

# 整合臺灣能源供需情境模擬之溫室氣體減量成本分析

朱証達<sup>1\*</sup> 吳振廷<sup>1</sup> 郭瑾璋<sup>2</sup> 洪明龍<sup>3</sup>

## 摘要

邊際減量成本分析已在國內外廣泛應用於推估能源技術節能與減碳潛能，以作為政府擬訂未來能源發展策略之重要依據。而臺灣2050能源供需情境模擬器(Taiwan 2050 Calculator)為工業技術研究院與英國政府合作建構之一系列工具，藉由組合能源供給部門、住商部門、工業部門、運輸部門等不同技術之未來發展情境，以技術端的角度探討未來不同能源組合發展情境之下，對社會各層面之衝擊，包含能源安全、能源價格及環境衝擊等。本研究為基於臺灣2050能源供需情境模擬器之模型架構下，以既有130項技術發展情境之設定，整合建構成69項技術或措施之減量成本分析計算。

本研究中的減量成本分析是以未來不導入新技術或措施為基準情境，計算原本在臺灣2050能源供需情境模擬器已經定義好的積極情境與前瞻情境之能源消費量與成本投入，這些數值與基準情境之差異即為節能量與增額成本投入，接著帶入各類能源未來推估之排放係數與能源價格即可獲得減量成本數值。本研究將呈現各項目減量成本計算結果，並以部門別呈現上述各項數值結果。所納入計算之項目中，以電力部門相關技術與措施最具排放減量潛力，而以運輸及照明相關項目最具減量淨效益。而總二氧化碳排放減量潛能於2030年，在積極情境下約為150百萬噸，在前瞻情境則約為200百萬噸。

國際上邊際減量成本分析之運用逐漸廣泛，其相關研究結果可作為未來能源開發或產業發展策略上之重要依據。因為技術進步，各技術與措施之數據結果隨時間有所不同，決策者可依此擬訂未來特定節能或排放減量目標下的行動方案。

**關鍵詞：**邊際減量成本、2050 Calculator、節能減碳潛能、能源供需情境

## 1. 前言

英國為推動溫室氣體排放減量最積極的國家之一，不斷藉由與研究單位和民間顧問公司合作進行多項能源與減碳工程模型之研究，以推估未來能源、經濟及環境之發展情境。在2010年英國政府透過企業、非政府組織、技術領域和學術界專家的協助共同建立能源與

減碳情境模擬工具2050 Calculator<sup>4</sup>。英國政府冀由此工具來分析民意，並讓各界意見能充分溝通整合。隨後在2011年底提出『碳計畫』(DECC, 2011)，此報告為未來達成英國第四期(2023-2027年)碳預算(Carbon Budget)之行動規劃方案。此報告引用英國2050 Calculator模型工具之分析結果與英國邊際減量成本模型(UK Marginal Abatement Cost Curve, UK MACC)之成

<sup>1</sup> 工業技術研究院綠能與環境研究所 研究員

<sup>2</sup> 工業技術研究院綠能與環境研究所 資深管理師

<sup>3</sup> 工業技術研究院綠能與環境研究所 資深研究員兼經理

\*通訊作者, 電話: 03-5918412, E-mail: CTChu@itri.org.tw

<sup>4</sup> UK 2050 Calculator <https://www.gov.uk/2050-pathways-analysis>

收到日期: 2014年10月08日

修正日期: 2014年11月30日

接受日期: 2014年12月04日

果，規劃國家未來能源發展之行動策略。目前此兩工具皆被英國政府視為重要的未來能源與減碳分析工具。

近年因應京都議定書生效，行政院於2008年通過『永續能源政策綱領』，目標在於兼顧能源安全、經濟發展及環境保護，以滿足未來世代發展的需要，並創造跨世代能源、環保及經濟三贏的策略。永續能源政策綱領制訂了未來的節能減碳目標，未來8年每年提高能源效率2%以上，使能源密集度於2015年較2005年下降20%以上，並藉由技術突破及配套措施，2025年下降50%以上。減碳目標則為2020年排碳量回到2005年水準；2025年回到2000年水準(經濟部，2008)。並且行政院在2009年5月依此通過節能減碳總計畫，確立未來節能減碳推動執行之目標與架構。

工業技術研究院(以下簡稱工研院)為了協助我國政府研析達成節能減碳目標的最佳策略，並協助民眾理性溝通未來能源開發規劃，於2013年開始與英國政府合作，建構臺灣2050能源供需情境模擬器(Taiwan 2050 Calculator)<sup>5</sup>。此工具結合工研院各前瞻能源技術與節能減碳技術團隊的專業能量，研擬能源供給部門、住商部門、工業部門及運輸部門各技術之能源開發與節能減碳發展情境，並將我國能源供給與需求之本土特性整合至此工具。此模擬工具之產出涵蓋能源、經濟與環境面向之多元指標，讓工具使用者在規劃未來情境時有更通盤的考量。此工具最大特點在於其方便使用，並且核心模型完全公開，因此本研究為基於此公開模型下，建構各技術與措施項目之節能量、節能效益、排放減量潛能、邊際成本投入以及邊際減量淨效益等計算與分析。

## 2. 文獻探討

一般能源工程模型可分為從上而下(Top-down)與從下而上(Bottom up)的模型架構。從上

而下的模型架構，如一般均衡模型(Computable General Equilibrium)，由整體面來探討能源相關政策影響，考量了錯綜複雜的產業結構、政府支出結構、消費者行為、投資行為以及國際貿易等因素，在代表性個人與產業最適選擇下，決定市場供需均衡。此類模型能夠探討能源政策施行後，對於各產業與整體經濟之衝擊影響。另一方面，從下而上的模型，如國際能源總署(International Energy Agency)所推動的MARKAL/TIMES模型，模型核心對技術發展與設定有較細緻的描述，並基於線性規劃運算能源系統發展可能的情境與限制。在滿足能源服務需求量下，以最低成本目標進行能源供需系統規劃。此類工具在能源類別、供需部門、技術與設備項目等有詳盡描述。又或者可將能源工程模型之研究方法論進一步分為能源平衡模型、能源最佳化模型、投入產出模型、能源供需預測模型、經濟計量模型、可計算一般均衡模型等類型。

國際研究上在尋找節能與減碳最有效益的組合時，普遍的作法是評估現行經濟體系中各項可能的技術與措施之減量潛力與成本投入，邊際減量成本曲線分析(Marginal Abatement Cost Curve, MACC)為常用的方法之一。MACC是以單一且一致的方法論來分析跨部門各項節能減碳技術，因此可進行不同措施下的成本投入與減量效果比對。此外，MACC為從下而上的評估模型，可用以檢視在達成減量目標下，各部門節能技術與能源供應技術之可能發展，故可快速提供政府各項技術與措施之減量潛力與投入成本排序，供政府做為後續政策規劃與技術發展的參考。

MACC評估方法最初是源於2006年麥肯錫(McKinsey&Company)公司與瑞典Vattenfall效用公司(Swedish utility Vattenfall)合作發展的全球溫室氣體減排成本曲線，該計畫規劃初始在於希望能領先全球提出一套一致性資料庫，期望能成為溫室氣體減量的討論基礎，並

<sup>5</sup> 臺灣2050能源供需情境模擬器 <http://my2050.twenergy.org.tw/>

呈現出不同部門、區域與處理方式間的相關重要性，進而提供減量成本的實際估算基礎(McKinsey&Company, 2007)。隨後英國產業組織也與麥肯錫共同合作應用MACC模型建立資料庫，用以評估未來各節能減碳措施之潛能與效益潛力，以瞭解現行政策仍需再強化的措施為何(CBI, 2007)。此外麥肯錫也陸續與各國研究團隊建立此模型應用，包含中國大陸、捷克、瑞典、美國、澳洲及德國等<sup>6</sup>。

我國工研院與國科會分別於2011年度建置我國減量成本曲線，以協助政府研擬國內溫室氣體減量策略。國科會依據麥肯錫所提出之MACC模型為基礎，建置臺灣2015、2020、2025及2030年之減量成本曲線，其定義之8個部門共約90項之減量技術手段，結果顯示至2030年當年累積減量潛力約為188百萬噸二氧化碳(國科會, 2013)。而工研院於2011年所建構之臺灣減量成本曲線，考量電力、工業、住宅、服務業、運輸、廢棄物及其他等部門，盤點共78項減量技術，依據新版模型結果，至2025年累積減量潛力約為140百萬噸二氧化碳，至2030年可達215百萬噸(工研院, 2014)。

然兩者研究因對部門涵蓋範圍、減量技術分類、減量潛力定義等邏輯不盡相同，難以直接進行數據結果比較。舉例而言，國科會之研究係依據各項減量技術於某年度之基準與減量情境，設定不同技術成熟度，並推估其技術滲透率及相關限制，以兩種情境之差異作為減量潛力之估算；而工研院則將基準情境之相關參數鎖定於2010年，計算各項減量技術於未來各年度與2010年之差異作為減量潛力之估算。再者，國科會較無技術效率逐年演進之設定，且所評估之相關推估參數，如技術效率演進、燃料價格趨勢，較為採用國際政府或組織所發布之數據；而工研院則將各項技術效率逐年演進之現象納入考量，並多運用本土實際資料作為參數設定。

另一方面，英國在各界已經有許多能源工程相關模型持續地支援英國政府於政策評估與規劃上，但這些工具並無法達到資訊透明及民眾直接溝通之目的。DECC遂在2010年透過各界專家的協助，共同建立能源與減碳情境模擬工具UK 2050 Calculator。此工具本身屬於從下而上的模型架構，統整上百項的能源技術假設，並推估技術成本、能源服務需求及物理限制等資訊去計算各項目發展情境，再由不同項目情境組合結果，堆疊起來以計算總體能源供需、碳排放量、能源成本及能源安全等指標資訊(DECC, 2010)。其計算邏輯並非基於複雜的計量模型或最佳化等方法，而是建構基於技術情境之能源供需平衡模型。主要精神在於設定不同供給技術項目或需求部門的發展情境，系統能迅速的計算出逐年能源平衡狀態及重要指標。

UK 2050 Calculator模型特性和英國其他常用以評估長期減量目標之模型不同，例如UK MARKAL是基於線性規劃找出最適成本技術組合之模型(UCL, 2013)，又如UK MACC則是用以評估在特定時間點最具淨效益技術與措施之模型(UCL, 2011)。這些模型彼此有本質上差異，但透過外部連結方式能彼此整合。英國在2011年公布的『碳計畫』裡描述了未來達成英國第四期(2023至2027年)碳預算(Carbon Budget)之實際行動方案。第四期碳預算之減量規劃，則是基於UK MARKAL及UK MACC等模型去產生相關情境評估結果，英國政府據此擬定行動方案。此外在此報告中，也透過UK 2050 Calculator模型模擬，並提出達成英國2050減量目標的4種情境路徑(2050 Futures)，以供制定未來能源與產業政策參考(DECC, 2011)。

臺灣2050能源供需情境模擬器(Taiwan 2050 Calculator)為工研院與英國政府合作所建構之一系列工具，其核心架構與UK 2050 Calculator模型相似，但其技術項目與部門分類皆不盡相

