣電力公司會以FIT價格收購再生能源業者所產之電力,但由於我國電價長期受政府干預,使得FIT費用多由再生能源發展基金支應或由台灣電力公司承擔,電價無法反映真實發電成本。

能源稅 (energy tax) 及碳稅 (carbon tax) 是經濟學家最為認同的減碳經濟工具 (Cramton et al., 2017, p. 5, 91 ; Nordhaus & Boyer, 2000 ; Baker III et al., 2017) ,能源稅課徵目的是為了反映耗竭性能源真正成本及使用者付費原則,現今世代使用耗竭性資源會造成未來世代無法使用資源,因此當代使用者除了應負擔能源生產成本之外,也必須負擔使用者成本,即現今世代使用一單位的耗竭性資源造成未來世代無法使用資源的機會成本。碳稅課徵目的則是根據汙染者付費原則,對二氧化碳排放造成的外部成本建立碳的價格。

我國自1987年以來對能源稅與碳稅有諸多討論與規劃,惟始終未能立法與執行,2015年公布的《溫室氣體減量及管理法》第五條第三款明訂政府為因應氣候變遷,相關法律與政策之規劃管理原則之一是「依二氧化碳當量,推動進口化石燃料之稅費機制,以因應氣候變遷,並落實中立原則,促進社會公益」,提供我國實施碳稅或碳費的法源依據,但是由於其會提高能源價格,使得其政治接受度低,政府迄今仍未推動碳稅或碳費。

由以上討論可知，由於深度減碳的重要性，因此，本文之首個目的在於比較台灣實施碳稅與FIT對達成2050年二氧化碳淨排放量歸零之深度減碳目標的貢獻程度，據此設定台灣實施碳稅與FIT方案之最大潛在費率。其次，由於政治接受度之重要性，雖然能源稅及碳稅是公認的較佳減碳經濟工具，也有法源依據，然而長期以來被視為選票毒藥，政府一再拖延能源稅及碳稅之推動，迄今僅大力執行政治接受度較高的FIT制度，因此本文另一研究目的在於比較碳稅與FIT的政治接受度，據此設定的評估方案包括FIT及依據稅收中立原則設計的多種稅收循環方式碳稅稅制方案，評估比較的指標包括減碳效果、對電力結構、及對總體經濟的影響，對總體經濟的影響中尤其重視攸關政治接受度的經濟成長與所得分配等兩個總體經濟指標。

貳、文獻回顧

利用經濟誘因來處理汙染所造成的外部性問題，最早可從Pigou (1932) 提出對汙染課以邊際損害成本的稅率理論開始，Baumol & Oates (1975, 1988) 更指出在完全競爭市場下，汙染稅的課徵可以將外部成本內部化，減少汙染排放量至最適的程度。應用在減少二氧化碳排放這個議題上，汙染稅則是將因為使用化石能源造成的外部成本反映至市場價格，例如課徵碳稅或能源稅，達到減少二氧化碳排放量的目的，並提高經濟效率。

在不影響廠商進入或退出市場決策行為的條件下，對汙染課稅與對汙染減量補貼相同額度在短期都能減少汙染排放，達到同等的減量效果 (Bailey, 1982)，然而，Bramhall & Mills (1966)、Porter (1974) 與Baumol & Oates (1975; 1988) 都指出在長期下，補貼雖然可以降低個別廠商的汙染排放量，但由於同時會提高廠商的利潤，吸引廠商進入市場，會使得產業規模擴大，汙染總量反而增加，因此補貼不是恰當的汙染防制經濟工具。

課稅與補貼都是藉由經濟誘因改變生產者與消費者的決策行為，進而達到減碳的目標。就生產面而言，生產成本的上升會帶動技術創新研發與投資，首先，Hicks (1932) 提出誘導創新 (induced innovation) 的觀念，指出要素價格的上升會誘導技術創新，之後多篇研究文章檢驗誘導創新假說是否成立 (Newell, Jaffe & Stavins, 1999; Popp, 2002; Johnstone, Haščič & Popp, 2010)，其中，Popp (2002) 使用美國1970年至1994年的專利資料發現能源價格與提升能源效率創新有顯著正相關，Johnstone, Haščič & Popp (2010) 則利用25個國家1978年至2003年的專利資料，發現可以有效促進能源效率創新的政策在不同能源間是有差異的，發電成本較高的能源例如太陽能，需要較多的補貼或再生能源固定收購電價制度 (feed-in tariffs) 才能成功誘導創新。其次，Porter (1991) 提出的波特假說 (Porter Hypothesis) 指出，設計良好且較嚴格的环境管制不僅能提升環境品質，且能促使創新與進步，提升競爭力。過去文獻對於

環境管制可以促進創新皆有實證研究佐證 (Arimura, Hibiki & Johnstone, 2007 ; Popp, 2003) 。 Ambec et al. (2013) 回顧波特假說提出後二十年間相關的理論與實證文獻，發現弱波特假說 (the weak version of the Porter hypothesis ; 較嚴格的环境管制能促使企業創新與進步) 確實存在，但是強波特假說 (the strong version of the Porter hypothesis ; 較嚴格的环境管制能促使企業提高生產效率及提高國際競爭力) 有不同方向的實證結果。 Ambec et al. (2013) 亦發現具有彈性與經濟誘因的環境保護制度，例如能源稅與碳稅，較能夠達到提升環境品質、促使創新與進步、以及提高生產效率的結果。再生能源固定收購電價制度 (feed-in tariffs) 被認為是較有效果的鼓勵再生能源創新技術與發展的政策工具 (Burer, 2009 ; European Commission, 2008)，但是，關於能源補貼對經濟面或社會面的影響也有諸多疑慮 (洪瑋嶸, 2018)，亦有研究顯示再生能源固定收購電價制度具有累退性，不利所得分配， (Grösche & Schröder, 2014 ; Nelson, Simshauser & Kelley, 2011)。因此就技術進步誘因而言，補貼也不是恰當的污染防制經濟工具。

課稅對於所得分配的影響是長期以來廣泛討論的重要議題。Pechman & Okner (1974) 探討美國各項租稅對於所得分配的影響，發現當時稅制下的租稅負擔與所得高低是成比例的，既沒有改善也沒有惡化所得分配的效果。一般認為環境稅具有累退性，Poterba (1991a) 認為汽油稅雖然具累退性，但並沒有過去研究所述具如此高的累退性。課徵碳稅但沒有結合稅制改革可能會對所得分配有惡化的影響 (Poterba, 1991b)，因此稅制如何設計至關重要。

環境稅稅收運用是稅制設計的重要考量，Tullock (1967) 首先提出運用環境稅稅收具有效益的觀念，但未深入討論，直到Tekla (1984) 才深入分析此課題，估計美國環境稅收用於取代部分具有扭曲性的聯邦所得稅或勞動稅之效益，Oates (1993) 使用最適租稅理論 (optimal taxation theory) 分析環境稅的兩個效果：減少污染排放量、運用環境稅收取代具有扭曲性租稅以降低其超額負擔 (excess burden)，結論是政府應徵收比僅考量污染防制的環境稅較多的環境稅收，但是環境稅率之提高或降低則需視環境稅的彈性而定 (Lee & Misiolek, 1986 ; Oates, 1993)。Pearce (1991) 使用雙重紅利 (double dividend) 之詞描述環境稅的這兩種效果，第一重紅利稱為庇古效果 (the Pigovian effect)，即減少污染排放量、改善環境品質，第二重紅利稱為收入循環效果 (the revenue recycling effect)，即環境稅稅收用於替代扭曲性租稅所降低其超額負擔。

自1990 年代開始若干歐洲國家 (包括瑞典、丹麥、芬蘭、挪威、荷蘭) 開始應用以上的研究成果，推動綠色稅制改革 (green tax reform)，也就是在稅收中立的原則 (revenue-neutrality) 下，推動三個互補政策：刪減有害環境的價格補貼、引進新的能源與環境稅、重

