

我國低碳技術發展策略

► 經濟部技術處 傅偉祥 處長

一、前言

隨著地球暖化現象造成環境逐漸惡化，以及對氣候型態產生的影響，減少溫室氣體排放已成為各國重要課題。國際間因應氣候變遷，已有多項國際協議，由《京都議定書》到「哥本哈根協定」(Copenhagen Accord)，代表了全球對抗地球暖化努力。2014年利馬會議達成減碳承諾，2015年在法國巴黎簽署「國家自定預期貢獻」(Intended Nationally Determined Contribution, INDC)等，均顯示降低溫室氣體是全球共同努力的目標。

根據2014年利馬會議所作出的結論，要求氣候變化綱要公約之締約國均需提出「國家自定預期貢獻」，內容應包括減碳承諾、時程、執行方式等，並在2015年底於法國巴黎舉行的COP 21(Conference of the Parties 21)，通過適用於所有締約國且具法律約束力之巴黎協定(Paris Agreement)。協定中關於溫室氣體減量之決議為：控制全球平均溫度升幅較工業化前水準在攝氏2度以下，並以升溫低於攝氏1.5度為努力方向。為落實全球長期氣溫目標，巴黎協定要求各締約方儘快達到排放峰值，並制定且維持可成功實現的國家自定貢獻。未來應每五年於公約締約方會議進行一次總盤點，評估各締約方國家自定貢獻對於實現巴黎協定長期減量目標的進展情況，若

巴黎協定確實生效，預計2023年將進行第一次全球盤點。

我國雖然不是UNFCCC締約國，但一向致力於因應氣候變遷，並恪守遵循UNFCCC相關作法，以推動降低溫室氣體排放之「國家節能減碳總行動方案」，推展包含能源、產業、運輸、建築及生活等多面向之具體減量行動。行政院並於2015年通過「溫室氣體減量及管理法」(簡稱溫管法)，訂定「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年溫室氣體排放量百分之五十以下。」，揭示對溫室氣體減量的決心，更可與UNFCCC國際趨勢並駕齊驅。根據IEA全球溫室氣體排放源分析，能源生產與使用約占全球三分之二的溫室氣體排放，顯示能源部門減碳策略將成為影響氣候變遷的關鍵因素，因此面對全球氣候劇烈變遷下，如何減緩地球環境的持續惡化，能源的來源及使用方式就成為達到低碳排放的關鍵性議題。

二、全球減碳行動及策略

全球先進國家的減碳行動積極展開，針對CO₂減量的貢獻度持續進行分析，藉以制訂有效的執行方針，因此參考國際的作為及效益，可為國內制定低碳技術發展策略的重要參考。

IEA(International Energy Agency)於2016年6月出版的ETP [1](Energy Technology



Perspectives 2016 : Towards Sustainable Urban Energy Systems) 中，綜合國際最新政策與技術發展趨勢，分析各部門為達到減量目標時，在能源效率提升以及潔淨能源發展上所需的努力。報告中指出，若欲達到 2DS(抑制增溫在攝氏 2 度以下) 的減量目標，化石燃料於初級能源的占比，須在 2050 年降低至 45%，再生能源占比則須提升至 44%，初級能源需求量年均成長率降低至 0.5%。

相較於 6DS 情境，需削減 7,000 億噸的 CO₂ 排放量，才能在 2050 年達到減量目標。就各減量措施的減量貢獻度加以分析(如圖 1)，提升能源效率的貢獻度為 38%、再生能源為 32%、碳封存捕集 (CCS) 則為 12%，其中 CCS 的貢獻度會隨各國使用燃煤發電比例的變化而有所不同。但其中值得注意的是，提升能源使用效率可以與使用再生能源具有相近的 CO₂ 減排貢獻度，因此不論是由經濟效益、執行難易度及產業提升的效益，積極開發高能源效率的技術，將可在短期內達到降低用電需求及減少 CO₂ 排放的目標。

另外分析各部門別的減量貢獻度，其中電力部門貢獻度為 39%、工業為 23%、運輸部門為 18%、建築物為 14%。由於電力部門對減量貢獻度最大，依據研究分析，若要達到減量目標，則 2050 年電力部門的二氧化碳排放係數需由 2013 年的 528 g / kWh，削減至 40 g / kWh。因此 IEA 提出降低 CO₂ 的發展策略，包含：