<sup>6</sup> 麥肯錫國際邊際減量成本合作案例[http://www.mckinsey.com/client\\_service/sustainability/latest\\_thinking/greenhouse\\_gas\\_abatement\\_cost\\_curves](http://www.mckinsey.com/client_service/sustainability/latest_thinking/greenhouse_gas_abatement_cost_curves)



同。這些工具結合工研院過去於能源研究與節能減碳技術專業資料庫，以此研擬我國能源供給部門、住商部門、工業部門、運輸部門等各技術之未來發展情境，並將這些情境設定整合至此工具。同樣的也可以用這些工具探討未來可能能源發展情境之下，對社會各層面之衝擊，包含能源安全、能源價格及環境衝擊等(朱証達等人，2013)。本研究為基於Taiwan 2050 Calculator工具各技術項目假設設定之上，計算出邊際減量成本曲線。

### 3. 研究方法

#### 3.1 減量成本定義

邊際減量成本分析的最終結果通常以邊際減量成本曲線呈現，如圖1所示為麥肯錫所計算之2030年全球減量成本曲線(McKinsey & Company, 2009)。每個區塊的水平寬度代表各措施在該年度相對基準情境可減少的二氧化碳排放(涵蓋所有溫室氣體並折算二氧化碳當

量)，而垂直軸的高度代表該措施在特定年度減少每單位二氧化碳所需額外花費的成本，當減量成本為負值時，則表示該減量技術具成本有效性。此圖依據成本有效性，由左至右排序，越左邊的區塊越具成本有效性，越往右邊則反之。各項技術或措施可能因為時間不同而在減量潛能與投入成本有所差異，因此在不同的時間點做邊際減量成本分析時，這些項目的排列順序或減量程度都會不同。

各減量技術或措施之減量潛力為相對於既有技術的平均效率，及該技術合理之市場應用率(取決於既有技術存量的更新頻率及新增比例)下的結果。本研究將以基準情境來表示未採取特定技術與措施下的情境，以發展情境表示執行特定技術與措施後的結果。而減量成本的主要公式如下：

$$\text{二氧化碳減量} = \text{基準情境碳排放量} - \text{發展情境碳排放量}$$

$$\text{增額成本投入} = \text{發展情境成本投入} - \text{基準情境成本投入}$$

Global GHG abatement cost curve beyond business-as-usual – 2030

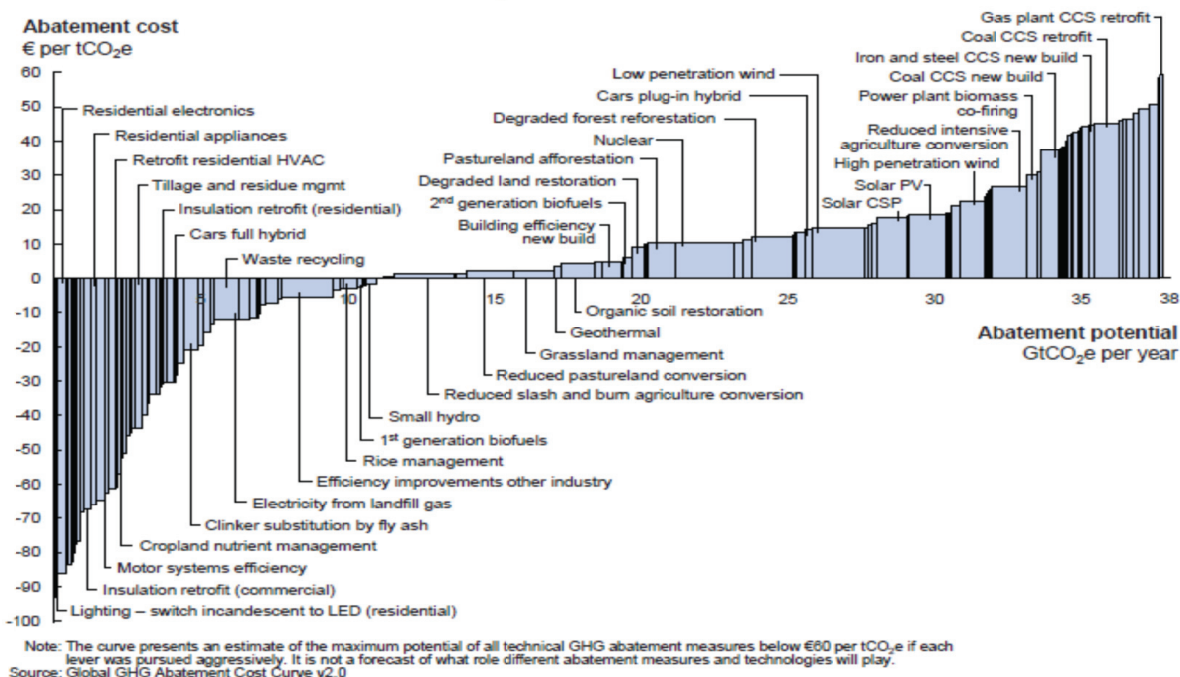


圖1 2030年全球減量情境下之邊際減量成本曲線 (McKinsey & Company, 2009)

減量成本 = 增額成本投入 / 二氧化碳減量

減量成本為兩情境(導入技術或措施前後)的投入成本的差值除上二氧化碳排放量的差值，意義上即為每減少一單位排放量所需的額外成本投入。情境的二氧化碳排放量是由不同能源消費所計算出。而情境的成本投入為發展此技術或推動該措施的成本，包含投資成本(根據使用年限與折現率去攤提每年投入成本)、操作維護成本(含人力與原物料成本)與其他固定或變動成本等。

3.2 基準情境定義

各技術或措施的最終二氧化碳減量，是該技術或措施導入後的發展情境與未導入前的基準情境在二氧化碳排放量的差值。推估基準情境的二氧化碳排放量則必須先推估其能源消費量，如圖2所示。在推估需求部門能源消費量時，Taiwan 2050 Calculator已先對各類設備及部門計算了能源服務需求(Energy Service Demand)，而這些能源服務需求則是由社會經濟資料推估而來。這些能源服務需求並非為對各類能源的實際需求，而是對各種設備的需

求，例如空調能源服務需求是以冷房度日計算，運輸能源服務需求則是或以延人(或延噸)公里計算。對於特定設備需求，可能以不同技術去滿足，例如小客車可由汽油車、柴油車、各種混合動力車及電動車等技術去滿足。接著只要帶入特定設備下未來各技術的效率與滲透率假設，便可計算出此類設備未來的能源消費量。對此，本研究對未來各設備的基準情境大多是將其相關技術設定在2012年的效率與滲透率水準，詳細的設定原則如表1所示。

在供給端方面，Taiwan 2050 Calculator系統對各類能源與電力需求有自動平衡之機制。對非電力的能源，若供給量不足，皆是假設可以藉由進口來滿足系統需求量。在電力方面，系統預設以燃氣發電去平衡電力供需。然而在本研究中，欲推估擴大天然氣所帶來的減量影響，便將系統修正成以燃煤發電平衡電力需求。也因此後續各技術或措施所計算的節電效益是以燃煤發電成本為基準折算，減碳量也是藉由燃煤電廠碳排放系數去換算。擬定供給及需求端對基準情境之假設後，直接將這些設定帶入Taiwan 2050 Calculator系統便可算出各類設備的能源消費量。

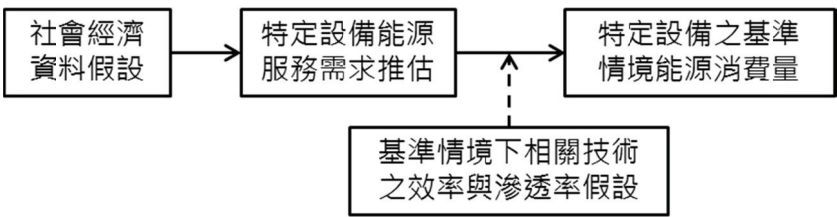


圖2 不同設備於基準情境下能源消費量推估流程示意圖  
(資料來源：本研究製作)

表1 各部門基準情境設定之原則(資料來源：本研究整理)

部門	原則
電力部門	<div>• 除了燃煤外的發電裝置於2012年後維持等量，未來仍會更新與汰換舊電廠，但不會新增電廠</div> <div>• 既有核電廠屆齡除役，並且核四不商轉</div> <div>• 增加燃煤發電設置量，直到補足各需求部門所需之電力</div>
住宅、服務、工業及運輸部門	<div>• 根據Taiwan 2050 Calculator社經資料推估能源服務需求</div> <div>• 各項節能減碳技術未來的技術效率值與滲透率皆以2012年的數值帶入，再帶入能源服務需求計算出各能源消費量</div>

對於基準情境下各技術項目之投入成本設定，則假設相同技術效率在相同市佔比率下未來所需投入成本的推估值。此數值多呈現逐年下降趨勢。對於無可靠文獻之技術項目，則是將未來基準情境之成本假設為同2012年水平。由這些假設即可計算出各類設備在基準情境下未來的成本投入，此成本投入如前所述包含發展各相關技術，或推動相關措施的投資成本、操作維護成本與其他固定或變動成本等，並根據使用年限與折現率去攤提每年投入成本。

### 3.3 發展情境定義

在Taiwan 2050 Calculator系統中已經針對各種技術或措施項目做了不同發展情境下的設定，包含了開發量、技術效率、滲透率及成本假設等。前一小節描述了基準情境的定義與設定邏輯，最後計算出基準情境下各類設備的能源消費量。此一小節則是要討論如何使用Taiwan 2050 Calculator中不同發展情境的設定，計算出導入不同技術或措施後各類設備的能源消費量及成本，即可與基準情境的數值相比計算出增額減碳量與增額成本。

Taiwan 2050 Calculator在情境設定上主要為參考英國之作法，各技術或措施項目未來發展具有4個情境：保守、積極、前瞻及極限。各項目的4個情境選項各有其定義，該系統是依工研院的技術專家之建議去定義並制定每個技術項目的未來4個情境設定，再由國內專家學者共同討論修訂。其中，保守情境定義為未來在此

項目上無作為或不主動推動，其發展讓市場自由運作。積極情境則是未來政府或民間都有一定程度努力於發展該項目上，並須不斷的積極規劃開發、破除市場障礙、逐步提高法規標準並投入新技術開發等，才能達成此情境，此情境之發展也是較接近於目前的政府政策情境。前瞻情境則是比積極情境更為積極發展，除了排除大部分開發或導入市場障礙外，技術發展也需要有重大突破，是相對非常樂觀之情境。最後，極限情境則是指此項目最極端且不計其代價時未來極度樂觀的發展情境，其技術發展或開發量已經接近物理限制，並排除任何可能之發展限制。

本研究在各發展情境定義上直接採用Taiwan 2050 Calculator的積極與前瞻兩項情境，分析導入各技術或措施在此兩發展情境下的排放減量與成本淨投入，而所有分析項目的開發量、技術效率與新技術滲透率，都將直接採用Taiwan 2050 Calculator裡對積極與前瞻情境的設定。因此，本研究中所有情境的定義如表2所示。

如同前一小節基準情境的能源消費量之計算，基於Taiwan 2050 Calculator系統已經計算出的各設備類別或需求部門的能源服務需求，接著只要帶入未來在積極與前瞻情境下特定設備各技術，或措施的開發量、技術效率、新技術滲透率及成本等假設，便可計算出特定設備未來的能源消費量，如圖3所示。而最後只要計算發展情境與基準情境未來各類能源消費量的