整現有稅制以消除稅的扭曲，希望藉此讓國家在能源節約、環境保護、經濟發展上達到雙贏的局面（蕭代基、葉淑琦（譯），1998）。

針對綠色稅制改革的理論與實證研究很多，Hamond et al. (1997) 指出，政府課徵碳稅稅收可用於減免其他具有累退性的租稅，改善對所得分配的影響。Metcalf (1999) 使用美國所得動態資料庫 (panel study on income dynamics, PSID) 與消費支出調查資料 (the consumer expenditure survey, CES) 衡量終身所得，利用投入產出模型模擬分析顯示，碳稅配合調降個人社會安全捐或所得稅，碳稅的累退性將有大幅度的減緩。而許多實證研究應用CGE模型或總體計量模型結果顯示雙重紅利是有可能的 (Andersen & Ekins, 2009; Beck et al., 2015; Seung-Joon, Ogawa & Kawakatsu, 2015)，但也有研究顯示環境稅稅收用於減低稅費，例如減徵所得稅，不太可能有第二重紅利效果，認為減低稅費的稅收循環方式雖然可以改善環境稅對經濟的負面影響，但仍無法完全抵免甚至超過達到對經濟的正面效果 (Goulder, 1995)。蕭代基等 (2018) 應用投入產出模型估計台灣實施綠色稅制改革對生產者與消費者之價格、所得分配及二氧化碳減量等之效果，實證結果顯示，綠色稅制改革方案在稅收中立原則下，能改善所得分配不均問題及減少二氧化碳排放量，且生產者與消費者價格上漲幅度不大，對國際競爭力之影響小，可同時達到環境保護、經濟效率、社會公平之目標，也可以達到改善財政收支、降低累積未償國債餘額的財政永續效果；在支出面，全數稅收均分方案之所得分配不均度改善幅度較大。林晉勗與林師模 (2018) 採用可計算一般均衡模型 (computable general equilibrium, CGE)，發現環境稅在我國可以小幅度改善所得分配，若將稅收循環運用可以進一步改善所得分配，對於經濟與社會公平面有正面影響，而若針對中低所得階層減免稅捐可以改善所得分配。

事實上，政治接受度也是綠色稅制改革的重要考量，由於綠色稅制乃一種新稅種，為提高其政治接受度，故自1990年以來許多國家將之置於稅收中立的綠色稅制改革 (revenue-neutral green tax reform)，使之具有環境保護與經濟發展達到雙贏的雙重紅利。為更進一步提高其政治接受度，除了上述之減免其他具有累退性租稅之外，許多學者提倡採用定額移轉 (lump-sum) 的方式，將環境稅稅收以每人等額的方式發還全民 (Baker III et al., 2017)，Klenert et al. (2018) 從政治經濟學的角度研究減碳政策的政治接受度，比較多種碳定價機制在所得分配、政治信任、以及政策穩定性各方面的差異，結果發現課徵碳稅且採用定額移轉 (lump-sum) 的稅收循環方式，較能改善所得分配，政治上較為可行。Chewpreecha & Lee (2015) 應用E3ME模型研究環境政策對日本與韓國所得分配的影響，結果顯示在沒有稅收回饋下課徵碳稅具有累退性，藉由同比例減徵消費稅、所得稅或雇主負擔之社會安全捐可以增加GDP，但無法改善所得分配，若是採用定額移轉 (lump-sum) 將稅收以每人等額的方式發還全民，或增加社會安全與社會福利給付，則有助於改善碳稅的累退性。

參、深度減碳目標

為比較評估台灣實施碳稅與FIT對達成2050年二氧化碳淨排放量歸零之深度減碳目標的貢獻程度，我們依據IPCC《全球升溫1.5°C報告》建議之全球減碳目標，設定我國深度減碳目標。聯合國跨政府氣候變遷研究小組（IPCC）在2014年發布的《第五次評估報告》（IPCC AR5）中指出，若以2100年的碳濃度不超過450 ppm為控制目標，則2050年的全球排碳量（CO₂e）必須限制在2010年排碳量的30%到60%之間。而在2018年發布的《全球升溫1.5°C報告》（IPCC SR15）更進一步指出，若要顯著的降低氣候變遷的衝擊，我們應將全球暖化的程度限制在不比工業革命前的全球均溫高出1.5°C。要達到這個目標，IPCC SR15對於全球排碳量的限制更嚴，在2030年全球的二氧化碳淨排放量（net CO₂ emissions）應比2010年的排放量少40%到60%，2050年歸零（net zero CO₂ emissions）。

我們根據IPCC《全球升溫1.5°C報告》之目標來設定台灣的深度減碳目標，也就是以2050年二氧化碳淨排放量零為目標，我們將台灣2016年的二氧化碳排放量扣掉當年二氧化碳移除量，得到2016年的淨排碳量為258 MtCO₂e，並從2016年逐年等量遞減至2050年，如表1所示。

IPCC SR15的深度減碳目標比我國政府現行減碳目標的減碳程度較高。我國政府現行溫室氣體減量目標為2020年溫室氣體排放量較2005年排放量（約266 MtCO₂e）減2%，2025年較2005年減10%，2030年較2005年減20%，2050年降為2005年排放量百分之五十以下¹。而二氧化碳排放量約占溫室氣體排放量的95%，因此我們直接以溫室氣體減量百分比目標作為我國政府現行減碳百分比目標，並與我們根據IPCC SR15報告所設定的深度減碳目標每隔五年的排碳量目標比較整理如表1。

表1：台灣深度減碳目標（單位：MtCO₂e）

		2016 (歷史值)	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
淨排碳量目標	IPCC SR15	258	227	190	152	114	76	38	0
的設定依據	我國政府減量規劃	258	261	239	213	193	173	153	133

¹ 2020年和2025年目標是在第一期溫室氣體階段管制目標訂定的（2018年1月23日行政院核定），2030年目標是INDC會議訂定（2015年09月17日行政院核定），2050年目標是《溫室氣體減量及管理法》第4條規定（2015年07月01日總統公布）。2005年溫室氣體排放量約266 MtCO₂e之資料來源為《2017年中華民國國家溫室氣體排放清冊報告》。

肆、政策背景

4.1 再生能源固定收購電價制度

再生能源固定收購電價制度 (feed-in tariffs , FIT) 是對再生能源價格之補貼，是國際上常見的減碳政策之一。與政府補貼再生能源設備不同，FIT是由政府訂定一固定優惠費率保證電力公司會在固定時間內以這個價格收購再生能源業者所產之電力，使再生能源可以與發電成本較低的高碳排放量化石能源競爭，促進再生能源的發展。

FIT制度最早於1978年起源於美國，1990年代歐洲開始實施，目前全球已有70多個國家或地區採用。德國是積極實施FIT制度的一個國家，並且透過FIT制度促進再生能源裝置的廣泛設置與使用，德國自2000年開始實施再生能源法 (Erneuerbare-Energien-Gesetz , EEG)，以固定價格保證收購再生能源電力20年，並訂定再生能源的長期目標，期間配合政府目標與能源情勢，歷經多次的修法。德國對再生能源政策與法令的大力支持，使得風力發電與太陽能等再生能源成功發展，德國再生能源發電量占總發電量的比重在2018年為38.2%。歐洲各國也有實施此制度以發展再生能源的例子 (例如：西班牙、捷克、丹麥與荷蘭等)。

然而，FIT制度也有其缺點，第一，再生能源發電受地形、氣候等因素限制影響，無法持續穩定發電，為了避免供電系統的不穩定，需要其他能源作為發電備援 (backup generator)，通常以天然氣協助供電系統的穩定。德國雖然有很高的再生能源發電占比，但是這也意味需要足夠的其他能源備用容量維持穩定的電力供給。第二，若長期仰賴高於一般電力市場平均交易價格的法定收購費率，並對再生能源發電業者進行財務補貼，除不利於其技術之創新外，同時更會進而導致電價持續上漲而不利於終端之電力消費者。因此德國自2014年以來陸續實施相關措施降低收購費率。

