

## 我國 2050 年邊際減量成本曲線建置與分析

### Developing a Marginal Abatement Cost Curve in 2050 for Taiwan

溫珮伶<sup>1,\*</sup>  
Peiling Wen

郭瑾璋<sup>1</sup>  
Jing-Wei Kuo

劉子衙<sup>1</sup>  
Tzu-Yar Liu

李孟穎<sup>1</sup>  
Meng-Ying Lee

周裕豐<sup>1</sup>  
Yu-Feng Chou

<sup>1</sup> 工業技術研究院綠能與環境研究所

Green Energy and Environment Research, Industrial Technology Research Institute

\* peiling19@itri.org.tw

#### 摘要

本研究發展一套本土系統化的邊際減量成本 (Marginal Abatement Cost Curve, MACC) 評估量表, 並結合工研院綠能所技術能量, 從技術角度探討未來減量目標下所要付出的代價及應該要實施減量措施或技術, 期提供研發資源規劃與節能減碳推動策略參考。根據評估結果, 供給面以離岸風力與地面型太陽光電等淨源技術最具排放減量潛力, 需求部門以工業能源管理系統與 LED 照明最具減量淨效益。而 2050 年總 CO<sub>2</sub> 排放減量潛力, 則介於政策情境的 202 百萬噸和減碳情境的 429 百萬噸之間。

關鍵詞: 邊際減量成本、節能潛力、MACC 評估量表

#### Abstract

This paper has developed a marginal abatement cost curve (MACC) for technically feasible measures applicable in Taiwan. A range of specific abatement technologies and measures have been screened for their cost-effectiveness and mitigation potential in 2050. Results indicate that the abatement potential by 2050 is likely between 202 and 429 MtCO<sub>2</sub> depending on the policies implemented.

Keywords: Marginal Abatement Cost Curve, Energy Saving, MACC Assessment Tool

#### I. 前言

能源為維持生存活動的衍生需求, 然而面對全球暖化日益惡化, 人類正處在能源轉型的關鍵時代。為對抗氣候變遷, 2015 年簽署的巴黎協定(2016 年 11 月生效)可謂史上最具企圖心的限制碳排放公約, 為未來推動綠色能源、低碳技術、以及永續成長的關鍵基礎。之後, 各國陸續提交國家自定貢獻 (Nationally Determined Contributions, NDC), 迄今計 186 個締約國提交 NDC, 宣告其溫室氣體減量責任[1]。

近年來, 各國政府也不斷強化其能源轉型政策, 投入綠色能源、低碳與節能技術的研究發展, 試圖改善能源加速消耗與污染排放問題。然而, 面對多種可能實現節能減碳的技術或措施, 資源有限下我們應該如何決定技術開發或措施推動的行動策略。邊際減量成本曲線 (Marginal Abatement Cost Curve, MACC) 因具豐富技術細節, 被廣泛應用在各國國家減碳策略與目標擬定。

英國氣候變遷委員會 (Committee on Climate Change, CCC) 利用 MACC 之各技術減量成本, 以市場碳價格為

基準, 評估各項減碳措施之成本效益, 作為碳預算制定的參考[2]; 英國能源與氣候變遷部 (Department for Energy and Climate Change, DECC, 現為 Department for Business, Energy and Industrial Strategy, BEIS) 亦利用減量成本技術資料庫, 評估達到碳預算目標所需成本, 並作為因應碳預算之減量策略規劃制定的參考[3]。愛爾蘭通信、氣候行動與環境部 (Department of Communications, Climate Action and Environment, DCCAE) 在 2019 年提出的氣候行動計畫 (Climate Action Plan 2019) 中, 以 MACC 為分析基礎, 探討欲填補國家 2030 年減碳目標的缺口下最具效益的減碳路徑, 並提出措施推動時程規劃與部門減量責任分配[4]。紐西蘭環境署 (Ministry for the Environment) 近期進行紐西蘭排放交易體系 (New Zealand Emissions Trading Scheme, NZ ETS) 改革時, 亦應用 MACC 探討 2021 至 2025 年合理的排放預算 (Provisional Emissions Budget), 作為 NZ ETS 中排放量上限訂定的依據[5,6]。