表2 基準情境與兩類發展情境設定原則(資料來源：本研究整理)

情境	說明
基準情境	無任何作為下的發展情境，以此為基準分析其他兩情境之減量與成本淨投入。未來各技術或措施的開發量、技術效率、滲透率與成本假設多是設定在2012年的水準。
積極情境	需一定程度的努力與作為，不斷的積極規劃開發、破除市場障礙、逐步提高法規標準並投入新技術開發等，才能達成。此情境之發展也是較接近於目前的政府政策規劃情境。
前瞻情境	需非常積極規劃與行動才能達成之目標，並需要排除更多政策限制或導入更多政策性輔助，科技發展有重大的突破才可達成。雖然情境達成困難度高、挑戰更多並且不確定性更高，但仍是多數專家認為可達成之範圍。



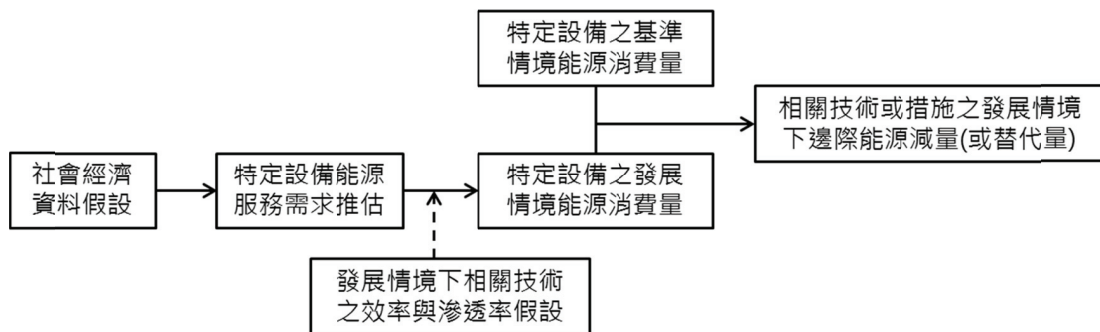


圖3 不同設備於開發情境(積極或前瞻)下能源消費量推估流程示意圖  
(資料來源：本研究製作)

差值，即為導入相關技術或措施的邊際能源減量。對於部分供給端技術來說，此數值意義上為替代量。例如，本研究欲分析再生能源開發所產生的低碳電力取代掉多少高碳排放的燃煤發電，就必須計算出相較基準情境下的電力取代量。

對於各技術或措施投入成本之計算，同樣是基於Taiwan 2050 Calculator系統裡對積極及前瞻兩情境之設定，其考量未來各技術不同技術效率值與市占率時的成本，包含投資成本、操作維護成本與其他固定或變動成本等，並根據使用年限與折現率去攤提每年投入成本。此數值相較於基準情境下的額外投資成本，即所謂的增額投資成本。

上述三種情境，不管是能源消費量或是投入成本之計算，都有考量使用年限的汰換計算，以避免其能源消費量或投入成本重複計算。例如住宅部門導入高效率電冰箱，其使用

年限設定為12年，因此當某年導入一定量的電冰箱後，其12年後的節能量必須以新汰換的產品重新計算，投入成本也以新的產品計算。

### 3.4 排放減量與減量成本計算

前兩個小節計算出兩個發展情境未來逐年的能源減量，意即相較於基準情境下兩個發展情境未來各能源的節能量。這裡的能源減量即是有考量能源使用移轉上的效果，例如推廣電動車將造成汽油使用減少而電力使用增加。同時以能源替代量來表示電力部門不同發電結構上的能源取代，例如增加再生能源所取代原本燃煤發電的節電量，以利後續做二氧化碳減量計算。

在計算出能源減量(或替代量)以後，則可帶入各類能源的碳排放係數去計算出導入特定技術後的二氧化碳排放減量，如圖4所示。在此電力的碳排放係數是以未來燃煤電廠的碳排放

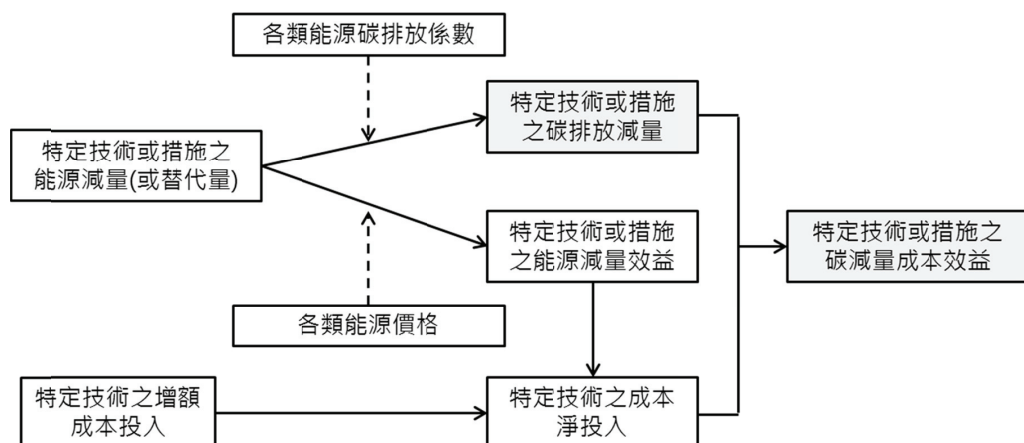


圖4 排放減量與邊際減量成本計算流程示意圖(資料來源：本研究製作)

係數為基礎，因為節電的計算邏輯是以減少燃煤電廠發電為基礎。再生能源發電的減量是以其零排放的發電量取代多少燃煤發電計算，而擴大天然氣發電則是以其發電量乘上其與燃煤發電之電力排放係數之差值計算。此外，帶入未來各類能源價格之假設，則可計算出特定技術的能源減量(或替代量)效益，此即節能帶來的金錢價值或被取代的燃煤發電成本，其數值以負值表示其節能效益所帶來的成本變動。

另一方面，導入特定技術或措施所衍伸的成本則是以相對基準情境的增額成本(Incremental Cost)計算(除了新建電廠外)。此增額成本投入加上能源減量效益(大部分為負值)即成為特定技術的成本淨投入，若此值為正值表示不符成本效益，若為負值則具淨效益。

以此節計算出的特定技術或措施的成本淨投入除上其碳排放減量即是最終的減量成本。若為正值表示導入此技術或措施時，減少每噸二氧化碳排放需較基準情境投入更多的成本，數值越大表示成本越高。若為負值則表示減少每噸二氧化碳排放需要的成本較基準情境低，表示其排放減量具有淨效益。

### 3.5 計算範疇與項目

本研究為基於Taiwan 2050 Calculator系統所建構之邊際碳減量成本分析，因此在研究範疇上皆採用既有之技術或措施項目與假設參數。原Taiwan 2050 Calculator系統有多達130項技術與其4種情境設定，然而本研究略為了簡化其項目與計算，整併了部分技術情境項目，例如將屋頂太陽能與地面太陽能整併為一個項目，窗戶隔熱與外牆隔熱整併為一項，化材業5項製程改善技術整併為一項，各類低碳運輸技術整併為一項等等。本研究所考量之69項技術或措施如表3所示，其情境設定描述整理請參見附錄一。整併部分項目的另一個原因是，部分技術措施在Taiwan 2050 Calculator系統設定裡滲透率的設定是彼此關聯的。不同技術之間彼此有競爭性，若某一技術發展較積極，則其他技術必須減少開發或降低滲透率，因此難以分析導入特定技術措施後的減量。例如在Taiwan 2050 Calculator中的小客車包含汽油車、柴油車、油電混和、充電式油電混合、電動車、氫能車等等，在給定的運輸需求下，各類技術滲

表3 本研究所分析之技術與措施項目及其所屬部門(資料來源：本研究整理)

部門	措施
電力(12)	核四商轉、核能延役、天然氣電廠、燃煤捕獲與封存、陸域風力、離岸風力、太陽光電、地熱發電、廢棄物生質能發電、海洋溫差發電、海流發電、波浪發電
住宅(12)	提升空調設備效率、既有建築隔熱、新建建築隔熱、換置LED燈泡、換置LED燈管、提升冰箱效率、提升開飲機與電熱水瓶效率、提升瓦斯熱水器效率、擴大熱泵熱水器使用、提升烹調設備效率、提升電器設備效率、能源管理系統節能
服務(17)	提升空調設備效率、既有建築隔熱、新建建築隔熱、換置LED燈泡、換置LED燈管、換置LED投光燈、換置LED戶外燈、提升開飲機與電熱水瓶效率、提升瓦斯熱水器效率、擴大熱泵熱水器使用、提升烹調設備效率、提升電器設備效率、辦公室能源管理系統、商店能源管理系統、學校能源管理系統、醫院能源管理系統、旅館能源管理系統
工業(22)	電子業製程能源效率、電子業空壓機能效提升、電子業冰水主機能效、鋼鐵業導入一貫煉鋼節能、鋼鐵業導入電弧爐節能、鋼鐵業空壓機能效提升、鋼鐵業鍋爐能效提升、化材業製程更新、化材業鍋爐能效、化材業空壓機能效、水泥製品業製程能源效率、造紙業製程能源效率、造紙業鍋爐能效、紡織業製程動力效率、紡織業空壓機能效、紡織業鍋爐能效、金屬製品業製程動力效率、金屬製品業空壓機能效、金屬製品業電熱設備能效、金屬製品業加熱爐能效、工業碳捕獲與封存、低溫餘熱發電



透率彼此相關。因此在本研究的計算裡，遂將所有小客車的項目整併成單一小客車低碳化項目。

在此必須強調，本研究整理出之節能減碳技術或措施，並非涵蓋所有未來可採用之技術或措施項目，這裡僅是計算目前已經納入Taiwan 2050 Calculator系統中之情境項目，仍是有很多技術或措施雖具有節能減碳潛力，但未被系統納入計算，例如部分家電設備、商辦大樓電梯、工業部門照明等。另外也有些部門之技術或措施也未納入計算，例如農業部門、食品製造業、塑膠製造業等等能源消費相對較少之部門。

另外需要注意的是，在此盤點出的項目，大部分彼此之間的計算不會相互影響，例如小客車的情境設定不會影響大客車的情境結果。然而燃煤捕獲與封存和大眾運輸利用是唯二例外，因為計算碳捕獲與封存量前必須計算電力需求量，而電力需求量又是由其他技術措施計算出來的結果。例如工業導入更積極的節能措施，則需電量就減少，也導致燃煤捕獲與封存的減量減少。提升大眾運輸之利用，會影響到其他運具之使用，也影響到其節能效果。因此在後續的分析中會將此兩項目獨立出來。

## 4. 結果與討論

### 4.1 排放減量與減量成本結果總覽

整體排放減量與減量成本結果彙整於附錄二，其將不同技術或措施依不同發展情境呈現2020、2030、2040及2050年的結果。不同的技術或措施隨著時間有不同的開發量、技術提升程度或成本降低幅度，因此不同時間點的排放減量與邊際減量成本有所不同。大致而言，不同技術之效率隨著時間進步，排放減量隨著時間與滲透率上升而增加，其減量成本也大多隨著時間而降低。