我國自2009年正式實施《再生能源發展條例》以來，即採取FIT制度，國際FIT制度都是將再生能源的採購成本反映到電價上，FIT的費用由民眾負擔，然而，在2019年以前我國卻是由再生能源發展基金支應FIT費用，電價並無反應採用FIT的再生能源發電成本。我國現行電價調整程序繁複，依規定由台灣電力公司擬定電價調整方案後，陳報經濟部交付能源局召開油電價格諮詢委員會議作成建議。依據國際能源總署 (IEA) 2019年之最新統計資料與亞鄰各國電價資料，2018年我國住宅電價為全球第3低，工業電價為全球第5低，我國電價長期因選舉等政治因素考量，均未反映真實發電成本，因此我國實施FIT制度的節能減碳效果受到諸多限制。

4.2 碳稅政策

我國自1997年推動溫室氣體減量專法立法工作，環保署草擬「溫室氣體減量法（草案）」，於2006年通過行政院審查，函送立法院進行審議，雖進入立法程序，惟始終未能通過，直至2015年將法案名稱修正為《溫室氣體減量與管理法》，立法院三讀通過，2015年7月總統公布施行。《溫室氣體減量及管理法》明定我國溫室氣體長期減量目標為2050年降為2005年的50%，第五條之三明訂「依二氧化碳當量，推動進口化石燃料之稅費機制，以因應氣候變遷，並落實中立原則，促進社會公益」，提供我國實施碳稅或碳費的法源依據，但是迄今政府仍未開始依法推動碳稅或碳費。

伍、預期政策效果

5.1 電力公司如何決策²

對於具自然獨佔性質的電業，政府依據發電收益等於發電成本加正常利潤的原則，管制電價。對電力公司而言，化石能源或再生能源的發電收益都是發電量乘以電價，但是其發電成本相差甚大。電力公司面對FIT與碳稅兩種經濟工具時，會選擇使用發電成本較低的發電能源，也就是當式（1）成立時，電力公司會使用再生能源發電：

$$\text{再生能源發電成本} - \text{FIT} \leq \text{化石能源發電成本} + \text{碳稅} \quad (1)$$

反之使用化石能源發電。

因此，以再生能源的裝置容量與發電量來看，個別採用碳稅或FIT都有促進再生能源發電的效果，但兩者對於減碳的效果會差異不小。Baumol & Oates（1975，1988）應用經濟理論特別指出，課徵等值的污染稅與污染減量補貼在短期都能減少污染排放，達到相同的減量效果，然而，在長期下，由於廠商可以自由進出市場，補貼之下的總汙染量會較大。由於FIT是根據發電量之補貼，因此我們在比較碳稅與FIT兩種政策的減碳效果時，需要注意的第一點是碳稅是針對二氧化碳排放量課徵固定單位稅額，提高化石能源的發電成本，FIT則是根據發電量補貼再生能源，可以降低電力公司的再生能源發電成本。第二點則是再生能源與化石能源發電的替代程度問題，如果我們假設再生能源會優先取代排放係數較高的燃煤發電，若完全

² 於此，電力公司乃指具有發電、輸配電及售電等業務的完整電力公司，在台灣，即台灣電力公司。

取代，則再生能源發1度電可以減少排放量約0.0008公噸二氧化碳。但是問題是，FIT政策是否能促使電力公司使用再生能源發電完全取代燃煤發電，或只是使用再生能源增加發電量，沒有取代燃煤發電，仍繼續排放溫室氣體與空氣污染物，這需視電價是否因FIT而提高及電力需求彈性的大小；另一方面，面對碳稅，電力公司要降低碳稅支出，唯一且有效的方式就是減少化石能源發電（煤、油、LNG），尤其是燃煤發電，因此碳稅可以大幅減少二氧化碳排放量，並且為了替代減少的燃煤發電，勢必會使用較為乾淨的再生能源進行發電，既使沒有對再生能源的FIT補貼。

因此，碳稅或FIT對電價的影響對於節能減碳甚為重要，FIT是根據再生能源發電量之補貼，E3ME模型中之FIT補貼的效果有二，首先，可以降低再生能源發電成本，根據（1）式，電力公司有增加再生能源發電的誘因，其次，FIT會提高電力公司的發電成本與電價，因為對電力公司而言，FIT是政府規定電力公司必須支付給民間再生能源業者或電力公司本身的再生能源發電補貼，因此僅改變電力公司的發電結構，並未改變電力公司的再生能源發電成本，且由於增加再生能源發電量，而提高了電力公司的發電總成本與反應成本的電價。

5.2 電力消費者如何反應

E3ME模型中，對電力公司而言，碳稅與FIT的實施都會使得電力公司發電成本增加，電力公司會反映成本，提高電價，消費者面臨提高的電價，根據其電力需求彈性而減少電力需求。

陸、研究方法

6.1 E3ME-FTT 總體經濟計量模型

E3ME總體經濟計量模型（energy-environment-economy global macro-economic model）是由英國劍橋計量經濟研究中心（Cambridge Econometrics）發展至今屆25年的全球總體計量模型。英國劍橋計量經濟研究中心成立於1978年，是為了推廣發展諾貝爾經濟學獎得主Sir Richard Stone的總體計量模型研究成果而從英國劍橋大學衍生成立的機構，主要研究領域為應用經濟實證分析，提供決策建議。最初為了歐盟執委會研究架構計畫（European Commission's research framework programmes）之需而建立一個能源、環境與經濟整合性總體計量模型，稱為E3MG模型（energy-environment-economy model at the global level），E3ME模型的第一版是在1999年完成，取代先前的E3MG模型，現已廣泛應用於歐盟、英國及世界多國的各種有關能源、環境與經濟的政策分析。最新的E3ME模型版本涵蓋全球共59個地區的經濟、能源與環境系統，經濟系統再分成43個產業部門（歐洲國家包含69個產業部門，其他國

家則為43個部門)，E3ME模型的歷史資料期間從1970年到2014年，能預測到2050年，模型共有28條隨機方程式且具有高度實證性。

E3ME總體經濟計量模型的特點有三：其一為模型涵蓋的國家與產業部門分類詳細，可以針對不同國家與產業做細緻的分析；其二為其理論架構為總體經濟計量模型（macroeconomic model），具有高度實證性，可以分析短期與長期的影響而不受可計算一般均衡（CGE）模型常見的許多假設的限制，在朝長期趨勢發展的同時允許短期與中期的動態調整過程，例如反彈效果（rebound effects）；其三為可以分析全球經濟、能源系統、汙染排放之間的交互作用。

除了總體經濟計量模型部分外，E3ME模型外接技術預測模型（future technology transformations, FTT），FTT是利用工程背景資訊，由下而上建構各產業的技術進步動態模型，預測不同部門的技術變動，最早是J.-F. Mercure開始發展電力部門的技術預測模型（Mercure, 2012），現已擴展至其他部門，包括交通、鋼鐵工業、農業、熱力部門等。FTT模型是以生物學演化理論的掠食者-獵物方程式（Lotka-Volterra equation）為基礎，呈現在生態系中，掠食者族群與獵物族群之間彼此因為獵食關係，所造成族群消長的現象。FTT模型將此概念應用於技術預測，假設各種不同技術之間會因其成長率、退役率、投資金額等因素，造成不同技術在不同年份有消長的情形，以此來預測國家未來的技術發展。FTT模型再將這些技術預測結果回饋至E3ME模型中的總體經濟計量模型，計算對總體經濟的影響，因此，應用E3ME模型可以結合工程背景的技術預測與總體經濟，估計具實證性的結果，單獨的經濟計量模型如CGE模型或其他總體經濟計量模型無法做到由下而上推估技術創新。

劍橋計量經濟研究中心應用E3ME總體計量模型評估歐盟環境政策的影響，包含歐盟2030年環境目標的影響評估（Pollitt et al., 2015）與歐盟應如何達到2020年溫室氣體減量20%的政策建議分析（Smith et al., 2019）等政策分析研究。亞洲方面，日本與韓國皆有研究團隊應用E3ME總體計量模型進行政策分析，多數研究成果集合在《Low-carbon, Sustainable Future in East Asia: Improving energy systems, taxation and policy cooperation》（Lee, Pollitt & Park, 2015）與《Energy, Environmental and Economic Sustainability in East Asia: Policies and Institutional Reforms》（Lee, Pollitt & Fujikawa, 2019）兩本書中。