- (1) 低碳電力(再生能源、核、CCS)：IEA 報告指出低碳電力地發電量占比於 2050 年時，應達到 95%，而傳統燃煤電廠僅佔 0.025%，其餘為燃氣電廠。2025 年起 CCS 開始商業化，新增燃煤與燃氣電廠均需裝設 CCS，裝設 CCS 電廠的燃煤電廠發電量自該年起每年需成長 30%。
- (2) 工業、建築與運輸部門的減碳策略：在工業方面，減量貢獻度最高的產業為鋼鐵業以及化學材料業，合計近 6 成。因此需藉由提升能源效率，將能源消費年成長率現有的 3.4%，削減至 0.9%。此外，IEA 指出提升回收率亦為工業部門達到減量目標時的重要策略，其中包含物料的回收以及餘熱的回收，皆能有效提升減量貢獻度。

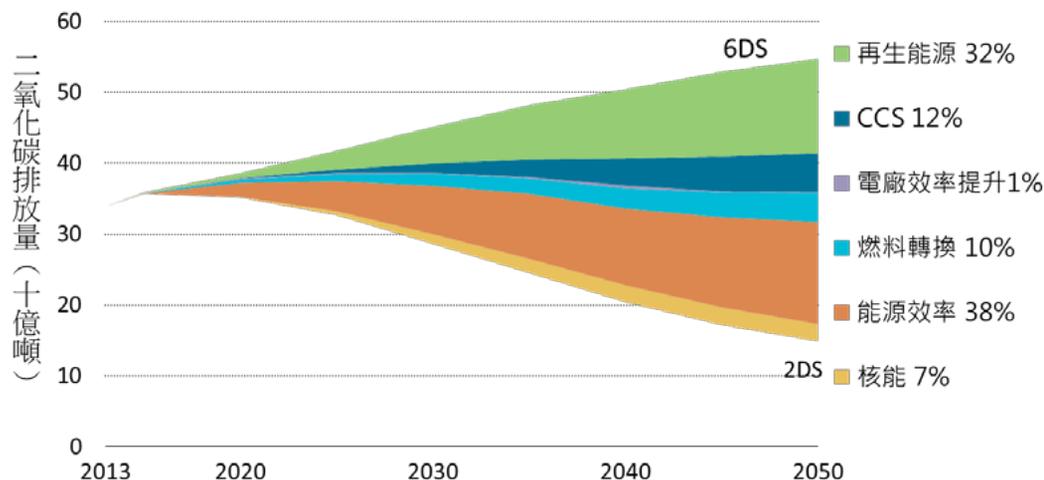


圖 1、各減量措施之貢獻度 (譯自 IEA, 2016)

在建築方面，節能貢獻度較高為空調（45%），其次為照明與電器（26%）。在空調節能中，以建築隔熱改善的節能貢獻度最高，占比為58~68%，估計為達減量目標，建築物累積額外投資金額達16兆，其中以建築隔熱改善所需增加投資金額最高，約占72%。由此可見住宅隔熱改善對提升建築物能源效率實屬關鍵。

在運輸部門上，過往十年間運輸部門的直接排碳量每年約增加2%，因此為達到減量目標，運輸工具效率提升、低碳燃料轉換、運具移轉與降低旅運量的減量貢獻度相當。在低碳燃料轉換上，可經由提升電力、生質燃料與氫能的占比，達到減量貢獻度提升的目標。在運具移轉與降低旅運量上，藉由更完善的都市規劃，可使2DS情境下的旅運量較6DS削減15%。且由於降低旅運量以及家用車輛的持有數，在2DS情境下的總運輸部門投資金額還可較6DS情境省下14兆美元。IEA建議各國應該優先推動削減化石燃料補貼以及增加車輛持有的相關賦稅兩政策措施，以建立低碳運輸系統。

(3)邁向永續都市能源系統：IEA建議永續都市能源系統可從建築節能、低碳運輸系統、分散式能源三面向著手。其中都市可運用的分散式能源包括屋頂型太陽能光電板、廢棄物能源回收、廢污水回收以及工業廢熱回收等四項，與目前國內所執行科技研發重點趨勢相符。IEA建議各城市應採行的措施包括將能源系統整合至都市規劃、市政服務以及公共採購的一環，並建立公開對話平台，依據城市特性規劃適切的減碳策略及發展，諸如永續能源公用事業（Sustainable Energy Utility, SEU）等創新商業模式，推動能源轉型。