工業技術研究院 (以下簡稱工研院) 亦曾於 2011 年建置我國減量成本曲線 (Marginal Abatement Cost Curve, MACC), 尋找我國溫室氣體減量可行策略[7]。然而時至今日, 能源技術已呈現不同於往日的發展樣貌。為重新釐清技術風險和發展成本, 協助政府研擬節能減碳目標的最佳策略, 工研院 2019 年底啟動各新及前瞻能源技術團隊與節能減碳技術團隊的專業能量, 期許建構我國 2050 年邊際減量成本曲線。

於是, 為提供基礎一致的分析方法來評估跨部門各項節能減碳技術, 本研究建置一系統化 MACC 評估量表 (MACC Assessment Tool), 可比對不同措施下的成本投入與減量效果。量表是以 Excel 為基礎 (Excel-based) 所發展的評估工具。奠基於 2011 年 MACC 建置經驗, 設計量表時考量各節能減量技術或有不同技術特徵 (如太陽光電技術、冷氣機技術、行為面改變措施等) 與技術發展情境不確定性, 且能細緻處理各技術減量成本與節能量的演算邏輯, 並排除單一技術疊加可能發生重複計算問題 (如建築外殼與冷氣機節能技術)。然後, 本研究結合工研院技術能量, 根據國內政策、資源限制、技術條件, 全面盤點出 93 項重點減量技術 (16 項淨源技術和 77 節流技術) 的減量潛力與可能成本。

## II. 研究方法

### 2.1 邊際減量成本曲線(MACC)定義

麥肯錫 (McKinsey&Company) 公司於2007年2月發布全球溫室氣體減量曲線，領先全球提出一套一致性資料庫，提供溫室氣體減量的討論基礎，並呈現出不同部門、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[8]。由於麥肯錫的 MACC 方法直觀呈現減量技術成本效益，讓各國廣泛接受，更和各國研究機構用合作建置國家層級的 MACC，包含英國、中國大陸、捷克、瑞典、美國、澳洲及德國等[9]。讓邊際減量成本曲線成為溫室氣體減量措施潛力與減量成本的重要評估工具之一[10]。工研院與我國國家科學委員會(以下簡稱國科會)亦曾在2011年參考麥肯錫方法，建置我國邊際減量成本曲線 [7,11]。

減量成本曲線概念如圖1所示。每個區塊的面積代表該措施的減量代價，水平寬度代表各措施在該年度相對基準情境可減少的溫室氣體排放(所有溫室氣體折算二氧化碳當量加總)，而垂直高度代表該措施在特定年度減少每單位溫室氣體所需額外花費的成本。當單位減量成本為負值時，表示該技術或措施具有減量效益(或可稱作成本有效性)，若為正值，則表示需要付出一定減量成本。MACC圖依據單位減量成本，由低(左)至高(右)排序，越左邊的區塊越具減量效益，越往右邊則表示需付出越多減量代價。然而，需注意各項技術或措施項目可能因為時間(評估年度)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有可能會不相同。

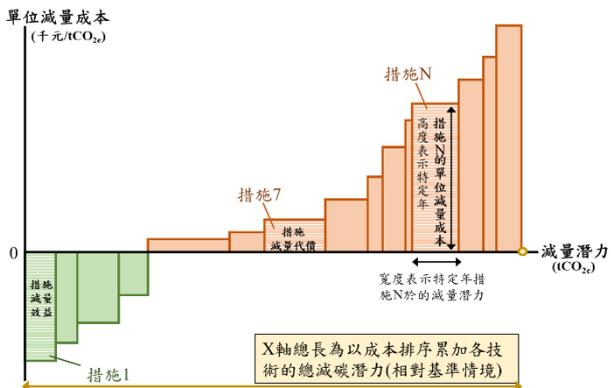


圖 1 邊際減量成本曲線概念

各減量技術或措施項目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滲透率(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。減量成本主要公式如下：

$$\begin{aligned} \text{排放減量} &= \text{基準情境排放量} - \text{發展情境排放量} \\ \text{增額成本} &= \text{發展情境技術淨成本} - \text{基準情境技術成本} \\ \text{減量成本} &= \text{增額成本} / \text{排放減量} \end{aligned}$$