我國過去研究環境經濟應用之模型多為可計算一般均衡模型（computable general equilibrium model, CGE model），CGE模型根據新古典經濟學派理論建立，重要假設為完全的知識（perfect knowledge），且會依據理性做最適選擇，CGE模型也假設在勞動市場是充分就業，模型結果為長期均衡結果，短期調整到長期的動態調整過程通常不會被考慮。相較之

下，E3ME總體計量模型將有限知識 (limited knowledge) 納入考慮，因此個體與總體的決策結果不會是最適選擇，現在的決策會受到過去決策影響。

我們使用E3ME總體經濟計量模型進行政策模擬分析的理由有二：其一是「路徑依賴³」或稱錨定效應 (anchoring effect)，意指現在的決策會受過去的決策限制或影響，即使過去的情況已經與現在不相關，仍然會受到過去的決策影響。E3ME總體經濟計量模型是根據過去的歷史資料預判未來，較符合現實情況，具有高度實證價值；其二是可以預估潛在的技術進步所帶動的總合需求面影響，由於CGE模型是根據新古典一般均衡理論，低碳技術創新所帶動的總合需求面的影響在新古典一般均衡理論下是短期效果，而模型結果為長期均衡，因此較難捕捉潛在的技術進步所帶動的總合需求面對經濟的正面效果。E3ME總體經濟計量模型則是根據後凱因斯經濟理論，是需求帶動 (demand-driven) 的模型，在E3ME總體計量模型，實施深度減碳政策會增加電力部門與技術進步研發的投資，從而帶動國家總體投資的增加與總合需求的增加，促進經濟成長。

6.2 情境設定

(1) 基準情境

基準情境 (baseline，或稱business as usual，BAU) 是假設在政府完全不採取任何新的減碳政策，在既有的法律和規範的環境下，市場與資源的運作將一如往常，其他外生變數例如人口變遷等自發形成的情境。在基準情境中，經濟資源照常依據市場法則分配，創新和技術進步也隨著時間經過持續進行。基準情境的建立是為了設定比較的標準，與實施政策後的政策模擬情境結果進行比較，分析政策效果。

本研究基準情境使用國家發展委員會發布的《中華民國人口推估-中推計 (2018年-2065年) 》，且2019-2050年年平均經濟成長率為1.10%，假定依我國行政院原子能委員會對我國核一、核二、核三廠停止運轉年限：核一廠2019年停役；核二廠一號機2022年停役，二號機2023年停役；核三廠一號機2024年停役，二號機2025年停役；2025年以後我國核電廠全數停役。本研究基準情境已隱含FIT自2009年實施至今對於能源及經濟的影響。有關人口成長、經濟成長及核電的基準情境假設整理如表2。

³ Douglass Cecil North (1992) 使用路徑依賴 (path dependence) 解釋經濟與機構的轉型，意指過去的決策會影響現在的決策。

表2：基準情境假設

	單位	2025年	2030年	2035年	2040年	2045年	2050年
人口	萬人	2,359	2,343	2,306	2,246	2,165	2,069
每五年 年平均經濟成長率	%	1.28	1.30	1.08	1.01	1.04	0.90
核電裝置容量	GW	0					

(2) 政策情境

表3為政策情境表。本研究設計多種碳稅政策情境，碳稅與FIT都採用最大潛在費率，在碳稅稅額方面，我們參考瑞典稅額，因為瑞典是最早徵收碳稅（1991年）、同時減少具扭曲性租稅、且為碳稅稅額最高（2018年單位稅額€120/tCO₂）的國家，在減碳及經濟發展方面都有很好的表現。FIT費率則依據E3ME模型基準情境在2020年的發電成本加10%正常利潤設計。⁴⁵在稅收循環方式方面，我們設計四種碳稅循環方案，在每年總稅收不增不減之原則下運用所有碳稅收入，可以避免單純碳稅對經濟成長與所得分配的負面衝擊。四種碳稅循環方案包含：（1）調降營業稅率、個人綜合所得稅率、雇主負擔的社會安全捐率；（2）增加社會安全給付與社會福利給付；（3）定額移轉（以每人等額的方式發還全民現金）；（4）定額移轉與調降營業稅率併行。各政策情境詳細說明如下。

A. 碳稅

第一年單位稅額是€12/tCO₂，每年增加€12/tCO₂，第十年達到€120/tCO₂，（€120/tCO₂參考瑞典碳稅，是目前全球最高的單位稅額），此後也每年增加€12/tCO₂，至2050年為€372/tCO₂。以台幣兌歐元匯率35計算。碳稅收入每年逐年增加，2020年至2050年平均每年碳

⁴ 這是最大潛在費率，因為E3ME模擬的FIT制度是：（1）首先，電力公司補貼再生能源業者FIT，（2）其次，再按電價收購再生能源發電量，因此再生能源業者的收入包括FIT和電價，（3）此FIT費率使用於2020-2050年，沒有如各國FIT逐年調降FIT，而E3ME中之再生能源均化成本是遞減的。

⁵ 本研究之FIT政策情境與我國制度與現況之差異包括（1）FIT費率乃使用E3ME模型基準情境在2020年的各再生能源發電成本加10%正常利潤設定，此與我國電業電價費率計算公式類似，但我國電業電價計算合理利潤的投資報酬率是3%-5%；此外，經濟部使用的再生能源電能躉購費率公式中沒有加上合理利潤，其使用的平均資金成本率分別是5.25%（一般再生能源）及6.05%（離岸風力），（2）E3ME模型之電價反映所有發電成本，如5.1和5.2所述，包括碳稅與再生能源發電成本，但是長期以來我國電價調整受到許多政治因素影響而無法反映真實的發電成本，以致於節能與減碳效果有限，例如自2009年迄今FIT都沒有反映於電價，碳稅也因為會提高電價而被束之高閣多年。

稅收入約有新台幣一兆元，我國107年賦稅收入為兩兆三千八百六十九億元，2020年至2050年平均每年碳稅收入約為我國107年賦稅收入總額的50%。每五年碳稅稅收整理如表4。

表3：政策情境表

政策工具	單位稅額 / 補貼費率	稅收循環方式	
碳稅 (A)	2020年單位稅額NT\$420/tCO ₂ 之後每年增加 NT\$420/tCO ₂ 至2050年為 NT\$13,020/ tCO ₂	A.0 無，稅收用來減少財政赤字或增加財政盈餘	
		減低稅費	A.1 同時降低營業稅率、個人綜所稅率、雇主負擔之社會安全捐 ⁶
		專款專用	A.2 增加社會安全與社會福利給付
			A.3 定額移轉
FIT (B)	i、陸域風力：3.75 元/度 ii、離岸風力：5.83 元/度 iii、太陽能：3.97 元/度	減低稅費與 專款專用並行	A.4 降低營業稅率 + 定額移轉
		由電力消費者負擔FIT費用	

表4 每五年碳稅收入

碳稅收入	單位	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	億元	1,073	5,230	7,892	10,708	13,729	16,815	19,819

A.0：無稅收循環策略

碳稅稅收用來減少財政赤字或做為財政盈餘。

A.1：稅收循環策略 1：減低稅費

由於後期單位稅額較高，因此減低稅費無法單獨降低其中一種稅率，否則無法維持每年總稅收不變，因此考慮同時降低三種稅的稅率。為維持每年稅收不變，假設稅收有20%用於減徵營業稅，30%用於減徵個人綜所稅，50%用於減徵雇主負擔之社會安全捐⁷，我國個人綜