整體而言，電力部門技術措施相較其他部

門有較顯著的減碳量效果，特別是在核能、天然氣及燃煤CCS。然而此部門大部分項目的減量成本為正值(因其發電成本較燃煤發電成本高)，意思是其所產生的減量效果需要更多的成本投入。住宅與服務部門在空調與LED照明有較明顯的減碳量效果，且這兩項技術措施大部分的邊際減量成本為負值，值得投入。其他項目雖然無明顯減量效果，但是邊際減量成本為負值的項目，如提昇電熱水瓶效率與能源管理系統也是值得投入。工業部門大部分項目邊際減量成本為負值，都是相當值得投入。排放減量較大的項目為電子業製程、化材業製程及工業碳捕捉與封存，然而後兩項之減量成本為正值，較不符成本效益。運輸部門則每項的減量成本都相當的低，其排放減量則以提升大眾運輸利用與小客車低碳化最為顯著，兩項都值得投入。

觀察附錄二彙整結果也可發現，若比較相同技術的前瞻情境與積極情境，前瞻情境各年減碳量一定是大於積極情境，而大部分的前瞻情境的減量成本會比積極情境高，也就是相對要付出更多成本。但有少部分技術項目出現前瞻情境的減量成本會比積極情境低，例如增加天然氣電廠、太陽光電及機車低碳化等等項目，其原因為前瞻情境導入的措施更具淨效益，或前瞻情境在成本設定時已考量較大規模的開發與使用而投入平均成本較低。

表4列出2030年積極情境中最具排放減量潛力之前20大技術或措施。可以發現電力相關措施最具減碳效果，其次為工業與運輸。然而這些減量潛力大的措施約有一半是不具投入淨效益。根據此結果，若同時考量減量潛力與邊際減量成本時，核能延役與核四商轉為最具效益之措施，其次為大規模換置服務業LED燈管。此表的排名會因為比較年分而有不同，例如增加天然氣電廠在2030年以後因發電量持續擴大，減碳量潛力排名便不斷往上升。而目前核電廠延役後，也將在2050年以前陸續除役，因此2050年便無任何減量效果。

表4 2030年積極情境中最具減碳潛力之前20大技術措施 (資料來源：本研究整理)

	年減碳量(百萬噸)				年減量成本(千元/每噸)			
	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
電力-核能延役	9.05	21.94	12.33	0.00	-2.3	-2.3	-2.2	0.0
電力-核四商轉	19.20	18.27	16.90	16.58	-1.7	-1.6	-1.8	-2.0
工業-碳捕獲與封存	3.07	15.32	15.32	15.32	1.4	2.1	2.0	2.4
電力-增加天然氣電廠	0.00	14.91	16.92	19.20	0.0	2.5	3.2	3.6
電力-燃煤CCS	0.00	13.07	41.51	58.25	0.0	1.3	1.4	1.4
服務-換置LED燈管	1.86	10.00	12.43	15.53	-1.6	-2.8	-3.2	-3.6
運輸-大眾運輸利用	2.80	8.47	10.39	11.08	7.4	2.0	-7.2	-22.6
電力-離岸風力	0.83	8.19	11.75	15.43	2.8	2.0	1.8	1.0
工業-電子-製程能源效率	2.63	6.53	9.07	10.89	-1.4	-2.1	-2.4	-2.8
電力-太陽光電	1.97	6.47	7.84	9.28	4.3	2.3	1.1	0.4
運輸-小客車-低碳化	0.85	4.01	5.29	5.51	-5.2	-11.2	-21.1	-39.7
服務-提升空調設備效率	0.76	3.16	5.34	7.10	-0.2	-1.0	-1.0	-1.5
電力-廢棄物生質能發電	0.08	2.62	4.26	4.29	3.7	2.5	2.5	2.2
住宅-提升空調設備效率	0.78	2.19	2.62	2.95	0.2	0.7	1.5	2.3
運輸-大貨車-低碳化	0.76	2.12	2.53	2.79	-11.1	-15.2	-22.2	-33.9
工業-化材-鍋爐能效	0.61	1.90	2.90	4.12	-1.3	-1.7	-2.1	-2.4
工業-化材-製程更新	1.48	1.53	1.44	1.42	2.6	3.1	3.1	2.9
工業-低溫餘熱發電	0.17	1.24	2.56	2.89	-1.5	-2.2	-2.7	-3.0
住宅-換置LED燈管	0.44	1.22	1.89	1.86	-1.4	-2.4	-3.2	-3.6
運輸-小貨車-低碳化	0.21	1.10	1.74	2.07	0.2	-12.3	-22.7	-39.5

表5列出2030年積極情境中減量成本最低之前20大技術措施。可以發現運輸部門相關措施減量成本最低，其次為服務部門與工業部門。然而這些減量成本低的措施大部分排放減量都不高，僅有小客車低碳化、服務部門換置LED燈管及核能延役減碳效果大。各項目減量成本大多隨著時間更具減量效益，但不同措施的排名並無變動太多。

以2030年積極情境繪製成邊際減量成本曲線之結果如圖5所示。最左邊具減量效益之區段主要為運輸部門及工業部門節能項目，反映出表5中最上面幾項。左邊比較大的區塊為核電延役或核四商轉情境，右邊則是電力部門燃煤CCS與增加天然氣等項目，同樣可以由表4中的結果找出對應項目。此曲線大致上接近文獻探討中的麥肯錫與工研院先前建立的版本，但因為評估項目以及對基線之定義不盡相同，無法

直接比較其結果。例如麥肯錫對基線的定義已經隱含部分技術效率的近部，但本研究中的基線是定義為將技術效率與滲透率都固定為2012年水準，因此相同技術項目上本研究所評估之排放減量結果會較大。

## 4.2 排放減量與減量成本部門別分析

本研究礙於篇幅，不針對每項技術措施之結果進行討論。因此本節將僅針對不同部門去分析整體計算流程與結果，討論不同部門的差異結果。

表6呈現各部門所有技術或措施在積極與前瞻情境下的節電量或電力替代量。對電力部門而言，新技術的發電量是用以取代基準的燃煤電廠發電量，因此其意義上為取代量而非節電量。其他部門於表中呈現的數字則為其節電量，其意義上為能源使用效力提升所帶來的電

表5 2030年積極情境中減量成本最低之前20大技術措施 (資料來源：本研究整理)

	年減碳量(百萬噸)				年減量成本(千元/每噸)			
	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
運輸-市區公車-低碳化	0.09	0.18	0.16	0.10	-9.7	-17.9	-26.0	-39.6
運輸-大貨車-低碳化	0.76	2.12	2.53	2.79	-11.1	-15.2	-22.2	-33.9
運輸-小貨車-低碳化	0.21	1.10	1.74	2.07	0.2	-12.3	-22.7	-39.5
運輸-小客車-低碳化	0.85	4.01	5.29	5.51	-5.2	-11.2	-21.1	-39.7
服務-提升烹調設備效率	0.01	0.08	0.11	0.18	-7.4	-10.6	-14.0	-18.3
工業-金屬-加熱爐能效	0.01	0.02	0.02	0.02	-8.1	-9.6	-11.2	-12.8
工業-紡織-鍋爐能效	0.04	0.08	0.09	0.09	-6.6	-7.8	-9.0	-10.2
服務-換置LED燈管	1.86	10.00	12.43	15.53	-1.6	-2.8	-3.2	-3.6
工業-造紙-鍋爐能效	0.02	0.06	0.08	0.09	-1.7	-2.8	-3.2	-3.7
服務-換置LED投光燈	0.04	0.70	0.81	1.01	-1.7	-2.7	-3.2	-3.6
工業-化材-空壓機能效	0.09	0.26	0.51	0.90	-2.4	-2.7	-3.2	-3.6
住宅-提升烹調設備效率	0.06	0.22	0.24	0.25	1.2	-2.7	-4.7	-7.8
服務-換置LED燈泡	0.75	1.00	1.17	1.47	-2.2	-2.7	-3.1	-3.5
服務-商店能源管理系統	0.15	0.22	0.25	0.30	-2.2	-2.6	-3.2	-3.6
服務-換置LED戶外燈	0.08	0.33	0.39	0.48	-1.9	-2.6	-3.1	-3.5
工業-鋼鐵-鍋爐能效	0.05	0.16	0.24	0.34	-1.2	-2.6	-2.4	-2.9
住宅-換置LED燈泡	0.29	0.40	0.42	0.38	-2.1	-2.6	-3.1	-3.4
服務-學校能源管理系統	0.28	0.51	0.58	0.72	-2.0	-2.5	-3.0	-3.4
住宅-換置LED燈管	0.44	1.22	1.89	1.86	-1.4	-2.4	-3.2	-3.6
電力-核能延役	9.05	21.94	12.33	0.00	-2.3	-2.3	-2.2	0.0

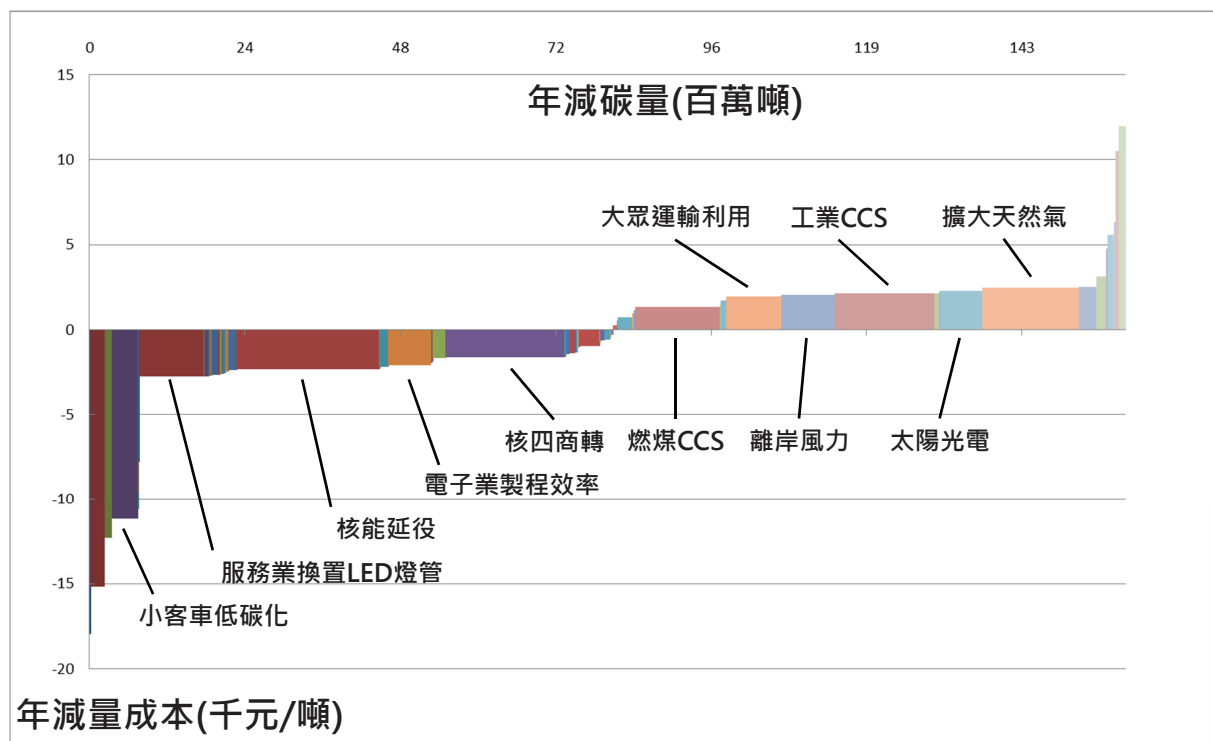


圖5 2030年本研究積極情境下之邊際減量成本曲線 (資料來源：本研究繪製)



