

行政院原子能委員會  
委託研究計畫研究報告

國內外電力與工業、服務業部門技術與制度發展及模擬分析結果  
調查評估及建議

The development of technology and institution on power, industry, and service sectors; as well as modeling results and advises

計畫編號：NL1060149

受委託機關(構)：財團法人台灣經濟研究院

計畫主持人：林若蓁 博士

聯絡電話：02-25865000 轉 946

E-mail address：d31682@tier.org.tw

研究期程：中華民國 106 年 03 月至 106 年 12 月

研究經費：新臺幣 68.7 萬元

核研所聯絡人員：黃孔良 先生

報告日期：106 年 12 月 15 日

# 目 錄

中文摘要.....	1
Abstract.....	2
壹、計畫緣起與目的.....	3
一、計畫背景.....	3
二、計畫目標.....	31
貳、研究方法與過程.....	33
一、蒐集國內外電力與工業、運輸、服務業、住宅部門，相關技術與制度的發展資訊，同時進行分析並提出建議.....	33
二、蒐集國內外電力與工業、運輸、服務業、住宅部門相關政策實施，以及國內外重要研究單位模擬分析結果，經彙整評估後並提出建議.....	34
三、定期蒐集國際能源領域動態資訊，掌握技術、制度與政策各層面的變化與趨勢.....	36
四、遭遇之困難及解決途徑.....	37
參、主要發現與結論.....	38
一、蒐集國內外電力與工業、運輸、服務業、住宅部門，相關技術與制度的發展資訊，同時進行分析並提出建議.....	38
二、蒐集國內外電力與工業、運輸、服務業、住宅部門相關政策實施，以及國內外重要研究單位模擬分析結果，經彙整評估後並提出建議.....	64
三、定期蒐集國際能源領域動態資訊，掌握技術、制度與政策各層面的變化與趨勢.....	85

肆、研究工作執行進度.....	90
一、 工作項目及進度.....	90
二、 查核點及進度說明.....	91
伍、人力配置.....	93
陸、參考文獻.....	94
柒、附錄.....	100
一、 能源安全、能源運輸安全與國內能源政策滾動式措施 .....	100
二、 新聞掠影 123 篇(請詳參附件一光碟).....	106
三、 能源簡析 6 篇.....	107
四、 期末審查意見回覆表.....	167
五、 期刊投稿證明文件.....	171

## 圖目錄

圖 1、各國自主貢獻目標.....	4
圖 2、各主要措施對減少溫室氣體排放之減少比例.....	5
圖 3、RTS 至 2DS 各減量技術貢獻度 .....	6
圖 4、2DS 至 B2DS 各減量技術貢獻度.....	6
圖 5、2014 年主要國家部門別能源消費情形.....	8
圖 6、2014 年主要國家電力部門發電來源比重情形.....	9
圖 7、2015 年台灣電力部門能源發電來源.....	13
圖 8、各國再生能源推廣目標.....	14
圖 9、98~107 年度全球太陽光電安裝量統計預測 .....	15
圖 10、101 年至 107 年全球風力發電新增安裝量預估.....	16
圖 11、國際海洋能機組發展圖 .....	18
圖 12、102 年至 107 年全球 LED 照明光電市場規模(單位：百萬美元) .....	20
圖 13、各國太陽能電池全球市佔率.....	25
圖 14、研究架構.....	32
圖 15、2015 年主要國家電力部門能源消費分析.....	41
圖 16、各主要國家中長期電力部門能源配比結構.....	47
圖 17、全球工業部門能源使用分佈.....	47
圖 18、全球工業部門各行業能源組合.....	48

圖 19、全球工業次部門總產值(單位：兆美元).....	50
圖 20、2012~2040 年全球服務業部門能源消費(依能源別區分).....	55
圖 21、1970~2010 年英國服務業部門能源密集度變化 .....	56
圖 22、美國各州受 CSAPR 規範說明 .....	68
圖 23、英國政府政策白皮書之模型使用次數統計(2008~2015 年).....	73
圖 24、英國政府利用模型檢驗高速公路電氣化政策的可能性 .....	74
圖 25、德國 PwC 公司估算運輸部門可以達成的碳排放減少量.....	75
圖 26、2015 年美國 EIA 住宅部門能源消耗調查時程表.....	79

## 表目錄

表 1、2014 年主要國家初級能源消費結構.....	7
表 2、台灣 2015 年能源供給結構(能源別).....	11
表 3、台灣能源消費結構(部門別).....	12
表 4、第一代及第二代生質燃料簡易分類表.....	17
表 5、各類燃料電池的特性.....	23
表 6、中國大陸「十三五」時期能源發展主要指標.....	45
表 7、全球工業部門：主要分類及其代表性產業.....	49
表 8、各國服務業部門能源消費年均變化率.....	55
表 9、國外在電力與工業、運輸、住宅部門相關技術與制度 .....	58
表 10、新聞掠影清冊 .....	85

## 中文摘要

我國已於 2015 年通過溫室氣體減量及管理法(溫管法)，且明訂 2050 年溫室氣體排放目標，未來電力系統低碳化及提高節電效率，將成為國家深度低碳化的兩大策略。

為掌握國內外電力與工業、運輸、服務業、住宅部門相關資訊，本計畫蒐集國內外於電力與工業、運輸、服務業、住宅部門，相關技術與制度的發展資訊，同時進行分析並提出建議；與蒐集國內外電力工業、運輸、服務業、住宅部門相關政策實施以及國內外重要研究單位模擬分析結果，經彙整評估後並提出建議；作為後續能源工程模型分析之參考資料。此外，本計畫定期蒐集國際能源領域動態資訊，掌握技術、制度與政策各層面的變化與趨勢。

## **Abstract**

The Greenhouse Gas Reduction and Management Act has been passed in Taiwan since 2015, which makes a clear goal for reducing greenhouse gas emissions by 2050. The two strategies for achieving deep low-carbon target are the low-carbon electricity power system and the improvement on energy saving efficiency.

To gain understanding on domestic and international information of power, industry, transportation, services and residential sectors, we propose to investigate on the related technological and institutional information of power, industry, transportation, services and residential sector, with analysis and advice. We further investigate on the policy and simulate outcome from important research institute, make evaluation and suggestion for future reference. Moreover, we anticipate to collect information from international energy field regularly, and keep posted on the changes and trends of technology, institution and policy.

## 壹、計畫緣起與目的

### 一、計畫背景

#### (一)國際溫室氣體排放管理發展趨勢

有鑑於《京都議定書》之效期僅至 2020 年，各與會國均希冀有一新的具有法律拘束性之協議，能夠取代接替並延續即將失效退場之《京都議定書》，以延續該議定書之宗旨，並繼續朝著減碳目標前進。是故於 2015 年 11 月在法國首都巴黎近郊的勒布爾熱(Le Bourget)登場之第 21 屆聯合國氣候變化綱要公約締約國大會(COP21)，即以抑制全球暖化之議題進行協議，並以減少溫室氣體排放量為目標，期能減緩地球暖化之速度，希望於 2060~2080 年時達成零碳排放之願景，於 2100 年時將全球平均氣溫增幅水準控制在工業革命前攝氏 2 度以內，甚至以攝氏 1.5 度為致力達成之目標。

此外，各與會國在巴黎會議召開前，亦提出在溫室氣體減排上之自主貢獻目標方案(Nationally Determined Contribution, NDC)(如圖 1)，約定自 2020 年起，每五年定期檢討各國之自主貢獻目標，往後每五年更新一次該目標之內容。此《巴黎協議》預計於 2018 年生效(2016~2017 年供各方簽署)，2020 年實施並接替《京都議定書》<sup>1</sup>。

---

<sup>1</sup> 國立環境研究所, <https://www.nies.go.jp/event/cop/cop21/20151204.html>；五大重點 讓你秒懂巴黎氣候大會, <http://www.appledaily.com.tw/realtimenews/article/new/20151201/743760/>













已開發國家、工業化國家			
區域	內容	目標年	基準年
歐盟 	減少40%	2030年	1990年
美國 	減少26%~28%	2025年	2005年
俄羅斯 	減少25%~30%	2030年	1990年
加拿大 	減少30%	2030年	2005年
日本 	減少26%	2030年	2013年
開發中國家			
區域	內容	目標年	基準年
中國 	減少60%~65%	2030年前後	2025年
印尼 	減少29%	2030年	-
南非 	減少398-614噸CO <sub>2</sub>	2025年~2030年	-
巴西 	減少37%	2025年	2005年
印度 	減少33%~35%	2030年B	2005年

圖 1、各國自主貢獻目標

為落實甫生效之《巴黎協議》，2016年11月舉行之第22屆聯合國氣候變化綱要公約締約國大會(COP22)，由近200國家提出自願減碳作為。此次COP22會議包括5個關鍵行動領域，包括氣候金融的建置、國家自願減量、保障脆弱社群的發展、能力建置及讓非締約方的利害關係人了解參與氣候行動的重要性<sup>2</sup>。此外，肇因於減碳目標之制定，使得各國各企業均致力於尋找從源頭減少碳排放之方式，職是之故，越來越多國家與企業體認能源生產力的重要，透過改善能源效率即可以減少碳排放的40%，減少全球化石燃料成本超過2兆美元，並可於2020年前創造600萬份工作機會<sup>3</sup>。此外，碳揭露組織(Carbon Disclosure Project, CDP)在會議中表示，目前世界上已有上千家企業回應CDP查核要求，其中85%已設定減量目標，超過200家大型企業承諾自身減量責任將與《巴黎協議》設定的升溫小於2°C目標結合，例如西門子公開聲明，該企業將要在2030年成為全球

<sup>2</sup> COP22：第22屆聯合國國際氣候大會重點整理

<https://home.kpmg.com/tw/zh/home/insights/2016/11/cop22-weekly-summary.html>

<sup>3</sup> COP22 能源日談轉型 企業減碳再加碼, <http://e-info.org.tw/node/201166>

第一個達到「碳中和」(carbon neutral)的標竿企業，且其亦致力在世界各地協助客戶端節省的電力消耗，合計已接近全德國一半的用電量<sup>4</sup>。

此外，2015 年國際能源總署(International Energy Agency, IEA)曾於其所規劃減碳藍圖中，對於達成減碳目的之建議採取措施，包含提升能源效率、投資再生能源、化石能源改革補貼、減少低效率的燃煤使用、上游甲烷減量等方式。其中，節約能源措施部分，可減少 49%的溫室氣體排放，另再生能源之投資部分，則可減少約 17%之溫室氣體排放量(圖 2)。

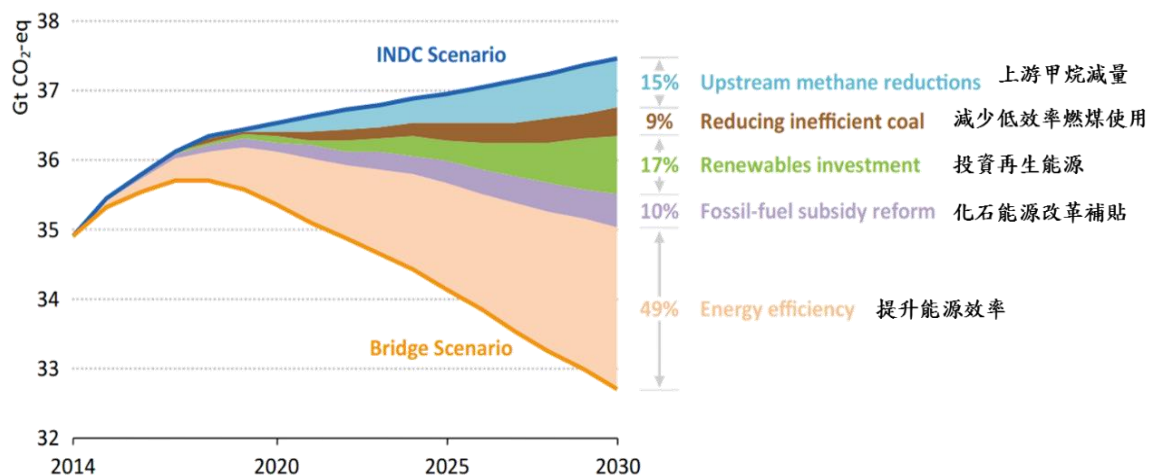


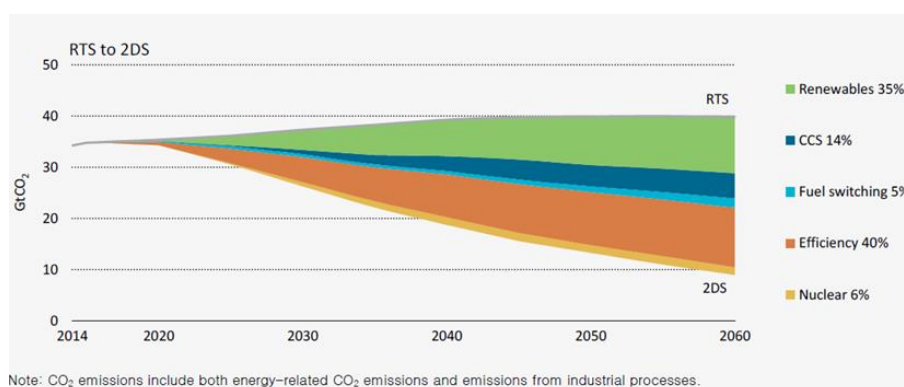
圖 2、各主要措施對減少溫室氣體排放之減少比例<sup>5</sup>

根據 IEA 2017 年發佈之「Energy Technology Perspectives 2017」研究報告，從全球及能源供需部門的角度，分析如何從參考技術情境 (Reference Technology Scenario, RTS) 下，透過對可行技術的整合發展應用、部署及創新，加速能源部門低碳轉型過渡，以達 2°C 情境 (2DS)，甚至超越 2°C 情境(B2DS)，至 2060 年實現碳中和 (Carbon Neutrality)。

<sup>4</sup> 《巴黎協定》上路後，企業不可不知的減量概念 [http://lowestc.blogspot.tw/2016/11/cop22\\_16.html](http://lowestc.blogspot.tw/2016/11/cop22_16.html)

<sup>5</sup> IEA(2015), World Energy Outlook Special Report.

倘若要從 RTS 到 2DS，至 2060 年累計需減少 50% 碳排放量。建議採用之技術組合包括能源效率 (Efficiency) 與再生能源 (Renewable) 分別占 40% 和 35%，碳捕獲與封存 (Carbon Capture And Storage, CCS) 及創新過程對後期貢獻有所增加，累計貢獻 14%，而燃料轉換 (Fuel Switching) 與核能 (Nuclear) 分別為 5% 與 6% (圖 3)。在 B2DS 中，碳排放量達到高峰後迅速下降，並在 2060 年達到零排



放。從 2DS 朝 B2DS 轉變所採用的技術組合中，能源效率貢獻最大，達到 34%。CCS 則為 32%、燃料轉換 18%、再生能源 15% 及核能 1% (圖 4)。

圖 3、RTS 至 2DS 各減量技術貢獻度

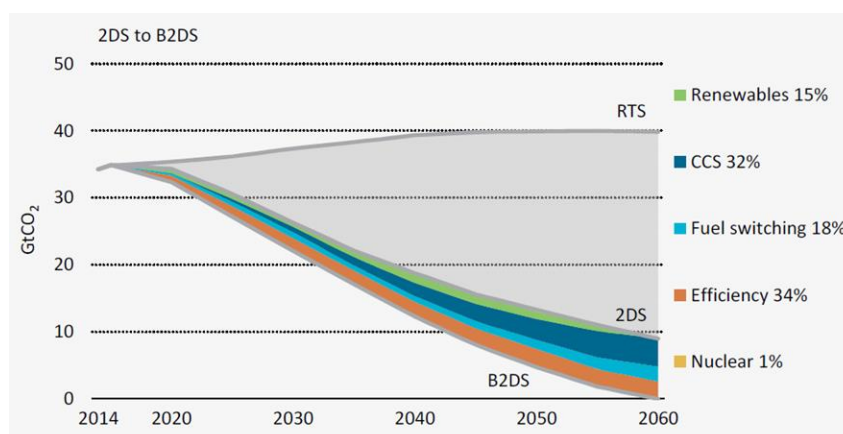


圖 4、2DS 至 B2DS 各減量技術貢獻度<sup>6</sup>

<sup>6</sup> IEA(2017), Energy Technology Perspectives 2017.

由上述可知，隨著 COP 21、COP 22 會議之召開，國際上對於減碳之趨勢方向與輪廓更加鮮明，加上各國與各企業之響應及目標之制訂，如何有效的執行減碳，自源頭及各面向著手進行之減碳行動，更顯得刻不容緩。

## (二)國外電力與工業、服務業部門能源消費與溫室氣體減量策略概況

### (1) 國外電力與工業、服務業部門能源消費概況

由於各國本身擁有之天然資源稟賦不同，且配合其政府政策走向，能源消費組成亦不盡相同。根據英國石油公司(BP)公布「2014年世界能源統計」報告，針對美洲、歐洲、中東、非洲、亞洲等主要國家，依燃料別統計各國初級能源消費情況。本文擷取報告中部分國家 2014 年初級能源消費結構，如表 1 所示。

表 1、2014 年主要國家初級能源消費結構<sup>7</sup>

國家別	石油	天然氣	煤	核能	水力	再生能源	合計
中國大陸	526.8	169.6	1,949.3	30.3	242.8	51.9	2,970.4
英國	69.9	60.0	29.9	14.4	1.3	13.3	188.8
德國	110.4	64.0	78.8	22.0	4.4	32.3	311.9
美國	838.1	692.7	453.8	189.9	59.3	66.8	2,300.6
日本	197.3	106.2	118.7	0	20.0	11.6	453.8
韓國	107.9	43.0	84.6	35.4	0.9	1.2	273.0

註：石油單位為百萬噸；其餘單位為百萬噸油當量。

綜觀 2014 年各主要國家部門別能源消費資料，顯示除英國、德國之外，其他國家能源主要應用於工業部門，其中中國大陸與韓國

<sup>7</sup> BP(2016)

比重更高達 71.21%與 63.65%，日本與美國則分別約 47.03%與 31.97%；至於英國交通部門與住宅部門之能源消費佔比差異不大，分別為 30.3%與 29.86%(圖 5)。

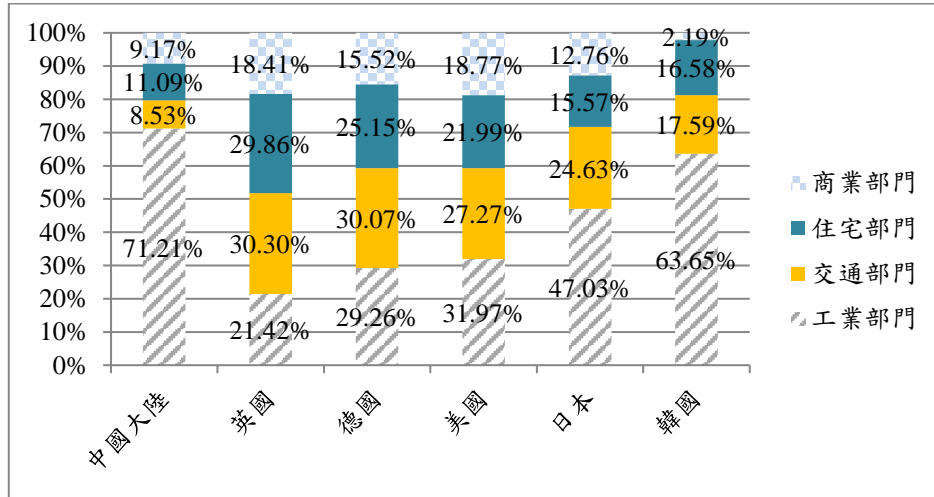
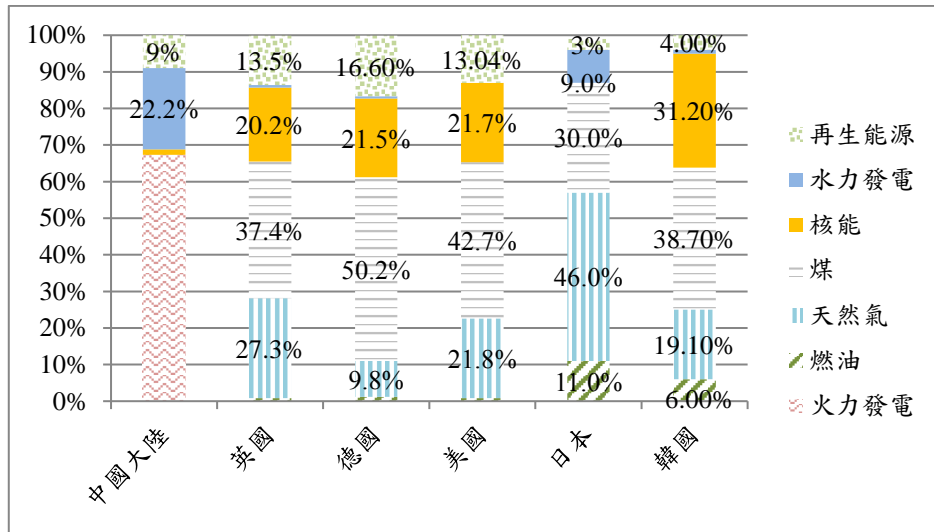