⁶ 雇主負擔之社會安全捐是指雇用員工時，雇主負擔之部分社會保險占薪資的比率，項目包括勞工保險、健康保險、勞工退休金等。

⁷ 在較低的稅額下單獨調降營業稅率對GDP的效果較大，而營業稅率從5%降至1%在此稅額下最多只需20%的稅收；在較低的稅額下單獨減徵雇主負擔之社會安全捐的效果相較單獨調降個人綜所稅率的對經濟成長與所

所稅之所得級距共分為五組，標準化個人綜所稅率分別乘以不同比例則為五組所得級距的個人綜所稅率。每年稅率營業稅率每年從5%降至1%與4%之間不等，標準化個人綜所稅率從10%降至6%與9%之間不等，雇主負擔之社會安全捐占薪資比率從17%降至12%與16%之間不等。

A.2：稅收循環策略 2：專款專用，增加社會安全與社會福利給付

為了維持每年總稅收不變，社會安全給付與社會福利給付占薪資所得的比例每年從20%增加至22%與32%之間不等。

A.3：稅收循環策略 3：專款專用，定額移轉

為了維持每年的總稅收不變，每人定額移轉現金第一年額度約為新台幣4,547元，由於碳稅稅收逐年增加，每人定額移轉現金也逐年增加，2030年約為新台幣34,032元，至2050年為新台幣99,888元。每五年每人定額移轉金額整理如表5。

表5：每五年每人定額移轉金額

	單位	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
每人定額移轉金額	元	4,547	22,262	34,032	47,238	57,413	80,268	99,888

A.4：稅收循環策略 4：減低稅費與專款專用並行，降低營業稅率 + 定額移轉

為了維持每年的總稅收不變，假設有 20%稅收用於減徵營業稅，80%用於定額移轉，則營業稅率每年從 5%降至 1%與 4%之間不等，每人定額移轉金額第一年約為新台幣 3,643 元，2030 年約為新台幣 27,271 元，至 2050 年為新台幣 80,271 元。

表6：碳稅稅收用於減低稅費與專款專用並行的每五年營業稅率與每人定額移轉金額

	單位	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
營業稅率	%	4.59	3.10	2.29	1.84	1.50	1.32	1.25
每人定額移轉金額	元	3,643	17,841	27,271	37,918	50,370	64,518	80,271

得分配較有正面的影響，且稅率較高，因此選擇稅收50%用於減徵雇主負擔之社會安全捐，30%用於減徵個人綜所稅。

B. 綠電收購 (FIT)

本研究考慮最大潛在費率，以 E3ME 模型基準情境在 2020 年各綠電發電技術的均化發電成本加上 10% 的正常利潤做為該技術壽命內每年的收購費率，由於我國在風力發電與太陽能發電上有相對較大的技術潛力，因此僅針對陸域風力、離岸風力、太陽能進行綠電收購。費率如下，陸域風力：3.75 元/度、離岸風力：5.83 元/度、太陽能：3.97 元/度。

柒、實證結果

7.1 對電力結構的影響

圖 1 呈現基準情境及碳稅與 FIT 兩種政策情境下之電力結構，由於各種碳稅稅收循環方案的電力結構相似，故未顯示於圖 1。2018 年的總發電量為 275,578 百萬度，其中，燃煤與燃氣發電占比分別為 47.62% 與 33.54%，核能 10.05%，再生能源 4.59%。在基準情境，2030 年的燃煤發電占比增加至 65.03%，燃氣 24.78%，再生能源發電占比不及 5%。課徵碳稅後，總發電量大幅下降至 165,963 百萬度，其中再生能源發電約 24,980 百萬度，占比達 15.05%；實施 FIT 後，電力公司有增加使用再生能源發電的誘因，再生能源的裝置容量與發電量也會因此增加，然而電價上升較少，用電量減少較少，因此 FIT 情境下的再生能源發電占比遠小於碳稅的再生能源發電占比。

碳稅或 FIT 都會使得再生能源技術的裝置容量增加，其對於均化發電成本的影響乃透過兩個因素：學習效果和資源限制。以陸域風力與太陽能為例，因累積裝置容量的投資，透過 FTT 模型中的學習效果 (learning by doing) 的參數，使得陸域風力與太陽能的均化發電成本較基準情境下降，在政策實施後約十年內會下降較多，但之後由於投入資源限制 (如土地、人力、資本等等)，致使邊際成本遞增，下降幅度會趨緩。至於離岸風力，政策實施後約五年內其均化發電成本會小幅度下降，但之後由於資源限制會使得離岸風力的均化發電成本較基準情境大幅增加，然而相較 FIT，碳稅會在實施十年以後，因累積裝置容量的投資，而使得離岸風力均化成本增加的幅度逐年下降。因此就促進技術進步的效果來看，我們發現碳稅是更為有效的經濟工具。

另外，雖然有開始發展「負排碳」技術，例如：碳捕獲及封存 (carbon capture and storage, CCS) 技術，但 CCS 加各種化石能源發電占比最多也僅約 7%。綠電收購與碳稅政策都可以增加再生能源的發電量，兩者之間的關鍵差別是：碳稅可以大幅提高電價，進而減少總發電量，且減少燃煤發電量，使發電結構較為乾淨；而單純的綠電收購電價上升幅度較小，消費者用電量減少較少。

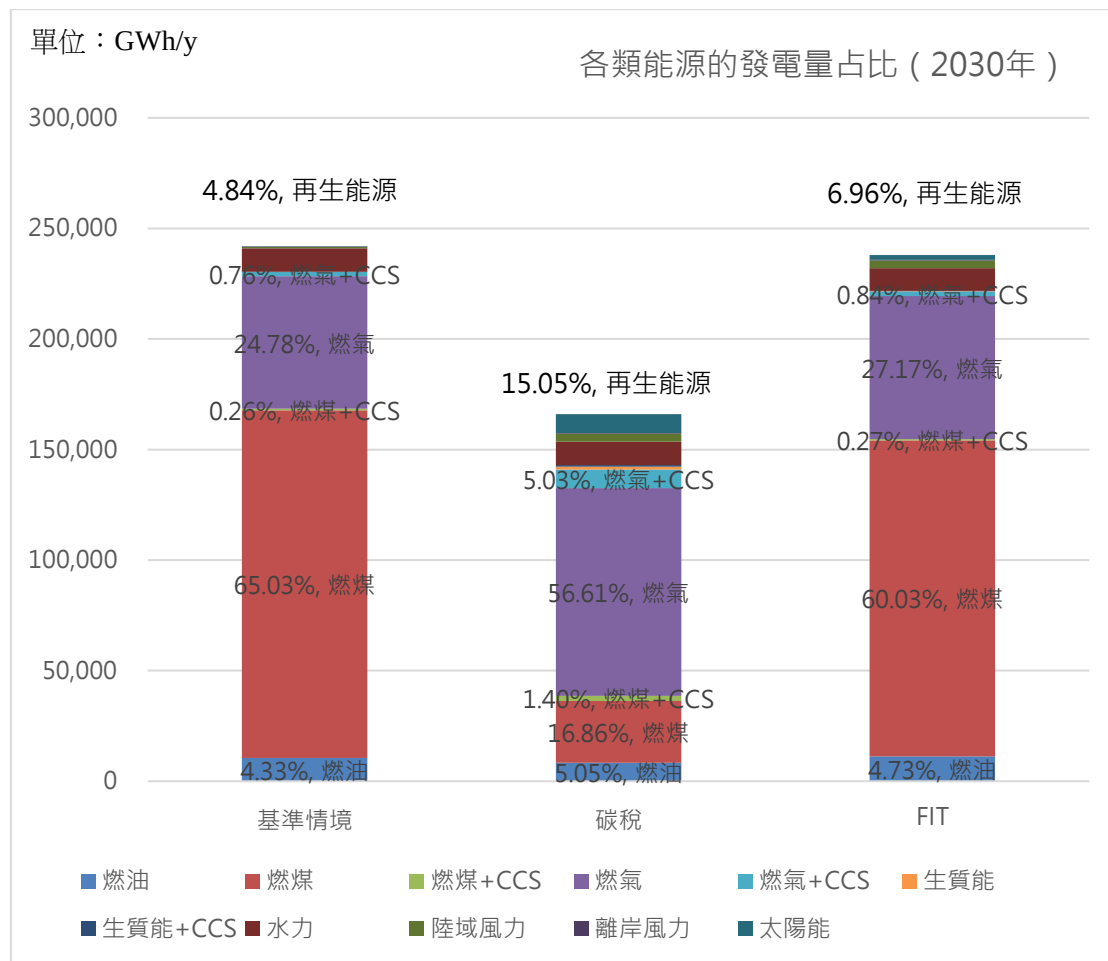


圖1：綠電收購與碳稅政策下各類能源的發電量占比 (2030年)