減量成本為兩情境(技術或措施導入前後)投入成本之差值除以溫室氣體排放量差值，意義上即為每減少一單位排放量所需投入的額外成本。各情境溫室氣體排放量是依能源消費量乘以能源排放係數計算所得。情境成本為發展此技術或推動該措施的成本，包含投資成本(根據設備使用年限與依折現率攤提每年投入成本)、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。此外，發展情境因考量需求面技術或措施推動的節能正面成果，投入成本會扣除減少能源或電力使用的節能效益。

### 2.2 情境定義

本研究情境設定，包含基準情境與發展情境。基準情境是各技術或措施導入前的比較基準，定義未來無任何作為或不主動推動節能減碳技術，讓市場自由運作發展。考量各技術或措施導入與發展的不確定性，MACC評估量表設計3個發展情境：政策、前瞻及極限。發展情境中，各項目的開發潛力、技術效率、市場滲透率及成本參數等，則是工研院技術專家依表1情境定義進行假設。第三節則呈現與討論政策情境與前瞻情境的結果，以觀察技術發展不確定下的減量潛力差異。

表 1 情境定義

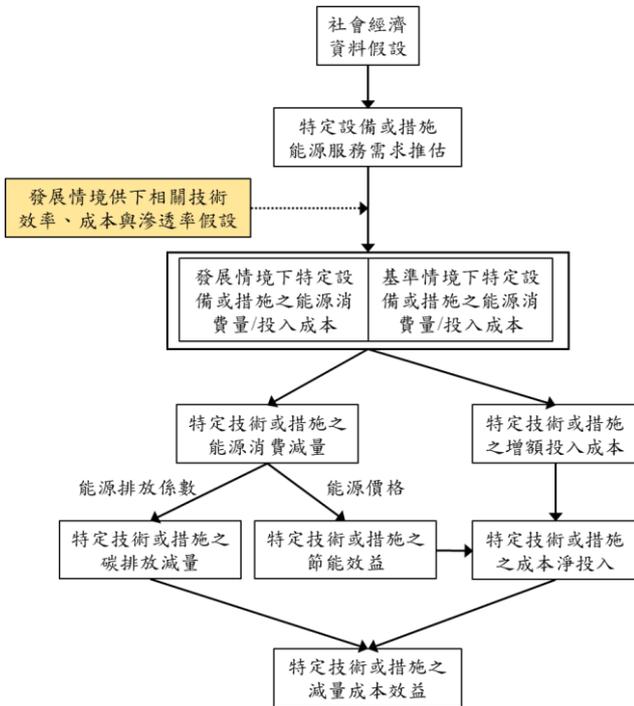
情境	說明
基準情境	無任何作為下的發展情境，以此為基準分析下列3發展情境之減量與成本淨投入。未來各技術或措施的開發量、技術效率、滲透率與成本假設大都維持在基準年(2018年)水準。
政策情境	依現行政策目標或技術發展趨勢提出規劃，需一定程度的努力與作為，破除市場障礙、逐步提高法規標準並投入新技術開發。
前瞻情境	比現行政策目標積極，需投入更多資源、或需有突破性的技術或法規限制等來達成。
極限情境	需非常積極規劃與行動，以達成溫室氣體減量與管理法2050年減碳目標(2050年較2005年減碳50%)。並需要排除更多政策限制或導入更多政策性輔助，科技發展有重大突破才可達成。

### 2.3 MACC 評估量表

面對我國溫室氣體減量及管理法(以下簡稱溫管法)2050年較2005年排放減量50%政策目標，與國內外深度減碳倡議壓力，於是試圖開發一套系統化節能減碳技術的評估工具，期許MACC評估量表(以下簡稱量表)可作為未來能源開發或產業技術發展策略的重要基礎。

