

英國能源與減碳政策溝通工具: 2050 Calculator

朱証達

工業技術研究院 綠能與環境研究所

摘要

英國政府為達成 2050 年減碳 80% 之目標(相較 1990 年)，除推動各項能源供給與需求端之政策與措施外，也藉由公開的模擬工具 2050 Calculator 讓決策者、專家、業者及社會大眾一同參與制定合理的減碳路徑，並為這些路徑辯證。對英國政府來說，此工具更重要的意義在於公開數據與運算方式，讓社會大眾共同去檢視，不斷的修正讓模型更合理。此外，英國也展現協助國際共同減碳之決心，透過國際交流合作已經協助比利時、中國大陸及南韓建立自有之 2050 Calculator 工具。此工具之呈現簡單易懂、易於操作，讓社會大眾更容易參與能源與減碳議題，政府也達到清楚溝通減碳過程中之困難與挑戰。我國缺乏一套清楚讓社會大眾了解我國能源與減碳情境之工具，或許可透過與英國官方合作之機制建立我國自有 2050 Calculator 工具去達成此目的。

一、英國 2050 Calculator 開發背景與簡介

英國是目前全球減碳最積極的國家之一，二氧化碳排放自 1990 年來不斷下降，2011 年的二氧化碳排放量已經降低到 1990 同年水準的 77.3%^[1]。英國於 2008 年頒布了極具指標性的 2008 氣候變遷法案 (Climate Change Act of 2008)，其最重要的意義在於規範了具約束力之法定減量目標，在 2050 年前將溫室氣體排放降低到 1990 年等量之 20%。在如此具野心的減碳目標之下，能源供給與需求結構必須有很大轉變，這些改變必須要及早行動，因為大型開發計畫、能源科技商業化、生活型態改變等等都需要很長時間。例如，電廠之營運可達 40 年以上，意即目前提出的電廠開發案即會影響到 2050 年時的能源

供給結構與碳排放量。

英國能源與氣候變遷部(DECC)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模型之研究，以推估未來能源、經濟與環境之情境，但這些模型之假設與邏輯較不易被社會大眾所理解，社會大眾僅能被動接受其結果。DECC 遂在 2010 年透過企業、NGO、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 Calculator¹。後續不斷持續改版與強化，在 2011 年底隨著『碳計畫』(The Carbon Plan)的公告提出了整合成本計算之版本，並在 2012 年底再次推出新的修正版。

此工具之開發有兩關鍵原則：其一，必須確保國家經濟發展和能源規劃必須與減碳目標一致，在訂定產業發展的短程及中程目標時不會和長期減碳目標衝突。因此在 2011 年底提出的“碳計畫”便藉由此工具提出三個未來發展情境[2]，以此為參照去規劃未來經濟目標與產業策略。其二、資訊必須公開透明，並可讓多方利害關係人參與，包含決策者、專家學者、產業人士與一般大眾等。因此工具被開發成三種公開實體呈現方式：Excel 模型、網頁介面及 My2050 互動程式。

此工具被英國政府視為重要的能源與減碳政策溝通工具，其可以回答的問題相當廣泛，如：再生能源在未來如何滿足能源需求？民眾的行為改變如何影響能源供需？未來對化石燃料進口的依賴程度？什麼樣的情境可以達成減碳目標？如何在邁向低碳社會的同時維持經濟成長動能？達成各種減碳情境時所需的成本？未來每個時期的能源供需結構？等問題。社會大眾可以藉此簡單的工具得到解答。