表6 依部門別於不同發展情境下的節電量(或電力替代量) (資料來源：本研究整理)

億度	2020		2030		2040		2050	
	積極	前瞻	積極	前瞻	積極	前瞻	積極	前瞻
住宅	31	39	83	110	110	141	123	154
服務	50	119	209	256	298	354	392	459
工業	60	95	132	201	197	297	237	365
運輸	-12	-12	-42	-46	-73	-88	-92	-114
總和	130	241	382	522	533	704	660	863
電力*	358	381	1026	1162	1149	1647	1207	2035

\*電力部門多數為取代燃煤發電廠發電的替代量，並非節電量

力需求下降。運輸部門因為在比較積極的情境中有不同技術使用移轉，例如小客車的情境為減少傳統汽油車並增加電動車使用，在此情況下電力的消費增加，所以在表中以負值呈現。若僅比較需求端部門，可以看出本研究所納入的技術項目在服務部門有較多的節電潛能。整體需求部門2030年的積極情境約為382億度電，到2050年積極情境可達近660億度電。

表7呈現各部門所有技術與措施的節能量，此表的數值涵蓋所有非電力之能源類別，包含燃料煤、燃料油、天然氣、液化石油氣、汽油、柴油等，最後統一換算成油當量單位加總。工業部門的節能量明顯大於住宅與服務部門，也反映出本研究所納入計算的技術項目中，工業節能在非電力的能源節能量比較顯著。運輸部門除了運具能源效率提升造成節能外，同樣因為不同能源使用移轉(由傳統燃料轉換到電力)，造成電力的消費增加，但非電力之能源消費大幅減少，因此在此表中的數值明顯較其他部門高。這些部門於積極情境在2030年

具有8,445千公秉油當量節能量，到2050年可達12,844千公秉油當量節能量，這些數值並不包含電力。

計算出所有技術或措施項目的節能量與替代量後，便可依此計算這些項目未來的二氧化碳減量潛能。計算此數據僅需要帶入各類能源的排放係數即可算出。先前的計算邏輯已經說明，節電或發電取代都是相對於燃煤發電，因此以燃煤發電的排放係數為基礎，先計算不同發電類型的排放係數與其差值，再乘上發電量即可計算排放減量。而在Taiwan 2050 Calculator系統中燃煤發電本身因為技術效率提升，未來排放係數略為下降，從2012年的每度900克二氧化碳，下降到2050年的765克。其他燃料仍然是以我國2012年燃料燃燒的排放係數計算：燃料煤每公升油當量3.6公斤二氧化碳、燃料油2.9、天然氣2.1、液化石油氣2.4、汽油2.6、柴油2.8。計算後，依部門別整理於表8所示。

表8中燃煤CCS另外獨立呈現，因其排放減

表7 依部門別於不同發展情境下的節能量 (資料來源：本研究整理)

千公秉油 當量	2020		2030		2040		2050	
	積極	前瞻	積極	前瞻	積極	前瞻	積極	前瞻
住宅	16	32	49	93	58	115	71	115
服務	8	13	39	57	55	88	90	112
工業	400	602	897	1474	1245	2091	1657	2741
運輸	2266	2479	7459	8243	9939	11211	11026	12743
總和	2689	3125	8445	9866	11296	13505	12844	15711

表8 依部門別於不同發展情境下的年二氧化碳排放減量 (資料來源：本研究整理)

百萬噸	2020		2030		2040		2050	
	積極	前瞻	積極	前瞻	積極	前瞻	積極	前瞻
電力*	32	34	75	86	77	107	78	127
住宅	3	3	7	10	9	11	10	12
服務	4	11	18	22	23	28	30	35
工業	10	14	30	42	35	50	39	57
運輸	5	6	17	18	21	23	23	25
總和	54	67	146	178	166	219	180	256
燃煤CCS	0	0	13	26	42	83	58	116

\*電力部門不含燃煤CCS，因其減碳量隨節能情境而有所不同

量潛能是隨節能情境而有所不同，此表呈現的數據為所有節能措施設定在基準情境時，燃煤CCS發電最大況下的排放減量潛能。而工業則有另外直接加上工業CCS的減量效果，其減量潛能更顯著。本研究所有計算項目中，電力部門具最大排放減量潛力，其次為工業。2030年積極情境下若不加計燃煤CCS情境，則理論上所有技術或措施都執行可達到146百萬噸的排放減量(相較基準情境)，到2050年可達到180百萬噸的減量。

表9中所呈現的總和數字為所有技術項目理論上可達成之排放減量，然而實際潛能在Taiwan 2050 Calculator系統運算中，會因為部分項目計算上的相依性而降低，例如燃煤CCS即是因為其他導入技術或措施的發展情境設定不同而有不同的減量潛能。若將不同供給與需求情境的設定直接帶入Taiwan 2050 Calculator

運算，則得到的結果整理如表所示，不同情境組合達成的排放減量效果仍是以此數值較為合理。由此表可得知，若供需各部門都在設定於基準情境(也同本研究中的基準情境)，則全國排放量在2030年為396百萬噸，到2050年成長至552百萬噸。但若供需各部門都在設定於積極的發展情境時，則2030年排放量為274百萬噸，到2050年成長至282百萬噸；若供需各部門都在設定於前瞻的發展情境時，則2030年排放量維持在244百萬噸，到2050年則降低至224百萬噸。因此以Taiwan 2050 Calculator實際模擬所有項目情境運算結果會比把所有項目單獨模擬計算(表邊際排放減量之計算)後加總之排放減量低，其差異在Taiwan 2050 Calculator為整體能源系統之計算，能避免重複運算。

在計算出各技術或措施項目的節能量或替代量後，帶入相對應的各類能源價格預測便可

表9 Taiwan 2050 Calculator不同情境組合下全國年二氧化碳排放量(百萬噸)  
(資料來源：本研究整理)

所有供給項目情境	所有需求項目情境	2012	2020	2030	2040	2050
基準	基準	243	311	396	475	552
基準	積極	243	296	329	396	449
基準	前瞻	243	290	304	358	402
積極	基準	243	295	330	338	377
前瞻	基準	243	294	316	289	294
積極	積極	243	281	274	265	282
前瞻	前瞻	243	276	244	216	224

以計算出這些項目未來的節能或替代效益，意即所節省下的能源支出。節電或發電替代都是相對於燃煤發電，因此本研究帶入燃煤發電未來電力成本計算。此成本除了考量了燃煤電廠未來效率提升，也同時計算電網成本與電力供應商管銷成本等項目，總燃煤電力成本從2012年的每度2.41元上升到2050年的2.85元。其他燃料則是依據台電公司資料與工研院模型所做的未來各類燃料價格預測，自2012年到2050年，燃料煤每噸3267元臺幣上升到5,475元、燃料油每公升23.7元臺幣上升到38.9元、天然氣每立方米18.1元上升到33.8元、液化石油氣每公斤30.1上升到92.5元、汽油每公升34.8元上升到89.3元、柴油每公升32.1元上升到95元。

計算完每個項目節能效益後依部門別整理於表10。可以發現電力與運輸的數值最大，但對於電力部門此數值主要為替代掉多少燃煤發電的價值，並非實際可節省的電力花費。而比較其他需求部門，可發現運輸部門的節能效益

相當顯著，由2030年的每年3,831億到2050年的每年1.1兆。

前面章節已提到，導入特定技術或措施所衍伸的成本是以增額成本計算(除新建電廠外)，為未來相對基準情境下所需額外的成本投入。計算此成本時必須先把基準情境或發展情境的期初投資成本依不同的使用年限與折現率設定，攤提成每年的成本投入，再加上每年運轉與維護成本及其他成本，即是最終每年導入該技術的成本投入。各部門措施的成本整理如表11所示。電力部門與運輸部門的投入仍是較多。

## 5. 結 論

Taiwan 2050 Calculator為工研院與英國政府合作建構之一系列工具，其建構能源供給部門、住商部門、工業部門、運輸部門等不同技術之未來發展情境，以技術端的角度探討未

表10 依部門別於不同發展情境下的節能(或能源替代)效益 (資料來源：本研究整理)

億臺幣/年	2020		2030		2040		2050	
	積極	前瞻	積極	前瞻	積極	前瞻	積極	前瞻
電力	790	842	2496	2826	3011	4316	3438	5795
住宅	73	93	216	296	312	415	389	495
服務	113	265	520	640	801	959	1157	1358
工業	168	261	415	646	658	1028	880	1396
運輸	879	962	3831	4245	6964	7922	11161	13086
總和	2024	2423	7477	8652	11746	14640	17024	22131

表11 依部門別於不同發展情境下的年投資成本 (資料來源：本研究整理)

億臺幣/年	2020		2030		2040		2050	
	積極	前瞻	積極	前瞻	積極	前瞻	積極	前瞻
電力*	359	456	2915	3650	4400	7203	5617	10312
住宅	90	153	267	457	352	583	434	673
服務	65	141	167	281	279	485	408	667
工業	180	321	553	826	594	890	697	1044
運輸	1004	1082	3186	3558	4120	4926	4484	5428
總和	1698	2153	7088	8771	9745	14088	11641	18124

\*電力部門含燃煤CCS相關投資成本



來不同能源組合發展情境之下，對社會各層面之衝擊，包含能源安全、能源價格及環境衝擊等。本研究為基於Taiwan 2050 Calculator之模型架構下，以既有130項技術發展情境之設定，整合建構成69項技術或措施之邊際減量成本分析計算。如此可直接套用既有之假設參數，並可將分析時程擴展到2050年，較國內其他邊際減量成本之分析更長遠。然而，除了這69項技術或措施外，仍有許多具潛力之項目或部門未納入計算，例如服務部門的電梯設備、工業部門的照明、農業部門及其他非能源密集製造業部門之措施等。未來若有更多文獻與資料基礎，將可陸續整併更多技術或措施項目至Taiwan 2050 Calculator並進行減量成本計算與分析，增加未來整體減量潛能。

本研究之分析是以未來不導入新技術或措施為基準情境，計算在Taiwan 2050 Calculator已經定義好的積極情境與前瞻情境下的相關結果。因前瞻情境較積極情境之發展更為積極，所設定之裝設目標或技術要求更高，前瞻情境有較大的排放減量潛能。然而前瞻情境下的減量成本大多較差，意即需要額外投入更多成本的才能達到相同單位排放減量。另一方面，大部分項目因為技術隨時間進步而有較大的排放減量潛能，並且成本隨時間降低而有較佳的減量成本。然而像核能延役或換置LED照明等的措施項目，則可能隨著措施變動而在不同時間點有不同排放減量潛能。