量表雖是由下而上(bottom-up)的模型架構，但計算邏輯並非屬於複雜的計量模型或最佳化等方法，而是以資料填寫規則簡易與立即回傳評估結果，且能細緻處理減量成本與節能量計算為設計目的。考慮到技術發展的不確定，提供三種技術發展情境選項，方便使用者(通常為技術專家)比較各發展情境在目標年的減量潛力與需要付出代價，檢視參數設定影響與進行差異分析。以

及，由於減量技術或措施項目的特徵不盡相同，本研究提供多種技術態樣範例，供使用者選擇，亦配合其需求調整演算邏輯。



說明：

1. 能源服務需求並非為對各類能源的實際需求，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以延人(或延噸)公里計算。
2. 黃底方框標示處，由工研院技術組專家提供發展情境參數。

圖 2 MACC 評估程序

本研究各技術或措施項目減量成本之計算程序如圖 2 所示。依此程序建置的量表，分為四大區塊：共同假設區、資料填寫區、資料計算區、結果產生區。共同假設區提供未來社會經濟趨勢，包括經濟成長率、人口推計、能源價格、折現率、能源排放係數等。資料填寫區係結合工研院技術能量，由相關技術專家提供三種技術發展情境參數設定(如技術效率、滲透率、設置與運維成本、使用年限等)。資料計算區細緻處理設備汰舊換新(涉及設備容量與投資成本計算)，與避免系統面評估重複計算問題，完整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。結果產生區則是資料計算區之結果彙整，利於技術專家迅速檢視技術節能潛力與減量成本合理性。

本研究量表結合工研院技術專業能量，考量國內政策、資源限制、技術條件，建立本土化節能減碳技術資料庫，盤點出 93 項技術(請參考表 2)，並首次提出行為面措施的中長期發展規劃。量表基於相同的評估基礎，容易探討在給定的總減量目標下所需要付出的代價及應該要實施的減量技術與措施項目。相關分析結果，可提供政府資源投入規劃與節能減碳推動策略之研擬參考，亦可作為國際減量協商、國內相關利益團體溝通之討論基礎。

在此必須強調，表 2 整理出之節能減碳技術或措

施，並非涵蓋所有可採用之技術或措施項目，尚有具有節能減碳潛力，但未被系統納入計算之技術或措施項目，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。

表 2 MACC 評估量表技術與措施項目

分類	項目
淨源技術 (16)	廢棄物發電、生質發電、沼氣發電、生質混燒、生質混燒、燃料電池、電力碳捕獲與封存(CCS)、陸域風力、離岸風力、淺層地熱、深層地熱、波浪發電、海流發電、溫差發電、屋頂型太陽光電、地面型太陽光電。
工業部門 (37)	工業 CCS、導入 LED 燈具、導入高效率馬達、高效率風機、高效率多段泵、高效率單段泵、導入高效率油潤滑空壓機、導入高效率無油空壓機、水管式鍋爐改天然氣、煙管式鍋爐換天然氣、鏈條式塊煤鍋爐換天然氣、高爐節電、高爐粉煤噴吹、高爐燒結熱回收、高爐乾式淬火、電弧爐節電、電弧爐造渣技術、電弧爐吹氧噴油、電弧爐高壓變壓器、水泥業節能措施、造紙業節能措施、石化業節能措施、提昇冰機效率、工業能源管理系統等。
運輸部門 (8)	生質酒精、生質柴油、生質航空燃油、小客車低碳化、機車低碳化、市區公車低碳化、小貨車低碳化、大貨車能效改善。
住宅部門 (21)	LED 燈具、高效率空調、即熱式熱水器(LPG, NG)、燃氣台爐(LPG, NG)、筆記型電腦、桌上型電腦、電視機、電鍋、開飲機、電熱水瓶、貯備型電熱水器設備效率、除濕機、電冰箱、空氣清淨機、電扇、乾衣機、洗衣機等設備效率、導入住宅能源管理系統、建築外殼更新。
服務部門 (11)	LED 燈具、變頻冷藏櫃、電信機房、高效率空調、熱泵熱水器、不斷電式電源供應器等設備效率、導入商業能源管理系統、建築外殼更新、減少外氣滲透率(行為面)、窗簾遮陽(行為面)。