二、2050 Calculator 工具

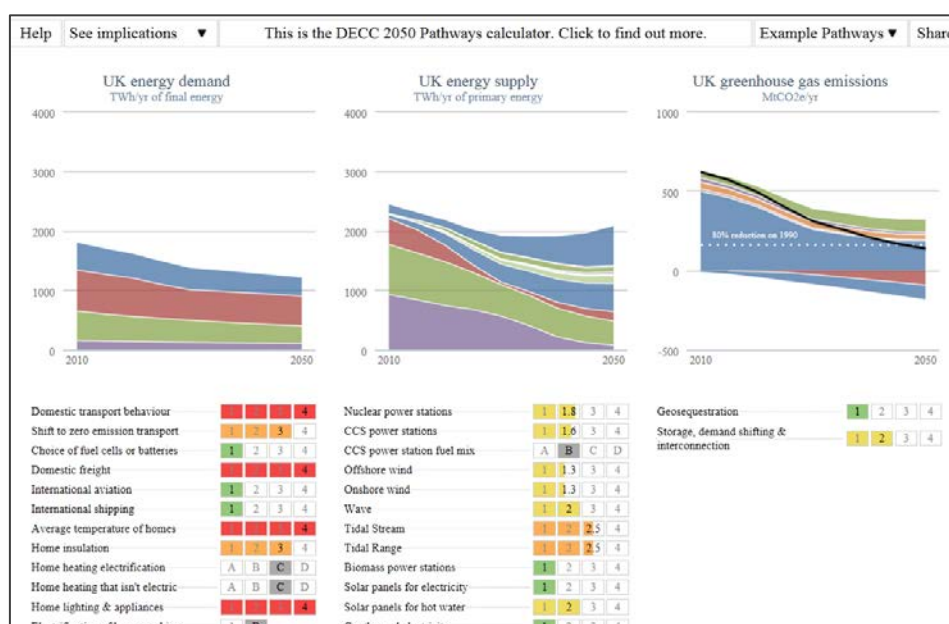
(一) 工具之介面

依目標使用對象不同，2050 Calculator 被開發成三種型式。Excel 模型²中直接呈現各項原始數據參數及計算邏輯與公式，讓專家學者

¹ DECC 2050 Calculator, <http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/tackling/2050/2050.aspx>

² Excel 2050 Calculator, <http://www.decc.gov.uk/assets/decc/11/tackling-climate-change/2050/6854-2050-calculator-with-costs.xlsx>

能深入的研析此模型，並變更資料與計算。網頁介面³之呈現如圖 1 所示，左側為能源需求項目，中間為能源供給項目，右側為碳排放量。上方圖表為 2010 年至 2050 年能源供需及碳排放量曲線，下方選項為各細部項目情境選項。使用者在變更任一項目後，系統即重新計算並繪製上方圖表。此介面易於解讀，一般民眾可直接調整各項目情境去分析對應結果，以了解能源供需設定對碳排放的影響。此外介面也顯示出能源流、能源安全數據及土地需求面積等資訊。My2050⁴也是一建構在網頁上之互動程式，其目標使用對象是青年學子或對能源較無概念之民眾。介面以圖像化的方式呈現出日常生活意象，並且同樣可以調整數個能源供需項目之情境，是網頁介面的簡化版。



資料來源：DECC (2050 Calculator Web Tool)

圖 1、2050 Calculator 網頁介面

(二) 工具之核心模型

三種不同介面都是使用同一核心模型，其為一套由下而上 (Bottom-UP) 之能源工程模型。模型是由細部的技術發展、技術成本、能源服務需求及物理限制等資訊去計算各項目情境，再由各種項目堆

³ DECC 2050 Calculator web tool, http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/tackling/2050/calculator_on/calculator_on.aspx

⁴ DECC My2050, <http://my2050.decc.gov.uk/>

疊起來去計算總體能源供需及碳排放量。原始細部技術情境數據是經由專家直接推估或由其他模型推估後再由專家檢視修訂。其運算邏輯與邊際減量成本曲線(Marginal Abatement Cost Curve)較相似，但 2050 Calculator 模型在動態時間上的評估上更為全面，而邊際減量成本曲線多只能評估單一時間點技術與措施之成本效益。

(三) 各項目之情境設定

模型的基礎為各能源供需情境的項目，在此工具模型裡，能源供給項目 有：整合碳捕獲與封存(CCS)之化石燃料電廠、核電廠、陸域風力、離岸風力、海洋能、生質燃料電廠、太陽光電、太陽熱能、地熱能、水力發電廠、電力進口、生質燃料進口、廢棄物回收量等。而能源需求項目 有：住宅隔熱、住宅照明與電器、住宅熱能供應、住宅烹調、住宅平均室溫、服務部門隔熱、服務部門空調、服務部門照明與電器、服務部門熱能供應、工業成長、工業能源密集度、國內貨運、國際航空、國際船運、國內運輸行為等。