7.2 減碳效果

圖 2 呈現各種政策情境下之減碳效果，由於各種碳稅稅收循環方案的減碳效果相似，故未顯示於圖 2。2016 年我國二氧化碳排放量為 258 MtCO₂e，在基準情境 2030 年為 308 MtCO₂e，綠電收購後僅少量減至 297 MtCO₂e，若課徵碳稅可減少約一半的排碳量，2030 年為 166 MtCO₂e，若考慮稅收循環，雖由於會促進經濟成長而有抵銷碳稅的減量效果，但最多僅增加 0.16%，抵銷效果甚微。課徵碳稅可以有效減少二氧化碳排放量，在十年內達到較為嚴格的 IPCC《全球升溫 1.5°C 報告》的減碳目標，但若要達到長期的減碳目標，依照目前的減碳技術展望，並且保持經濟成長的前提下，台灣很難在三十年之內完全淘汰化石燃料的使用，全用零排碳能源。需要更成熟的負排碳技術，例如「碳補捉與碳封存」(carbon capture and storage, CCS) 和「生物能源暨碳補捉與碳封存」(bioenergy with carbon capture and storage, BECCS)。

BECCS) 以及政治與社會制度的協助。

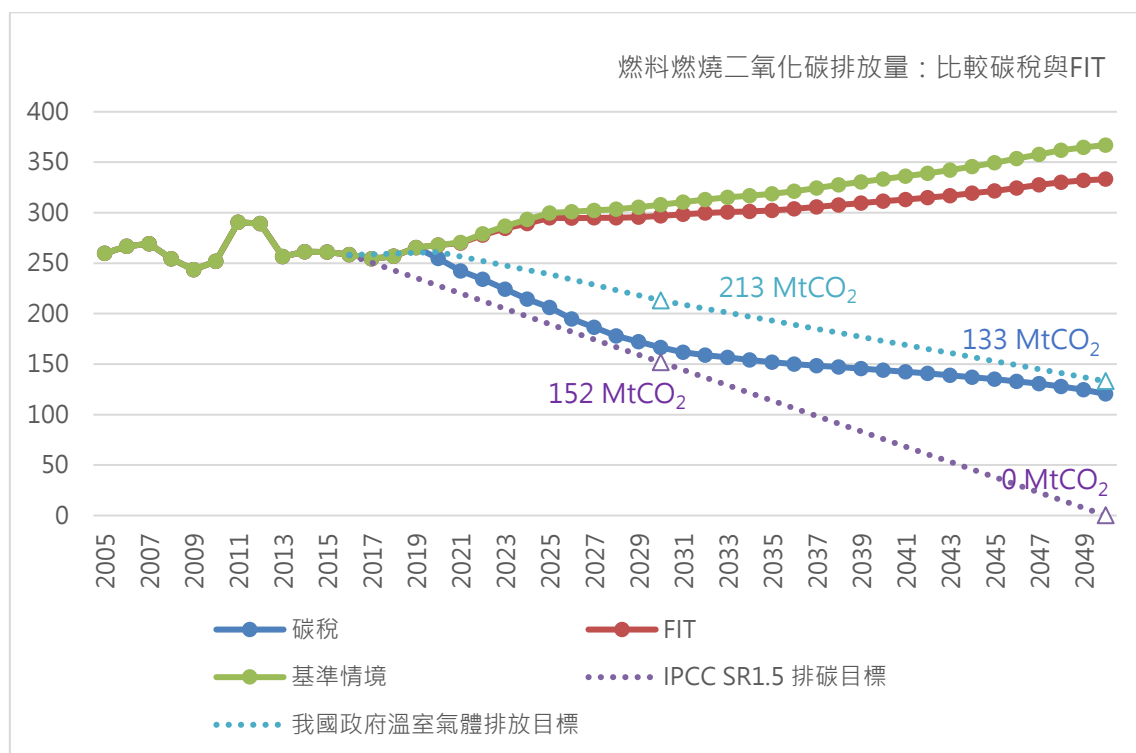


圖2：綠電收購與碳稅情境下的燃料燃燒碳排放量

7.3 總體經濟效果

圖 3 呈現各種政策情境之 GDP 相對於基準情境 GDP 的增減百分比。由圖 3 可知，課徵碳稅若稅收歸入國庫而不做其他用途，對總體經濟有明顯的負面影響，各種稅收循環方案可以顯著抵銷碳稅對總體經濟的衝擊，而把各年的 GDP 相對於基準情境提升 2.0% 以上，其中，「同時降低營業稅率、個人綜所稅率以及雇主負擔之社會安全捐」的稅收循環方案甚至可以提升 GDP 水準最高至 4.14%；稅收用於「增加社會安全給付與社會福利給付」與稅收用於「定額移轉」兩種方案對 GDP 的影響差異很小，圖形中兩線幾乎重疊；稅收用於「降低營業稅率與定額移轉」在長期而言的總體經濟效果較好；FIT 對 GDP 有負面但不大的影響。

7.4 所得重分配效果

圖 4 顯示各種稅收循環方案的所得重分配效果。若碳稅收入歸入國庫而不做其他用途，每一所得組的可支配所得都降低相似幅度，各種稅收循環方案可以抵銷碳稅對可支配所得的負面衝擊，其中，「增加社會安全給付與社會福利給付」以及「定額移轉」對所得分配有明

顯改善傾向，尤其「定額移轉」對所得分配程度的改善程度較大，也就是較低所得組的提高幅度較大。總體而言，「降低營業稅率與定額移轉」的稅收循環策略，較能平衡碳稅的總體經濟衝擊並改善所得分配，既增加可支配所得幅度較多，也有改善所得分配的效果。