### III. 結果與討論

#### 3.1 各技術減碳成本與減碳量排序

如前所述，邊際減量成本曲線是以專家為基礎的研究方法，其藉由各技術領域專家對該技術未來各年度的技術效率演變、新技術滲透率、設備投資成本、使用年限等依情境設定宗旨提出假設，因此不同年度、不同情境可分別呈現出對應的邊際減碳成本曲線。圖 3 為我國 2050 年極限情境下的邊際減量成本曲線，由圖左至右為各技術減碳成本由低至高、負轉正的排序。整體而言，具減碳效益(即減碳成本為負)均屬需求面節能技術，包括機車低碳化、大貨車能效改善、工業導入能源管理系統、高效率馬達/泵浦、燃煤/燃油鍋爐轉燃氣鍋爐、服務業導入 LED 燈具、高效率空調、熱泵熱水器等，建議未來應藉由法規管制或政策補助、推廣等措施，優先推動能源效率提昇，加速落實具減碳效益技術。中間兩大區域減量成本為正，成本分別約在 0~2 千元/噸以內及 2~4 千元/噸，這兩區域內的技術多屬淨源技術，減碳潛力大但成本相對較能源效率措施高，如燃料電池、太陽光電、生質能混燒發電、電力碳捕獲與封存(carbon capture and storage, CCS)、工業 CCS、離岸風力、淺層

地熱、深層地熱等，建議政府可針對這些已接近產業化的技術加強投入資源，並透過大型示範實例、產業聯盟以及創新營運模式之驗證，加速技術的成熟與布建。而曲線最右邊為成本最高，其中針對具減量潛力技術，應加強研發資源投入，以提高技術商業化的可行性，降低成本，並鎖定具發展利基技術，如海流發電、溫差發電、小客車低碳化技術、建築隔熱技術等。



圖 3 我國 2050 極限情境邊際減碳成本曲線

邊際減碳成本曲線各技術減碳潛力是以相對基準情境而言，在淨源技術主要是以各技術發電量替代燃煤發電進行估算，而在需求技術則依各技術相對基準情境的節能量或節電量，再乘上各燃料對應的排放係數，其中電力排放係數是以基準情境的平均電力排放係數估算，其已考量未來燃煤機組效率提昇、發電配比結構變化等。表 3 為各部門 2050 節能量與節能貢獻比(部門節能占總節能的比列)，顯示運輸部門節能潛力最大，包括運具效率提昇、運具電氣化、生質燃料替代，由於電氣化的節能效果顯著，因此使得運輸在各部門中居冠；其次為工業部門，主要包括工業馬達、泵浦、冰機效率提昇，工業耗能產業製程節能及工業能源管理系統(factory energy management systems, FEMS)；最後則為服務業與住宅部門，主要措施為導入 LED 燈具、高效率空調與能源管理系統。

表 3 各部門 2050 節能量與節能貢獻比

2050年節能貢獻量/貢獻比	政策情境 遵循政策規劃方向 (MLOE, %)	前瞻情境 強化技術發展與推廣 (MLOE, %)	極限情境 考量技術/滲透率限制 (MLOE, %)
工業部門	2,530(32.2%)	3,514(26.9%)	7,017(38.5%)
住宅部門	735(9.4%)	1,363(10.4%)	1,576(8.7%)
服務業部門	705(9.0%)	1,994(15.2%)	2,388(13.1%)
運輸部門	3,881(49.4%)	6,207(47.5%)	7,232(39.7%)
合計	7,851	13,078	18,213

圖 4 與圖 5 分別是 2050 年政策情境與極限情境下的十大減量技術，其中電力部門主要措施為離岸風電、太陽光電、電力 CCS、燃料電池、溫差發電；工業部門主要措施工業 CCS、能源管理系統、導入高效率馬達；住宅與服務業部門主要措施為導入 LED 照明；運輸部門主要措施為小客車低碳化(電動車推廣)，兩情境間最大的差異除極限情境對於各技術滲透率設定更為積極