模型裡大部分項目被制定成四種情境，由消極到積極分為 Level 1 到 Level 4：

- Level 1 (Little or no attempt)情境表示在此項目上無作為，或減碳相關動作非常消極，但此情境並非基礎情境(BAU)。
- Level 2 (ambitious)情境代表在一定程度努力下可達成之目標，此目標是各專家公認合理且可達成的，並且以目前的政策或發展規劃可完成，此情境較接近基礎情境(BAU)。
- Level 3 (very ambitious)情境表示需要有非常野心的規劃與動作才能達成之目標，目前的發展規劃需要有很大的轉變或科技發展有重大的突破才可達成。
- Level 4 (heroic)情境所制定之目標已經接近該項目的物理或技術極限，需要盡極大的努力才可能達成。

在各個項目四種情境的數值制定中，會考量四個主要因素：行為與生活型態改變，如交通使用行為改變或可忍受更低的室溫等；技

術發展與轉變，低碳科技之發展與產品滲透，如 LED 照明或能源使用效率之提升；不同技術或能源之替代性，如車用燃料電池與不同鋰電池之間的選擇；經濟結構性改變，如製造業的衰退或復甦。

在此可以英國現今強力推動的離岸風電為例子來看四種情境之設定及其考量因素。英國於 2010 年公告第三期離岸風電計畫，若和先期的計畫加總，總規劃之預定開發量已達 47 GW。在制訂四種情境時，考量了許多因素，如未來單機系統容量提升、安裝效率提升、系統運轉年限、發電成本下降潛力、水深與離岸距離、市場競爭、民眾接受程度等因素等。四種情境設定[3]如下：

- Level 1 之設定將第三期的離岸風電計畫排除，僅以已經執行中的前兩期計畫為基礎，預估到 2025 年總設置量達到高峰 8 GW，之後便逐年下降，到 2050 年總設置量歸零。
- Level 2 之設定為假設三期的離岸風電計畫與蘇格蘭的離岸風力計畫都能順利執行，並且每一個計畫從規劃到完成只要 4 年時間，預估到 2050 年總設置量可達 60 GW。
- Level 3 之設定為假設整體供應鏈能在未來幾年快速成長，政府強力介入刺激市場，並且政府非常有野心的開發更多潛在區域。預估到 2020 年總設置量達 18 GW，到 2050 年達 100 GW。
- Level 4 之設定為假設供應鏈能力較 Level 3 更健全，政府劃定之開發區域更具野心，積極開發深水區域，在最樂觀推動與開發順利之條件下，預估到 2050 年總設置量可達 140 GW。

三、公開諮詢

(一) 模型方法論與情境數值之諮詢

2050 Calculator 工具裡每個供需項目的情境都先由學者、NGO、產業人士等超過 100 位專家參與制定原始版本。於 2010 年發布 2050 Calculator 工具時，便同時啟動公開諮詢之程序。諮詢內容包含模型本身之方法論以及情境內容之數值。在模型部分，2050 Calculator 是完全公開之模型工具，模型建立之方法與運算之邏輯都直接呈現在

Excel 版本之工具裡，因此專家學者或相關研究員可以直接檢驗模型之方法論與運算是否適切，並提出模型可修正之處，或建議更適切之方法論與模型。在情境數值部分，Excel 版本與網頁介面工具裡都可直接觀看各項目數值假設，因此各界人士都可直接檢視數值並提出修正建議。

諮詢期間 DECC 總共和超過 350 位產官學各界人士互動並討論，收回 116 份正式諮詢報告[4]。在彙整建議與各界提供之參考資料後，對於較有證據基礎之建議，DECC 依此修正各項目之參數與情境數值，對於不被採行之建議，DECC 也於諮詢報告中陳述原因。原始的版本並無包含每個項目之成本假設，DECC 也透過公開諮詢程序自業界取得相關資訊。因此在 2011 年新版本的 2050 Calculator 工具發布時，除了參照諮詢之結果修正數值外，也新增或刪除了部分項目，新的模型也加入了成本假設與推估。