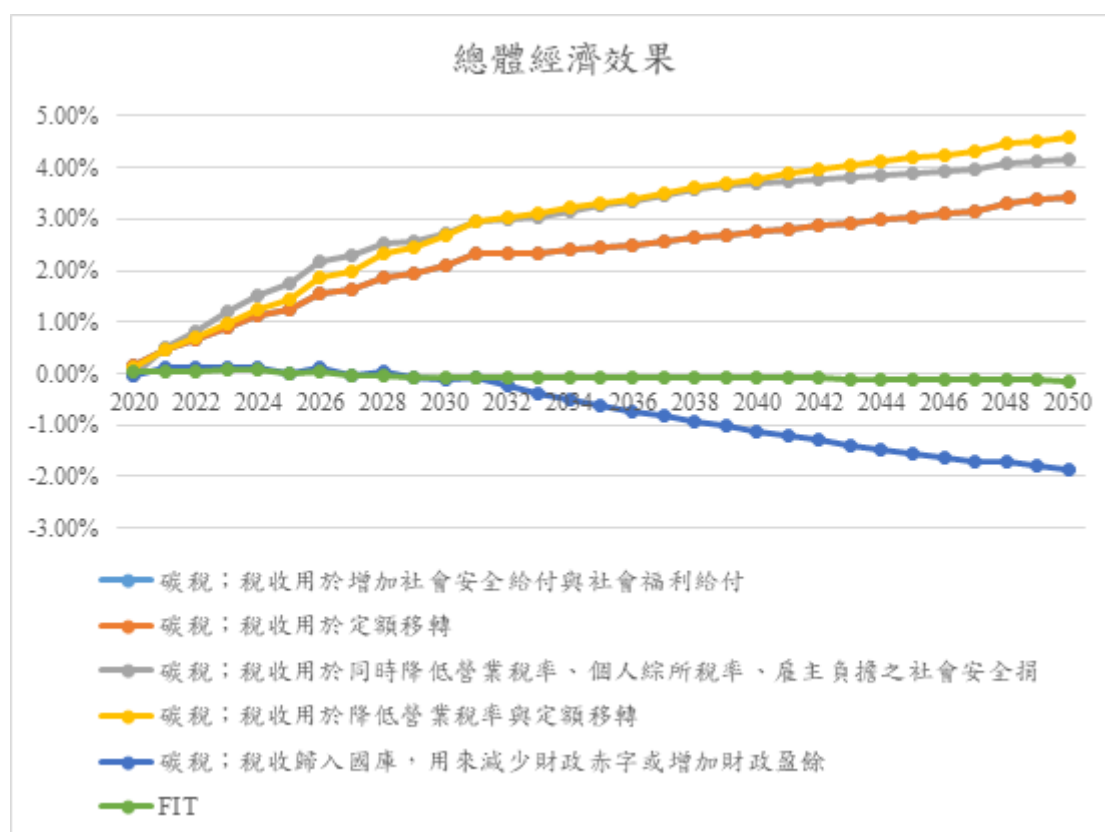


圖3：各種政策情境之總體經濟效果

捌、深度減碳政策建議

我們應用 E3ME 總體經濟計量模型進行政策模擬分析，結果發現：（1）碳稅的節能與減碳效果較 FIT 大很多，以 2030 年為例，相較基準情境，實施碳稅的總發電量減少約 31%，FIT 僅減少約 1.6%；碳稅的減碳幅度約 46%，FIT 則僅減碳 3.6%；（2）碳稅與 FIT 都可增加再生能源發電量，然而在 FIT 情境的再生能源占比少於碳稅情境的占比，分別為 15%與 7%；（3）FIT 對經濟成長與所得分配有小幅但負面的影響；而碳稅若搭配各種稅收循環策略可以在僅微小損及減碳成效下同時避免經濟衝擊，顯著抵銷單純碳稅對經濟成長與所得分配的負面衝擊，甚至有正面影響。

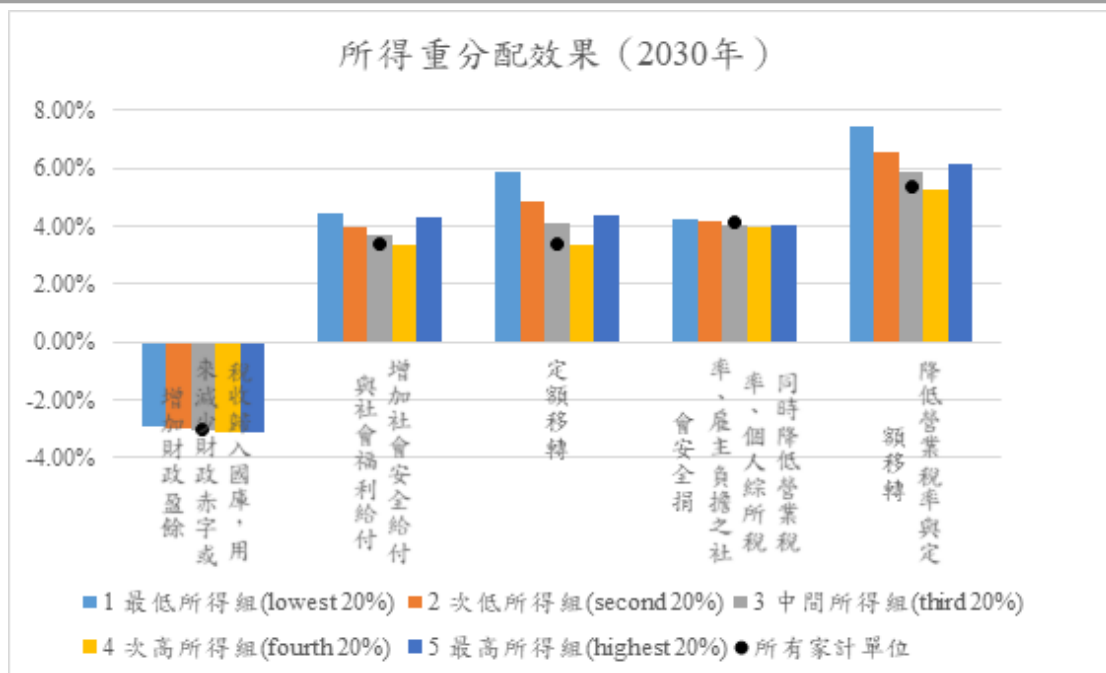


圖4：稅收循環方案的所得重分配效果

根據政策模擬分析結果，我們提出深度減碳政策建議如下：

(1). 訂定深度減碳的目標

台灣應當配合 IPCC《全球升溫 1.5°C 報告》所提議的全球排碳目標，來設定未來三十年間台灣各年的目標排碳量。

(2). 能源稅或碳稅是深度減碳的必要工具

使用 FIT 制度收購綠電是各國通行的減碳政策，FIT 雖可促進再生能源技術的實現，卻沒有替代燃煤發電的效果，因此減碳的幅度小。相較之下，課徵碳稅可以大幅提高電價，直接促使消費者節能，減少電力消費量，且促使發電業者減少燃煤發電量，達到減碳效果。因此，若要達到深度減碳的目標，課徵適當額度的碳稅是必要的。

(3). 能源稅或碳稅必須搭配適當的稅收循環方案，不但抵銷碳稅本身對總體經濟或所得分配所可能帶來的負面衝擊，且提高經濟成長率與可支配所得，並改善所得分配，可提高公眾接受度與政策穩定性。課徵碳稅但減低其他稅費作法可抵銷碳稅對總體經濟的負面衝擊，且提高經濟成長率與可支配所得，並改善所得分配；定額移轉方案和「增加社會安全給付與社會福利給付」等配套方案都能改善所得分配。

綜上所述，「降低營業稅率與定額移轉」的稅收循環策略，較能平衡碳稅的總體經濟衝擊並改善所得分配，既增加可支配所得幅度較多，也有改善所得分配的效果，是較值得採行的方案。

參考文獻

一、中文部分：

1. 林晉勗與林師模，2018，「我國新能源政策下碳稅對3E及所得分配之影響分析」，行政院原子能委員會委託研究計畫研究報告，中原大學應用經濟模型研究中心。
2. 洪瑋嶸，2018，「再生能源是否需要大量補貼」，核能研究所，能源簡析。
3. 蕭代基、林師模、林晉勗與詹偉志，2018，「台灣綠色稅制改革對所得重分配效果之影響」，發表於台灣環境與資源經濟學會學術研討會，台北：交通大學台北校區，12月1日。
4. 蕭代基、陳明真、陳筆、黃耀輝、洪志銘與黃德秀，2009，「綠色稅制之研究」，蕭代基（主持），財政部賦稅署（委託），PG9708-0118，台北：中華經濟研究院。
5. 蕭代基、葉淑琦（譯），1998，綠色稅制改革－OECD最新環境稅報告（Environmental Taxes and Green Tax Reform，OECD），台灣地球日出版社。

二、英文部分：

1. Ambec, S., Cohen, M. A., Elgie, S., & Lanoie, P. (2013). The Porter hypothesis at 20: can environmental regulation enhance innovation and competitiveness?. *Review of environmental economics and policy*, 7(1), 2-22.
2. Andersen, M. S., & Ekins, P. (Eds.). (2009). *Carbon-energy taxation: lessons from Europe*. Oxford University Press.
3. Arimura, T., Hibiki, A., & Johnstone, N. (2007). An empirical study of environmental R&D: what encourages facilities to be environmentally innovative. *Environmental policy and corporate behaviour*, 142-173.
4. Bailey, M. J. (1982). Externalities, Rents, and Optimal Rules. *Sloan Working Paper in Urban Public Economics* 16-82, Economics Dept., University of Maryland.
5. Baker III, J. A., Feldstein, M., Halstead, T., Mankiw, N. G., Paulson Jr, H. M., Shultz, G. P., Stephenson, T., & Walton, R. (2017). The conservative case for carbon dividends. Climate Leadership Council.
6. Baumol, W. J., & Oates, W. E. (1975). *The theory of environmental policy*, 1st. ed.. Englewood Cliffs, NJ.
7. Baumol, W. J., & Oates, W. E. (1988). *The theory of environmental policy*, 2nd. ed.. Cambridge University Press.