外，其中工業能源管理系統於政策情境政府係假設配合政府能源大用戶每年節電 1% 政策，但因非強制規定安裝能管系統，以致工業部門能源管理市場發展較緩慢，各大耗能產業以 0.1~1% 速度擴散；在極限情境，則假設未來因應再生能源發展條例執行與參與台灣電力公司需量反應負載管理措施，帶動能管系統全面導入用電大戶，且人工智慧(artificial intelligence, AI)與互聯網(internet of things, IoT)技術成熟，全面導入能源調度最適化與關鍵智慧控制技術，提高工業能管系統節電效果，所以整體減碳潛力較政策情境明顯增加。其他如電力 CCS、工業 CCS、燃料電池等於極限情境中亦是假設技術漸趨成熟、成本下降促使技術擴散，明顯提昇減碳潛力。接續分別說明淨源關鍵技術與節能關鍵技術減碳成效與其重要設定。

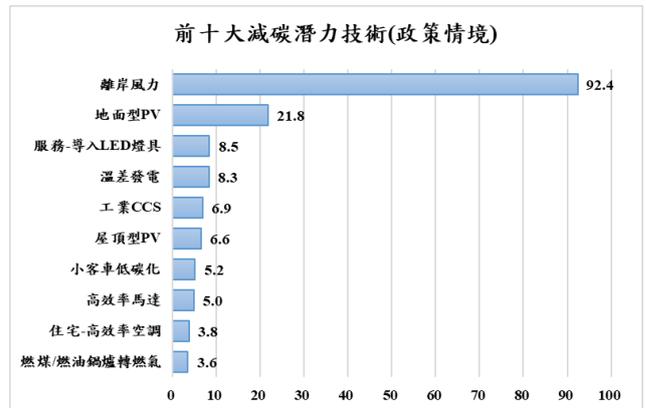


圖 4 政策情境下前十大減碳潛力技術

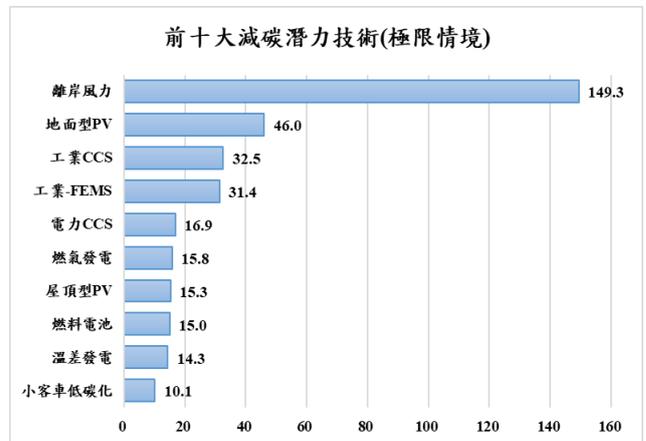


圖 5 極限情境下前十大減碳潛力技術

### 3.2 淨源關鍵技術

淨源關鍵技術有離岸風力、太陽光電、電力 CCS、燃料電池與溫差發電，其減碳成效與重要設定分別說明如下。

- 離岸風力：2050 年減碳潛力為 92.4~149.3 百萬噸，減量成本為 2.12~2.68 千元/噸。主要設定為 2026 年起每年新增裝置量 1GW (giga-watt)，2031 年起朝水深大於 50 公尺方向發展，2045 年優質風場全數開發，2046 年開發至次級風場。其中，風場位於大於 50 公尺水深，由於風能增加，容量因數應可提升至 56.6%。
- 太陽光電：2050 年減碳潛力為 28.3~61.3 百萬噸，

減量成本為 1.89~2.04 千元/噸。以不增加政府 20GW 目標所需土地面積規劃為限制條件，藉由 (1)補助或費率加成方式誘使廠商提前汰換光電模組設備(repowering)，(2)強化模組效率由現行約 19.2%提昇至 29%，(3)提高模組年發電量 10%以上，每瓩(kW)額定容量年發電量由 1,250 度(kWh)增加至 1,375 度(kWh)，及(4)開發 3GW 海上型 PV 系統，預計 2050 年裝置量可達目前規劃量的兩倍以上。