舉例來說，上一章節所提到的離岸風電項目在公開諮詢過程中由各界取得 35 份回覆建議報告[4]，DECC 在參酌新的資訊後便修正一些假設與目標值。對比先前之假設，4 個情境到 2050 年離岸風電之容量因素都只用 35% 計算，修正之版本則假設容量因素到 2035 年即可達 45%，其反應了更真實的運維技術提升之趨勢。此外，未來開發深海浮動式風力系統之技術已較先前樂觀，新版本遂將 Level 4 在 2050 年之總裝置容量由原先的 140 GW 大幅提升到 235 GW。

(二) 減碳路徑之諮詢

在 2010 年發布第一版 2050 Calculator 工具時，DECC 已經在工具中設定了 6 組可達成 2050 年減碳目標之示範路徑(Pathway)，每一組路徑依據發展之主題情境在各個項目上會有不同設定，例如不發展核能之路徑、不發展再生能源之路徑及無法發展碳捕獲與封存之路徑等。這些路徑明確的傳達了減碳必須在不同發展面向間權衡之訊息。在回收並彙整完諮詢報告後，DECC 總結達成減碳目標之要點包含：各部門有效降低能源需求是建立成功減碳路徑之關鍵；住商部門暖氣、運

輸及工業部門需要大幅電力化；電力供應須加倍，並且來自低碳之能源；再生能源的成長將增加能源供需平衡之困難；生質能源將是低碳能源系統重要的一部分；2050 年達到減少 90% 碳排放量是可行的，但其代價相當高。

除了發布官方版之 6 組減碳路徑，DECC 也邀集專家利用此工具擬定自己版本之減碳路徑，並舉辦公開討論會讓各專家發表並辯論，一般民眾可參與整個辯論過程。同時為了鼓勵青年學生參與，DECC 發布了更簡化更具視覺效果之 2050 Calculator 工具 – My2050。英國政府鼓勵學校將此工具落實在教育推廣裡，鼓勵青年學生參與此議題，制定自己減碳路徑並辯論。同時也制定了 My2050 教育手冊⁵，協助教師規劃課程並制定學習目標。

四、2050 Calculator 用於長期目標之情境模擬

2050 Calculator 模型本身特性和英國目前較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，而 UK MACC 則是用以評估在特定時間點最具成本效益技術與措施之模型。這些模型彼此有本質上差異，但能彼此互補。

在 2011 年公布的『碳計畫』裡也描述了達成英國 2050 減量目標的 4 種情境路徑(2050 Futures)[2]，以供 DECC 未來制定『碳預算』(Carbon Budgets)⁶與產業政策參考。其中一情境路徑為以 MARKAL 模型模擬出之最低成本情境路徑，另外三情境路徑為以 2050 Calculator 模型所制定之可能路徑，分別為：較多再生能源及較高能源效率 (Higher renewable, more energy efficiency)、較多 CCS 及較多生質能源 (Higher CCS, more bioenergy)、較多核能及較低能源效率 (Higher nuclear, less energy efficiency)。

此兩模型在給定相同技術發展與社經參數之下，並在未來中等油

⁵ My2050 Schools Toolkit, http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/tackling/2050/2050_leaddebat/2050_leaddebat.aspx

⁶ Carbon Budgets, <https://www.gov.uk/government/policies/reducing-the-uk-s-greenhouse-gas-emissions-by-80-by-2050/supporting-pages/carbon-budgets>

價與中等碳價情境下，其電力相關模擬結果如表 1。為了正確比較不同情境之成本，將 2050 Calculator 設定之三種情境路徑的設定代回 MARKAL 模型所運算之成本結果也列於表 1。

表 1、以 MARKAL 及 2050 Calculator 模擬達成 2050 目標之四種情境路徑電力相關結果

	MARKAL	較多再生能源、較高能源效率	較多 CCS、較多生質能源	較多核能、較低能源效率
2007-2050 年人均能源使用量	-50%	-54%	-43%	-31%
2007-2050 年電力需求成長量	38%	39%	29%	60%
2050 年核能裝置容量	33GW	16GW	20GW	75GW
2050 年整合碳捕獲與封存(CCS)之化石燃料電廠裝置容量	28GW	13GW	40GW	2GW
2050 年再生能源裝置容量	45GW	106GW	36GW	22GW
以 MARKAL 模擬之總體成本(億英鎊)(相較於無作為之成本)	130	360	430	260

資料來源：DECC, 2011(The Carbon Plan: Delivering our low carbon future.)