圖 5、2014 年主要國家部門別能源消費情形<sup>8</sup>

電力是國家經濟發展的動力來源，若由各主要國家電力部門發電來源比重概況分析，2014 年除日本之外，美國、英國、德國、韓國等國皆以煤之佔比最高。各國目前電力部門能源消費皆以化石能源為主，尤其是在 311 福島核災後，日本需以化石燃料補上核能缺口，故其 2014 年化石能源佔電力部門能源消費配比高達 87%，其次為中國大陸為 67.3%；德國化石能源佔電力部門能源消費佔比則為上述各國中最低(61.2%)(圖 6)。

<sup>8</sup> 中華人民共和國國家統計局(2016)、BEIS(2016)、AGEB(2016)、EIA(2016)、IEEJ(2016)、KEEL(2016)；台經院繪製(2017)。



註：中國大陸電力部門發電來源占比係以各能源佔總發電量之比例計算，煤、天然氣、燃油發電皆計入「火力發電」項目中。

圖 6、2014 年主要國家電力部門發電來源比重情形<sup>9</sup>

## (2) 國外溫室氣體減量相關策略

面對全球暖化現象，美國總統歐巴馬於 2015 年宣布「潔淨電力計畫(Clean Power Plan)」，要求於 2030 年以前，美國國內現有電廠的碳排放量應較 2005 年減少 32%。為加速能源轉型，亦要求電廠必須擴大對再生能源的投資，將目標設定為 2030 年再生能源占裝置容量之比例增加至 28%。

德國對於綠色能源發展擁有強大野心，其中長期目標為大幅增加再生能源比重與停用核電(Buchan, 2012)。檢視德國政府「能源概念(Energiewende)」政策目標，包括訂定 2020 年溫室氣體排放量低於 1990 年基線 40%(同一時期歐盟目標為 20%)，2050 年溫室氣體排放量低於 1990 年基線 95%、2050 年初級能源消費相對於 2008 年減少 50%，以及再生能源於 2020 年佔總電力消費之 35%，甚至設定

<sup>9</sup> CIA(2016)、BEIS(2016)、AGEB(2016)、EIA(2016)、IEEJ(2016)、KEPCO(2016)；台經院繪製(2017)。

2050 年達總電力消費 50%之目標。

英國政府於 2008 年頒布「氣候變遷法」(Climate Change Act of 2008)，其最重要的意義在於規範具約束力之法定減量目標，目標在 2050 年前溫室氣體排放降低至 1990 年等量之 20%。但自 2016 年英國脫離歐盟後，提出「第五期碳預算(fifth Carbon budget)」，則是將減量目標設定為 2030 年時相對 1990 年二氧化碳排放量水準減少 57%。

為使國家更加邁入現代化，在經濟發展同時也能兼顧環境、能源之永續發展，中國大陸於 2017 年公布「能源發展十三五規劃」，訂定多項改善能源使用情形目標，包括非化石能源消費比重提高至 15%以上，天然氣消費比重達 10%，以及發展煤炭洗選加工與超低排放燃煤發電，將煤炭消費總量比重降低至 58%以下。

日本 2010 年規劃於 2030 年透過擴大再生能源與核能的利用，使煤與液化天然氣之發電佔比由原先之 60%降至 10%，但自從 2011 年 311 福島事件後，日本核能電廠停止運轉，核能衰退的部分主要以煤、天然氣與其他化石燃料來彌補，導致其使用量增加。著眼於上述困境，首相安倍晉三於 2014 年 4 月通過「第四次能源基本計畫」，重新定調核能為未來重要能源基載，並使停止運作之核電廠於通過新的核能安全標準架構最嚴格的檢驗後，重新啟用(METI, 2014)。2015 年 8 月日本鹿兒島縣之川內核電廠正式重啟核反應爐，終結日本零核電情形。

### (三) 國內電力與工業、服務業部門能源消費與溫室氣體減量策略概況

#### (1) 國內電力與工業、服務業部門能源消費概況

台灣因天然資源匱乏，97.5%能源供給仰賴進口，進而缺乏能源自主性，且能源供應種類集中度達 55.1%(經濟部能源局，2017)，能源結構短中期以傳統化石能源為主，其國際需求增加造成能源價量不穩定，風險逐漸增高，使得能源供應安全度十分低。我國為追求能源多元化以降低對進口能源的依賴、強化能源安全與提升能源自主性，能源政策以追求永續發展為目標，兼顧能源安全、環境保護及經濟成長，以創造能源、環境與經濟三贏的核心理念。

依據經濟部能源局公布之 2015 年能源供給結構，依能源別區分，化石能源即佔我國能源總供給之 90.8%，以原油及石油產品佔比最大(48.18%)，其次分別為煤及煤產品、天然氣；非化石能源則以核能發電為主(7.3%)，其次分別為廢棄物及生質能、慣常水力發電、太陽光電及風力發電、以及太陽熱能(表 2)。

表 2、台灣 2015 年能源供給結構(能源別)<sup>10</sup>

項目	%
原油及石油產品	48.18
煤及煤產品	29.33
天然氣	13.29
核能發電	7.28
廢棄物及生質能	1.39
慣常水力發電	0.29
太陽光電及風力發電	0.16

<sup>10</sup> 經濟部能源局(2016)



太陽熱能	0.08
------	------

化石能源依存度高將加重國家溫室氣體減量壓力，加強低碳或無碳能源發展成為重要課題。就我國 2015 年能源消費結構而言，能源消費量為 115.03 百萬公秉油當量，依部門別檢視國內能源消費結構，以工業部門(37.1%)佔大宗，其次為運輸部門(11.9%)、服務業部門(11.0%)、住宅部門(10.7%)，而非能源消費佔比達 21.8%，如表 3 所示。就我國 2015 年電力部門能源消費情形而言，以火力發電佔比最高(81%)，其次為核能發電(14%)、水力發電與再生能源(5%)(圖 7)。

表 3、台灣能源消費結構(部門別)<sup>11</sup>

部門別	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年
能源部門自用	9.2	8.5	7.1	6.6
工業部門	39.9	37.2	37.3	37.1
運輸部門	14.5	13.2	11.7	11.9
農業部門	1.6	1.5	0.8	0.9
服務業部門	11.4	11.6	11.0	11.0
住宅部門	12.4	11.7	10.8	10.7
非能源消費	10.9	16.4	21.3	21.8

註：單位為%。

<sup>11</sup> 經濟部能源局(2016)

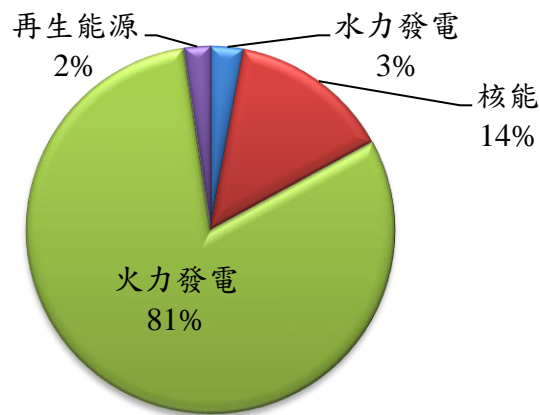


圖 7、2015 年台灣電力部門能源發電來源<sup>12</sup>

## (2) 國內溫室氣體減量相關策略

配合 2015 年聯合國氣候變遷綱要公約會議後，各國皆同意竭力抑制溫室氣體排放，我國於 2015 年通過之「溫室氣體減量及管理法」，將減量目標設定為 2050 年溫室氣體排放量降為 2005 年之 50% 以下。同時，為達成新政府提出 2025 年非核家園之目標，天然氣與燃煤分別佔總發電量之 50% 與 30%，並鼓勵民間參與再生能源，以太陽能、風力發電等再生能源佔總發電量 20% 為目標。在此情勢發展下，以全力發展綠能，啟動國家能源轉型工程，勢將成為我國當前施政之重要方針。

## (四) 國內外綠色能源技術發展現況

### 1. 國外綠色能源技術發展現況

全球現正面臨能源需求逐年攀升與全球暖化課題，各國除了最直觀之節約能源外，發展再生能源無疑是解決能源需求及達成節能減碳之不二選項，已成為各國相繼重視且投入技術發展之能源產業。許多國家均於評估其國內環境及發展可能性後，研擬出符合其國內長期利益之發展政策目標。

<sup>12</sup> 經濟部能源局(2016)；台經院繪製(2017)

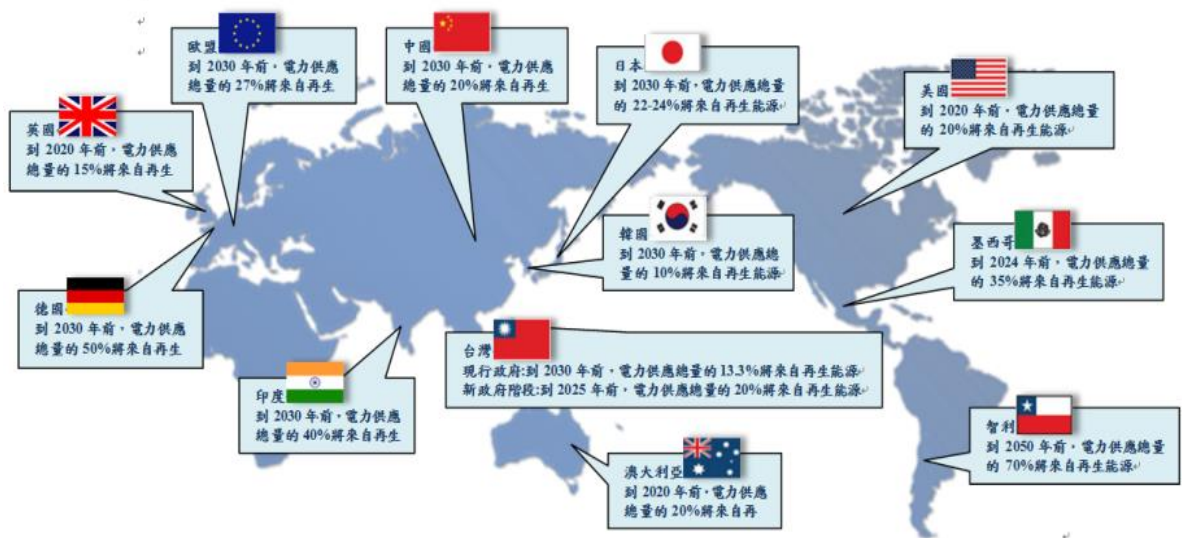


圖 8、各國再生能源推廣目標<sup>13</sup>

根據 21 世紀再生能源政策網路(REN 21)研究報告顯示，2015 年全球再生能源裝置容量已達 1,849GW，主要因太陽能與風能發電技術成本降低，以及因應全球二氧化碳減排趨勢，使再生能源總裝置容量仍能夠持續攀升。其中，2015 年太陽光電新增裝置容量為 50GW，年增率為 28.2%；風力發電新增裝置容量為 63GW，相較前一年度成長 17%；生質能源新增裝置容量為 5GW，年增率為 4.95%；水力發電與地熱發電裝置容量成長率則分別為 2.7%與 2.3%。同時，全球再生能源投資金額達 2,859 億美元<sup>14</sup>。

### (1) 再生能源開發

#### A. 太陽能產業

太陽能產業之發展，受政府補助影響較深，因此各國之太陽能產業發展，亦是隨著各國政府對於太陽能之政策態度而有所不同，最早開始進行系統補助者為日本，隨後德國，義大利、歐洲各國亦加入補助行列，至目前最具發展潛力的美國、中國大陸、印度等，

<sup>13</sup> 台經院整理

<sup>14</sup> RNE21(2016)

也相繼引領各國的太陽能公司登上國際級的領導地位。此外，在全球分工架構下，中國大陸、台灣過去在電子代工的地位，以及各自具備的製造優勢，在太陽能的生產中占了絕大多數，也因此造成分工情形的成立，由歐美的廠商領導在技術以及品牌行銷上尚保有領先地位，而在原料、製造代工方面，依然是亞洲國家的天下。太陽光電市場持續成長，依據彭博新能源財經(Bloomberg New Energy Finance, BNEF)統計，2014 年全球太陽光電發電新增裝置容量 45GW，成長 13%。2015 年全球太陽光電發電新增裝置容量為 56GW，成長 24%，樂觀預估 2016 年將達 68.2GW，2017 年預估將達 83.3GW。

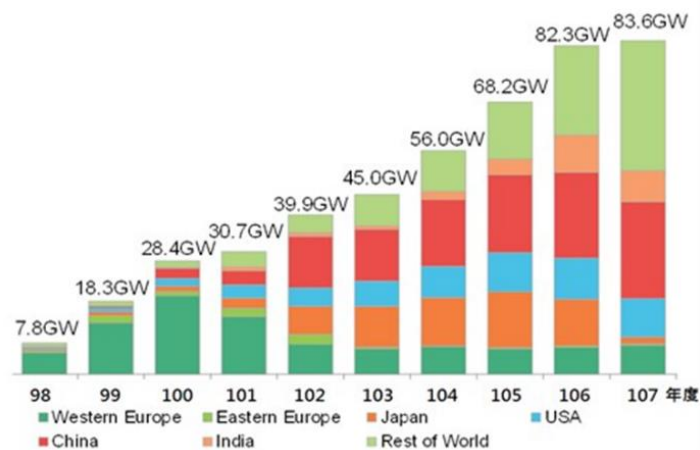


圖 9、98~107 年度全球太陽光電安裝量統計預測

## B. 風力發電產業

風力發電可說是近年來成長最快的再生能源發電技術，以單機容量區分，可分為大型風力機(MW 級)與中小型風力機。大型風力機主要應用在集中式發電，做為大型發電廠之替代，受到各國大規模興建風場之影響，大型風力機市場在近十年內快速成長，目前國際大廠已具備量產風力機單機容量 5MW 以上能力。由於建置規模是以電廠規模進行建置，是故大型風力發電機之座落必須選擇風場良好之空曠地區，但因為該機組體積十分龐大，加上受限於陸域可開發

土地面積有限，使得目前離岸式風場開發成為關注焦點。而中小型風力機一般則做為私人使用，通常係用以取代或與傳統柴油發電機互補，設置於偏遠地區，以自給自足之供電方式為主要需求，以一般消費者或家庭為購置對象，其市場特別是在地幅廣闊的美洲大陸、歐陸以及中國大陸。近來各國相繼推動分散式電力系統，加上產品具備因地制宜、應用層面廣泛等優點，英、美等國更進一步將中小型風力機推廣至住宅電力系統、事業用電力系統以及都會區的應用。隨著對於再生能源發展之重視，風力發電之需求將持續成長。

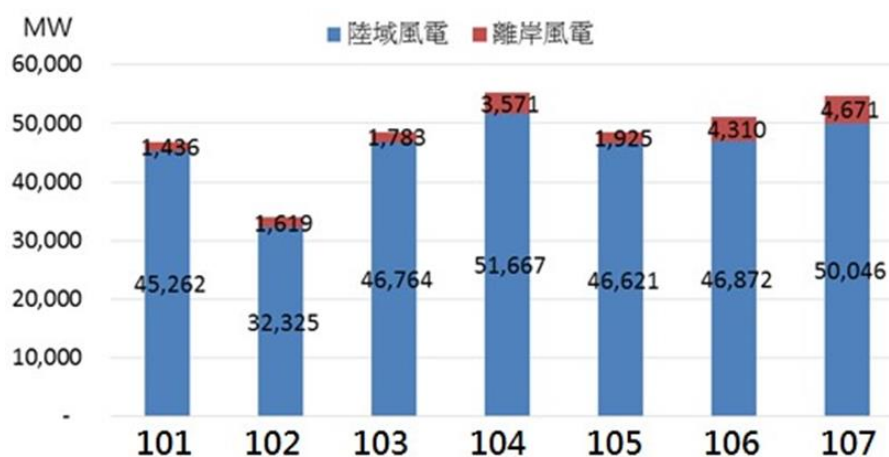


圖 10、101 年至 107 年全球風力發電新增安裝量預估<sup>15</sup>

### C. 生質能

生質能包含農林植物、沼氣、一般廢棄物與一般事業廢棄物等直接利用或經處理所產生之能源。目前國際上對於生質能利用包含用於車用替代燃料之生質燃料、生質燃燒供熱及生質能發電等。依其使用原料及生產程序，生質燃料可以分成第一代及第二代生質燃料，詳如下表。第一代生質燃料指利用植物的油、糖或澱粉，透過生物化學路徑生產生質柴油(Bio-diesel)或生質酒精(Bio-ethanol)；第二代生質燃料則利用纖維素、半纖維素及生物廢棄物，以熱化學路

<sup>15</sup> MAKE Consulting；工研院整理，2016 年

徑生產纖維酒精或生質轉化液體(biomass to liquid, BTL)燃料，類似目前化石燃料衍生的汽油或柴油組成之合成燃料，因而可使用既有的油品配銷系統與車輛標準引擎。目前推動生質燃料國家之中長期目標主要均以推廣第一代生質燃料為主，美國是唯一強制規範第二代酒精使用量國家；根據美國再生燃料標準(Renewable Fuel Standard, RFS)，生質燃料 2022 年需達 360 億加侖，其中纖維酒精佔 160 億，傳統生質燃料 2015 年達到 150 億後不再增加。

表 4、第一代及第二代生質燃料簡易分類表<sup>16</sup>

	生質燃料		合成燃料	
	第一代		第二代	
原料	植物油/脂	糖/澱粉作物	木質纖維生質物	木材、能源作物、生物廢棄物
程序	酯交換	發酵	酵素水解、發酵	氣化、Fischer-Tropsch 合成、產物純化
產物	生質柴油	生質酒精	纖維酒精	BTL

#### D. 海洋能

海洋能包括潮汐、溫差、波浪、海流發電等，若以海洋能系統發展階段來分類，其中除潮汐發電外有成熟機組外，海洋能中之溫差、波浪、海流等發電設備國際上尚無成熟可商業化機組，正準備邁入商業化階段。目前階段測試機組波浪發電已達百瓩級，潮流發電及溫差發電均達千瓩級，估計數年之間可望有發電系統完成測試，進入示範階段並逐步邁向商轉電場之開發。又由於各國海洋能大多

<sup>16</sup> Rudloff, M., "Advanced Biofuel for Transport- BTL-Technology, Environmental Impact and Market Access", 6th International Colloquium Fuels, Stuttgart / Ostfildern, Germany, January 10-11, 2007.

尚停留在研發及示範階段，為鼓勵海洋能發展，世界各國相繼建立海洋能測試中心。海洋測試設施通常建置於預先規劃並選定的區域，該區域通常備有基礎設施(從電網至浮標)、專業人員和適當的設備，從而降低時間上的不確定性及開發成本，提高發展商之投入意願。

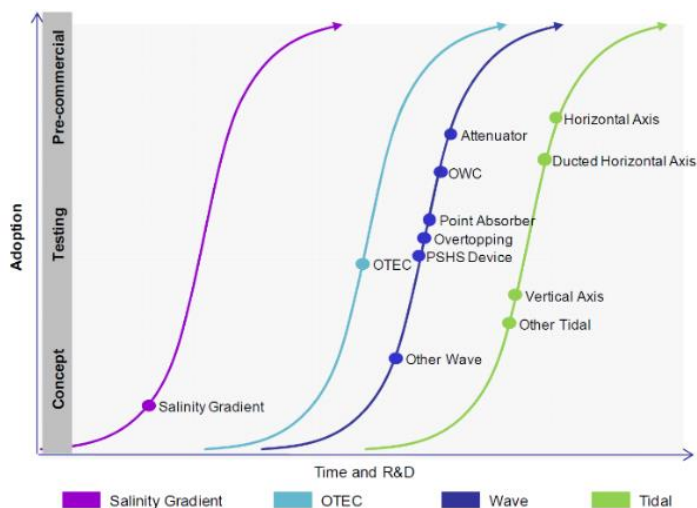


圖 11、國際海洋能機組發展圖<sup>17</sup>

#### E. 地熱能應用

地熱能應用係擷取地表下之熱能進行應用之技術。一般地熱主要發生在板塊碰撞區及岩漿湧出地表之火山區，經由板塊運動，使得部分深埋於地下深處之高溫岩層擠壓到地殼淺部，形成地熱潛能區，高溫地下水儲存在岩層之孔隙及裂隙中，形成「地熱儲集層」。又地熱能源為一種獨特之發電資源，不僅可降低對傳統燃料(如煤、石油、天然氣)之使用且可供基載發電使用；同時也因具有與風力、太陽能相同之潔淨、再生特性，因此地熱發電正持續受到全世界關注。依據 Bertani 於 2015 年世界地熱研討會(World Geothermal Congress)發表資料顯示，全世界已有 27 個國家設有地熱發電廠，總裝置容量合計約 12,635MW，發電量前 5 大之國家分別為美國、菲律

<sup>17</sup> IHS Emerging Energy Research

賓、印尼、墨西哥、紐西蘭。在 2010 至 2015 年 5 年間，裝置容量增加超過 100MW 之國家則有肯亞、美國、紐西蘭、土耳其及印尼等國。成長比例超過 50% 之國家有土耳其、德國、肯亞及尼加拉瓜。此報告並預測至 2020 年世界總裝置容量可達約 21,443MW，成長幅度達 70%<sup>18</sup>。

## (2) 節能減碳技術

### A. 發光二極體應用

發光二極體(Light Emitting Diode, LED)在應用上，主要分為可見光與不可見光兩大類，可見光主要分為紅、黃、綠光及藍光，依據其亮度可再有不同的應用領域，主要應用於 3C 家電、資訊與消費性電子產品的指示燈、工業儀表設備等，但隨著亮度技術的發展，產品應用的空間也擴展至戶外全彩看板、交通號誌、背光源及車用照明等；不可見光的應用主要分為短波及長波紅外光兩種，短波長紅外光多應用於紅外線無線通訊，如遙控器、感測器、自動門、自動沖水器等；長波長紅外光則使用於短距離光纖通訊用光源。近年來，由於 LED 製造成本大幅降低，而效率及亮度則不斷提高，加上其原具有之壽命長、安全性高、發光效率高(低功率)、色彩豐富、驅動與調控彈性高、體積小、耐震動、易變化等優勢，使得 LED 在照明光源的應用範圍大幅擴張，進而帶動其市場需求成長，在照明的範疇崛起。