除了IEA的總體減量貢獻度及措施分析外，參考各國的減量措施，也可做為我國的執行規劃參考。分別分析英國、日本及南韓的減量措施，其中英國是我國溫管法階段管制目標主要參酌對象，日本及南韓則是國情、地理區域與我國較為接近，其氣候變遷減量措施分析如下，

(1)英國：(i)電力：2030年降低電力碳排放係數低於100g CO₂/kWh為目標，因此2030年低碳發電(核、再生能源與CCS)須達到占總發電的75%。(ii)工業：提升能源使用效與發展工業CCS、在供暖與製程供熱系統以電力或氫能替代化石燃料等措施；(iii)住商：推廣低碳供熱系統、提升建築隔熱、提升熱控制與高效率照明和家電之使用；(iv)運輸：提升車輛燃油效率、推廣混合電動車(PHEV)與電動車(BEV)、氫燃料電池巴士、生質燃料、採用更具效率運輸工具、使用電池的電氣化鐵路等；(v)農業：提高肥料使用效率、提高牲畜管理、糞便厭氧發酵與提升甲烷燃燒利用；(vi)廢棄物與氟化物氣體：可分解之廢棄物至2025年從掩埋場完全移除；冰箱空調使用之冷媒至2030年由低潛勢(GWP, Global Warming Potential)冷媒替代。

(2)日本：日本約九成的溫室氣體排放來自於能源排放，因此主要減量措施為2030年提昇核能發電占比為20%-22%、再生能源占比22%-24%，以及提昇各部門能源效率。長期減量推動三大面向為(i)降低能源消費量：都市設計及調整、提升建物隔熱性能、使用高效率設備等，降低能源消費量；(2)能源低碳化：將再生能源利用最大化，火力發電需加裝CCS，並增加太陽熱能與地熱等熱能的使用；(3)燃料替代，推動設備電氣化：增加電動車與燃料電池車使用、擴大家庭與企業的暖房系統應用熱泵熱能。

(3)韓國：(i)供給面增加核能發電與再生能源占比、導入CCS技術；(ii)需求面推動溫室氣體與能源目標管理系統(GHG and Energy Target Management System, TSM)、建立綠色建築標準法；(iii)運輸部門擴建大眾運輸系統、導入與強化車輛燃油效率標準、推動低碳車輛普及。



三、低碳技術發展

行政院環境保護署於 2015 年 9 月 17 日在行政院院會提報我國 INDC 報告書，揭示我國 INDC 設定 2030 年溫室氣體排放量為依現況發展趨勢推估情境 (Business as Usual, BAU) 減量 50%，該目標相當於 2005 年排放量再減 20%。配合「溫室氣體減量及管理法」頒布施行，此 INDC 設定的 2030 年排放量恰可作為此法在 2050 年將排放量降至 2005 年 50% 以下的階段性目標。我國 INDC 減量目標如圖 2 所示。

依前述國際能源總署 (IEA) 的分析報告說明，CO₂ 減量的技術占比兩大主軸為能源使用效率 (38%) 及再生能源 (30%)，因此提升能源使用效率及提高再生能源的比例，將是溫室氣體減量目標能否成功的兩大技術關鍵。就 INDC 的配套措施而言，在能源需求面，主要推動產業、交通及住商朝結構優化調整，各部門推動節能極大化；在能源供給面，以不限電為前提，朝低碳燃料替代與低碳發電燃料組合，並強化能資源 (熱汽電) 整合、地熱發電、碳捕存等相關綠能低碳前瞻技術應用。綜合節能減碳技術發展方向如表 1 所列，