五、國際合作與實績

DECC 目前正積極和國際發展部與外交單位合作，欲推廣 2050 Calculator 至其他國家。DECC 願意提供協助指派原開發團隊至各國辦理相關說明會，並舉辦教學課程。在開發各國專有 2050 Calculator 工具過程中，DECC 提供非常完整之支援，包含技術諮詢、模型架構改良之建議、團隊運作建議、計畫執行建議、資源取得建議及擬定公開諮詢計畫等。英國政府也由現有之國際氣候基金(International Climate Fund)提供專款協助開發中國家建立自有 2050 Calculator 工具。DECC 所擬定之單一國家之合作計畫可分為三階段，約耗時 12 個月[5]。

目前 DECC 已經成功協助中國大陸⁷、南韓及比利時⁸建立自有之 2050 Calculator 工具。南韓與比利時之模型工具建立方式較為簡易，其保留模型原始之架構與運算邏輯，選定納入計算之項目後，便直接帶入各情境之數值。而 DECC 與中國大陸國家發展改革委員會能源研究所合作，將模型修正為最適合中國大陸本土之架構，再帶入各情境之數值。例如中國大陸的模型裡將工業部門區分得更細、將都市與郊區之交通類型分開、及將南北地區之氣候因素列入考量等。DECC 和中國大陸能源研究所於 2012 年 9 月共同舉辦「2050 能源經濟發展路徑圖國際研討會」，其內容即是對外發表中國版本之 2050 Calculator 工具。

六、結論

在世界各國紛紛制定 2050 減碳目標與情境之氛圍下，許多模型工具被提出並應用。然而大部分模型工具是由專家所建立與使用，一般民眾難以接觸，僅能被動接受專家所闡述之結果。英國政府延續民主政治開放之傳統，讓一般大眾也能參與辯證 2050 減碳路徑，遂邀集各界建立 2050 Calculator 工具。此工具之推動對英國政府本身有多項好處：

- 此工具依目標對象，而有不同呈現之實體。其最大特色在於簡單易懂、易於操作，讓社會大眾更容易參與能源與減碳議題，政府也能達到 清楚溝通減碳過程中之困難與挑戰。
- 政府也藉由 公開諮詢 之過程去 彙整更多細部資訊與建議，不斷的修正模型工具與情境數值，讓模型工具更能適切反應現況。工具本身是完全公開的，不僅英國公民，全球的專家學者也可參與共同檢視。
- 政府以此工具為基礎制定了中學生之 教學指導規劃，將國家能源供需現況、能源技術趨勢、節能減碳效益等知識 落實在教育裡。

⁷ 中國 2050 Pathways, <http://2050pathway-en.chinaenergyoutlook.org>

⁸ 比利時 2050 Pathways, <http://www.wbc2050.be/>

- 政府透過外交機制協助其他國家建立自有之工具，已達成 促進國際合作 之目的，其更深遠之意涵為 行銷英國之綠色或能源產品。

我國目前缺乏一套清楚讓社會大眾了解我國能源與減碳措施之管道，有過多的社會紛爭是源自於資訊不對稱，民眾無法信任政府所公開之訊息，或訊息被不當的引述。比起英國，我國有迫切的動機去清楚溝通能源供需與減碳過程中之困難與挑戰。我國當局目前也正針對能源開發政策、電力零成長、各部門溫室氣體減量目標等議題廣邀各界專家學者研析中，有相當的資訊是需要藉由一個方便管道去溝通及論證。過去 DECC 已和其他國家合作開發專屬 2050 Calculator 工具，成果豐碩。而 DECC 也積極表示願意協助其他國家建立此工具，若我國能透過與英國官方合作之機制建立我國自有 2050 Calculator 工具，或許對當前政府於政策溝通上之困境有所幫助。

參考文獻

- [1] DECC, 2012. UK emissions statistics: 2011 Provisional UK Figures.
- [2] DECC, 2011. The Carbon Plan: Delivering our low carbon future.
- [3] DECC, 2010. 2050 Pathway Analysis Report.
- [4] DECC, 2011. 2050 Pathway Analysis: Response to Call for Evidence.
- [5] DECC, 2012. 2050 Pathway Analysis: An introduction to the UK's 2050 Pathways Calculator and how you can develop your own.