---

<sup>18</sup> 2016 年能源產業技術白皮書，經濟部能源局



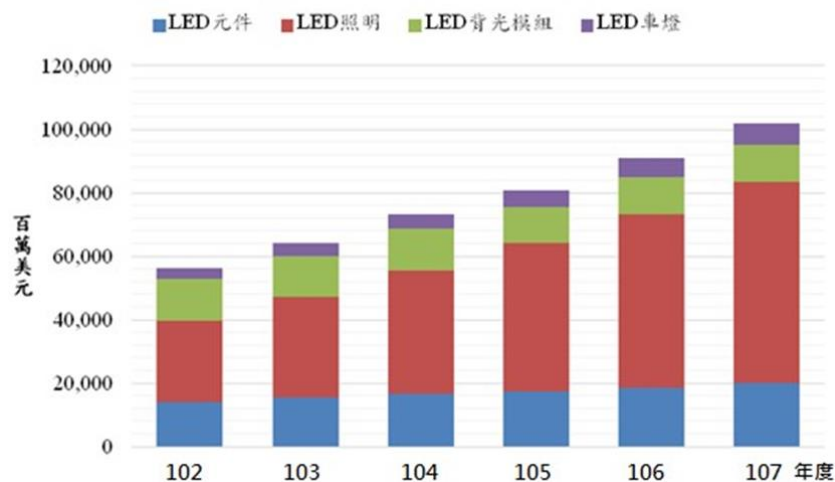


圖 12、102 年至 107 年全球 LED 照明光電市場規模(單位:百萬美元)<sup>19</sup>

各國於 LED 產業發展之面向，由其政策可觀之，可發現其不同之處，中國大陸著重於 LED 設備材料與其中下游的整合，在應用端面，則注重照明市場的發展；南韓則較重視 LED 應用端發展，發展範圍涵蓋了照明、家電與發光效率的提升；日本、美國、歐盟及我國則重視 LED 照明產業端的發展。

#### B. 能源資通訊產業

能源資通訊產業範圍十分廣泛，涵蓋能源管理的各項產品與服務，藉由資通訊技術進行能源監控與調度，以達高效率之能源使用。最常見的能源系統為電力系統，以此為例，能源資通訊產業包含電網管理、再生能源整合、先進電表系統、輸配電自動化、住商與工業能源管理等領域，而先進電表系統(Advanced Metering Infrastructure, AMI)為電力供應端與使用端的界面，係能源資通訊技術發展的核心主軸，以「智慧電網」為該技術之表徵。近年來全球能源短缺、能源價格上漲、以及環保意識抬頭，加上供電、可靠度、輸配線路擴充、溫室氣體排放、電業自由化、以及各類電力科技快

<sup>19</sup> HIS；工研院 IEK 整理

速發展等趨勢，世界各國之電源供應系統逐漸朝向納入分散式電源，擴大再生能源利用，提升能源的利用效率，以及降低能源密集度的走向發展，惟，再生能源及新能源發電的不穩定特性，使其併入電網之容量佔比逐步提高而達到某個程度時，將對於電力系統的穩定度造成影響，故需發展即時有效電網監控/調度與能源管理技術系統，以降低分散式電源併網帶來的衝擊，並增加電網設備的利用率，是故智慧電網支技術便應運而生，以滿足世界各國能源政策發展方向與因應社會對供電可靠度與供電品質提高的要求，加上智慧電網可以導入大量再生能源併網發電、結合智慧型電表進行需求面管理，減少二氧化碳排放、抑制尖峰負載及節約能源，因此成為各國發展再生能源時，不可或缺之能源整合技術。

#### C. 冷凍空調設備

隨著社會與科技之發展，人民生活水平之提升，加上由於近年來發展中國家經濟逐漸復甦和加速發展，特別是歐美國家經濟有了明顯的回升勢頭，以及發展中國家所處的地理位置絕大多數是在赤道及其兩側，也因其發展而特別需要冷凍設備，即冷凍空調設備潛移默化的深入各生活領域之環節而與人們生活顯得密不可分，且市場隨著社會的發展與日俱增。職是之故，從冷凍空調方面著手之節能就顯得格外重要，美國冷凍空調學會(American Society of Heating, Refrigerating, and Air Condition Engineers, ASHRAE)、美國綠建築協會(the U.S. Green Building Council, USGBC)與照明學會(Illuminating Engineering Society, IES)便共同公布用水與能源效率規範，以期有效減少建築物對環境所造成之影響。

#### D. 碳捕獲封存

碳捕獲封存(Carbon Capture and Storage, CCS)在捕獲技術上，能去除 90%以上二氧化碳，在現在致力進行減碳之眾多方法中，係最有效之二氧化碳減量技術。根據澳洲之全球碳捕獲與封存研究院(Global CCS Institute, GCCSI)資料顯示，2015 年全球共有 15 個正在運轉的大型 CCS 計畫，比 2010 年初數量高出一倍，至 2017 年將有 22 個運轉之大型 CCS 計畫，年捕獲 CO<sub>2</sub> 量可上看 4 千萬噸，顯示 CCS 技術已經從試驗性質逐步發展至到大規模應用階段，尤其針對 CCS 技術應用於化石燃料電廠之前景已逐漸成形。其中，加拿大 SaskPower 的 Boundary Dam 之 CCS 計畫已在 2014 年 4 月開始運轉，成為第一個應用於燃煤電廠大型 CCS 計畫。又在碳封存之部分，地質封存技術涵蓋範圍廣泛，評估封存場址之兩大主軸主要為封存容量，其二則為封存完整性。美國能源部及歐盟 CCS 指令均要求地質封存設施需建立在一定之條件，並符合永久封阻及環境面安全儲存等評估標準<sup>20</sup>。

### (3) 儲能技術

#### A. 燃料電池

燃料電池屬一種發電裝置系統，只要在燃料持續供應下可以直接將燃料與氧化劑中的化學能轉化為電能。其燃料來員可以是氫、甲烷、甲醇等，氧化劑則可直接使用氧氣或是空氣。依據電解質的不同，燃料電池的種類可分為質子交換膜燃料電池(Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC)、鹼性燃料電池(Alkaline Fuel Cell, AFC)、磷酸型燃料電池((Phosphoric Acid Fuel Cell, PAFC)、熔融碳酸鹽燃料電池(Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC)及固態氧化物燃料電池

---

<sup>20</sup> 2016 年能源產業技術白皮書，經濟部能源局

(Solid Oxide Fuel Cell, SOFC)，各種燃料電池之特性見下表所示：

表 5、各類燃料電池的特性<sup>21</sup>

電池名稱	質子交換膜 燃料電池	鹼性 燃料電池	磷酸型 燃料電池	熔融碳酸鹽 燃料電池	固態氧化物 燃料電池
英文簡稱	PEMFC	AFC	PAFC	MCFC	SOFC
運作溫度	低溫 FC	中溫 FC	中溫 FC	高低溫 FC	超高溫 FC
電解質	質子可滲透 膜	氫氧化鉀溶 液	磷酸	鋰與碳酸鉀	固體陶瓷
適用燃料	氫、天然氣	純氫	氫、天然氣	天然氣、煤 氣、沼氣	氫、天然 氣、煤氣、 可燃性廢氣 等
氧化劑	空氣	純氧	空氣	空氣	空氣
運行溫度	85 度 C	120 度 C	190 度 C	650 度 C	1000 度 C
發電效率	43~58%	60~90%	37~42%	大於 50%	50~65%
應用範圍	汽車、可攜 式電力、住 家	航空太空、 國防、車輛	熱電共生電 廠	熱電共生電 廠、複合電 廠	熱電共生電 廠、複合電 廠、住家電 源

## B. 儲能產業

儲能系統可有效利用電網電力、整合再生能源發電，發展更經濟的能源供應體系，已為各國能源科技發展與應用推廣的重點項目，美國、日本、德國開始利用政策扶持儲能設備進入市場。例如 2010

<sup>21</sup> 台經院，2011 台灣各產業景氣趨勢調查報告。

年 9 月加州政府通過 AB2514 儲能法案，要求加州公用事業委員會（California Public Utilities Commission, CPUC）設置儲能系統目標，制定可行且具有成本效益之儲能系統安裝標準，擴大儲能系統使用範圍。根據 Navigant Research(2014)報告顯示，各種儲能技術裝置容量估計將由 2014 年 817MWh 成長至 2024 年 15,182MWh，顯示儲能產業將穩定成長。不同規模的儲能系統利用於電力系統的發電、輸電、配電與用戶端可發揮不同作用。對於發電系統，儲能可用於削峰填谷、負載調配、能量管理，如此可簡化發電計畫，均衡負載，減少備轉容量需求。併接於輸配電系統中，可用於管理電力品質、提高再生能源滲透率、供電穩定度與可靠度，緩解輸配電壅塞，遞延設備投資。在用戶端則可作為不間斷電源穩定供電、管理容量費用，亦可搭配再生能源發電設備或時間電價，降低用戶用電支出。

## 2. 國內綠色能源技術發展現況

### (1) 再生能源開發

#### A. 太陽能產業

我國太陽能產業過往多集中在發展上中游的太陽能電池、矽晶圓等部分，隨著市場需求之物換星移，國內產業目前也逐漸發展到上游端的矽原料，以及中下游的模組製造以及系統端，就國內整體供應鏈以觀，太陽能電池依舊是目前發展最具代表性的部分，國內太陽能電池的產能約占全球 10%，而在矽晶圓部分，國內亦有全球前 10 大之供應商。雖然市場對於太陽能佈建之需求持續上升，但是競爭也愈趨激烈，對此國內廠商皆透過技術提升或擴大產能來維持其在市場上的競爭力。

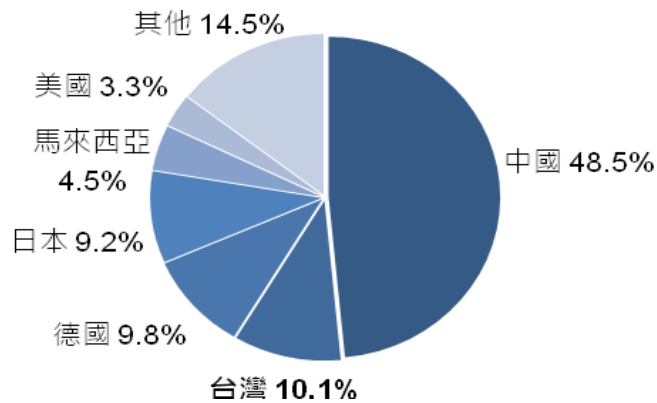


圖 13、各國太陽能電池全球市佔率

## B. 風力發電產業

我國風力發電產業發展部分，則可分為大型風機與中小型風機分別觀之。在大型風機部分，根據經濟部能源局評估台灣風能蘊藏豐富，但考量限制區域、斷層、地震、環保、交通及軍事區域等因素，實際可開發風電容量約為 7.4GW，陸域規模 1.2GW、海域 6.2GW。由於台灣陸上風電能夠開發的地方有限，因此朝向離岸開發已成為未來風電發展趨勢。離岸風電開發初期技術難度高且造價昂貴，國內尚無離岸風電開發案例，因此經濟部參酌國際離岸風力發電推動經驗，先由小規模先導型離岸示範計畫著手，並依據「再生能源發展條例」，研擬訂定「風力發電離岸示範系統獎勵辦法」，以經費補助方式，鼓勵業者設置離岸示範風場。目前我國有三個示範案進行中，分別為彰化縣芳苑鄉外海兩處與苗栗縣竹南鎮外海一處。行政院於 2017 年 6 月核定之「風力發電四年推動計畫」，設定目標於 2020 年與 2025 年分別達成風力發電累計裝置容量 1.3GW 與 4.2GW。雖然我國蘊藏豐能豐富，適合發展風力發電，惟大型風力機技術門檻相對較高，我國尚需時間使產業成形，然而受惠於輕機械、小型發電機以及不斷電系統(UPS)的良好基礎，10kW 以下之小型風力發電

機在我國已有 20 家系統廠開發出商業化產品接單量產，並有十餘家零組件廠商供應材料；1kW 以下小型風力機有 15 家業者投入共 24 款機型，1~10kW 級距風力機有 18 家投入 39 款機型系統開發，至於 10kW 以上則有核能研究所投入 25kW、150kW 及 600kW 小型風力機開發。

### C. 生質燃料

我國生質燃料部分，目前國內休耕地面積達 21 萬公頃，雙期連休土地面積高達 6.2 萬公頃。運用雙期連休土地推廣甘蔗產製酒精具備 34 萬公秉潛能，而使用國內主要農林廢棄物產製纖維酒精約具備 43 萬公秉潛能，足見我國生質料源供給部分具備一定發展潛力。再者，利用休耕地推廣甘蔗作為生質酒精料源，若能夠搭配環境補貼，則已具備能源、環境與經濟效益。

### D. 海洋能

於海洋能之部分，台灣係一海島，四面環海，海岸線長達 1,448 公里，蘊藏之海洋能不容忽視。較具開發潛力的分別為海流能及波浪能，潮差能方面則由於臺灣地區沿岸的平均潮差僅 2.5 公尺，未達開發建議所需的 6~8 公尺，較不具有經濟效益。根據經濟部能源局之篩選，初步估計波浪發電可開發量為 2.4GW，主要場址分布在東北角與雲彰隆起海域，其中以三貂角海域約 15.93kW/m 為最大，雲彰隆起約 13.60kW/m 次之。在全球尚未有可商品化技術下，經濟部能源局曾委由財團法人工業技術研究院結合臺灣業界共同開發出台灣發首座 20 瓩級波浪發電機組，過去曾於 2014 年 12 月於基隆海洋大學外海進行海上測試。而海流能部分，又分為由潮汐所引起的潮流能，以及因全球海水鹽度及溫度差異所引起的溫鹽洋流，台灣沿

岸的黑潮即屬溫鹽洋流的一環。洋流的能源開發技術近年來也開始發展，洋流為單向流移動較慢，相較於流速較快的潮汐流海洋洋流開發所需要的技術不盡相同。海洋洋流開發到目前為止沒有先導開發或示範計畫。有鑑於海洋洋流比起潮流具更大開發潛能，如果利用較低流速能量轉換技術可開發成功，將有機會發展成具規模的能源選項。是故國內有相關民間企業與政府合作研發黑潮發電設備及佈放技術，預計將於 2016 年完成實海域佈放試驗。

#### E. 地熱能應用

於地熱能應用部分，由於國內位處太平洋火環帶上，溫泉資源豐富，國內主要傳統淺層地熱區包括北部大屯火山、宜蘭清水與土場、南投廬山、臺東知本與金崙等地區，總發電潛能約 730MW。傳統地熱可細分為火山型及非火山型兩種地熱資源，其中僅有北部大屯山地熱區及宜蘭外海之龜山島屬於火山型地熱區；其他則皆屬非火山型熱水型地熱區。2015 年新北市與工業技術研究院簽署金山地熱發電開發計畫合作意向書，於金山四礮子坪推動全臺最大地熱發電開發計畫，並已獲經濟部能源局經費支持鑽探。開發區位於大屯火山群，地熱資源相當豐富，經實際鑽鑿 1,300 公尺後，估計將有 5.5MW 發電潛能，年發電量可達 3,767.5 萬度，可供金山區 7,000 餘戶民眾 1 年電量使用量。此外，臺東外海之綠島島上溫泉資源豐富，地下熱能實屬相當豐沛，台電公司希望於該處進行地熱能之開發。又我國 1981 年於宜蘭縣清水地熱區建構 1 座 3MW 先驅地熱試驗發電廠，惟起始時間雖早，但後來因地熱產量逐年衰減以致發電量亦隨之遞減，便於 1993 年 11 月停止發電試驗，累計運轉時間約 12 年，而後長達十餘年國內地熱發電產業便陷入停頓狀態，而目前尚未有



商轉之地熱電廠。

## (2) 節能減碳技術

### A. 發光二極體應用

在 LED 部分，會影響其應用在照明上之發光效率因素包括，色彩、散熱、封裝與電源驅動方式等，是故有許多不同於傳統燈具的問題有待解決。在色彩方面，螢光粉的轉換效率會影響光行和色彩的均勻性，可能造成和自然光源有所誤差，因此，如中央大學光電系所利用控制雙螢光粉混色，使得色彩的更為精準；就電源驅動方式來說，LED 應用在一般照明上必須配合電壓器，此往往會降低 LED 燈泡效率，工研院光電所所發展的 AC-LED 以交流電直接驅動 LED，避免因轉換時而造成的發光效率損失，而此一技術在 2008 年已移轉給晶電、光寶科及福華等業者，晶電在 AC LED 的技術基礎上，2010 年更進一步發展出高壓 LED 技術，大幅提升發光效率並降低 LED 照明成本並應用在體積較小的輔助照明市場。以散熱問題而言，台積電以 LED 矽基封裝技術，可大幅降低界面溫度，藉以提高發光效率。發光效率的提高使得可以以較低的電力，創造出更高的發光品質，同時也可降低對於電力的需求，進而降低碳排放量。

### B. 能源資通訊產業

我國電力系統目前均屬於大型集中式的系統，其電力來源主要為火力(包含燃油、燃煤和天然氣占總發電量之 76%)、核能(占總發電量之 18.6%)、和部份的水力與再生能源(占總發電量之 5.4%)。大型集中式系統有發電機組大型化及負載集中兩大特色，無論是核能電廠、火力電廠或水力電廠所產生的電力，由於發電廠與用戶端距離遙遠，故必須藉助輸變電系統提高電壓，透過電力線輸，最終變

壓供給用戶使用，因而造成能量耗損。由於都會區及工業區的負載集中，電力需求急速成長，加上遠距離輸電與大電網互連使得系統難以快速追蹤負荷變化，故障問題容易透過電網擴散進一步造成電力系統癱瘓，且龐大的電網和過於集中的發電廠極易遭到攻擊而造成國安問題。因此，電力供應「不患寡而患不均」，為考慮國家安全及能源問題，適當導入分散式電源及提高電網效率便成為我國的既定政策及發展方向。因此，能源國家型科技計畫已於 2010 年度開始推動智慧電網與先進讀表主軸專案計畫，規劃於 2010~2013 年間主要工作為完成微電網、先進讀表基礎建設、先進配電自動化、智慧家庭(建築)電能管理四個先導型計畫。

### C. 冷凍空調設備

根據統計，台灣的非生產事業建築中(包括住商、學校及政府機關等)耗能約占全國之 25%，耗電量卻約占 41%，其中空調約占建築耗能之 31%，二氧化碳排放量約為 2,100 萬噸。在工業部份，電子業耗能約占工業之 33%，空調相關用電約占電子業之 35%，總計冷凍空調占全國總耗能約為 13%<sup>22</sup>。隨著節能減碳及節能之世界潮流我國「空調系統節能設計能力」便成為各廠商最急於強化的部分。因此節能技術服務企業(Energy Services Company, ESCO)便應運而生。節能技術服務對象可能為冷氣空調、照明設備或鍋爐安裝等公司，合作案件為此類廠商銷售節能設備的附帶服務。台灣目前這節能技術服務產業正由高度成長逐漸邁入飽和或停滯成長階段，整體產業獲利能力薄弱，漸由高毛利之能源技術服務業調整成低利潤的能源技術工程業或能源設備銷售業。雖然此節能率能夠符合政府期待，但

---

<sup>22</sup> 臺灣冷凍空調產業概況與人力需求,教育部能源科技人才培育網

此時政府扮演可能漸次需由引導者轉為管理者，制定公平有效的經營環境，方能使產業之發展有更上層樓之突破<sup>23</sup>。

#### D. 碳捕獲封存

如前述我國於 2015 年 6 月 15 日立法院通過之「溫室氣體減量及管理法」規定，明訂國內需在 2050 年，將溫室氣體排放量降至 2005 年(約 2.45 億公噸)之一半。此時如何有效減低碳排放量便顯得十分重要，依國際能源總署 2015 年對能源技術之減碳貢獻分析，CCS 技術貢獻 13%，為未來最具減碳潛力之技術。由於再生能源之發展及容量有限，且短時間內對於持續使用化石能源之狀態仍屬不可改變之情事，為能持續使用煤炭，並同時降低電力排放係數，CCS 技術為永續化石能源潔淨使用之最佳解決方案。經濟部能源局自 2006 年開始對 CCS 進行技術研發工作，並訂定推動策略，在捕獲技術部分主要以處理大型固定排放源之二氧化碳排放為標的，包括發電廠、水泥廠、鋼鐵廠及石化廠等產業。在封存部分則以發展相對成熟，及先天條件符合之地質封存為主要推動方向，且同時考慮深地下鹽水層及油氣構造進行技術研發與示範推動。而我國在碳捕獲封存與再利用技術發展上，在鈣迴路捕獲技術、化學吸收與吸附法、化學迴路新燃燒技術、封存潛能評估與安全監測技術，以及二氧化碳利用於微藻培養與萃取技術等，多已經由產業之合作積極參與，獲得顯著成效<sup>24</sup>。