整體低碳技術發展策略及方向可分為五大部分：

(1)推廣應用節能技術：藉由提高能源使用效率，降低能源密集度，達到減碳目標，是目前減碳策略中，面臨最少爭議及阻力，施行效果明顯且具有提升產業競爭力，創造新產業的功效。在節能技術中，除了高效率元件及產品技術的開發外，整合高效率元件開發及智慧能源管理技術，才能達到最佳化能源使用效率的目標。在住商節能方面，從冷凍空調、高效率照明、綠建築技術等住商節能技術開發上，具有相當的成熟技術，再加上節能政策的推廣，不論是廠商或是消費者，皆已建立開發及使用高效率產品的共識。但是，如何使各獨立的高效率產品在住商環境中，搭配使用環境及條件，達到最佳的能源效率，則有賴建築能源管理技術 (BEMS) 的開發及應用，以系統介面整合及智慧控制，在兼顧舒適度及能源使用的條件下，達到能源效率最優化。

在工業節能方面，以目前的工業節能技術大多著重於周邊設備的能源效率改善，例如高效率冰水機、熱泵及高壓空氣乾燥技術，或是廢熱

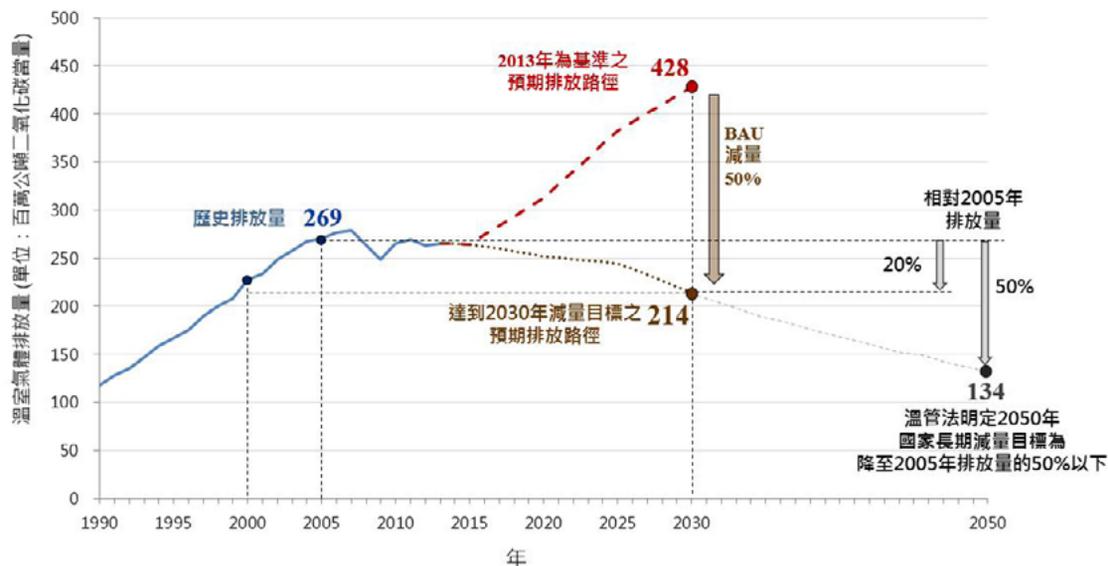


圖 2、我國 INDC 減量目標示意圖 (資料來源：行政院環境保護署，2015)

回收利用技術的開發，例如熱電技術及ORC技術。但是分析工業耗能，製程耗能佔據極大的比例，因此結合工業4.0的發展，建立綠色製程技術，監控及分析製程耗能，並進行製程效率改善。目前耗能產業能源密集度較整體製造業平均值仍相對高約1.6~3.8倍，較電子業相對高約3.3~7.6倍。因此為達成我國節能減碳目標，應持續輔導產業進行轉型，朝高附加價值與低耗能方向調整，將會是工業節能下一步應積極發展的目標。

(2)提高再生能源使用比例：國內首先制定「永續能源政策綱領」，以全國二氧化碳排放減，於2025 回到2000 排放 為目標。溫管法則更進一步訂定國家長期減量目標為2050年溫室氣體排放量較2005年減少50%以下。因此依台灣的環境優勢，並以高效率、分散式及智慧化的發展策略，開創新產業為目標，規劃再生能源技術的發展佈局。可由下列幾個方向進行：

(I)以產業特性而言，台灣具有完整且具競爭力的太陽能產業技術，目前多以屋頂型太陽能電系統做為推廣應用標的，後續應以建置大型地面式太陽能電廠做為示範場域，培養國內廠商在系統及智慧電網整合的應用實力，做為進軍國際市場的練兵場。目前國家政策積極提高太陽能設置目標量，預定於2050年達到20GW的設置目標，但是由於國內土地資源限制下，開發具有高發電密度的太陽能電池，將會是突破土地面積限制，達成設置目標量的重要技術發展方向。