在納入計算之項目中，以電力部門相關技術與措施最具排放減量潛力，而以運輸及照明相關項目最具減量淨效益。總二氧化碳排放減

量潛能於2030年，在積極情境下約為159百萬噸，在前瞻情境則約為205百萬噸二氧化碳。到2050年，積極情境下約為238百萬噸，在前瞻情境則約為372百萬噸二氧化碳。但這些減量潛能在將來納入更多項目後還會持續增加。

雖然直接採用Taiwan 2050 Calculator模型之設定，但因為本研究係將各技術與措施獨立計算，所有項目排放減量潛力總和與Taiwan 2050 Calculator中相同情境下整個系統計算之結果不一致。主要因為部份項目間之計算彼此有相依性，例如燃煤CCS減排效果須取決於需求端節能情境設定，或大眾運輸利用率會影響各類運具節能效果之計算。因此未來若欲參考研究結果作為決策支援，建議同時參採Taiwan 2050 Calculator之計算結果，因其結果是以整個能源系統規劃計算。

邊際減量成本分析已在國內外廣泛應用於推估能源技術節能與減碳潛能，以作為政府擬訂未來能源發展策略之重要依據。因為技術進步，各技術與措施之數據結果隨時間有所不同，決策者可依此擬訂未來特定節能或排放減量目標下的行動方案。研究結果顯示，未來不管在哪個時間點，大部分節能相關技術與措施都具減量淨效益，特別是低碳運具相關項目，值得我國政府投入。就電力部門而言，核能延役與核四商轉不管是在排放減量或淨效益都相對出色，若不考量其他風險或外部成本，也是非常值得執行之措施。

## 誌 謝

感謝經濟部能源局於「總體能源政策研究

與決策支援」計畫給予本研究經費之補助與行政事務方面之協助。同時感謝工業技術研究院綠能與環境研究所提供本研究模型工具，並協助工具設定、使用及結果研析等，以及提供研究進行之行政支援。

## 參考文獻

- 工研院，2014。臺灣溫室氣體減量成本評估 2014年更新版。工業技術研究院綠能與環境研究所內部模型分析參考資料。
- 朱証達，李沛濠，張景淳，何叔憶，陳庚轅，李孟穎，洪明龍，劉子衙，2013。建構臺灣2050能源供需情境模擬器，臺灣能源期刊，第1卷：頁17-34。
- 國科會，2013。臺灣溫室氣體減量進程與綠色產業發展政策之基礎研究報告。行政院國家科學委員會能源國家型科技計畫。
- 經濟部，2008。永續能源政策綱領。
- CBI, 2007. Climate Change: Everyone's business – options for greenhouse gas reduction in the UK. Confederation of British Industry.
- DECC, 2010. 2050 Pathway Analysis. Department of Energy and Climate Change. HM Government.
- DECC, 2011. The Carbon Plan: Delivering our low carbon future. Department of Energy and Climate Change. HM Government.
- McKinsey&Company, 2007. Global Cost Curve Version 1: A cost curve for greenhouse gas reduction. McKinsey Quarterly.
- McKinsey&Company, 2009. Pathways to a Low-Carbon Economy: Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve.
- UCL, 2011. Marginal abatement cost curves for policy making – expert-based vs. model-derived curves. UCL Energy Institute. University College London.
- UCL, 2013. UCL Energy Institute Models - UK MARKAL. UCL Energy Institute. University College London. <http://www.ucl.ac.uk/energy-models/models/uk-markal>

## 附錄一、主要分類項目之情境設定說明

部門	主要分類項目	積極情境設定	前瞻情境設定
電力	核四商轉	核四1號機自2018年商轉，2號機也於2020年前商轉。	同積極情境
	核能延役	核一廠、核二廠及核三廠皆延役20年商轉。	同積極情境
	天然氣電廠	以新增第三天然氣接收站之供氣量規劃，2025-2050年除既有機組更新外，每5年新增500 MW，至2050年達22.3 GW。	以新增第三天然氣接收站並擴增接收站之供氣量規劃，2025-2050年除既有機組更新外，每5年新增2 GW，至2050年達29.8 GW。
	燃煤電廠碳捕獲與封存(CCS)	2025年後燃煤CCS電廠商業化，50%新建之燃煤電廠需裝設CCS設備。	2025年後燃煤CCS電廠商業化，因實施新電廠排放標準，所有新建之燃煤電廠需裝設CCS設備。
	陸域風力	完成我國目前已完成規劃以及正在開發中陸域風力之50%目標，最大裝置量為910 MW。	完成我國目前已完成規劃以及正在開發中陸域風力之100%目標，最大裝置量為1,200 MW。
	離岸風力	開發以規劃之淺海優先區塊，至2050年最大裝置量為6 GW。	開發以規劃之淺海優先區塊，並開發部份深海區域，至2050年最大裝置量為9 GW。
	太陽光電	除開發屋頂型系統之外，亦開發50%污染地，最大土地裝設面積為69 km <sup>2</sup> ，最大裝置量為9.0 GW。	除開發屋頂型系統與50%污染地之外，亦開放50%的水平高度0公尺之下陷地，最大土地裝設面積為114 km <sup>2</sup> ，最大裝置量為11.6 GW。
	地熱發電	除了淺層地熱之開發，亦新增國家公園淺層地熱開發，至2050年最大潛力為1,335 MW。	除了淺層地熱與國家公園淺層地熱之開發，亦新增大屯山深層地熱開發，至2050年最大潛力為2,150 MW。
	廢棄物生質能發電	我國生質電力2030年成長至950 MW後，焚化爐持續轉型，裝置容量持續增加。	生質電力2025年後國內料源利用極大化，以2050年燃煤機組平均混燒10%為情境設定，進口生質煤炭。
	海洋溫差	發展100 MW級岸基式電廠(離岸距離<6 km)，至2050年最大潛力為415 MW。	除了發展100 MW級岸基式電廠，亦開發浮動式電廠(離岸距離<10 km)，至2050年最大潛力為1,615 MW。
	海流發電	2030年前僅開發潮流發電(富貴角與澎湖水道)，2030年後開發黑潮發電廠並逐步測試，至2050年最大潛力為725 MW。	2030年以後，黑潮發電機組裝設數量開始穩定成長，至2050年最大潛力量為2,400 MW。
	波浪發電	完成東北角4座優良場址開發，並向離岸距離較遠之高潛能場址進行開發，至2050年最大潛力為760 MW。	除完成東北角4座電廠之開發，並開發離岸距離更遠之廠址，至2050年最大潛力為1,220 MW。
住宅	空調	國內小型空調機2016年起採用CSPF能效標準，規範MEPS能效標準每5年提升10%。	國內小型空調機2016年起採用CSPF能效標準，並提升現行公告能效一級基準20%作2016年MEPS規範基準，且MEPS能效標準每5年提升10%。
	隔熱	舊建物2015年起須符合2013年出版之建築技術規則：外牆U值2.75 (W/m <sup>2</sup> K)，窗戶U值4.7 (W/m <sup>2</sup> K)，遮陽係數0.35。	新建物於2013年且舊建物於2015年起符合建築隔熱法規：外牆U值1.75 (W/m <sup>2</sup> K)，窗戶U值3.5 (W/m <sup>2</sup> K)，遮陽係數0.25。
	照明	2015年起針對辦公室燈具、燈泡、投光燈等多項照明訂立強制性能效基準，並禁止水銀燈銷售；傳統燈具壽命終止時以LED裝置取代，傳統燈泡將於2020年起全數換為LED高效率燈泡	2015年起針對辦公室燈具、燈泡、投光燈等多項照明訂立強制性能效基準，並禁止水銀燈銷售；2018年起限制傳統燈具生產銷售；傳統燈具壽命終止時以LED裝置取代，將於2021-2033年起全數換為LED高效率照明



	其他電器設備	2015年實施MEPS基準管制及能源效率分級標示，MEPS基準管制調整頻率為10-15年	2015年實施MEPS基準管制及能源效率分級標示，MEPS基準管制調整頻率為5-10年
	能源管理系統	住宅部門裝置能源管理系統平均節電率為3%且平均年成長戶數約1-3萬戶	住宅部門能源管理系統平均節電率為7%且平均年成長戶數約5-10萬戶
服務	空調	小型空調機2016年起採用CSPF能效標準，規範MEPS能效標準每5年提升10%，中央空調採用美國2010年公布之能效標準作為國內中央空調冰水設備MEPS能效規範基準，規範2016年後中央空調每5年性能提升5%	小型空調機2016年起採用CSPF能效標準，並提升現行公告能效一級基準20%作2016年MEPS規範基準，且MEPS能效標準每5年提升10%，中央空調以提升美國2010年公布之能效標準10%-30%作為國內MEPS規範基準，且MEPS能效標準每5年提升10%
	隔熱	舊建物窗戶隔熱2015年起須符合2013年出版之建築技術規則：規範外牆U值2 (W/m <sup>2</sup> K)，窗戶U值6.8 (W/m <sup>2</sup> K)，遮陽係數0.25	新建物於2013年且舊建物於2015年起皆須符合建築隔熱法規：規範外牆U值2 (W/m <sup>2</sup> K)，窗戶U值6.8 (W/m <sup>2</sup> K)，遮陽係數0.25
	照明	2015年起針對辦公室燈具、燈泡、投光燈等多項照明訂立強制性能效基準，並禁止水銀燈銷售；傳統燈具壽命終止時以LED裝置取代，加速提升LED高效率照明市場占比，傳統燈泡將於2016年起全數換為LED高效率燈泡	2015年起針對辦公室燈具、燈泡、投光燈等多項照明訂立強制性能效基準，並禁止水銀燈銷售；2018年起限制傳統燈具生產銷售；傳統燈具壽命終止時以LED裝置取代，將於2016-2024年起全數換為LED高效率照明
	其他電器設備	2015年實施MEPS基準管制及能源效率分級標示，MEPS基準管制調整頻率為10-15年	2015年實施MEPS基準管制及能源效率分級標示，MEPS基準管制調整頻率為5-10年
	能源管理系統	2015年起以每年3-5%滲透安裝且於2050年市場裝置占比達60%	2015年起以每年5-7%滲透安裝，至市場裝置占比達100%
工業	電子業製程節能	電子業(DRAM、面板、晶圓等主要產業中之多數廠商均具有節能改善意識。實施製程設備更新與公用設備效率管理制度	電子業(DRAM、面板、晶圓等主要產業之廠商全具有節能意識，其餘廠商則部分具有節能改善意識)，實施製程設備更新與公用設備效率管理制度
	鋼鐵業製程節能	實施能效管理(連續式加熱爐能效管理、高爐爐頂氣(BFG)回收利用)	除實施能效管理外，增加實施蓄熱式燃燒、高效率電弧爐、乾式淬火節能措施
	化材業製程節能	實施三輕更新、五輕遷廠(產量減少50萬噸/年)與公用設備效率管理制度	除實施三輕更新、五輕遷廠外，實施四輕製程更新與公用設備效率管理制度
	水泥製製造業	水泥製造業應遵行2012年之節約能源與能源效率指標規定，30%生產線受影響，須進行節能改善措施	水泥製造業應遵行2015年新節約能源與能源效率指標規定，70%生產線受影響，須進行節能改善措施
	造紙業製程節能	造紙業配合目前所訂定設備能耗管制，業者以自主節能方式加上導入靴式壓水及烘缸熱回收技術	造紙業配合目前所訂定設備能耗管制，業者以自主節能方式導入靴式壓水及烘缸熱回收技術、散漿及磨漿機轉速合理及變頻控制和高壓蒸汽熱泵技術
	紡織業製程節能	紡織業導入染色機、定型機和水洗機餘熱回收，年均滲透率10%，提升蒸汽鍋爐與熱媒鍋爐平均使用效率	紡織業導入染色機、定型機和水洗機餘熱回收，年均滲透率20%，更提升蒸汽鍋爐與熱媒鍋爐平均使用效率
	金屬製品業製程節能	金屬製品業加熱爐、熱處理爐、製程動力及電熱設備採工業局規劃之加強措施的節電比例	金屬製品業加熱爐、熱處理爐、製程動力及電熱設備採工業局規劃之加強措施的節電比例，並導入蓄熱式燃燒系統及工具機節能變頻模組