### (3) 儲能技術

#### A. 燃料電池

在燃料電池部分，我國燃料電池的技術開發係由研究單位開始，

---

<sup>23</sup> 台灣地區節能技術服務(ESCO)產業調查報告 2015

<sup>24</sup> 2016 年能源產業技術白皮書，經濟部能源局

技術開發成功後，方技術轉移至民間公司，而逐漸形成產業。進行燃料電池技術研究的單位有工研院、中科院與核研所，最早為工研院發展純氫型與重組型 PEMFC 發電機組，後技術移轉大同世界科技公司與鼎佳能源公司；中科院稍後亦開發出純氫型 PEMFC 發電機組，技轉台達電公司；核研所則進行 SOFC 發電機組之研究，目前仍處於研發階段，尚未有技術轉移民間公司。目前我國氫能燃料電池產業供應鏈上中下游計有 35 家以上廠商，投入研發已逾十多年。近年來，國內產業界有重大發展，包括定置型、可攜式型、運輸型、以及關鍵零組件等產品陸續研發問市。國內許多廠商皆已發表量產階段之技術與產品，且已完成定置型與運輸型燃料電池產品之示範運行。

## B. 儲能系統

隨著未來再生能源發展，占地面積小且不受環境因素影響之儲能技術極具發展空間。2016 年我國政府推動 2025 年再生能源達發電量 20%，在提高再生能源目標同時，亦藉儲能技術發展來提高電網穩定度。經濟部能源局 2017 年規畫未來八年投入 16 億元，推動「區域性儲能設備技術示範驗證計畫」，目標裝置容量達 15MW，以併聯容量已飽和的中南部地區先推動。目前我國儲能電池產業鏈(鋰電池、燃料電池、鋁電解電容器、鉛酸電池等)及電力轉換器已具有一定基礎，可發展新型儲能設備的系統。

## 二、計畫目標

隨著國際上對於全球暖化及能源節約之重視，電力系統低碳化及提高節電效率已成為國家深度低碳化的兩大策略。本計畫首先藉由蒐集國內外電力與工業、運輸、服務業、住宅部門，相關技術

與制度的發展資訊，同時進行分析並提出建議，加上蒐集國內外在電力與工業、運輸、服務業、住宅部門相關政策實施以及國內外重要研究單位模擬分析結果，經彙整評估後並提出建議，以作為未來後續國家實施能源工程模型分析之參考資料。

此外，搭配定期蒐集與更新國際能源領域動態資訊，確保掌握及瞭解國內外能源相關議題，藉此熟悉國內外技術與制度等各層面之變化趨勢與走向，使我國之相關制度發展與制訂能夠與時俱進並與國際接軌，進而達成溫管法所制定 2050 年溫室氣體排放目標之規定與節能減碳之效果。

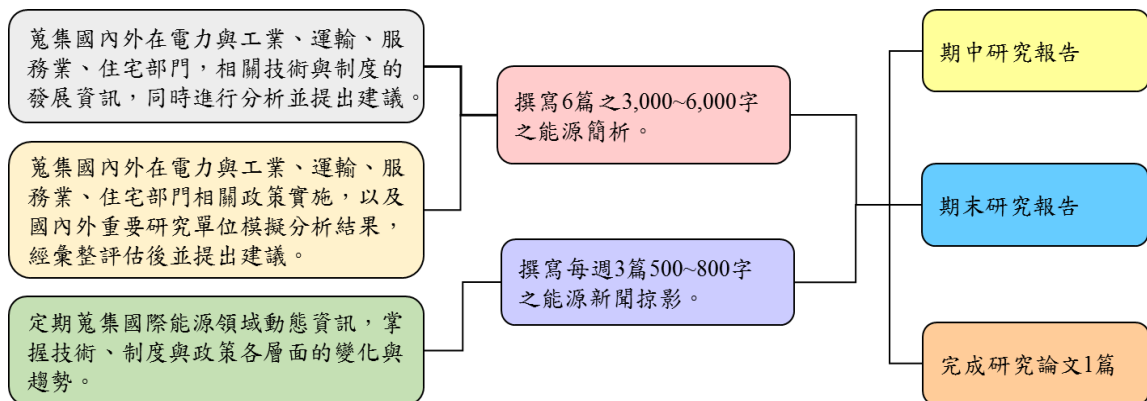


圖 14、研究架構

## **貳、研究方法與過程**

### **一、蒐集國內外電力與工業、運輸、服務業、住宅部門，相關技術與制度的發展資訊，同時進行分析並提出建議**

本計畫首先經由蒐集國內外電力與工業、運輸、服務業、住宅部門相關節能減碳技術與政策措施之發展歷程，透過國內外相關資料整理及統合後，提出對國內節能減碳相關技術與政策措施之啟示與建議。

#### **(一) 蒐集並分析國內電力與工業、運輸、服務業、住宅部門，相關技術與制度的發展資訊**

本計畫蒐集我國在電力與工業、運輸、服務業、住宅部門，有關節能減碳相關技術之發展資訊及相關制度之沿革，並藉由上述技術與制度之發展過程，檢視我國目前相關技術與制度之發展現況與趨勢。

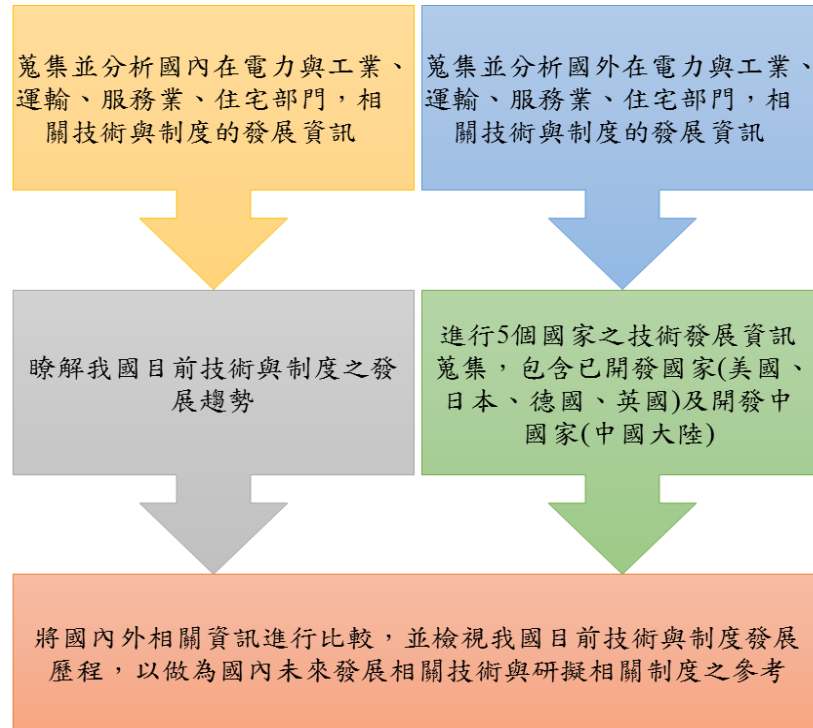
#### **(二) 蒐集並分析國外電力與工業、運輸、服務業、住宅部門，相關技術與制度的發展資訊**

為瞭解國外電力與工業、運輸、服務業、住宅部門，有關節能減碳相關技術與制度之發展資訊，並以此做為我國相關發展之借鏡與比較，本研究團隊將蒐集 5 個國家節能減碳技術發展資訊，以及彙整其制度沿革轉變，以瞭解國際上相關技術與制度之發展趨勢。此 5 個國家包括美國、日本、德國、英國等發展節能減碳技術較早、較完整且成熟之先進國家，以及鄰近之開發中國家例如中國大陸。

#### **(三) 提出國內工業、運輸、服務業、住宅部門節能減碳相關技術與制度發展之建議**

藉由分析國外不同發展程度國家之技術與制度之發展資訊，瞭

解國際上之發展趨勢，以及不同技術發展歷程所可能對應到之制度變化，並檢視我國目前之技術與制度發展歷程，以做為未來相關技術與制度之發展趨勢評估及方向之參考。



## 二、蒐集國內外電力與工業、運輸、服務業、住宅部門相關政策實施，以及國內外重要研究單位模擬分析結果，經彙整評估後並提出建議

本計畫蒐集國內外電力與工業、運輸、服務業、住宅部門節能減碳相關政策措施現況，並蒐集國內外重要研究單位模擬電力與工業、運輸、服務業、住宅部門實施節能減碳相關政策之分析結果，最後，根據國內外重要研究單位之模擬分析結果，以及國內外電力與工業、運輸、服務業、住宅部門節能減碳相關政策措施現況，提出相關啟示與建議。

### (一) 蒐集國內外電力與工業、運輸、服務業、住宅部門節能減碳相關政策措施現況

## **1. 國內電力與工業、運輸、服務業、住宅部門節能減碳相關政策措 施**

本計畫搜尋國內工業、運輸、服務業、住宅部門之各相關機關單位網站，蒐集與統整國內電力與工業、運輸、服務業、住宅部門節能減碳相關政策措施現況。

## **2. 國外電力與工業、運輸、服務業、住宅部門節能減碳相關政策措 施**

為掌握國外電力與工業、運輸、服務業、住宅部門節能減碳相關政策措施現況，本計畫將進行5個國家相關政策措施之資訊蒐集，包括美國、日本、德國、英國等推動節能減碳較早、較完整且成熟之先進國家，以及鄰近之開發中國家例如中國大陸，蒐集、彙整與比較上述國家現階段之節能減碳相關政策措施。

### **(二) 蒐集國內外重要研究單位模擬電力與工業、運輸、服務業、住宅部門實施節能減碳相關政策之分析**

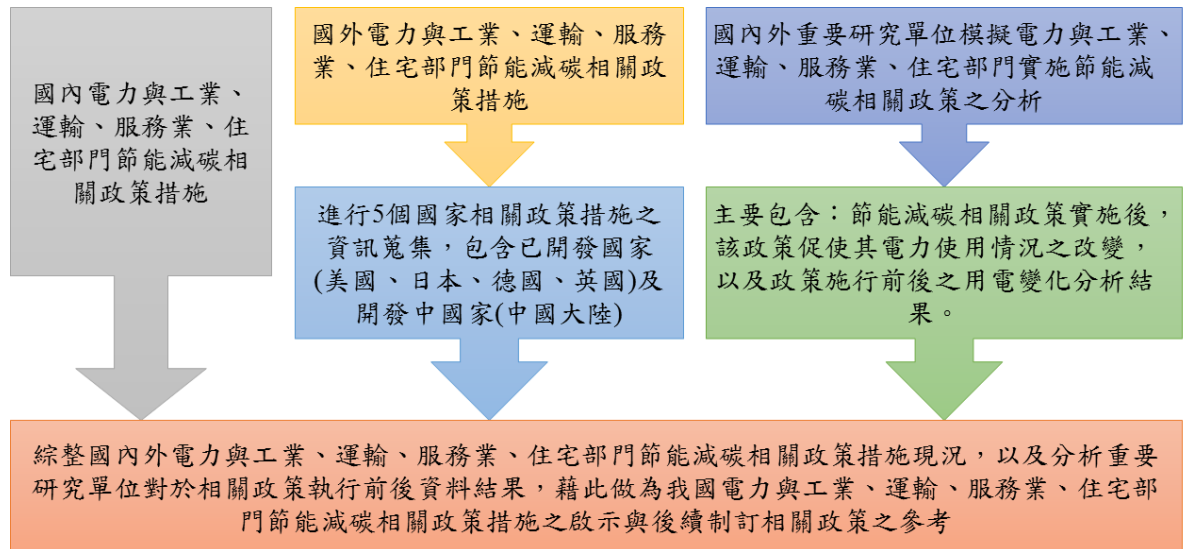
完成上述工作項目後，進行蒐集與彙整國內外重要研究單位曾經模擬電力與工業、運輸、服務業、住宅部門於其國家實施節能減碳相關政策後，該政策促使其使用電力使用情況之改變，以及政策施行前後之用電變化分析結果。

### **(三) 國內工業、運輸、服務業、住宅部門節能減碳相關政策措施現 況之建議與制訂方向**

經由整理上述國外電力與工業、運輸、服務業、住宅部門節能減碳相關政策措施現況，以及分析重要研究單位對於相關政策執行前後之資料結果，再與我國目前電力與工業、運輸、服務業、住宅部門節能減碳相關政策措施實施現況進行參照與比較，藉此作為我



國電力與工業、運輸、服務業、住宅節能減碳相關政策措施之啟示  
與後續制訂相關政策之參考。



### 三、定期蒐集國際能源領域動態資訊，掌握技術、制度與政策各層面的變化與趨勢

由於本研究團隊擔任超過 9 個國內綠色能源相關產業協會之平台或秘書處，一直以來均持續與太陽能光電產業、LED 照明光電產業、風力發電產業、生質燃料產業、氫能與燃料電池、能源資通訊產業、冷凍空調產業、海洋能產業等推廣綠能之國際相關組織進行資訊之交流，或為該國際綠能組織之會員，每週或每月皆定期收到各組織所提供之國際政策、產業趨勢及現況相關資料，如美國燃料電池與氫能協會(FCHEA)及日本燃料電池發展資訊中心(FCDIC)，該些組織均定期公告國際產業最新技術與產業發展資訊，包括地區政府之政策措施與業界商業資訊。

本計畫蒐集傳統能源、再生能源、節能科技、能源創新利用等相關節能與減碳等技術、制度與政策之變化與趨勢，針對不同類型之最新資訊與動態消息，就其屬性之不同，進而選擇從政策與法規面、產業面、環境與發展趨勢面、技術面等四大面向進行探討與分

析，以利隨時對於國際能源領域動態資訊有所掌握，並在流動快速之及時資訊中，得以掌握國內外對於能源領域及節能減碳等綠能技術、制度與政策各層面的變化與趨勢。

#### **四、遭遇之困難及解決途徑**

本研究團隊評估執行遭遇之困難及解決途徑如下：

##### **(一) 資料蒐集完整性之風險**

本研究團隊經營 9 個能源與電力相關產業協會之秘書處，並為國際各能源電力相關協會之會員，每週進行資料蒐集與摘譯工作，且已超過十年，將確保資料來源蒐集之完整性。

##### **(二) 文章產出品質風險**

本計畫組成專家委員會每週定期審核計畫所需產出之文稿，確保文稿品質與專業度。

##### **(三) 人員管理風險**

本計畫執行期間定期提供進度報告資料，以確保計畫執行之人員控管。

## 參、主要發現與結論

### 一、蒐集國內外電力與工業、運輸、服務業、住宅部門，相關技術與制度的發展資訊，同時進行分析並提出建議

本計畫首先經由蒐集國內外電力與工業、運輸、服務業、住宅部門相關節能減碳技術與政策措施之發展歷程，透過國內外相關資料整理及統合後，提出對國內節能減碳相關技術與政策措施之啟示與建議。

#### (一) 蒐集並分析國內電力與工業、運輸、服務業、住宅部門，相關技術與制度的發展資訊

我國經濟部於 2008 年公佈之「永續能源政策綱領」，提出「提高能源效率：未來 8 年每年提高能源效率 2% 以上」、「發展潔淨能源：全國二氧化碳排放減量，於 2020 年回到 2005 年排放量，於 2025 年回到 2000 年排放量」等目標，期望使我國經濟成長與溫室氣體排放成長逐漸脫勾，邁向低碳經濟與環境永續發展之社會，我國能源政策自此強調以永續能源發展為政策主軸。

此外，經濟部亦於 2017 年發佈「能源發展綱領」，提及供給面多元自主低碳作法，包括(1)建構效率化、自主化、多元化的能源組合，善用各類能源特性配置能源轉型各階段合理結構；強化能源安全預警及緊急應變機制，以確保能源供給穩定安全。(2)掌握自產能源潛能，推動國際能源開發與技術合作，獎勵業者積極參與海內外能源開發，拓展各類能源供給管道，以增加自主能源比重。(3)確保能源進口管道的穩定性，分散能源採購來源與方式，以降低進口能源供應風險。(4)擴大再生能源設置，強化綠能發展誘因，建構再生能源友善發展環境，兼顧環境生態保護，鼓勵有助區域供需均衡之

分散式電源設置，以促進再生能源加速發展。(5)推動替代化石能源之技術發展與應用，以降低對化石能源的依賴。(6)擴大天然氣使用，並布建天然氣接收站與輸儲設備及建立安全存量機制，以提高低碳能源供給與安全。(7)視技術進展評估導入淨煤及減碳相關技術，提高燃煤發電效率，減少煤炭利用之碳排放。(8)提高發電廠效率，規範新電廠採用商業化最佳可行技術，並善用汽電共生系統配合調度供電之潛力，以穩定電力供應及確保供電品質。

低碳化與脫鉤(decoupling plus)已成為未來電力部門因應氣候變遷之策略，電力部門相關減碳技術開發方向，包括加速淘汰老舊發電設備、新電廠全面採行最佳可行技術(Best Available Technology, BAT)、發展再生能源、擴大天然氣發電、推廣碳捕獲與封存(CCS)於火力發電之應用等。

為降低我國工業部門二氧化碳排放量，相關節能發展目標為(1)能源資通訊技術深化應用，支援需量反應/虛擬電廠，協助應對再生能源電網衝擊；(2)透過能源整合/資通訊技術，降低產品單耗至國際水準，未來3年每年降低耗能1%。工業部門節能減碳技術開發方向，包括再生能源、廠房節能、廢水再利用、工業製程節能、高效率燃燒、電能管理、馬達節能、空壓機節能、電梯節能、控制系統節能、熱能回收再利用、發電系統節能、隔熱節能、熱交換器與冷凍空調節能、綠色工廠、提升室內空氣品質、工業廢棄物再生等研發重點。

我國運輸部門能源消費歷年均以公路系統為大宗(佔90%以上)。為降低我國運輸部門二氧化碳排放量，相關節能發展目標為(1)發展節能效果50%車輛自主技術，提高節能車輛市場佔有率；(2)推動我國主要城市為智慧節能運輸示範點，輸出中小型電動車與關鍵模組

至國際。運輸部門減碳技術開發方向，包括建立車輛能耗標準、檢測與法律規範，提升燃油與車輛技術，發展智慧型運輸系統；運具移轉，將乘客自私人運具引導至公共運輸，用更具能源使用效率之運輸模式；需求減量，整合土地使用與運輸規劃，創造能促進地方群集的經濟活動，改變生產模式，更多電子化交易與作業，發展多面向物流供應鏈，減少不必要旅次，以達減少運輸需求。

我國服務業部門能源消耗以空調與照明設備用電為大宗。針對空調設備之節電措施，包括採用高效率冷氣機、採用高效率空調主機、加裝空調監控設備；針對照明設備之節電措施，包括層板燈採用高效率 T5 電子式取代 T8 傳統式之安定器日光燈具、採用高效率 LED 取代鹵素燈、陶瓷複金屬燈或省電燈泡、加裝照明監控設備；針對冷凍冷藏設備之節電措施，則包括冷凍冷藏設備效率提升、加裝冷凍冷藏監控設備等。

我國電力供應出現尖峰缺口，其中住宅建築低壓用戶耗電持續成長。為降低我國住宅部門二氧化碳排放量，相關節能發展目標為(1)降低現有建築耗能 50%，與再生能源整合，推動接近淨零耗能建築實用/普及化；(2)建築系統整合節能/儲能/需量反應等功能，減輕再生能源高佔比對電網之衝擊。住宅部門減碳技術作法，包括降低空調用電、使用高效率家電設備、使用高效率燈具、照明設計與控制、使用高效率之動力馬達與動力設施管理。另外，強化新建築節約能源設計規範，鼓勵既有建築進行節能改善，推廣建築物利用再生能源，並提高建築節約能源標準。

**(二) 蒐集並分析國外電力與工業、運輸、服務業、住宅部門，  
相關技術與制度的發展資訊**

為瞭解國外電力與工業、運輸、服務業、住宅部門節能減碳相關技術與制度之發展資訊，本研究團隊蒐集美國、日本、韓國、德國、英國、中國大陸等國家節能減碳技術發展資訊，以及彙整其制度沿革轉變，以瞭解國際上相關技術與制度之發展趨勢。

### 1. 電力部門能源消費與節能減碳技術及制度概況

目前主要國家用於發電之初級能源仍以化石能源為主，但透過燃燒化石燃料發電將產生大量溫室氣體。目前各主要國家中，德國為使用再生能源最有野心之國家，2015 年德國再生能源佔電力部門消費配比为 12.5%。

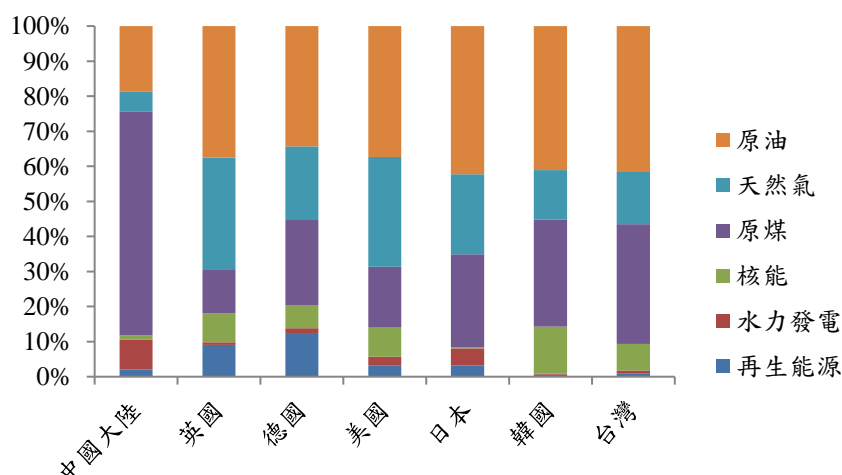


圖 15、2015 年主要國家電力部門能源消費分析

隨著美國頁岩氣開採技術的突破，帶動全球能源的革命與轉變，美國已成為目前全球最大天然氣生產國。自 2009 年開始美國天然氣生產量逐年成長，天然氣佔美國 2015 年電力部門能源消費之 31.7%，僅次於原油之 37.3%，再生能源電力呈現倍數成長。美國電力部門於 2015 年 8 月實施「清潔電力計畫」，預計至 2030 年，美國電力部門二氧化碳排放少於 2005 年排放量的 32%。