(II)開發區域型的MW級再生能源系統，做為基載電力。其中，生質能及地熱發電具有穩定及可以長時間供電的特性，因此有利於應用於基載電力。目前淺層地熱應用已具有成熟商業化的技術，因此可以示範場域進行應用，但具有較大發電規模的深層地熱技術，則尚處於發展階段，雖然國內缺乏前端的深層導向鑽井技術，但應著重在後端高效率發電系統的技術整合，因此應積極導入國外具

有應用經驗的相關技術，以加速國內深層地熱發電系統的開發。

(III)以能源多元化為目標，一改台灣過於依賴燃煤發電的能源結構現狀，因此必須增加再生能源裝置量及輸出量，例如發展離岸風電、燃料電池、小型燃氣渦輪機，以區域型能源分散風險。

(3)電力結構低碳化：我國發電結構低碳化可分別從幾個方向執行，包括加速淘汰老舊發電設備、新電廠全面採用最佳可行技術、大幅擴充天然氣使用。另外，提升火力發電效率，嚴格管制火力發電的排放標準，降低PM2.5濃度，同時推廣CCS於火力電廠的應用，降低二氧化碳的排放。

(4)積極導入CCS技術：二氧化碳捕獲技術在整體減碳技術上，佔有極重的比例，當限制全球暖化的溫度上升在2.0°C，參考國際能源總署(IEA)減半情境模擬分析(Blue Map scenario[1])，當2050年全球採用低碳發電技術，燃煤發電廠應絕大部分都裝設有二氧化碳捕獲及封存(CCS)裝置，而尚未設有CCS裝置的天然氣發電廠，主要作為平衡再生能源發電變動之用。依據此情境設計，由燃煤電廠所產生的溫室氣體將可降低87%，到2050年時，全球每年排放二氧化碳當量(CO₂ eq/yr)將可控制在 5Gt以下。因此不管是日本、美國或歐盟國家，在達到減碳目標的設定策略中，CCS技術所產生的減排貢獻度皆是重點項目。

(5)創新能源技術開發：分析各種不同形式的能源特性，如圖3所示，雖然再生能源對產生CO₂的衝擊最低，但是相對的使用材料的依存度遠高於其他的發電方式，因此提升各項再生能源的效率，即是有效的降低材料使用量及整體的製造成本。未來再生能源擴大應用時，各種金屬材料消耗量也會更加明顯，因此開發非稀有金屬的元件技術或是降低金屬材料的使用量，將是未來前瞻能源技術的主流。