8. Beck, M., Rivers, N., Wigle, R., & Yonezawa, H. (2015). Carbon tax and revenue recycling: Impacts on households in British Columbia. *Resource and Energy Economics*, 41, 40-69.
9. Bramhall, D. F., & Mills, E. S. (1966). A note on the asymmetry between fees and payments. *Water Resources Research*, 2(3), 615-616.
10. Bürer, M. J., & Wüstenhagen, R. (2009). Which renewable energy policy is a venture capitalist's best friend? Empirical evidence from a survey of international cleantech investors. *Energy policy*, 37(12), 4997-5006.
11. Cambridge Econometrics (2014), E3ME Version 6 Model Manual, Retrieved August 23, 2019, from <https://www.camecon.com/how/e3me-model/e3me-manual/>
12. Chewpreecha, U., & Lee, T. Y. (2015). The distributional effects of low carbon policies in Japan and South Korea. In *Low-carbon, Sustainable Future in East Asia: Improving energy systems, taxation and policy cooperation* (pp. 171-189).
13. Cramton, P., MacKay, D. J., Ockenfels, A., & Stoft, S. (2017). Global carbon pricing: the path to climate cooperation. The MIT Press.
14. European Commission (2008). The support of electricity from renewable energy sources. Commission Staff Working Document (SEC (2008) 57).
15. Goulder, L. H. (1995). Effects of carbon taxes in an economy with prior tax distortions: an intertemporal general equilibrium analysis. *Journal of Environmental economics and Management*, 29(3), 271-297.
16. Grösche, P., & Schröder, C. (2014). On the redistributive effects of Germany's feed-in tariff. *Empirical Economics*, 46(4), 1339-1383.
17. Hamond, M. J., DeCanio, S. J., Duxbury, P., Sanstad, A. H., & Stinson, C. H. (1997). Tax waste, not work. *Challenge*, 40(6), 53-62.
18. Hicks, J. R. (1932). *The theory of wages*, 1st ed. London: Macmillan.
19. IPCC (2018). Global warming of 1.5°C. Retrieved August 23, 2019, from <https://www.ipcc.ch/sr15/>
20. Johnstone, N., Haščič, I., & Popp, D. (2010). Renewable energy policies and technological innovation: evidence based on patent counts. *Environmental and resource economics*, 45(1), 133-155.
21. Klenert, D., Mattauch, L., Combet, E., Edenhofer, O., Hepburn, C., Rafaty, R., & Stern, N. (2018). Making carbon pricing work for citizens. *Nature Climate Change*, 8(8), 669.
22. Lee, D. R., & Misiolek, W. S. (1986). Substituting pollution taxation for general taxation: Some implications for efficiency in pollutions taxation. *Journal of Environmental Economics and Management*, 13(4), 338-347.
23. Lee, S., Chewpreecha, U., Pollitt, H., & Kojima, S. (2018). An economic assessment of carbon tax reform to meet Japan's NDC target under different nuclear assumptions using the E3ME model. *Environmental Economics and Policy Studies*, 20(2), 411-429.
24. Lee, S., Liu, X., & Matsumoto, K. I. (2015). Energy systems and environmental policy in East Asia. In *Low-carbon, Sustainable Future in East Asia* (pp. 27-54). Routledge.
25. Lee, S., Pollitt, H., & Fujikawa, K. (Eds.). (2019). *Energy, Environmental and Economic Sustainability in East Asia: Policies and Institutional Reforms*. Routledge.
26. Lee, S. C., Pollitt, H., & Park, S. J. (2015). Introduction to the modeling in this book. In *Low-carbon, Sustainable Future in East Asia: Improving energy systems, taxation and policy cooperation* (pp 29-41). Routledge.
27. Mercure, J. F. (2012). FTT: Power: A global model of the power sector with induced technological change and natural resource depletion. *Energy Policy*, 48, 799-811.
28. Mercure, J. F., Pollitt, H., Chewpreecha, U., Salas, P., Foley, A. M., Holden, P. B., & Edwards, N. R. (2014). The dynamics of technology diffusion and the impacts of climate policy instruments in the decarbonisation of the global electricity sector. *Energy Policy*, 73, 686-700.

29. Mercure, J. F., Pollitt, H., Edwards, N. R., Holden, P. B., Chewpreecha, U., Salas, P., ... & Vinuales, J. E. (2018). Environmental impact assessment for climate change policy with the simulation-based integrated assessment model E3ME-FTT-GENIE. *Energy strategy reviews*, 20, 195-208.
30. Metcalf, G. E. (1999). A distributional analysis of green tax reforms. *National tax journal*, 655-681.
31. Nelson, T., Simshauser, P., & Kelley, S. (2011). Australian residential solar feed-in tariffs: industry stimulus or regressive form of taxation?. *Economic Analysis and Policy*, 41(2), 113-129.
32. Newell, R. G., Jaffe, A. B., & Stavins, R. N. (1999). The induced innovation hypothesis and energy-saving technological change. *The Quarterly Journal of Economics*, 114(3), 941-975.
33. Nordhaus, W. D., and Boyer, J. (2000). *Warming the world: economic models of global warming*. MIT press.
34. Ogawa, Y., Mercure, J. F., & Lee, S. (2015). Modeling the power sector in East Asia: economic and environmental impacts of the choices of power sources. In *Low-carbon, Sustainable Future in East Asia* (pp. 89-98). Routledge.
35. Pearce, D. (1991). The role of carbon taxes in adjusting to global warming. *The economic journal*, 101(407), 938-948.
36. Pechman, J. A., & Okner, B. A. (1974). *Who Bears the Tax Burden?* Studies of Government Finance Series.
37. Pigou, A. C. (1932). *The economics of welfare 4th*. Basingstoke: Palgrave Macmillan.
38. Pollitt, H., Alexandri, E., Chewpreecha, U., & Klaassen, G. (2015). Macroeconomic analysis of the employment impacts of future EU climate policies. *Climate Policy*, 15(5), 604-625.
39. Popp, D. (2002). Induced innovation and energy prices. *American economic review*, 92(1), 160-180.
40. Popp, D. (2003). Pollution control innovations and the Clean Air Act of 1990. *Journal of Policy Analysis and Management*, 22(4), 641-660.
41. Porter, M. E. (1991). America's green strategy. *Scientific American*, 264(4), 168.
42. Porter, R. C. (1974). The long-run asymmetry of subsidies and taxes as antipollution policies. *Water Resources Research*, 10(3), 415-417.
43. Poterba, J. M. (1991). Is the gasoline tax regressive?. *Tax policy and the economy*, 5, 145-164.
44. Poterba, J. M. (1991). *Tax policy to combat global warming: on designing a carbon tax* (No. w3649). National Bureau of Economic Research.
45. Seung-Joon, P., Ogawa, Y., & Kawakatsu, T. (2015). The double dividend of an environmental tax reform in East Asian economies. In *Low-carbon, Sustainable Future in East Asia* (pp. 147-165). Routledge.
46. Smith, A., Chewpreecha, U., Mercure, J. F., & Pollitt, H. (2019). EU Climate and Energy Policy Beyond 2020: Is a Single Target for GHG Reduction Sufficient?. In *The European Dimension of Germany's Energy Transition* (pp. 27-43). Springer, Cham.
47. Terkla, D. (1984). The efficiency value of effluent tax revenues. *Journal of Environmental Economics and Management*, 11(2), 107-123.
48. Tullock, G. (1967). Excess benefit. *Water Resources Research*, 3(2), 643-644.