2017 年 1 月美國新任總統川普上任後，宣佈「美國優先能源計

畫」(An America First Energy Plan)，並取消「氣候行動計畫」(Climate Action Plan)。川普政府團隊認為頁岩油與天然氣變革，將創造數百萬美國人工作機會，同時允諾達成國家能源自主，並擺脫對石油輸出國家組織(OPEC)及任何影響美國利益之國家的仰賴。

日本為能源消費大國，但自產能源極為有限，絕大多數仰賴進口。各項能源進口依存度，分別為原油 99.6%、天然氣 96.1%、煤炭 93.9%。日本 2010 年規劃於 2030 年透過擴大再生能源與核能的利用，使煤與液化天然氣之發電佔比由原先之 60%降至 10%。

自從 2011 年 311 福島事件後，日本核能電廠停止運轉，核能衰退的部分主要以煤、天然氣與其他化石燃料來彌補，導致其使用量增加。著眼於上述困境，首相安倍晉三於 2014 年 4 月通過「第四次能源基本計畫」，重新定調核能為未來重要能源基載，並使停止運作之核電廠於通過新的核能安全標準架構最嚴格的檢驗後，重新啟用 (METI, 2014)。2015 年 8 月日本鹿兒島縣之川內核電廠正式重啟核反應爐，終結日本零核電情形。此外，日本於 2014 年通過「能源合理使用法」，藉由此法案之推動與實施，預計每年平均可減少 1%能源消耗。

日本政府規劃至 2030 年核能發電佔比為 20%~22%，並預測太陽能發電過剩之情形，主要因公用事業拒絕升級其電網系統，以收納政府電力收購制度下所有分散式太陽能系統所發的電。因此，考慮環境保護與經濟發展的雙重因素下，於發展潔淨能源初期，核能發電將為一過渡能源或能源選項。

韓國對於能源進口依賴性高，為加強能源供給穩定性、提升能源自給率及能源使用之永續發展，韓國政府於 2008 年與 2014 年陸

續提出兩次能源總體規劃。在 2008 年第一期國家能源基本計畫，以 2030 年能源自給率達 40% 為目標，從提高再生能源佔比(2030 年再生能源目標佔比為 11%)、增加能源效率及降低能源密集度著手。同時，核能發電裝置容量佔比由 2007 年 27% 提高至 2030 年 41%。2014 年韓國政府頒布第二期國家能源基本計畫，將核能發電裝置容量佔比下修至 2035 年 22~29%；並增加使用低碳能源、提升能源供給安全以及提高再生能源之使用，再生能源佔初級能源消費比重將明顯提升，將由 2012 年 0.6% 提升至 2035 年達 11%。

德國部分，在政府、企業及民間的大力推動下，近年再生能源已快速成長。在能源轉型成本完全轉嫁到消費者的政策下，卻也引發包含電價飆漲、產業外移等問題，未來更將面臨包含電網擴建、能源效率提升等挑戰。為此，德國政府已於 2014 年 8 月對外發布至 2016 年能源規劃的藍圖。具體目標包括在 2022 年後，核能的使用將全面停止，並積極發展再生能源在各部門的使用；快速擴展並建立現代化的電網；改善能源效率，特別針對節能建築翻新，並使用現代化技術減少電力耗損。

依據「聯盟協議：目標 2020 年能源重倍生產力」政策，其目標為穩健提高能源效率，至 2020 年將能源生產力提高至 1990 年之兩倍。推行方式多元，例如將「現代化二氧化碳建築計畫」資金增加至每年至少 15 億歐元，大幅提升其效率與吸引力(例如投資補貼與減免稅收措施)；支持歐洲提高能源效率之政策，並努力實現歐洲頂尖計畫。

此外，德國政府於 2016 年正式通過再生能源法案(Renewable Energy Sources Act, RESA)的修正案，未來將終結再生能源電能躉購



機制(Feed-in Tariffs, FIT)補貼。德國希望透過此方式來減緩裝機量的爆量成長，並完善掌控各項再生能源的電力運用、用電成本。RESA 修正案同時也正式明訂，2025 年再生能源發電量需佔總用電量 40~45%；2035 年目標進一步提高到 55~60%。德國將維持 2022 年全面廢核的目標，以及 2020 年碳排放量較 1990 年減少 40%的減排承諾。

為達成英國 2008 年氣候變遷法(Climate Change Act 2008)設定 2050 年相對於 1990 年水準減少二氧化碳排放量之 80%，預計採取措施包括逐步關閉傳統燃煤電廠、2009 年再生能源指令(Directive 2009/28/EC)設定 2020 年再生能源佔總能源消費之 15%、新建核電廠等方案。

2013 年 12 月英國能源與氣候變遷部(Department of Energy & Climate Change, DECC)公佈經英王御准之能源法案，其中電力市場改革(Electricity Market Reform, EMR)部分，包含差價合約(Contracts for Difference)、備用容量市場機制(Capacity Market)、利益與應變安排衝突(Conflicts of Interest and Contingency Arrangements)、投資合約(Investment Contracts)、市場進入(Access to Markets)、再生能源轉型(Renewables Transitional)、排放績效標準(Emission Performance Standard)等措施，使低碳電力成為英國未來能源供應之主軸。透過電力市場改革大力推動各項措施降低再生能源、核能及碳捕獲與封存等低碳能源的市場風險，以刺激投資。

另外，環境稅法係英國政府用於鼓勵國內企業以更環保的方式經營，針對不同類型與規模之企業，制訂各式稅收與計畫。其中，「氣候變遷捐」由主要費率(main rates)與碳價支持費率(carbon price

support rates, CPS rates)而取得，其中主要費率用於支付如電力、天然氣及固體燃料(煤炭、焦炭等)，皆條列於企業的能源清單中；若企業屬於輕能源、家用型或慈善用途業務，其電力來自或供給於符合規定之熱電聯產方案、來自再生能源，皆可獲得稅賦減免。碳價支持費率則是用以鼓勵企業使用低碳技術發電。

中國大陸為產煤主要國家，包括山西、內蒙古、陝西等省區蘊藏豐富煤炭資源，其煤炭產量與消費量位居世界之冠，但長期以來缺油、少氣、多煤的能源生產及消費結構不變。為落實「能源發展十三五規劃」目標(表 6)，由中國大陸國家發展改革委員會與國家能源局發佈之電力發展「十三五規劃」(2016~2020 年)，該規劃方案設定各項發展目標，包括供應能力、電源結構、電網發展、綜合調節能力、節能減排、民生用電保障等面向，以確保中國大陸於 2020 年達成非化石能源佔整體能源消費之 15%的目標。

中國大陸「空氣污染防治法」具體提出大氣污染防制之總體要求、目標和政策措施，以提高環境品質為最終目標。其推動方向包括整體戰略規劃、加強行政審核、提高環保標準、完善技術規範、開放環保市場、開放融資管道以及扶植環保產業發展等方面。此項法案亦要求企業採用節能、低污染的清潔生產技術，要求經濟管理部門(中國大陸國家發展和改革委員會、中國大陸國家經濟貿易委員會)頒布退役設備清單，此法實施後，許多小型、低效率與污染嚴重之工廠停產，礦井亦逐步關閉。

表 6、中國大陸「十三五」時期能源發展主要指標

類別	指標	單位	2015年	2020年	年均增減	屬性
能源	一次能源生產量	億噸標準	36.2	40	2%	預期性

類別	指標	單位	2015年	2020年	年均增減	屬性
總量		煤				
	電力裝置總量	億千瓦	15.3	20	5.5%	預期性
	能源消費總量	億噸標準煤	43	<50	<3%	預期性
	煤炭消費總量	億噸原煤	39.6	41	0.7%	預期性
	全社會用電量	萬億千瓦時	5.69	6.8~7.2	3.6~4.8%	預期性
能源安全	能源自給率	%	84	>80		預期性
能源結構	非化石能源裝置比重	%	35	39	[4]	預期性
	非化石能源發電量比重	%	27	31	[4]	預期性
	非化石能源消費比重	%	12	15	[3]	約束性
	天然氣消費比重	%	5.9	10	[4.1]	預期性
	煤炭消費比重	%	64	58	[-6]	約束性
	電煤佔煤炭消費比重	%	49	55	[6]	預期性
能源效率	單位國內生產總值能耗降低	%	-	-	[15]	約束性
	煤電機組供電煤耗	克標準煤/千瓦時	318	<310		約束性
	電網線損率	%	6.64	<6.5		預期性
能源環保	單位國內生產總值二氧化碳排放降低	%	-	-	[18]	約束性

註：[ ]內為五年累計數。

資料來源：中國大陸國家發展改革委員會(2016)。

以各主要國家中長期電力部門能源配比結構而言，美國 2030 年化石能源仍以石油及天然氣為主，日本石油佔整體電力能源配比由 2013 年 14.9% 大幅下降至 2030 年 3.1%，並由再生能源與核能發電彌補缺口。中國大陸煤炭佔整體電力能源配比由 2015 年 63.7% 下降至 2035 年 47.2%，而天然氣配比有顯著增加，由 2015 年 5.9% 上升至 2035 年 13.1%。

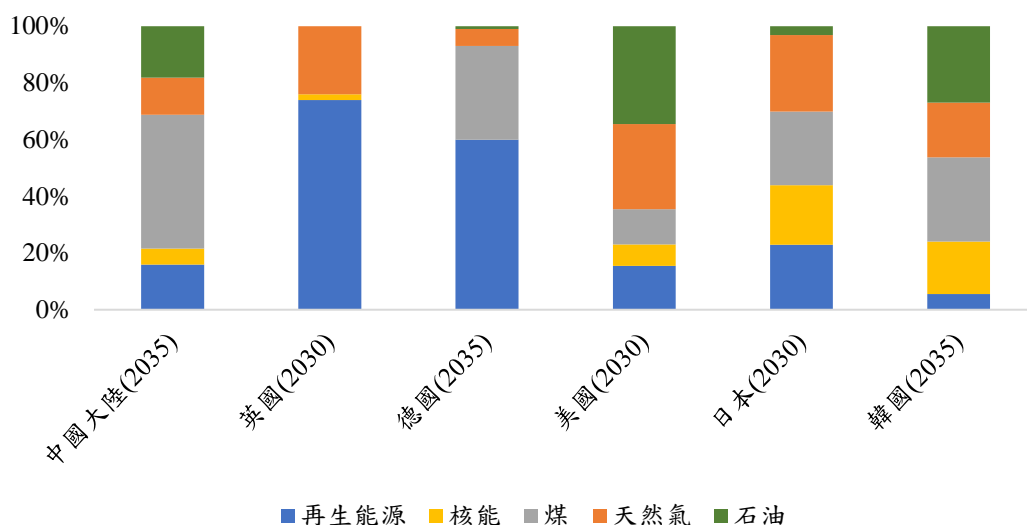


圖 16、各主要國家中長期電力部門能源配比結構

## 2. 工業部門能源消費與節能減碳技術及制度概況

目前全球工業部門佔整體能源消費量約 54%，相較於其他部門消耗更多的能源，溫室氣體排放量佔整體約 40%(圖 17)。2013 年工業部門能源消費成長 2.3%，其中 60%貢獻來自於中國大陸與印度，此兩國工業部門最終能源消費成長 3.6%。經濟合作暨發展組織 (Organization for Economic Co-operation and Development, OECD) 國家工業部門能源使用成長 3.3%，而非洲溫和成長 1.2%，中東地區則下降 1.9%，拉丁美洲地區亦下降 0.9%。

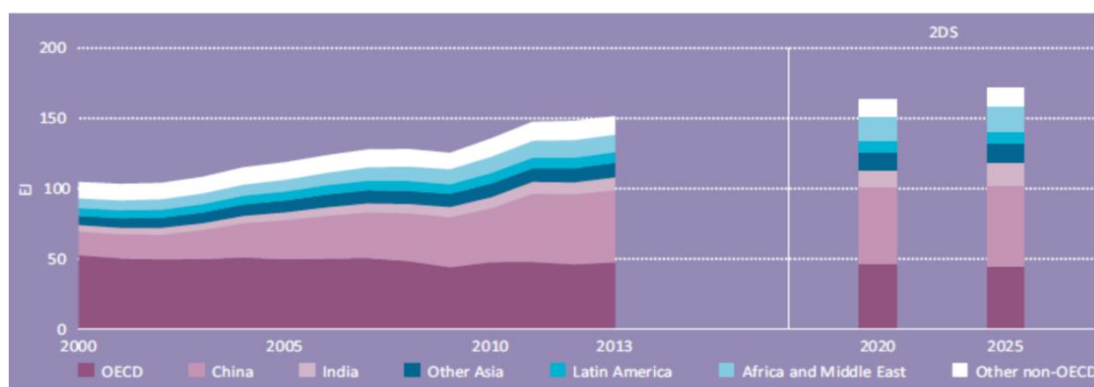


圖 17、全球工業部門能源使用分佈<sup>25</sup>

<sup>25</sup> IEA (2016), Energy Technology Perspectives 2016.

美國能源資訊署(U.S. Energy Information Administration, EIA)將工業部門依其能源消費情況可區分為三種不同之產業類型，包括能源密集製造業、非能源密集製造業及非製造業(表 7)。工業部門各產業消耗的燃料混合與強度，依據其國家經濟活動水準與組合、技術開發情況而有所不同(圖 18)，全球工業次部門總產值如圖 19 所示。

能源於工業部門之用途廣泛，例如加工、裝配、蒸汽、熱電聯產、工藝加熱、製冷、建築照明、暖氣與空調。工業部門能源消耗亦包括基本化學原料，例如液態天然氣(Natural Gas Liquid, NGL)與石油產品(例如石腦油)等應用於製造有機化學品與塑料，而天然氣原料則用於生產農藥。

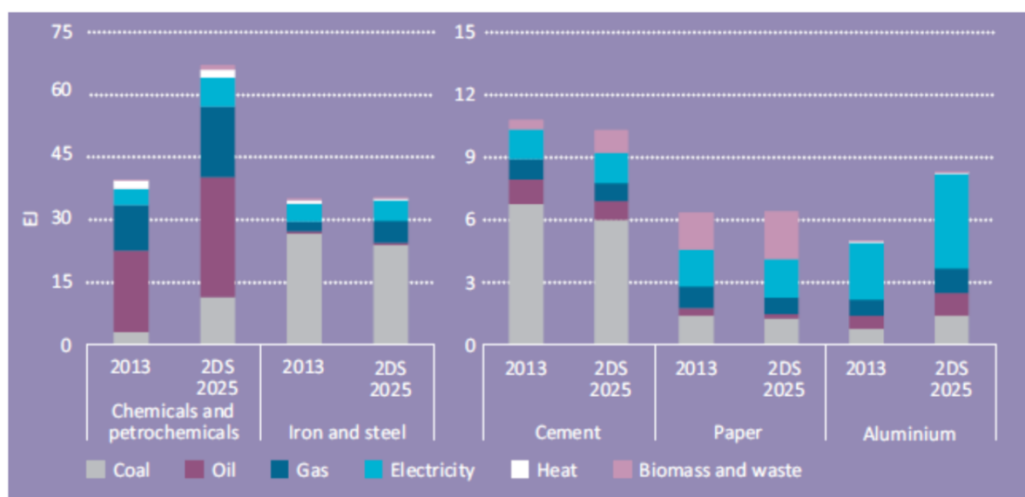


圖 18、全球工業部門各行業能源組合<sup>26</sup>

根據「2016 年國際能源展望」(International Energy Outlook 2016) 研究報告指出<sup>27</sup>，全球工業部門能源消費由 2012 年之 222 千兆英熱單位(British Thermal Unit, BTU)，預估於 2040 年將增加至 309 千兆英熱單位，年均增長率為 1.2%。工業部門大部分能源消費的長期增長，皆發生於非 OECD 國家。2012 年至 2040 年非 OECD 國家工業

<sup>26</sup> IEA (2016), Energy Technology Perspectives 2016.

<sup>27</sup> [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2016).pdf)

部門能源消費之年均增長率為 1.5%，而 OECD 國家則為 0.5%。2012 年非 OECD 國家工業部門能源消費佔全球工業部門之 67%，預估至 2040 年將佔全球工業部門之 73%。

整體而言，工業部門能源使用由 2012 年之 73 千兆英熱單位，增長至 2040 年之 85 千兆英熱單位。根據「2016 年國際能源展望」研究報告顯示，OECD 國家工業部門能源使用情形緩慢增長，2012 年至 2040 年之年均增長率為 0.5%。工業部門能源使用量佔 OECD 國家整體能源使用量約 40%。在非 OECD 國家工業部門中，由於許多新興非 OECD 國家經濟體由原先之能源密集製造業轉型其他產業，能源消費由 2012 年之 64% 下降至 2040 年之 59%，其他部門能源消費則呈現上升。

在區域基礎上，根據「2016 年國際能源展望」研究報告顯示，預估工業部門組成變化最大者為中東地區與俄羅斯(採礦/開採佔非製造行業比重最大)、印度(農業佔非製造業比重最大)，其變化係由於生活水準提升及燃料市場的改變。上述地區之產業中，服務業增長相對較快，而非製造業部門則將放緩。對於印度而言，因農業發展趨緩，產業轉向服務業部門；對於中東地區與俄羅斯而言，此一轉變係因石油與天然氣開採產業成長趨緩所致。印度佔全球非金屬礦產比例擴大，部分原因係其國內建造業的快速增長。

表 7、全球工業部門：主要分類及其代表性產業<sup>28</sup>

產業分類	代表性產業
<b>能源密集製造業</b>	
餐飲	食品、飲料與煙草製品製造
紙漿與造紙	造紙、印刷及相關支援活動
基本化學	無機化學品、有機化學品(例如乙烯丙烯)、樹脂與農

<sup>28</sup> <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/industrial.pdf>

產業分類	代表性產業
	藥；包括化學原料
精煉	石油煉廠與煤製品製造業，包括用作原料的煤與天然氣
鐵與鋼	鋼鐵製造業，包括焦爐
有色金屬	鋁與其他有色金屬，例如銅、鋅和錫
非金屬礦物	水泥與其他非金屬礦物，例如玻璃、石灰、石膏與粘土製品
<b>非能源密集製造業</b>	
其他化學品	藥品(藥用與植物)、油漆與塗料、粘合劑、洗滌劑等雜項化學產品，包括化學原料
其他工業	所有其他工業製造業，包括金屬耐用品(金屬製品、機械、電腦及電子產品、運輸設備及電氣設備)
<b>非製造業</b>	
農業、林業、漁業	農業、林業、漁業
礦業	採礦、石油與天然氣開採、以及金屬與非金屬礦物之開採
建造業	建築物(住宅與商業)、重土建工程、工業建築與專業貿易承包商

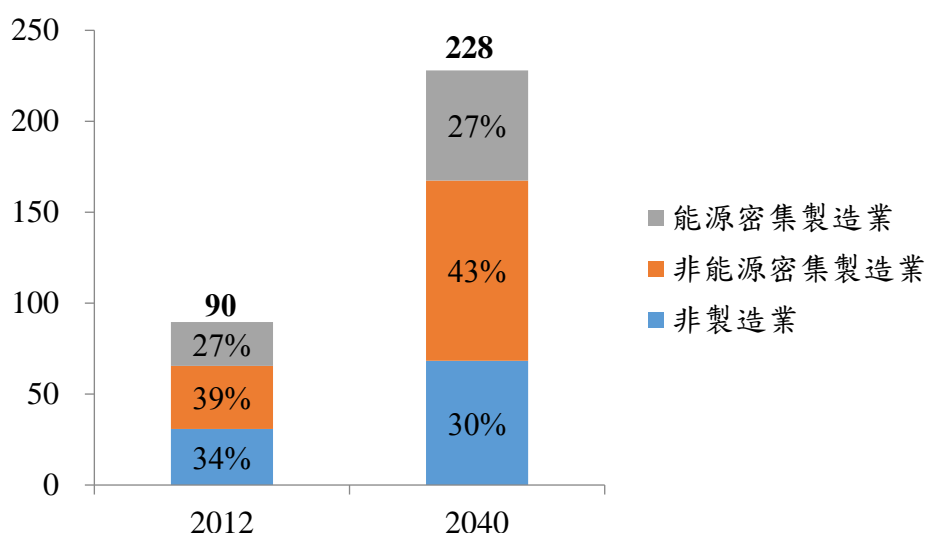


圖 19、全球工業次部門總產值(單位：兆美元)<sup>29</sup>

美國自 2001 年 6 月以來，與 15 個國家和區域組織建立「雙邊

<sup>29</sup> <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/industrial.cfm>

與區域氣候夥伴關係」(Bilateral and Regional Climate Partnerships)，這些夥伴國與美國所排放之溫室氣量達全球 80%。此一政策目的為因應全球氣候變化挑戰，積極發展有效和科學的應變措施，以全球角度共同解決此一重大環境問題。各國攜手針對氣候變化進行科學研究，例如氣候觀測系統研發、清潔能源技術以及碳捕獲技術開發，並研擬減少溫室氣體排放的政策方法。目前國際間合作的能源項目持續進行中，例如美國與澳洲、紐西蘭、太平洋島嶼地區的合作計畫，目標在支持並發展太平洋建立可持續性之氣候監測與氣候數據管理系統。