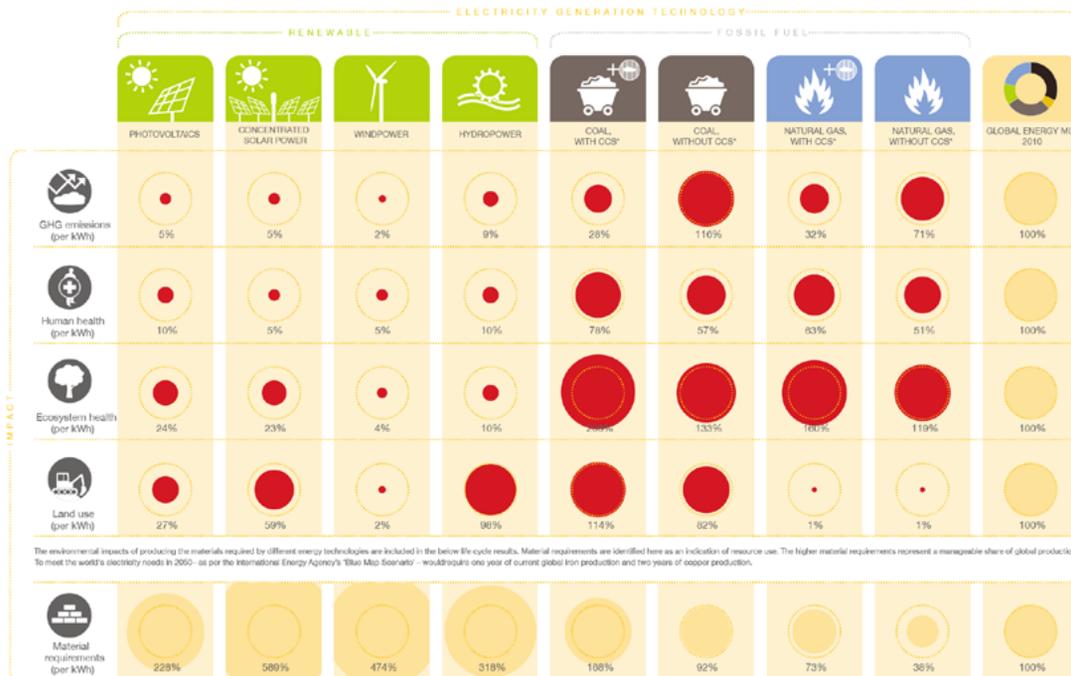


圖 3、不同發電技術的生命週期影響及材料需求評比 (ref[2]. “Green Energy Choices”, UNEP 2015)

表 1、節能減碳技術發展方向

	能源供應端	能源使用端
推廣應用節能技術	<ul style="list-style-type: none"> 高效率燃氣複循環發電技術 超超臨界發電技術及先進超超臨界發電技術 (A-USC) 超臨界二氧化碳布萊頓循環 (Brayton Cycle) 發電技術 先進燃燒技術 智慧電網及電網整合 燃料電池發電 高效儲放電技術 高壓直流輸電技術 	<ul style="list-style-type: none"> 製程強化 汽電共生 / 熱冷電三生 區域能資源整合 Roll to Roll 製程 增量製造 (Additive Manufacturing)(3D 列印) 餘熱回收再利用及餘熱發電 高效率馬達 住商能源使用預測技術 能源管理系統 (EMS)
電力結構低碳化 -- 轉換低碳無碳燃料	<ul style="list-style-type: none"> 燃油 / 燃煤轉燃氣 / 生質能 生質能發電廠 (含生質能氣化複循環) 	<ul style="list-style-type: none"> 燃油 / 燃煤轉燃氣 / 生質能 氫 / 氫等無碳燃料之使用
提高使用再生能源使用比例	<ul style="list-style-type: none"> 先進風力發電技術 (大型風力機、風場預測、先進葉片設計、併電網整合) 太陽能發電 (設備降低成本及併電網整合) 海洋能及地熱發電 	<ul style="list-style-type: none"> 智慧電動車 (純電動車)
碳捕存及再利用技術	<ul style="list-style-type: none"> 既存或新設的化石燃料 / 生質燃料發電廠安裝碳捕存設備 	<ul style="list-style-type: none"> 二氧化碳再利用

四、結論

我國對內與對外的溫室氣體減量目標都已陸續訂定，且因應溫管法第九條規定，擬訂五年為一階段的管制目標，因此未來如何因應減量目標，將是政府施政的重點。依目前的發展趨勢，能源效率與低碳電力系統為全球履行巴黎協議的關鍵措施，其中能源效率提升的減碳貢獻度日益吃重。

我國能源供給與發電結構仍以化石能源為主，未來在逐步實現非核家園願景的前提下，須透過產業結構轉型與生活型態調整、需求面提昇能源使用效率與燃料替代、供給面發展低碳能源，以落實我國 INDC 與溫管法的減碳目標。然因我國自然資源匱乏，減量措施的推動需確保能源的供應安全，且我國是以出口為導向的國家，

節能減碳推動須考量成本增加對產業國際競爭力的影響，未來仍需政府研擬相關配套措施以減緩衝擊。此外，巴黎協定的通過將帶動全球能源科技的快速發展，我國應持續加強能源技術研發，推動國內能源科技產業的發展，爭取全球綠色經濟商機。

參考文獻

- [1] “Energy Technology Perspectives 2016: Towards Sustainable Urban Energy Systems,” IEA, 2016
- [2] “Green Energy Choice” UNEP, 2015
- [3] Committee on Climate Change (2015a, 2015b)
- [4] US. Department of Energy (2015). Quadrennial Energy Technology Review, An Assessment of Energy Technologies and Research Opportunities