	鍋爐節能	蒸汽鍋爐新節能規定於2030實施，平均使用效率由87%提高為88.5%，大用戶鍋爐汰舊換新率約40%。熱媒鍋爐新節能規定於2020實施，平均使用效率由82%提高為87%，大用戶鍋爐汰舊換新率約40%。	蒸汽鍋爐新節能規定於2030實施，平均使用效率由87%提高為90%，大用戶鍋爐汰舊換新率約70%。熱媒鍋爐新節能規定於2030實施，平均使用效率由87%提高為90%，大用戶鍋爐汰舊換新率約80%。
	空壓機節能	部分業者編列預算更換舊空壓機，2025年前由現有平均能效提升為能效5.25 kW/CMM。	多數業者編列預算更換舊空壓機，2020年前由現有平均能效提升為能效5.25 kW/CMM。
	工業碳捕獲與封存	2020年水泥業裝設捕獲量3百萬噸之鈣迴路捕獲二氧化碳示範廠。2025年鋼鐵業設置年捕獲量140萬噸及85萬噸之商轉廠。	水泥業分別於2020年及2025年裝設捕獲量3百萬噸之鈣迴路捕獲二氧化碳商轉廠。鋼鐵業於2025年設置年捕獲量390萬噸商轉廠。化才業於2025年設置年捕獲量5百萬噸之商轉，於2030年再設置年捕獲量5百萬噸CO <sub>2</sub> 之商轉廠。
	餘熱發電	2014年有2 MW的機組建置，至2020年達到55 MW裝置容量、2040年達到峰值約833 MW，之後總裝置量維持不變。	立法強制規定工廠必須回收廢熱/餘熱利用或發電，在2020年裝置容量將達到77.5 MW，到2040年時達1,205 MW裝置容量，之後總裝置量維持不變。
運輸	大眾運輸利用	至2050年，小客車與機車占總運量比例降為66%，公車與客運提升為10%，軌道運輸提升為21%，自行車亦提升為2%。	同積極情境
	小客車	2050年小客車銷售市場約有37%是傳統引擎車輛，及39%的混合動力與插電式混合動力電動車，及24%的電池及氫能電池電動車。	2050年小客車銷售市場約有2%是傳統引擎車輛、30%的混合動力與插電式混合動力電動車，及68%的電池及氫能電池電動車。
	小貨車	2050年小貨車銷售市場約有50%是傳統引擎車輛，及35%的混合動力與插電式混合動力電動車，及15%的電池及氫能電池電動車。	2050年小貨車銷售市場約有9%是傳統內燃機引擎車輛、28%的混合動力與插電式混合動力電動車，及63%的電池及氫能電池電動車。
	大貨車	至2050年大貨車省油率提升20%。	至2050年大貨車省油率提升23%。
	市區公車	市區公車銷售市場至2025年達到100%電能化，純電動力占比達10%。	市區公車銷售市場至2020年達到100%電能化，純電動力占比達30%。
	機車	至2050年電動機車佔比達30%，傳統機車省油率提升32%。	至2050年電動機車佔比達60%，傳統機車省油率提升47%。

## 附錄二、各項目排放減量與減量成本彙整表

		程度	減碳量(百萬噸)				減量成本(千元/每噸)			
			2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
電力	核四商轉		19.20	18.27	16.90	16.58	-1.74	-1.61	-1.81	-1.97
	核能延役		9.05	21.94	12.33	0.00	-2.34	-2.33	-2.16	0.00
	增加天然氣電廠	積極	0.00	14.91	16.92	19.20	0.00	2.46	3.22	3.64
	增加天然氣電廠	前瞻	0.00	15.06	29.39	39.46	0.00	2.38	3.09	3.55
	燃煤CCS	積極	0.00	13.07	41.51	58.25	0.00	1.32	1.38	1.40
	燃煤CCS	前瞻	0.00	26.14	83.03	116.49	0.00	1.32	1.38	1.40
	陸域風力	積極	0.47	0.61	0.56	0.55	0.38	0.27	-0.55	-1.28
	陸域風力	前瞻	1.24	1.18	1.09	1.07	0.21	0.34	-0.74	-1.36
	離岸風力	積極	0.83	8.19	11.75	15.43	2.82	2.03	1.78	1.02
	離岸風力	前瞻	1.22	12.26	17.61	23.13	2.82	2.03	1.78	1.02
	太陽光電	積極	1.97	6.47	7.84	9.28	4.33	2.30	1.07	0.43
	太陽光電	前瞻	2.34	8.14	10.03	12.02	4.15	2.12	0.96	0.33
	地熱發電	積極	0.07	0.96	2.97	6.58	0.51	-0.58	-0.87	-1.02
	地熱發電	前瞻	0.25	1.06	4.28	10.26	1.14	-0.04	-0.42	-0.81
	廢棄物生質能發電	積極	0.08	2.62	4.26	4.29	3.68	2.52	2.50	2.24
	廢棄物生質能發電	前瞻	0.35	5.61	5.73	5.29	4.17	2.59	2.57	2.29
	海洋溫差	積極	0.00	0.68	1.92	2.56	0.00	2.16	1.15	0.26
	海洋溫差	前瞻	0.00	1.29	5.44	9.71	0.00	2.15	0.97	0.15
	海流發電	積極	0.00	0.17	0.74	1.81	0.00	4.79	5.37	5.05
	海流發電	前瞻	0.03	0.72	2.50	6.00	5.97	4.06	5.21	5.04
	波浪發電	積極	0.00	0.18	1.11	1.91	11.11	2.24	1.29	0.73
	波浪發電	前瞻	0.06	0.78	1.78	3.06	11.11	2.94	1.73	0.72
		程度	減碳量(百萬噸)				減量成本(千元/每噸)			
			2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
住宅	提升空調設備效率	積極	0.78	2.19	2.62	2.95	0.15	0.71	1.51	2.29
	提升空調設備效率	前瞻	0.81	2.41	2.86	3.16	2.46	2.55	3.38	4.43
	提升既有建築隔熱	積極	0.01	0.04	0.05	0.08	1.67	2.56	2.86	3.06
	提升既有建築隔熱	前瞻	0.18	0.30	0.38	0.53	4.11	4.73	5.23	5.51
	提升新建建築隔熱	積極	0.17	0.28	0.30	0.28	0.56	0.97	0.96	0.90
	提升新建建築隔熱	前瞻	0.16	0.30	0.32	0.30	2.97	3.27	3.46	3.50
	換置LED燈泡	積極	0.29	0.40	0.42	0.38	-2.06	-2.59	-3.07	-3.44
	換置LED燈泡	前瞻	0.29	0.40	0.42	0.38	-2.06	-2.59	-3.07	-3.44
	換置LED燈管	積極	0.44	1.22	1.89	1.86	-1.44	-2.38	-3.17	-3.56
	換置LED燈管	前瞻	0.59	1.84	2.03	1.86	-1.42	-2.32	-3.05	-3.56
	提升冰箱效率	積極	0.49	0.89	0.90	0.83	-0.39	1.71	2.65	2.40
	提升冰箱效率	前瞻	0.51	1.09	1.02	0.94	0.21	3.70	4.03	3.82
	提升開飲機與電熱水瓶效率	積極	0.21	0.55	0.66	0.79	-1.32	-1.42	-1.67	-2.09
	提升開飲機與電熱水瓶效率	前瞻	0.30	0.93	1.05	0.97	-1.16	-0.98	-1.39	-1.74
	提升瓦斯熱水器效率	積極	0.02	0.05	0.05	0.06	3.56	1.43	-3.60	-7.42
	提升瓦斯熱水器效率	前瞻	0.05	0.11	0.13	0.13	-2.33	-2.16	-5.42	-10.65
	擴大熱泵熱水器使用	積極	0.11	0.27	0.25	0.23	13.31	6.34	6.08	5.45
	擴大熱泵熱水器使用	前瞻	0.14	0.28	0.29	0.30	11.98	7.24	6.11	4.30
	提升烹調設備效率	積極	0.06	0.22	0.24	0.25	1.18	-2.70	-4.67	-7.76
	提升烹調設備效率	前瞻	0.09	0.30	0.39	0.37	-0.16	-2.71	-4.27	-6.18
	提升電器設備	積極	0.25	0.93	1.26	1.68	6.26	5.59	4.28	3.65
	提升電器設備	前瞻	0.35	1.31	2.00	2.45	8.57	6.84	4.93	3.66
	提升能源管理系統節能	積極	0.00	0.04	0.08	0.14	-0.03	-0.47	-0.84	-1.29
	提升能源管理系統節能	前瞻	0.03	0.26	0.39	0.59	-0.03	-0.49	-0.86	-1.29