日本於 2012 年度廢除以前的能源效率相關優惠稅制，建立「產業租稅誘因制度」。中小企業主購買符合政策目標之節能減碳設備，即可獲得特別折舊或稅收扣除，鼓勵業者將耗能設備進行更新，達成節能減碳之目的。

「國家能源效率行動計畫」(National Energy Efficiency Action Plan, NEEAP)為歐盟能源效率指令(Energy Efficiency Directive, EED)2012/27/EU 之規定，該計畫包括能源使用和效率目標。目標從 2008 年至 2020 年，經濟方面能源生產力年均增長 2.1%。以政策及措施鼓勵和規定工業部門業者進行改變，例如各種行業的能源效率提升，提供 IT 服務器、熱泵等設備更換補助。

英國「碳減承諾計畫」係一強制性之碳減方案，適用於大型能源密集組織，目標至 2020 年每年減少碳排放約 120 萬噸，且至 2050 年相較於 1990 年減少二氧化碳排放量 60%，同時提高國內節能產品與服務的需求。「碳減承諾計畫」以用電量作為基準，符合參加標準之企業需註冊登記，遵守此計畫之規範，接受監控並定期提出報



告。參與之企業需購買並交付款項，用以抵銷其碳排放量，碳交易款項可依固定金額在次級市場中進行交易，增加市場彈性及需求。

中國大陸之「能源差異定價」將能源價格由市場與政府共同調控，根據不同行業節能情況的差異性，對各行業能源消費價格進行差別定價。透過此項制度，中國大陸政府建立行業別之節能模型，電價水準高於標準的行業和產品，其電價較高。此政策由國家層級部會頒布，但價格則由省份單獨制定。研究發現 2004 至 2009 年期間，用電量下降約 115 TWh，相當於減少二氧化碳排放量 8,200 萬噸。

### 3. 運輸部門能源消費與節能減碳技術及制度概況

運輸部門消耗的化石能源，佔總能源消耗的比重日益增加，根據「2016 年國際能源展望」(International Energy Outlook 2016)報告指出，運輸部門能源消費將由 2012 年之 104 千兆英熱單位成長至 2040 年之 155 千兆英熱單位，年均成長率為 1.4%。事實上，運輸活動對環境所產生的負面影響，例如二氧化碳、氮氧化物(NOx)及細懸浮微粒(PM2.5)等與日俱增，皆已成為全球氣候變遷及溫室效應關切議題之一。

根據美國「清潔空氣法案」(Clean Air Act)設定之目標，石油與天然氣部門在 2025 年溫室氣體排放量較 2005 年減少 26~28%(相較 1990 年水準減量 14~17%)。另外，2005 年「能源政策法案」(Energy Policy Act of 2005, EPOA)下之「再生燃料標準」(Renewable Fuel Standard)計畫，規範燃料發展路徑，包括生質基礎柴油生產必須符合 50%生命週期之溫室氣體減排；纖維酒精必須由纖維素、半纖維素或木質素生產，且必須符合 60%生命週期之溫室氣體減排；先進

生質燃料可經由認可之生物質(玉米澱粉除外)生產，且必須達到 50% 溫室氣體減排；再生(或傳統)燃料係指來自玉米澱粉之乙醇，且必須達到 20%生命週期之溫室氣體減排門檻。

此外，「清潔城市計畫」設定至 2020 年達成年節省 25 億加侖石油，透過替代及再生燃料取代石油，包含天然氣、丙烷、電力、E85 混合燃料、生質柴油與氫氣；透過改善燃料使用效率的技術與策略，以減少石油的消耗；藉由減少閒置與其他節省燃料之技術手法，以排除石油之使用。

日本於 1980 年代即引進車輛排放標準，初期標準較為寬鬆，直至 2005 年制訂重型排放標準(NO<sub>x</sub> 為 2g/kWh、PM 為 0.027g/kWh)，成為世界上最嚴格的柴油排放標準。其中，相關規定及標準數於每年皆會進行調整，大致上與歐美規格相同。「新式長期車輛排放標準」於 2009 年制訂，並於 2015 年頒訂新標準。

德國政府於 2007 年採取「整合能源和氣候計畫」，在能源與氣候領域實施 29 項獨立措施，其目標包括將德國溫室氣體排放量相較於 1990 年降低 40%，至 2020 年將再生能源發電比例增加至 30%。其透過許多政策規定做為推動方向，並將熱電聯產雙重發電量目標提高至 25%，並利用 850 公里地下電網將海上風力發電運送至德國南部；增加卡車道路通行費，改革車輛排放稅制，並修改「客車耗能標籤計畫」。

英國政府提出「電動車補助」方案，刺激民眾購買電動車輛之意願。針對符合環保標準的低排碳車款，發放購車補貼金，補助約車價之 35%，最高可達 4,500 英鎊。

中國大陸國務院於 2016 年發佈之「中國交通運輸發展白皮書」，

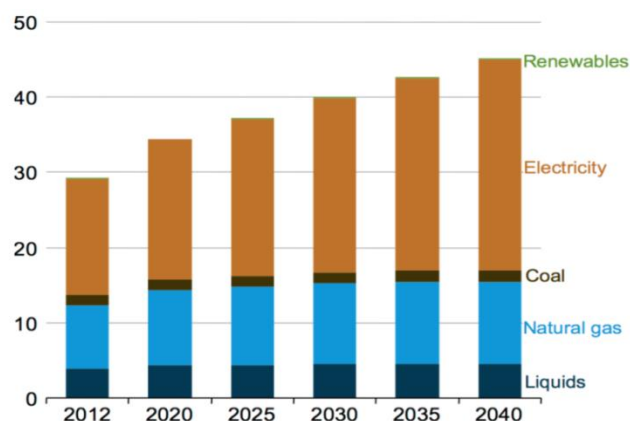
提及中國大陸大力推動綠色交通建設，相較於 2010 年，2015 年國家鐵路單位運輸量能源消耗下降 6%，營運車輛單位運輸量能源消耗下降 6.5%，營運船舶單位運輸量能源消耗下降 10.5%。同時，亦推動交通運輸綠色發展，加強標準化、低碳化、現代化運輸與節能環保運輸工具推廣應用。

中國大陸「節能中長期計畫：10 項節能計畫」，編制期為 2006 年至 2020 年，針對交通運輸規劃 6 條客運鐵路，包括北京與上海之間的鐵路，以及 14 條高速公路。該計畫目標係於此方案實施後，預計於 2020 年將人均能源消耗相較於 2005 年降低 43%。

#### **4. 服務業部門能源消費與節能減碳技術及制度概況**

服務業係為社會提供勞務或服務之業務，而非銷售貨物，根據美國人口普查局(U.S. Census Bureau)定義之服務業部門，其範疇包括倉儲與卡車運輸服務、資訊供應服務、證券或投資服務、專業技術和科學服務、廢棄物管理服務、保健與社會救助服務、藝術與娛樂服務等產業組成。相對經濟活動集中於工業或農業之國家，國家經濟集中於服務業者時常被認定為已開發國家。

服務業部門能源消費係由氣候、可供使用能源來源與技術、建築與設備效率等因素決定。建築外殼與服務業設備能源效率則由服務業部門公司於建物建造與營運時之經營決策，此決策將受該國家能源政策與法規之影響。由圖 20 可知，全球服務業部門之電力消費逐年增加。



註：單位為千兆英熱單位(British Thermal Unit, BTU)。

圖 20、2012~2040 年全球服務業部門能源消費(依能源別區分)<sup>30</sup>

根據「2016 年國際能源展望」(International Energy Outlook 2016) 研究報告中顯示，服務業部門能源消費增長率以非經濟合作暨發展組織(Organization for Economic Co-operation and Development, OECD) 國家較高。美國能源資訊署(U.S. Energy Information Administration, EIA)評估 2012 年至 2040 年全球服務業部門能源使用平均增長率為 1.6%。非 OECD 國家服務業部門能源使用量每年提高 2.4%，OECD 國家服務業部門能源使用量則增長 1.1%。許多 OECD 國家因國內生產毛額(Gross Domestic Product, GDP)增長趨緩，且人口增長率不斷下降，預計服務業部門能源需求增長率將會逐漸下降。此外，隨著時間經過，節能技術提升與基礎設施更新，緩和能源需求的增長。各國服務業部門能源消費預測，主要區分為 OECD 地區及非 OECD 地區，以百分比方式呈現平均年度變化情形(表 8)。

表 8、各國服務業部門能源消費年均變化率<sup>31</sup>

區域	年均變化率			
	2012~20 年	2020~30 年	2030~40 年	2012~40 年

<sup>30</sup> IEO2016, [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2016).pdf)

<sup>31</sup> IEO2016, [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2016).pdf)

<b>OECD 地區</b>	<b>1.6</b>	<b>0.9</b>	<b>0.8</b>	<b>1.1</b>
美洲	1.1	0.8	1.0	0.9
歐洲	1.9	1.2	0.8	1.3
亞洲	2.4	0.9	0.6	1.2
<b>非 OECD 地區</b>	<b>3.0</b>	<b>2.5</b>	<b>1.9</b>	<b>2.4</b>
歐亞	2.1	1.5	0.9	1.4
亞洲	3.7	2.9	2.1	2.9
中東	2.4	2.5	2.0	2.3
非洲	3.3	3.1	3.1	3.2
美洲	2.1	1.9	1.7	1.9
<b>全世界</b>	<b>2.1</b>	<b>1.5</b>	<b>1.2</b>	<b>1.6</b>

以英國為例，根據英國能源消費(Energy Consumption in the United Kingdom, ECUK)統計資料顯示，相對於 1970 年水準，2010 年英國服務業部門之能源密集度下降 60%(圖 21)。

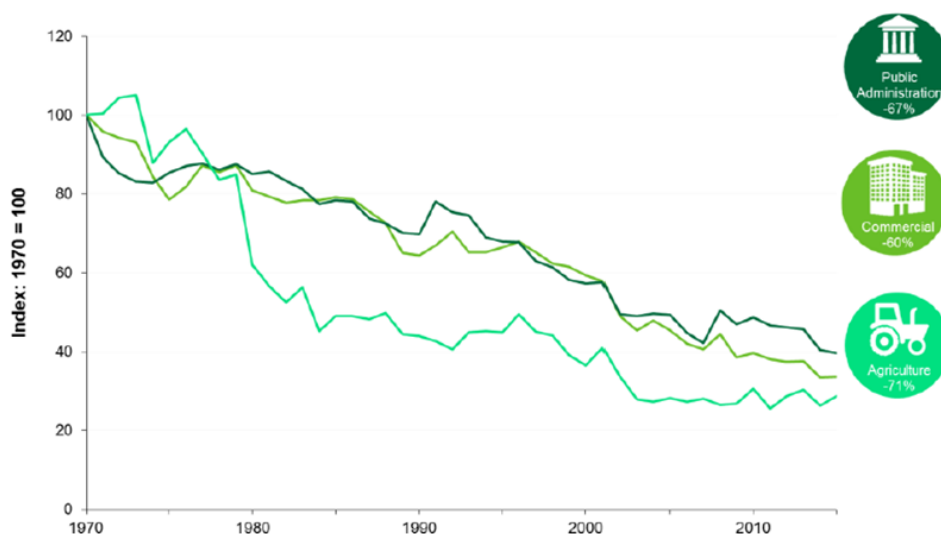


圖 21、1970~2010 年英國服務業部門能源密集度變化<sup>32</sup>

## 5. 住宅部門能源消費與節能減碳技術及制度概況

根據「2016 年國際能源展望」(International Energy Outlook 2016) 研究報告中顯示，相對於非 OECD 國家之住宅部門能源需求增加，

<sup>32</sup> <https://www.gov.uk/government/collections/energy-consumption-in-the-uk>

OECD 國家住宅部門能源消費比率則由 2012 年之 50.2% 降至 2040 年之 40.4%。

美國於 2006 年頒布「國家電器節能法」(National Appliance Energy Conservation Act, NAECA)，此法案為供熱與製冷系統制定新的效率標準，其中「住宅冷暖氣新效率標準」為針對住宅部門的規定。美國能源部的效率標準顯著降低國內的能源需求，降低溫室氣體與其他汙染物質排放，每年替消費者節省數十億美元，且未造成使用上之不便。

日本政府為提高節能房屋與建築物之比例，制定「房屋財政措施」，透過提供特殊之財政或稅收優惠措施，促進節能建築的發展，例如環保建築計畫的低利貸款，像是屋頂綠化工程等；以及發放現有房屋安裝高效建材之補貼，總預算達 73 億日元。

為提升德國住宅部門能源效率技術，德國復興信貸銀行(KfW)制定能源建設與改造資金計畫，以及促進投資之各種計畫。

英國「能源補助計畫」補貼能源貧困家庭，凡家庭成員年齡為 60 歲以上、16 歲以下、孕婦、殘疾人士或家中缺乏集中供暖的家庭，可獲得政府提供之補助。補助項目包括安裝新的環保中央供暖系統、新鍋爐、內外牆保溫材料、室內恆溫器與管道絕緣裝備，提高節能住宅比例，以提升國民生活舒適度。

中國大陸「節能中長期計畫：10 項節能計畫」，為農村水電計畫提供指導方針，建設 400 項水力發電設施，為 1,000 萬農村居民提供 1,500 萬千瓦之水電裝置容量。

本計畫茲彙整美國、日本、韓國、德國、英國、中國大陸等國家在電力與工業、運輸、住宅部門相關技術與制度如表 9。

表 9、國外在電力與工業、運輸、住宅部門相關技術與制度

部門別	美國	日本	韓國	德國	英國	中國大陸
電力部門	<ul style="list-style-type: none"> <li>智慧電錶與智慧電網系統折舊之加速回收期</li> <li>熱電聯產技術支援夥伴關係</li> <li>清潔空氣法案</li> <li>清潔電力計畫</li> <li>氣候示範社區授權計畫</li> <li>節能抵押貸款</li> <li>能源獨立與安全法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>全球暖化稅-石油和煤炭稅特別措施</li> <li>能源銀行：能源效率與碳減排基金</li> <li>能源全面且有效利用</li> <li>能源合理使用法</li> <li>低碳城市促進法</li> <li>火力發電廠排放指引</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>第二期國家能源基本計畫</li> <li>2012 年南韓再生能源組核標準</li> <li>2015-2019 年第七次長期電力供給與需求規劃</li> <li>排放交易計畫</li> <li>第四次國家再生能源基礎計畫</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>聯盟協議：目標 2020 年能源重倍生產力</li> <li>熱電聯產法案</li> <li>能源稅：煤炭、生質柴油、天然氣</li> <li>能源與氣候基金法</li> <li>整合氣候與能源計畫</li> <li>德國復興信貸銀行 (KfW) 再生能源計畫</li> <li>熱電聯產環保、現代化與發展法規</li> <li>微型熱電聯產獎勵計畫</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>氣候變遷捐</li> <li>能源法案</li> <li>國家能源效率行動計畫</li> <li>再生能源戰略</li> <li>電力市場改革</li> <li>綠色交易</li> <li>再生能源義務</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>煤炭發電節能與減排行動計畫</li> <li>空氣污染防治法</li> <li>無效率電廠退役</li> </ul>
工業部門	<ul style="list-style-type: none"> <li>雙邊氣候與能源夥伴關係</li> <li>熱電聯產技術支援夥伴關係</li> <li>2005 年能源政策法案</li> <li>全球減少氣體燃燒夥伴組織</li> <li>綠色冷藏設備夥伴組織</li> <li>製造技術推廣合夥計畫</li> <li>卓越能源績效</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>全球暖化稅-石油和煤炭稅特別措施</li> <li>Keidanren 環境自願行動計畫的後續行動</li> <li>自願排放交易計畫</li> <li>產業租稅誘因(綠色投資稅)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>排放交易計畫</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>第三屆國家能源效率行動計畫</li> <li>能源稅：煤炭、生質柴油、天然氣</li> <li>中小企業能源諮詢</li> <li>整合氣候與能源計畫</li> <li>KfW 中小企業能源效率特別基金</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>國家能源效率行動計畫</li> <li>減碳承諾計畫</li> <li>氣候變遷協議</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>能源差異定價</li> <li>節能與汙染減排整體工作方案</li> <li>加快能源管理合約意見，促進節能服務產業發展</li> </ul>
運輸部門	<ul style="list-style-type: none"> <li>先進技術車輛製造放款計畫</li> <li>清潔城市計畫</li> <li>能源獨立與安全法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>全球暖化稅-石油和煤炭稅特別措施</li> <li>領跑者計畫-車輛燃油效率標準</li> <li>新式長期車</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>排放交易計畫</li> <li>新汽車排放標準</li> <li>再生能源燃料標準</li> <li>電動機車發</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>整合氣候與能源計畫</li> <li>新車輛稅系統</li> <li>運輸倡議計畫</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>公務車稅改</li> <li>電動車補助</li> <li>生物燃料優惠稅制</li> <li>再生能源</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>節能中長期計畫：10 項節能計畫</li> <li>最低能源效率標準</li> <li>使用新能</li> </ul>

部門別	美國	日本	韓國	德國	英國	中國大陸
	<ul style="list-style-type: none"> <li>輕型車排放標準</li> <li>輕型車排放法規</li> <li>國家低碳排放車輛計畫</li> </ul>	輛排放標準	展計畫		戰略 <ul style="list-style-type: none"> <li>能源作物計畫</li> </ul>	源之節能車輛與船舶租稅優惠 <ul style="list-style-type: none"> <li>中國大陸車輛排放標準</li> <li>車輛燃油經濟性標準</li> <li>車輛銷售稅</li> </ul>
住宅部門	<ul style="list-style-type: none"> <li>住宅冷暖氣新效率標準</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>房屋財政措施</li> <li>能源合理使用法</li> <li>促進家庭能源管理系統、建築能源管理系統</li> <li>推動零耗能建築與零耗能房屋</li> <li>領跑者計畫</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>百萬綠色住宅計畫</li> <li>南韓能源建築規定</li> <li>溫室氣體減量藍圖</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>第三屆國家能源效率行動計畫</li> <li>德國 2009 年節能條例</li> <li>能源相關產品法規：TRS 部門電器實施措施</li> <li>投資跨部門技術之財務支持</li> <li>KfW 節能建築</li> <li>KfW 能源效率復興計畫</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>能源補助計畫</li> <li>房東節能津貼</li> <li>能源援助計畫</li> <li>節能材料增值稅調降</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>能源差異定價</li> <li>建築節能</li> <li>節能中長期計畫：10 項節能計畫</li> </ul>

資料來源：NewClimate Policy Database(2017)、台經院整理(2017)。



### (三) 提出國內電力與工業、運輸、服務業、住宅部門節能減碳相關技術與制度發展之建議

由於各國資源稟賦不同，其國家能源消費配比亦有所差異，並影響其節能減碳相關技術與制度之發展。電力部門方面，美國因頁岩氣開發技術突破而提高天然氣使用配比、日本於福島核災事件後因考量經濟與環境而決定重啟核能發電、德國積極擴展現代化電網與提升能源效率、英國推動電力市場改革、中國大陸發展潔淨能源技術。我國因天然資源匱乏，需求面管理建議透過提升能源使用效率；供給面管理則可發展再生能源、擴大天然氣發電、推廣碳捕獲與封存於火力發電之應用等方式。

2017年1月11日我國三讀通過電業法修正法案。根據修正後之規定，發電市場部分採綠能先行為原則，首先將開放再生能源得透過代輸、直供及再生能源售電業等方式銷售予用戶，放寬過去對再生能源售電之限制。考量輸配電業公共性高，將以國營方式統籌執行電力調度，確保電網公平供公眾使用。售電端部分，以用戶自由選擇下全面開放。此外，台電亦轉型為控股母公司，旗下成立發電及輸配售電公司，將透過調整我國電力市場運作方式，建立多元供給、公平使用及自由選擇之市場。另外，作為推動綠能之重要依據「再生能源發展條例」，須配合電業法修法後進行修正，取消躉購費率補助總量上限、鬆綁再生能源自用發電設備限制並將門檻從現行500 kW 大幅提升至2000kW，使更多用戶不受電業法限制。

我國電力由政府掌控，目前我國平均電價較他國便宜。綠能發電較燃煤與燃氣發電成本高，現階段綠能發電穩定性不足，政府為達成2025年非核家園「再生能源占比提升至總發電量20%」，需提

升民眾對於綠電及電價調整之認知度。因此，我國規劃發電市場以綠能先行為原則，仍存疑慮。

我國歷經「和平電廠電塔倒塌之限電危機」與「815全臺大停電事件」後，社會對於政府所設定的2025年非核家園「再生能源占比提升至總發電量20%、燃煤占比降至30%、燃氣占比提高至50%」的能源轉型方向興起諸多質疑。綜觀日本與韓國的未來能源政策，皆將核電作為能源轉型中的過渡能源選項，藉此維持經濟並讓綠能成長茁壯。我國同為能源進口依賴程度高的國家，在能源轉型過程中若驟然停止核電，將引發供電穩定性等問題。政府應擘劃短中長期能源政策方針，明訂核電廠各機組的退役期程，同時擬訂再生能源與相關儲能設施等具體布建規劃，以兼顧減碳、再生能源發展與供電穩定之目標。