- 電力 CCS：2050 年減碳潛力為 3.4~16.9 百萬噸，減量成本為 1.65~1.98 千元/噸。主要設定為未來新增燃氣電廠中合計有 2GW 裝設 CCS，燃煤電廠考量未來不再新增，以既有機組 1.9GW 裝設 CCS。
- 燃料電池：2050 年減碳潛力為 2.3~15.0 百萬噸，減量成本為 1.30~4.73 千元/噸。主要設定為 2025 年前以發展利基市場包含高抗災備用電力與在地料源發電之應用為主。因 2025 年以後隨設備成本降低，逐步推廣作為分散式發電、工業用熱電共生及中大型基載發電應用，2050 年裝置量規劃為 0.6~2.1GW。
- 溫差發電：2050 年減碳潛力為 8.3~14.3 百萬噸，減量成本為 4.4~8.3 千元/噸。主要設定為 2030 年技術逐漸成熟，大管徑冷水管技術突破，2030 至 2035 可完成第一座 10MW(mega-watt)岸基式示範電廠，之後朝大型岸基式電廠開發(離岸較近之電廠)，並克服大水深海底電纜鋪設與輸送技術，2050 年裝置量規劃為 0.4GW~1.2GW。

### 3.3 節能關鍵技術

需求面關鍵技術為工業 CCS、工業能源管理系統、小客車低碳化、導入 LED 燈具，其減碳成效與重要設定分別說明如下。

- 工業 CCS：非屬節能技術，但為需求面的關鍵減碳技術。2050 年減碳潛力為 6.9~32.5 百萬噸，減量成本為 1.6~2.0 千元/噸，極限情境設定 2050 年全臺鋼鐵廠與水泥廠均加裝 CCS，石化業設置一座 CCS，但前提是須導入碳訂價機制，建立碳捕存法規、標準及相關規範，並克服民眾對 CCS 封存的疑慮。
- 工業能源管理系統(FEMS)：2050 年減碳潛力為 0.4~31.4 百萬噸，減量成本為 -4.6~ -5.2 千元/噸，極限情境設定為因應再生能源發展條例執行與參與台灣電力公司需量反應負載管理措施，帶動能管系統全面導入用電大戶，且未來 AI 與 IoT 技術成熟，能源管理系統有讓全廠節電 5%潛力。
- 小客車低碳化：2050 年減碳潛力 5.2~10.1 百萬噸，減量成本為 1.73~8.8 千元/噸。極限情境主要設定為至 2040 年市售小客車全為潔淨車輛(30%插電式油電車與 70%純電動車)，且至 2040 年各類燃油車輛燃油效率相較 2018 年成長 40~49%。但為因應電動汽車增加，未來須完善充電站基礎建設布建規劃，建立充電管理與價格誘因機制。
- 導入 LED 燈具：2050 年減碳潛力為 9.7~10.0 百萬噸，減量成本為 -0.4~ -0.5 千元/噸。主要是以最低能源效率標準 (minimum energy performance standard, MEPS)規範市售燈具最低能效，2022 年

需達每瓦 110 流明(Lm/W)、2028 年 145Lm/W、2035 年 165Lm/W。此外，透過法規管制，極限情境設定 2022 年 LED 市場銷售滲透率達 100%。

## IV. 結論

各國國家節能減碳策略擬定常以邊際減量成本分析作為重要評估工具之一(CCC, 2015; DCCAE, 2019; DECC, 2016; McKinsey& Company, 2010; 朱証達等, 2014)。然而，技術發展日新月異，為提供可信賴的決策參考，定期釐清技術風險和發展成本有其必要性。這是本研究建立 MACC 評估量表的重要動機，一個以 Excel 基礎進行設計的系統化量表，具備容易填寫與檢視的特點，方便技術專家自行定期更新；量表提供多種技術態樣範例，利於技術專家自行擴充技術工作表；量表還提供三種發展情境，益於專家觀察技術發展不確定性影響。