		程度	減碳量(百萬噸)				減量成本(千元/每噸)			
			2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
服務	提升空調設備效率	積極	0.76	3.16	5.34	7.10	-0.17	-0.95	-1.02	-1.45
	提升空調設備效率	前瞻	1.64	5.38	7.91	9.94	-0.71	-0.97	-0.67	-0.94
	提升既有建築隔熱	積極	0.00	0.01	0.02	0.05	0.74	0.46	0.28	0.12
	提升既有建築隔熱	前瞻	0.03	0.05	0.07	0.12	1.39	1.22	1.16	1.06
	提升新建築隔熱	積極	0.11	0.56	0.74	0.95	-0.13	-0.66	-0.97	-1.30
	提升新建築隔熱	前瞻	0.14	0.64	0.83	1.05	0.71	0.38	0.16	-0.15
	換置LED燈泡	積極	0.75	1.00	1.17	1.47	-2.24	-2.67	-3.13	-3.49
	換置LED燈泡	前瞻	0.75	1.00	1.17	1.47	-2.24	-2.67	-3.13	-3.49
	換置LED燈管	積極	1.86	10.00	12.43	15.53	-1.58	-2.77	-3.24	-3.60
	換置LED燈管	前瞻	5.64	10.58	12.43	15.53	-1.66	-2.76	-3.24	-3.60
	換置LED投光燈	積極	0.04	0.70	0.81	1.01	-1.72	-2.74	-3.20	-3.56
	換置LED投光燈	前瞻	0.42	0.70	0.81	1.01	-1.45	-2.74	-3.20	-3.56
	換置LED戶外燈	積極	0.08	0.33	0.39	0.48	-1.89	-2.64	-3.10	-3.46
	換置LED戶外燈	前瞻	0.24	0.33	0.39	0.48	-1.96	-2.63	-3.10	-3.46
	提升開飲機與電熱水瓶效率	積極	0.01	0.03	0.04	0.06	0.64	-1.55	-1.78	-2.12
	提升開飲機與電熱水瓶效率	前瞻	0.01	0.04	0.05	0.06	-0.09	-1.48	-1.57	-1.81
	提升瓦斯熱水器效率	積極	0.00	0.01	0.01	0.02	0.98	-1.37	-5.30	-8.91
	提升瓦斯熱水器效率	前瞻	0.00	0.01	0.02	0.02	1.18	1.56	-2.49	-8.36
	擴大熱泵熱水器使用	積極	0.03	0.10	0.13	0.16	12.30	5.64	5.03	4.16
	擴大熱泵熱水器使用	前瞻	0.04	0.11	0.15	0.20	11.04	6.20	4.61	2.80
	提升烹調設備效率	積極	0.01	0.08	0.11	0.18	-7.44	-10.61	-13.98	-18.34
	提升烹調設備效率	前瞻	0.02	0.11	0.18	0.23	-7.95	-10.20	-12.96	-16.22
	提升電器設備	積極	0.11	0.42	0.67	1.27	11.56	10.50	10.34	9.28
	提升電器設備	前瞻	0.14	0.64	1.30	2.16	22.87	14.18	10.69	9.14
	提升辦公室能源管理系統	積極	0.13	0.21	0.24	0.30	-1.46	-1.97	-2.57	-3.08
	提升辦公室能源管理系統	前瞻	0.23	0.37	0.42	0.52	-1.46	-1.97	-2.57	-3.08
	提升商店能源管理系統	積極	0.15	0.22	0.25	0.30	-2.18	-2.64	-3.15	-3.55
	提升商店能源管理系統	前瞻	0.27	0.37	0.45	0.55	-2.16	-2.63	-3.15	-3.55
	提升學校能源管理系統	積極	0.28	0.51	0.58	0.72	-2.02	-2.47	-3.00	-3.43
	提升學校能源管理系統	前瞻	0.73	0.84	0.96	1.18	-2.02	-2.47	-3.00	-3.43
	提升醫院能源管理系統	積極	0.04	0.25	0.29	0.36	-1.02	-1.59	-2.24	-2.81
	提升醫院能源管理系統	前瞻	0.09	0.37	0.43	0.53	-1.02	-1.59	-2.24	-2.81
	提升旅館能源管理系統	積極	0.09	0.13	0.15	0.19	-1.66	-1.84	-2.45	-2.98
	提升旅館能源管理系統	前瞻	0.15	0.19	0.22	0.28	-1.74	-1.77	-2.39	-2.94
		程度	減碳量(百萬噸)				減量成本(千元/每噸)			
			2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
工業	電子製程能源效率提升	積極	2.63	6.53	9.07	10.89	-1.36	-2.12	-2.44	-2.80
	電子製程能源效率提升	前瞻	4.84	9.63	13.21	16.64	-0.43	-1.64	-2.14	-2.55
	電子空壓機能效提升	積極	0.12	0.21	0.21	0.21	-1.68	-1.10	-1.02	-0.88
	電子空壓機能效提升	前瞻	0.17	0.21	0.21	0.21	-1.68	-0.75	-0.68	-0.53
	電子冰水主機能效提升	積極	0.11	0.15	0.20	0.28	-0.27	0.51	-0.17	-0.80
	電子冰水主機能效提升	前瞻	0.19	0.25	0.34	0.48	-0.92	-0.37	-0.98	-1.53
	鋼鐵導入一貫煉鋼節能措施	積極	0.40	0.75	0.91	1.08	-0.92	-1.39	-1.85	-2.18
	鋼鐵導入一貫煉鋼節能措施	前瞻	0.77	1.77	2.00	2.21	-1.06	-1.73	-2.07	-2.36
	鋼鐵導入電弧爐節能措施	積極	0.26	0.39	0.43	0.47	-0.37	-0.32	-0.59	-0.77
	鋼鐵導入電弧爐節能措施	前瞻	0.30	0.56	0.69	0.73	-0.51	-0.72	-0.65	-0.86
	鋼鐵空壓機能效提升	積極	0.04	0.09	0.12	0.15	-1.33	-0.77	-1.02	-1.45
	鋼鐵空壓機能效提升	前瞻	0.05	0.12	0.17	0.22	-1.37	-0.86	-1.12	-1.54
	鋼鐵鍋爐能效提升	積極	0.05	0.16	0.24	0.34	-1.16	-2.63	-2.37	-2.94
	鋼鐵鍋爐能效提升	前瞻	0.05	0.17	0.30	0.45	-1.00	-2.65	-1.88	-2.67
	化材製程更新	積極	1.48	1.53	1.44	1.42	2.58	3.14	3.12	2.93

	化材製程更新	前瞻	1.93	2.09	1.98	1.95	3.76	5.37	5.48	5.32
	化材鍋爐能效提升	積極	0.61	1.90	2.90	4.12	-1.30	-1.66	-2.07	-2.41
	化材鍋爐能效提升	前瞻	0.66	2.47	4.08	5.99	-1.28	-1.86	-2.29	-2.64
	化材空壓機能效提升	積極	0.09	0.26	0.51	0.90	-2.36	-2.72	-3.24	-3.62
	化材空壓機能效提升	前瞻	0.13	0.39	0.76	1.35	-2.36	-2.72	-3.24	-3.62
	水泥製程能源效率提升	積極	0.11	0.12	0.12	0.12	-1.24	-1.03	-1.04	-0.96
	水泥製程能源效率提升	前瞻	0.42	0.47	0.46	0.44	2.53	3.58	4.05	4.81
	造紙製程能源效率提升	積極	0.16	0.28	0.30	0.30	-1.31	-1.36	-1.59	-1.56
	造紙製程能源效率提升	前瞻	0.31	0.61	0.66	0.67	-1.95	-2.26	-2.63	-2.82
	造紙鍋爐能效提升	積極	0.02	0.06	0.08	0.09	-1.66	-2.76	-3.24	-3.71
	造紙鍋爐能效提升	前瞻	0.02	0.10	0.12	0.13	-1.49	-2.99	-3.47	-3.94
	紡織製程動力效率提升	積極	0.04	0.06	0.05	0.04	-2.04	-2.21	-2.52	-2.72
	紡織空壓機能效提升	積極	0.18	0.17	0.14	0.12	-0.88	1.15	1.78	2.41
	紡織鍋爐能效提升	積極	0.04	0.08	0.09	0.09	-6.60	-7.81	-9.01	-10.23
	紡織鍋爐能效提升	前瞻	0.04	0.14	0.25	0.25	-6.16	-7.62	-8.71	-9.70
	金屬製程動力效率提升	積極	0.07	0.10	0.10	0.10	-1.63	-1.34	-1.29	-1.20
	金屬製程動力效率提升	前瞻	0.07	0.83	0.79	0.80	-1.63	-2.03	-2.41	-2.72
	金屬空壓機能效提升	積極	0.05	0.05	0.05	0.05	-0.94	1.59	2.52	3.35
	金屬電熱設備能效提升	積極	0.03	0.05	0.04	0.04	-2.03	-2.27	-2.55	-2.75
	金屬加熱爐能效提升	積極	0.01	0.02	0.02	0.02	-8.06	-9.65	-11.23	-12.79
	金屬加熱爐能效提升	前瞻	0.01	0.13	0.16	0.19	-7.45	-9.04	-10.63	-12.19
	工業碳捕獲與封存	積極	3.07	15.32	15.32	15.32	1.36	2.15	1.99	2.38
	工業碳捕獲與封存	前瞻	3.07	19.97	19.97	19.97	1.36	2.00	1.85	2.28
	低溫餘熱發電	積極	0.17	1.24	2.56	2.89	-1.52	-2.21	-2.68	-3.03
	低溫餘熱發電	前瞻	0.24	1.66	3.71	4.18	-1.56	-2.18	-2.67	-3.02
		程度	減碳量(百萬噸)				減量成本(千元/每噸)			
			2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
運輸	大眾運輸利用	積極	2.80	8.47	10.39	11.08	7.44	1.96	-7.24	-22.61
	小客車低碳化	積極	0.85	4.01	5.29	5.51	-5.16	-11.20	-21.14	-39.65
	小客車低碳化	前瞻	0.92	4.41	5.96	6.60	-2.81	-7.51	-16.16	-36.80
	機車低碳化	積極	0.57	1.07	1.19	1.34	9.45	11.96	2.04	-13.52
	機車低碳化	前瞻	0.78	1.50	1.69	1.91	3.73	-2.02	-12.63	-29.77
	市區公車低碳化	積極	0.09	0.18	0.16	0.10	-9.72	-17.93	-25.97	-39.65
	市區公車低碳化	前瞻	0.09	0.15	0.14	0.10	-12.94	-27.42	-36.38	-52.91
	大貨車低碳化	積極	0.76	2.12	2.53	2.79	-11.06	-15.18	-22.17	-33.87
	大貨車低碳化	前瞻	0.77	2.33	2.92	3.22	-11.01	-14.31	-20.95	-32.66
	小貨車低碳化	積極	0.21	1.10	1.74	2.07	0.18	-12.31	-22.67	-39.46
	小貨車低碳化	前瞻	0.24	1.28	2.00	2.53	1.87	-9.20	-20.06	-41.40

# A Marginal Abatement Cost Curve Analysis Based on Taiwan 2050 Calculator

Cheng-Ta Chu<sup>1\*</sup>   Chen-Ting Wu<sup>1</sup>   Jing-Wei Kuo<sup>2</sup>   Ming-Lung Hung<sup>3</sup>

## ABSTRACT

Marginal abatement cost analysis has been widely used in exploring the potential measures for energy saving and emission reduction. It provides governments with solid reference in making future energy development strategy. Taiwan 2050 Calculator is an energy simulation tool that can calculate several aspects of impacts to Taiwan, such as energy security, energy price and environmental impacts, based on the given future scenario configurations on 130 energy technology or measures. This study is to construct the marginal abatement cost model and analyze the result of different scenario configurations based on the existing Taiwan 2050 Calculator framework.

In this study, the Base Scenario is defined as “do nothing” scenario, the calculations of emission reduction and marginal abatement cost of all technology or measures are related to the outcome of Base Scenario. Two future development scenarios are defined and analyzed: Ambitious and Very Ambitious scenarios. These two scenarios had well defined and configured in the Taiwan 2050 Calculator already, and this study constructed essential calculation to generate emission reduction and marginal abatement cost figures of technology or measures. This result shows, in 2030, Ambitious scenarios will have the potential to reduce 150 million tons of carbon dioxide emission in Taiwan, while Very Ambitious scenarios will bring about 200 million tons of reduction. This research investigates the reduction potential and cost of a wide of energy technology or measures. The result can be a solid reference for the government to realize appropriate energy mix in the future.

**Keywords:** Marginal Abatement Cost Curve, 2050 Calculator, energy saving and emission reduction, energy supply and demand scenario

---

<sup>1</sup> Researcher, Industrial Technology Research Institute

<sup>2</sup> Senior Administrator, ITRI

<sup>3</sup> Senior Researcher and Department Manager, ITRI

\* Corresponding Author, Phone: 886-3-5918412, E-mail: CTChu@itri.org.tw

Received Date: October 8, 2014

Revised Date: November 30, 2014

Accepted Date: December 4, 2014