對於我國工業部門而言，根據經濟部能源局2017年8月公佈之「我國燃料燃燒二氧化碳排放統計<sup>33</sup>」資料顯示，2016年我國工業部門(含電力消費排放<sup>34</sup>)二氧化碳排放量佔總排放量約48.87%，位居各部門之首，遠超過電力部門的12.13%。各國政府提供相關經濟誘因，以促進工業部門節能減碳，例如日本提供節能設備稅額減免、中國大陸採取能源差異定價，可供我國參考。

另外，國際間各國政府藉由碳稅(carbon tax)稅率調控，控制整體經濟之排放量。碳稅為一種價格工具，對每單位溫室氣體排放量課徵一筆稅目。當排放源(企業和家戶)花在減碳之費用較碳稅便宜，便有誘因主動減少碳排放量。因此排放源可依據稅率進行生產規劃，並進行減碳的設備或技術投資。其中，1990年北歐國家芬蘭即開始

---

<sup>33</sup> [http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/content/wHandMenuFile.ashx?file\\_id=4096](http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/content/wHandMenuFile.ashx?file_id=4096)

<sup>34</sup>含電力消費排放:各部門燃料燃燒產生之排放量與各部門電力消費排放量之加總。

對於二氧化碳排放課徵碳稅，據統計在 1990 至 1998 年間，芬蘭因碳稅徵收而有效抑制約 7% 碳排放量。

然而，本研究認為碳稅將促使排放源廠商進行減碳規劃，進而更新製程與改善設備，採用低碳排甚至零碳排之製程，方能真正改善空氣品質。然而，政策成功關鍵，取決於碳稅水準，倘若訂得太低，排放源將選擇繳稅以持續排放溫室氣體；若訂得比達成減碳目標更高，則將衝擊企業收益、就業與終端消費者。

再生能源電能收購政策工具方面，國際上目前已有美國、日本、德國、英國、法國、荷蘭、瑞典、丹麥、芬蘭、加拿大、澳洲等 20 多個國家實行綠電憑證機制。綠色憑證(Green Certificate)為一種可於市場上交易的能源商品，由專門認證機構針對再生能源產生的每小時 1,000 千瓦(kW/h)電力，頒發一專有的號碼證明其有效性，意即每 1MW 電力即是一單位的證書<sup>35</sup>。我國由國家再生能源憑證中心推動的再生能源憑證制度於 2017 年開始試行，透過第三方公正單位驗證再生能源設備及發電量作為綠色電力身分證明，並於同年 5 月發出第一批憑證，目的為提高再生能源使用及促進溫室氣體減量。

建立綠電憑證制度為使再生能源之設備及電量經查驗證後，透過憑證來證明使用再生能源與其環境效益。現階段政府鼓勵發展再生能源為採用躉購電價補貼(FIT) 政策，透過較高補助金額，提供政策誘因鼓勵民間投入裝設再生能源設備，民眾的認知與接受度較高。補貼政策對再生能源市場建立初期有其必要性。然而，長期仍須回歸市場競爭機制，並以憑證制度取代補貼政策。以德國為例，已成功標售政府零補貼之離岸風力發電機組。最後，建議政府應持續釋

---

<sup>35</sup>國際綠色憑證制度發展概況(2017)，台灣經濟研究院

放實質利多，例如提供租稅誘因、訂定設備能源效率標準或推廣使用能源管理系統，以支持高效率能源技術之導入。透過稽核與獎勵高效率能源設備建置，期能提升我國工業部門對於改善能源效率之重視。並建議借鏡國際工業部門減碳經驗與作法，透過制定穩定、長期及低碳之政策方案，並為工業部門設定二氧化碳減量目標，期能朝向減少溫室氣體排放之碳經濟時代邁進。

運輸部門方面，主要國家採行減碳措施多以設定車輛溫排放標準、改善燃料使用效率為主，以達成其國家節能減碳之目標。因此，建議我國運輸部門可建立車輛能耗標準、檢測與法律規範，並提升燃油與車輛技術，發展智慧型運輸系統。

服務業部門方面，為緩和全球服務業部門之能源需求增長，主要國家多採取節能技術提升與基礎設施更新等方式，考量我國服務業部門各目的事業主管機關眾多，為實踐國家節能減碳推動目標，建議可透過輔導與追蹤服務業部門，協助其導入高效率節能設備，以大幅改善用電量，例如新型節能空調機汰換舊型機種、以 T5 或 LED 燈具取代傳統燈管、使用高效率變頻設備等。

至於住宅部門方面，為提升住宅能源使用效率，美國制定家庭設備效率新標準、德國提供住宅能源改造計畫，日本則是針對房屋使用高效建材給予補貼。我國住宅部門低壓用戶之耗電持續成長，建議可透過補助民眾裝置高效率家電設備、燈具、照明產品，並強化新建築節約能源設計規範，鼓勵既有建築進行節能改善，推廣建築物利用再生能源，並提高建築節約能源標準。

## 二、蒐集國內外電力與工業、運輸、服務業、住宅部門相關政策實施，以及國內外重要研究單位模擬分析結果，經彙整評估後並提出建議

本計畫蒐集國內外電力與工業、運輸、服務業、住宅部門節能減碳相關政策措施現況，並蒐集國內外重要研究單位模擬電力與工業、運輸、服務業、住宅部門實施節能減碳相關政策之分析結果，最後，根據國內外重要研究單位之模擬分析結果，以及國內外電力與工業、運輸、服務業、住宅部門節能減碳相關政策措施現況，提出相關啟示與建議。

### (一) 蒐集國內電力與工業、運輸、服務業、住宅部門節能減碳相關政策措施現況

經濟部能源局為推動我國工業部門節能減碳，並配合政府 2008 年公佈「永續能源政策綱領」，推動工業部門的實質節能減碳措施，輔導企業提高節能減碳能力，建立誘因措施及管理機制，以協助達到 2015 年及 2025 年能源密集度目標。針對能源用戶施行相關措施，包括大用戶能源查核申報、推動能源查核與節能技術服務、工業節能技術擴散與資訊宣導。另外，經濟部能源局發佈之 2016 年能源產業技術白皮書中，提及工業部門主要執行減碳策略包括最佳可取得技術(Best available technology, BAT)、能源效率措施、低碳燃料組合、材料回收使用。

交通部於 2012 年 7 月頒布「101 年運輸政策白皮書—綠運輸」作為我國推動低碳運輸施政方針，其包含發展綠色運輸系統、加強運輸需求管理、提升運輸系統能源使用效率等三大政策方向，以及提升公共運輸運量、改善步行與自行車使用環境、落實大眾運輸導

向發展之策略規劃、合理反映私人運具外部成本、減少機動車輛運輸需求、提升運具能源使用效率、提升貨運能源使用效率、強化航空、水運、場站與工程節能減碳等 8 項發展策略。

經濟部能源局推動「服務業能源管理系統示範推廣輔導計畫」，2017 年度預計遴選 12 家個案用戶及 6 家企業集團用戶，採用示範輔導方式協助服務業各行業別能源用戶，依 ISO/CNS 50001 標準建立能源管理架構，並配合專業的節能技術診斷服務，設定能源管理目標及研提能源管理行動計畫，以落實節約能源，強化能源用戶能源管理體質，建立我國服務業部門推動能源管理系統之示範標竿。

我國住宅部門節能減碳措施，包括建築節能強制性法規、綠建築九大評估指標系統(Ecology、Energy Saving、Waste Reduction、Health, EEWH)及五大分級評估制度、用電器具能源效率管理等。透過建立住宅能源盤查與建置資料庫、規範建築冷暖房設備效率或耗能低限值、實施住宅性能評估與綠建築評估、逐年提高各類用電器具能源效率標準，以達成我國住宅部門節能減碳之效。

## (二) 蒐集國外重要研究單位模擬電力與工業、運輸、服務業、住宅部門實施節能減碳相關政策之分析

### 1. 電力部門

#### (1) 電力部門節能減碳技術模型及應用之國家、單位簡介

美國國家環境保護局(Environmental Protection Agency, EPA)，為美國聯邦政府獨立行政機構，主要負責維護自然環境並保護人類健康不受環境危害影響。EPA 由美國總統尼克森(Richard Nixon)提議所設立，所轄機構包括華盛頓特區總局、十個區域分局和超過十七個研究實驗所。環保局具體職責包括，根據國會頒布環境法令制定相

關法規，從事或贊助環境研究及計畫，並加強環境教育以培養公眾環保意識與責任感。

在過去十年來，EPA 採用數種不同的經濟模型進行分析研究，特別針對燃煤電廠，提出並制定影響電力部門的若干法規。此規定將對美國未來數十年燃煤發電及整個電力系統的運行與發展產生深遠影響。諸多模型分析認為，政策規定將導致燃煤發電廠除役。在建模過程中，模型假設扮演影響模型分析結果的關鍵角色，進而左右 EPA 政策制定。其中，假設包括天然氣價格與發電設備所採用的污染控制技術等。

綜合規劃模型(Integrated Planning Model, IPM)由國際 ICF(International City Fund)公司所設計開發。國際 ICF 公司主要對政府、商業與國際客戶，提供管理、技術與政策諮詢和建置服務，協助客戶構思、發展、執行與改善，並提供解決方案以解決複雜的自然資源、社會和國家安全問題。該公司主要針對四個市場提供服務，包括(1)能源、環境和交通市場、(2)健康、教育和社會計畫、(3)國土安全和國防、(4)金融市場。其客戶包括 EPA、Bipartisan 政策中心和艾迪生電力研究所(Edison Electric Institute, EEI)等。

IPM 為電力部門的多區域、動態、定性線性規劃模型。國際 ICF 公司集成規劃模型 IPM®提供批發功率、系統可靠性、環境約束、燃料選擇、傳輸、容量擴展以及發電機對電網中的線性優化框架。以最低成本手段，符合發電能源與容量需求為該模型之基本邏輯。同時，遵守包空氣污染法規、傳輸與工廠操作等特定限制。

該模型利用 Windows™數據庫平台與窗口，取得電力市場中每座電鍋爐與發電機詳細資訊。ICF 擁有北美與歐洲電力市場相關模型，

IPM 使用範圍如下：

- 發電和輸電資產評價研究
- 長期區域能源與能力價格預測
- 空氣排放戰略與污染排放標準
- 投資組合優化策略
- 替代環境監管標準之影響評估
- 燃料價格變化之影響評估
- 經濟或電力需求增長分析
- 潛在建設評估，以確定新建物或傳輸設備之最佳組合
- 評估發電廠退役時間
- 環境決策之最佳時序訂定
- 熱電聯產(Combined heat and power, CHP)分析
- 需求面之訂價衝擊
- 未服務負載之概率與成本評估

## (2) 模型分析結果作為政策實施參考實例

IPM®多功能性允許用戶指定使用自身提供的數據集，已被用於聯邦能源管理委員會(Federal Energy Regulatory Commission, FERC)區域傳輸組織(Regional Transmission Organizations, RTO)成本效益分析，以及EPA對公共事業空氣排放之分析。

EPA 清潔空氣州際規則(Clean Air Interstate Rule, CAIR)，針對煙塵(細顆粒物質)和煙霧(臭氧)之排放量，減少東部二十八州二氧化硫及氮氧化物排放量上限與交易計畫。要求東部減少不良氣體之排放，以降低細微顆粒與臭氧污染對下風向地區之影響。2015年1月1日CAIR已被跨國空氣污染規則(Cross-State Air Pollution Rule, CSAPR)



取代。

CSAPR 與 CAIR 均旨在調節州際間空氣污染，規則中允許州際間進行排放量信用交易。在 CSAPR 下，美國東部二十三州須大幅度減少二氧化硫與氮氧化物排放量，二十五州則必須在臭氧季節減少氮氧化物排放量(圖 22)。

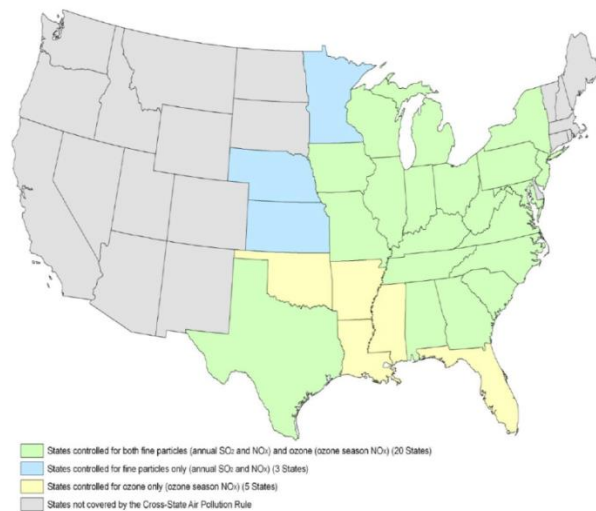


圖 22、美國各州受 CSAPR 規範說明

2011 年，EPA 頒布一項限制發電廠排放汞與其他有毒空氣污染物量等相關規則。汞和空氣有毒物質標準(Mercury and Air Toxics Standards, MATS)針對來自全國 580 多家煤電和燃油電廠，制定汞和其他有害污染物相關規範標準，該規則要求新建和現有的燃煤電廠減少汞和其他重金屬(如砷，鉻和鎳)以及酸性氣體(如氯化氫和氟化氫)之排放。該規則規定污染物的排放限制，並允許採取一些合格措施例如，發電廠可使用一系列污染控制技術，例如濕/乾式洗滌器、乾式吸附劑注射系統、活性炭注射系統與織物過濾器，以達到降低汙染物排放標準。MATS 要求發電廠於 2015 年前達標，允許發電廠有一年緩衝期，將期限推遲至 2016 年。

EPA 於 2014 年發布清潔能源計畫草案，旨在減少化石燃料發電

率、促進再生能源並提高消費端能源使用效率，擬 2030 年前發電廠的排放量較 2005 年減少 30%。依照此計畫規範，發電廠商每年需減少二氧化碳排放約 5 億噸，燃煤電廠將遭受重大的打擊。尤其是服役時間較長之發電廠(目前全美燃煤電廠平均廠齡為 42 年)，必須作出提前退役之決定。

## 2. 工業部門

### (1) 工業部門節能減碳技術模型及應用之國家、單位簡介

美國能源資訊署由美國能源部(Department of Energy, DOE)管轄，負責蒐集、分析及傳遞能源相關資訊，促進健全的政策制定，建立有效的市場，並使公眾瞭解能源、經濟與環境。環境評估包含煤炭、石油、天然氣、核能及再生能源等相關數據，但環境評估不會提出政策相關結論。

美國能源資訊署於 1985 年建立之世界能源預測系統(World Energy Projection System Plus, WEPS+)<sup>36</sup>係一能源需求模型系統，預測國際 16 個區域工業終端使用部門之能源消費情形。其中，世界工業模型(World Industrial Model, WIM)為世界能源預測系統中 13 項構成要素之一的能源模型系統，該模型為發佈「2016 年國際能源展望」工業部門預測之工具。世界能源預測系統係以年為基礎，推估至 2040 年國際 16 個區域製造業、農業、建築與礦業等部門之 18 種能源使用情形，該模型系統採用存量-流量(stock-flow)會計架構，依特定行業之外生產出量表示產能。世界工業模型假設原先設備因產能逐年遞減而汰換。因此，存量-流量會計架構接受模型系統納入因隨著時間經過產生能源效率改變之條件。

---

<sup>36</sup> <https://www.eia.gov/reports/index.cfm#/T1601,T132,T1301>

美國能源資訊署亦於2001年建置國家能源模型系統(National Energy Modeling System, NEMS)，主要為分析經濟變化、能源供需、以及能源價格等參數交互影響之整合模型，美國能源資訊署提出之「2017年度能源展望」(Annual Energy Outlook 2017)工業部門相關能源消費資訊，即以此模型作為預測之工具。

## (2) 模型分析結果作為政策實施參考實例

美國能源資訊署公佈之「2016年國際能源展望」研究報告，提及實際通貨膨脹調整後的總產出應用於估算工業部門的能源消費，將經濟活動分為部門與產業。總產出包括中間投入，例如購買能源、原物料、生產流程中使用的服務等提供構成經濟活動之所有產業銜接數據。相比之下，國內生產毛額(Gross Domestic Product, GDP)及其組成部分，不包括工業過程的中間投入。「2016年國際能源展望」研究報告亦分析工業總產值的關鍵組成部分，及其如何隨著時間的推移改變，有助於解釋工業部門能源消費之變化。

另外，根據「2017年度能源展望」報告指出<sup>37</sup>，美國能源市場之模型將模擬考量宏觀經濟成長、世界石油價格、技術進步與能源政策等因素之預測情形。而為預測2050年美國工業部門能源供給與需求，美國能源資訊署於技術方面，將工業模型納入技術改變，應用於修正以金屬為基礎產品耐久性與散裝化學品等產業，其能源集中度預測之持續性技術評估研究；環境方面，則研究散裝化學品、鋼鐵與水泥等碳密集產業之碳捕獲與封存可行性。根據「2017年度能源展望」報告案例分析結果，工業部門能源消費將由2016年之26千兆英熱單位增加至2040年之32千兆英熱單位，預期成長率超過25%。

---

<sup>37</sup> [https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383(2017).pdf)

由於該國生產需求強勁，美國將於預測期間內成為潔淨能源出口國。

美國能源部聯邦能源管理計畫(Federal Energy Management Program, FEMP)之工業設施倡議(Industrial Facilities Initiative, IFI)協助聯邦機構提高設施的能源效率。除了傳統性耗能過程之外，例如加熱、冷卻、照明、家用熱水等，如果設施或其製程包含高密度耗能，即被定義為工業。除了提高能源效率之外，工業設施倡議亦提供聯邦工業設施監管需求，包括行政命令 13423(Executive Order 13423)-強化聯邦環境、能源與運輸管理，要求聯邦設施、實驗室和工業建築物，在 2015 年前將能源消費量降低 30%。通過與美國能源部工業技術計畫合作，工業設施倡議向聯邦工業設施提供關於能源、水與生產力評估之專業服務，包括訓練、協助提升效率及私人部門的融資。

印度國家科技與發展研究所(National Institute of Science Technology and Development Studies)應用 MARKAL 模型分析其國家 2001~2031 年在能源效率進步情況下之結果，預估於 2031 年印度鋼鐵、鋁與水泥等主要工業技術將分別減少能源之 8%、6%與 17%。

我國行政院原子能委員會核能研究所應用 MARKAL 模型預估臺灣工業部門二氧化碳排放量、電力成本、防治成本、機會成本等，研究顯示為滿足 2020 年與 2025 年二氧化碳排放目標，工業部門電力消費相對於基線的過剩成本為社會福利之 14~40%、機會成本為 6~12%，足見社會福利為我國最大行政支出，後續可藉由查核工業部門現行二氧化碳減量目標配置情形。該研究建議降低工業部門電

力消費之二氧化碳防治成本，可採取措施包括規劃每年提升能源效率 2%、宣導天然氣與再生能源政策。

### 3. 運輸部門

#### (1) 運輸部門節能減碳技術模型及應用之國家、單位簡介

英國 MARKAL 原始模型為英國政府於 2003 年出資為了能源白皮書提供基礎而開發，並於 2005 年由倫敦大學學院(University College London, UCL)能源系統團隊修訂，直至 2012 年繼續開發。目前學術版本則由英國能源研究中心(UK Energy Research Centre, UKERC)研發及贊助。該模型主要應用於英國長期能源系統演化分析，協助決策者進行許多政策制定。

MARKAL 一詞由原文市場(MARKet)與分配(ALlocation)所組成。該模型可納入多樣參數例如能源成本、廠房成本、廠房性能與建築性能等，並在滿足給定的能源需求量和污染物排放量限制條件下，使能源系統成本最小化，選定最佳技術組合。該模型考慮多元面向，從進口和國內生產資源(化石和再生能源)、燃料加工和供應(如煉油、生物製程)、基礎設施(如天然氣管道)，甚至燃料轉換為二次能源(包括電力、供熱和氫氣)，到最終用途技術(住宅、商業、工業、運輸、農業和非能源)和各式能源服務需求。

圖 23 為英國政府政策白皮書提及之模型統計，其中以 MARKAL 模型被提及次數最多，顯示 MARKAL 模型及其修正模型為最主要被使用之模型。

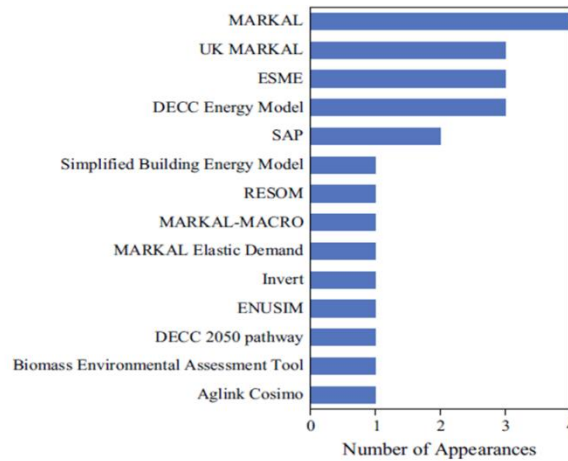


圖 23、英國政府政策白皮書之模型使用次數統計(2008~2015 年)<sup>38</sup>

## (2) 模型分析結果作為政策實施參考實例

MARKAL 模型建置經費來自於政府政策相關計畫所提供之額外資金，例如英國永續氫能聯盟(UK Sustainable hydrogen energy consortia, UKSHEC)、日本-英國低碳社會計畫(Japan-UK Low Carbon Societies Project)。英國 MARKAL 模型為一個多時間點的線性優化模型，已對英國的減碳政策造成深遠的影響。2003 和 2007 年能源白皮書、2008 年氣候變遷法案、氣候變遷委員會(Committee on Climate Change, CCC)之首份報告、能源與氣候變遷署和氣候變遷委員會之第四期碳預算報告等重要文件，均是由 UK MARKAL 模型所支持的研究作為基礎。

英格蘭高速公路管理局(Highways England)於 2015 年底開始測試直接無線充電技術(Direct Wireless Power Transfer, DWPT)的可行性。該研究建立一個以二十年為期間的模型，假設有一條長度一公里的單向無線充電道路，且行駛於上的支援無線充電技術車輛的比

<sup>38</sup> Lisa M.H. Hall, Alastair R. Buckley (2016), A review of energy systems models in the UK: Prevalent usage and categorisation. Applied Energy, Vol. 169, P607-628.