本研究 MACC 評估量表以技術端的角度出發，系統化探討各技術或措施項目之減量潛能與相關代價。以及，量表結合工研院綠能所技術能量，建立本土化節能減碳技術資料庫，構成 93 項技術發展情境之中長期發展規劃，期能提供政府資源投入規劃與節能減碳推動策略之研擬參考。

在量表納入評估之項目中，本研究發現供給面以離岸風力與地面型太陽光電等淨源技術最具排放減量潛力，需求部門以工業能源管理系統與 LED 照明最具減量淨效益。2050 年總 CO<sub>2</sub> 排放減量潛能，大約在政策情境的 202 百萬噸和減碳情境的 429 百萬噸之間。由於工研院研發能量集中在主要節能與綠能技術，仍有些許具潛力之部門技術並未納入量表，例如農業部門及其他非能源密集製造業部門之技術或措施項目，這也表示我國減量潛能尚有增加之可能。以及，後續可定期配合技術發展進程，維護更新節能減碳技術資料庫，最大發揮 MACC 評估量表之政策輔助功能。

## 誌謝

本研究承蒙工研院綠能與環境研究所支持。感謝工研院綠能所各組技術專家：劉志文、鄭名山、萬皓鵬、江旭政、曾鵬樟、余培煜、李清然、張文奎、蔡宗成、謝文德、劉欣宇、趙令裕、張育瑞、李松宏、廖建順、羅進鴻、洪明龍、洪嘉業、潘子欽、詹益亮、林杏秋、黃啟峰、陳俊宇、楊子岳、林修弘、吳劭易、廖啟雯、張文昇、李鈞函、吳錦貞、王健源、蔡建弦、林福銘、黃崇傑、張永源、韓吟龍、張文綺等(敬稱略)提供相關技術參數，協助完善評估量表運算邏輯。

## 參考文獻

- [1] UNFCCC, NDC 提交統計網站, 2020/6/18 查詢 <https://www4.unfccc.int/sites/NDCStaging/Pages/All.aspx>。聯合國氣候變化綱要公約(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)秘書處統計共 186 個締約國提交 NDC (不含台灣)。
- [2] Committee on Climate Change. The fifth Carbon Budget: The Next Step towards a Low-Carbon Economy. 2015.
- [3] DECC, UK Government. Impact Assessment for the Level of the Fifth Carbon Budget. 2016.
- [4] DCCAE, Government of Ireland. Climate Action Plan 2019: To Tackle Climate Breakdown. 2019.
- [5] Ministry for the Environment, New Zealand Government. Reforming the New Zealand Emissions Trading Scheme: Proposed Settings – Consultation Document. Wellington:

- Ministry for the Environment. 2019.
- [6] Ministry for the Environment, New Zealand Government. Marginal Abatement Cost Curves Analysis for New Zealand: Potential Greenhouse Gas Mitigation Options and Their Costs. Wellington: Ministry for the Environment. 2020.
  - [7] 朱証達、吳振廷、郭瑾璋、洪明龍，「整合臺灣能源供需情境模擬之溫室氣體減量成本分析」，臺灣能源期刊，第 1 卷，第 5 期，第 551-573 頁，2014 年 12 月。
  - [8] McKinsey&Company, "Global Cost Curve Version 1: A Cost Curve for Greenhouse Gas Reduction", McKinsey Quarterly, Feb., 2007.
  - [9] McKinsey & Company, "Climate Change Special Initiative – Greenhouse Gas Abatement Cost Curves," New York, 2010.
  - [10] Kesicki F. and Strachan N., "Marginal abatement cost (MAC) curves: confronting theory and practice," Environmental Science & Policy, Volume 14, Issue 8, pp. 1195-1204.
  - [11] 國科會，「台灣溫室氣體減量進程與綠能產業發展政策之基礎研究(II)」，行政院國家科學委員會能源國家型科技計畫。2013 年 3 月。