例漸漸增加(輕量為 10%至 30%，重量為 5%至 75%)，最後可以減少超過 40%的二氧化碳排放量。

此研究幫助英國政府將 DWPT 方案納入考量，藉以達到 2050 年減碳 80%的政策目標。雖然該技術的成本非常昂貴(每英哩 1.7 百萬英鎊至 5.5 百萬英鎊)，但長期而言具有相當不錯的價值。

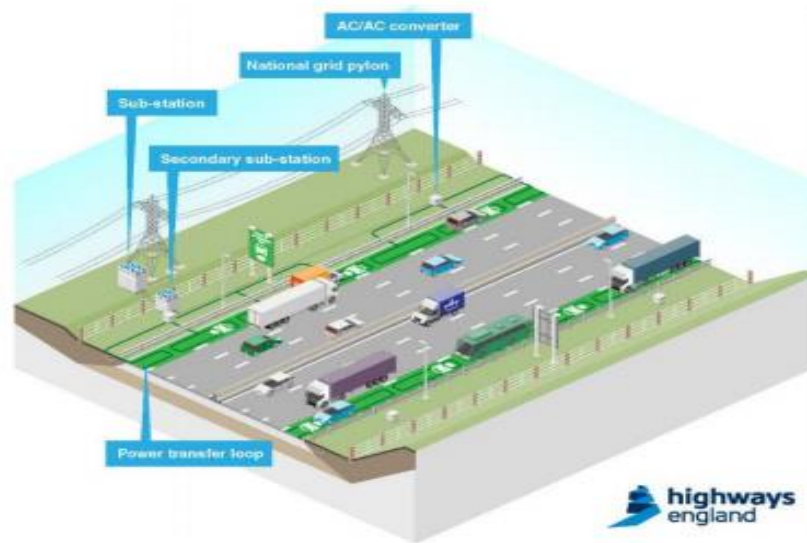


圖 24、英國政府利用模型檢驗高速公路電氣化政策的可能性

德國 PricewaterhouseCoopers(PwC)專業服務公司估算出在各種不同的情境之下，運輸部門可以達成的碳排放減少量。研究結果顯示，當今汽車節能科技已逐步地呈現穩定成長趨勢，然而全新的科技尚未能深入市場。運輸部門若不能進行大幅度的轉型，可能將無法達到德國政府預期的減碳目標。該報告提出以下幾項重要評論：

- A. 若將部分的貨物運輸自公路部門轉移至鐵路部門，將可以有非常大的減碳效果。
- B. 碳排放量越少的情境，所需成本有較高的傾向；反之亦然。
- C. 只有在大量採用電動車的情境，才有可能達成德國政府的減碳目標。

- D. 新興動力科技的高成本將隨著深入市場而開始降低，對化石燃料的需求則也會減少。然而若要達成減碳的目標，需要加大基礎投資和政府的資金挹注。
- E. 油電混合科技是比較實際的發展方向，而油電的混合比例亦將影響對於減碳目標的貢獻程度。

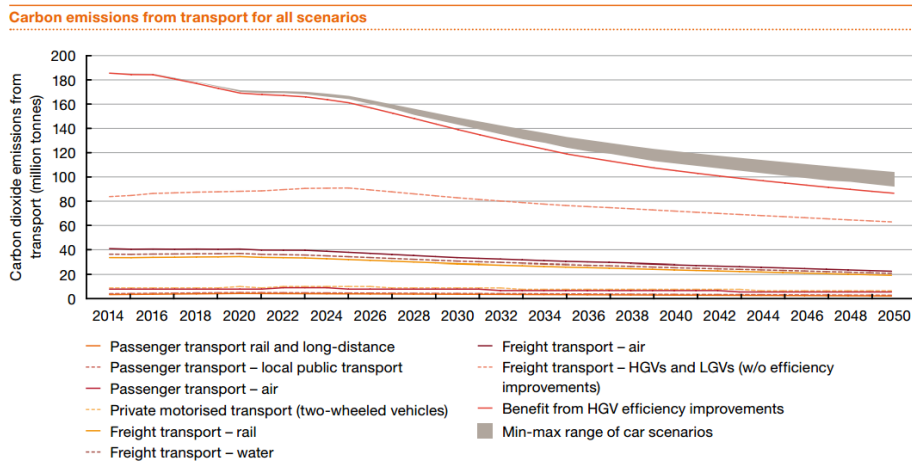


圖 25、德國 PwC 公司估算運輸部門可以達成的碳排放減少量

#### 4. 服務業部門

##### 3. 服務業部門節能減碳技術模型及應用之國家、單位簡介

為符合可負擔、安全及低碳能源之目標，由國際能源總署 (International Energy Agency, IEA) 於 2006 年建置之「能源技術展望」 (Energy Technology Perspectives, ETP)、以及 2016 年建置之 ETP 城市建築分析架構，其藉由使用全球模擬存量會計模型 (Global Simulation Stock Accounting Model)，將建築部門模型拆分為 33 個國家及地區住宅與服務業部門，並進行長期之能源系統趨勢與技術需求分析。其中，服務業部門之能源使用範圍，包括貿易、金融、房地產、公共行政、健康照護、食品、住宿、教育及其他商業服務等



相關活動。<sup>39</sup>

世界能源預測系統(World Energy Projection System Plus, WEPS+)<sup>40</sup>係一能源需求模型系統，為美國能源資訊署(U.S. Energy Information Administration, EIA)<sup>41</sup>作為評估國際能源數據差異之資料處理工具。EIA 評估一國家歷史能源使用量，主要基於外部資訊來源，包括外國政府、國際能源機構與其他組織，但仍可能出現部分問題，包括數據質量、細節差異與其及時性。

世界能源預測系統模型為發佈「2016年國際能源展望」(International Energy Outlook 2016)研究報告預測之工具，透過歷史資料回測以校對「國際能源統計年報」(International Energy Statistics, IES)數據。該模型整合 EIA 發佈之「國際能源統計年報」全球歷史數據、「短期能源展望」(Short-Term Energy Outlook, STEO)與「年度能源展望」(Annual Energy Outlook, AEO)對美國能源之預測。

相較「國際能源統計年報」，世界能源預測系統模型對於國際能源消費最終用途掌握更多細節，故可將其與「國際能源統計年報」之地區與燃料水準數值進行比對。當世界能源預測系統模型之各地區能源消費最終用途合計數值與「國際能源統計年報」之數值不一時，各地區與燃料水準之差異說明即呈現於「2016年國際能源展望」研究報告中。

透過「能源技術展望」(Energy Technology Perspectives, ETP)模型分析，研究結果將可作為發佈永續能源發展路徑的最適化政策與技術選擇之參考依據。該模型考慮建築物之使用年份、老化或翻新

---

<sup>39</sup>

[https://www.iea.org/media/etp/etp2016/AnnexE\\_UrbanBuildingsEnergyEstimationMethodology\\_web.pdf](https://www.iea.org/media/etp/etp2016/AnnexE_UrbanBuildingsEnergyEstimationMethodology_web.pdf)

<sup>40</sup> <https://www.eia.gov/reports/index.cfm#/T1601,T132,T1301>

<sup>41</sup> <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/industrial.cfm>

情形，以及建築物能量密集度改善情況。根據「2016年能源技術展望」(ETP 2016)研究報告指出，當建築物翻修率小於1%，其可提供能源密集度改善比率將少於10~15%。另外，在ETP 2016報告中指出，若欲抑制增溫於2°C以下的減量目標(2°C Scenario, 2DS)之能源效率建築物，假設每年翻修率為2~3%，則建築外殼改善率為15~30%。

服務業部門由提供服務的企業、機構與組織組成，包括許多不同類型建築物、廣泛活動及與能源相關之服務。在「2016年國際能源展望」研究報告中，提及全球服務業部門能源消費量年均增長率為1.6%，服務業部門能源消費量佔世界總量之比例由2012年約7%上升至2040年約8%。

許多OECD國家國內生產毛額成長趨緩，經濟增長放慢及人口減少，導致OECD國家服務業部門能源需求增長放緩。此外，持續的效率改善可以緩解能源需求增長，係因能源使用設備更新及更有效之能源庫存產生。OECD國家中，2012年至2040年服務業部門能源消費量同期增長1.1%。

在非OECD國家中，經濟活動與商業增長迅速，加劇服務業之能源需求。非OECD國家人口增長亦較OECD國家為快，增加對教育、保健與社會服務的需求，同時帶動上述產業發展。另外，隨著發展中國家日漸成熟，更多服務型企業興起，提高服務業部門能源需求。由於未來需要大量能源以帶動服務業建築增長，非OECD國家2012年至2040年服務業能源使用總量比例增長2.4%，相較OECD國家服務業部門多出兩倍。

為達成2020年再生能源發展目標，英國政府透過財務、消除法

規阻礙及發展新技術等方式加以推動，2011 年提出住宅及非住宅部門再生熱能獎勵，並於 2014 年宣佈所有用戶透過再生能源技術供熱使用，每年可獲得約 3,000 英鎊之補助，涵蓋範圍包含家庭及商業用熱，鼓勵服務業部門之供熱系統使用再生能源設備。<sup>42</sup>

2016 年英國氣候變遷委員會(Committee on Climate Change, CCC)提出報告並向政府建議，2015~2030 年之間建築物碳排放量必須下降 22%，以達成英國政府 2050 年零碳排放之目標。英國氣候變遷委員會建議政府政策應支持低碳供熱與基礎設施，並重視低耗能及低碳建築之相關政策整合。同時，技術與供應鏈的挑戰及投資為最重要之環節，應透過跨部會共同研商。英國氣候變遷委員會建議採用白皮書，列出可持續達成零碳建築物之方法，以作為長期政策、法案等能源相關目標之參考。

## 5. 住宅部門

### (1) 住宅部門節能減碳技術模型及應用之國家、單位簡介

能源信息管理局(Energy Information Administration, EIA)為美國能源信息首要來源，根據法律規定其數據、分析和預測不受美國政府任何其他官員控制。為了環境影響評估，創建美國國家能源建模系統(National Energy Modeling System, NEMS)，此為計算型能源經濟建模系統，根據宏觀經濟和金融因素，用於長期(30 年)能源之生產、進口、轉換、消費與價格預測。因素包含世界能源市場、資源可用性、成本、行為和技術選擇標準，能源技術的成本和績效特徵以及人口統計的假設。NEMS 為一模型化系統，其中分為四個模型代表美國能源需求之各面向，住宅建築部門、服務部門、工業部門與運

---

<sup>42</sup> <https://www.ofgem.gov.uk/environmental-programmes/non-domestic-rhi/about-non-domestic-rhi>.

輸部門。

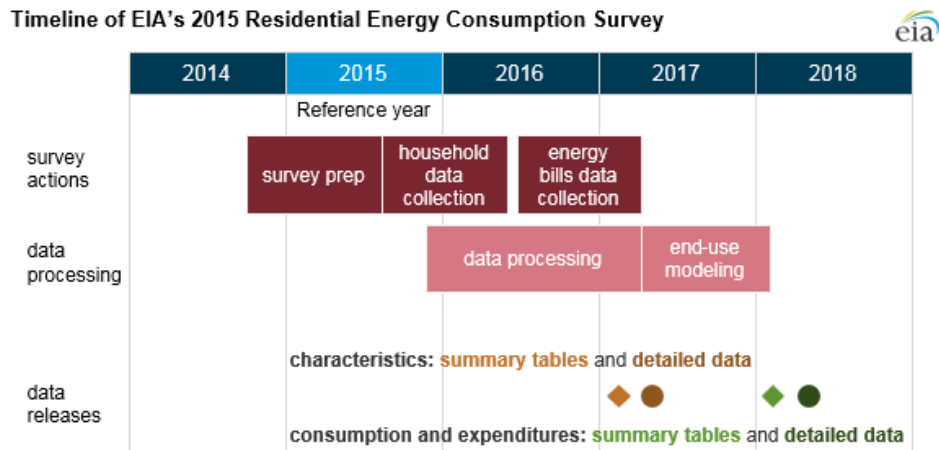


圖 26、2015 年美國 EIA 住宅部門能源消耗調查時程表<sup>43</sup>

## (2) 模型分析結果作為政策實施參考實例

NEMS 模型由 EIA 制定，用於建構年度能源展望(Annual Energy Outlook, AEO)之預測，根據國會和各政府機構的服務要求對能源政策進行評估，模型分析結果通常作為政策實施參考實例。此模型可利用定義替代輸入和參數假設，評估新技術引入後之效果，以及市場獎勵與監管變化所產生之政策影響。

NEMS 住宅需求模型(Residential Demand Module, RDM)為一政策分析工具，用於政府立法、私營部門與影響需求部門相關技術發展。政策分析評估多個面向<sup>44</sup>：

- 新型終端技術
- 稅收政策導致燃料價格變動
- 設備能源效率及建築法規改變
- 獎勵能源效率相關投資
- 獎勵再生能源投資項目

<sup>43</sup> <https://www.eia.gov/consumption/residential/index.php>

<sup>44</sup> [https://www.eia.gov/outlooks/aeo/nems/documentation/residential/pdf/m067\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/aeo/nems/documentation/residential/pdf/m067(2017).pdf)

NEMS 住宅部門需求模型有三個基本目標。一、根據住房和燃料類型、人口普查和終端服務，進行能源需求分類預測。二、政策分析工具，評估影響住宅部門的能源市場變化，建築、設備技術以及監管舉措等影響。三、作為 NEMS 系統之一環，為電力市場模型、天然氣供應模型和石油市場模型提供資訊，有助於計算總體能源之供需平衡。目前 NEMS 住宅需求模型應用於特定時間範圍內展開長期預測與能源政策分析，EIA 最新住宅能源消費調查(Residential Energy Consumption Survey, RECS)即採用此模型，預測至 2050 年住宅能源需求。

### **(三) 國內工業、運輸、服務業、住宅部門節能減碳相關政策措施現況之建議與制訂方向**

MARKAL 模型為能源系統分析工具，由國際能源總署(IEA)成立之能源技術系統分析研究計畫(Energy Technology Systems Analysis Program, ETSAP)所開發，初期 ETSAP 僅有 16 個 OECD 國家參加，但經過近三十年的發展，目前 MARKAL 模型已被 69 個國家、約 230 個機構廣泛使用。

國內相關單位例如工研院，於 1993 年建立「臺灣 MARKAL 能源工程模型」，1994 年開發完成「臺灣 MARKAL-MACRO 能源經濟模型」，而為提昇分析能力，自 2007 年開始積極引進 TIMES 模型，並於 2010 年完成臺灣 TIMES 模型本土化資料庫的建置；於 1994 至 2013 年間，應用「臺灣 MARKAL/TIMES 模型」建立數種長期能源發展情景、規劃國內長期能源供需展望、分析溫室氣體減量策略、評估能源措施效益，並分析未來能源技術發展趨勢、新能源的應用潛力等議題，以提供相關決策之參考。另外，行政院原子能委員會

核能研究所，則採用 MARKAL-ED 能源系統工程模型，模擬不同的再生能源發展、電力供給組合情境，分析各情境的發電成本與排碳量，探討電力供需規劃與減碳策略<sup>45</sup>。

我國政府陸續提出「再生能源發展條例」及「擴大國內天然氣使用方案」等能源替代方案，將對電力部門成本效益產生不確定的影響。未來 CO<sub>2</sub> 減量目標的挑戰，應提供不同的選擇。短期政策方面，台灣近期由於無法使用核能機組與 CCS 技術等限制，擴大燃氣使用與提昇效率，仍為現階段較佳選擇。長期策略方面，除了目前積極進行減碳計畫，發展再生能源、提升發電效率等方式外，公司行號可考慮合作投資非電業或國外計畫型減量專案，以取得更多碳抵換權。另外，提供電業及用戶足夠誘因設置智慧電表，方能有效推動智慧電表之普及率。智慧電錶裝置只是起步，電價費率結構與其他應用軟體之應用發展才是推動關鍵。電力需求預測，可藉由智慧電表裝設，加以理解全國用電狀況，再搭配專家學者分析，達到電力需求預測及監測，以利未來相關政策之擬定。

根據工業總產值、能源密集度(每單位產出之能源消費量)與工業組成差異，工業部門的能源消費量因地而異。企業能夠透過多種方式降低能源消耗，包括改善工業部門流程，以減少能源浪費，並回收能源消耗(通常為放熱過程)，增加熱電聯產的使用，以及回收材料與燃料投入，以降低成本並改善效率。整體而言，未來我國於制定能源政策時，建議應持續釋放實質利多，例如提供租稅誘因、訂定設備能源效率標準或推廣使用能源管理系統，以支持高效率能源技術之導入。透過稽核與獎勵高效率能源設備建置，期能提升我國工

---

<sup>45</sup>應用臺灣 TIMES 模型評估我國能源效率管理制度節能成效(2013)，台灣能源期刊

業部門對於改善能源效率之重視。工業部門可應用當地原物料與能源資源，並以最大程度進行製程整合與效率改善，例如結合鄰近生產地之可使用工業副產品，以減少製造過程產生之二氧化碳排放量。最後，建議我國政府借鏡國際工業部門減碳經驗與作法，透過制定穩定、長期及低碳之政策方案，並為工業部門設定二氧化碳減量目標，期能朝向減少溫室氣體排放之碳經濟時代邁進。

大部分國家之運輸部門為前兩大溫室氣體排放部門，因此運輸部門節能減碳相關政策之制定顯得更為重要。英國為世界首位將碳排放量納入法規、提出碳預算的國家，其主要節能措施包括綠色方案、能源公司義務、能源白皮書及減稅補助等，整體節能方向值得我國參考。推動再生能源方面，可參考英國建立無線充電設備，以提高民眾購買電動車之意願，達到降低運輸部門碳排放量之可能性。此外，德國汽車工業發達，新型動力技術領先全球，認為油電混合車為較實際之發展方向，但因目前電動車技術尚未完全成熟，故需有其他配套措施或政策支應，以達成節能減碳目標。由於零星措施通常可發揮之潛力有限，必須多種方式並行，例如節約能源與提高能源效率。國家能源政策攸關整體經濟、環境發展，建議我國政府參考先進國家相關經驗，滾動式修正能源政策，並透過民眾宣導與溝通，提高對於再生能源之認識與接受度，以使我國再生能源產業能在穩健中求成長，及早達成 2025 年再生能源推動目標。

依據經濟部能源局 2016 年公佈之我國能源消費情形，其中服務業部門能源消費量約佔全國總量 10.8%。若再將服務業部門之能源消費結構依行業別區分，除了其他服務業外，以社會及個人服務業 (15.8%) 佔大宗，其次為住宿餐飲業 (15.0%)、公共行政 (13.5%) 及批發

零售業(9.2%)等。考量服務業部門各目的事業主管機關眾多，為實踐國家節能減碳推動目標，建議可參考國際上節能減碳成功案例，彙整與分析其相關資料，藉以研擬我國節能減碳推動策略。另外，可透過輔導與追蹤服務業部門，協助其導入高效率節能設備，以大幅改善用電量，例如新型節能空調機汰換舊型機種、以 T5 或 LED 燈具取代傳統燈管、使用高效率變頻設備等。此外，若由建築物著手，則可透過使用綠建材、建築整合節能工法，搭配實施節能相關政策，以期達成我國節能減碳之目標。

綜觀各國住宅部門節能政策，有許多值得效仿之策略。台灣永續發展不僅需考量民生需求與經濟發展，更應兼顧環境保護責任，因此制訂兼容並蓄的能源政策，成為國家未來發展之重要一環。我國住宅與服務業部門能源消費量約占全國總量之 21.7%，為實踐節能減碳目標，建議可參考國際上能源相關政策內容，彙整分析並加以改良，藉以研擬我國綠能推動策略。另外，可透過輔導與追蹤住宅部門，協助導入高效率節能設備，以改善家電產品耗電量。例如鼓勵空調設備汰舊換新、以 LED 燈具取代傳統燈管、使用高效率變頻設備等。我國曾訂定高耗能設備相關能效規範，但受限於台灣電價偏低且節能商品價格高，民眾因價差因素而卻步。建議可提出財政誘因或補貼節能設備廠商，增加民眾購買慾。建築方面，則可透過使用綠建材、建築整合節能工法，並搭配實施節能相關鼓勵政策。亦可仿照英國，制定符合我國建築物能源標示制度，依不同建築類型制定能源使用標準，並提供消費者建築能源標章做選擇，透過推廣教育或財政鼓勵，提高民眾環保意識，刺激低耗能建築市場需求。另外，可針對建築部分制定規範目標，如要求新建築應符合綠建築



等級；老舊建築制定改善要求與訂定能效標準；建築買賣市場資訊透明化，要求建商提供建築能源等級。期待藉由產、官、學專家共同研討，透過政策或宣導方式，加速我國住宅部門節能發展，以達國家制定減量與能效提升目標。

### 三、定期蒐集國際能源領域動態資訊，掌握技術、制度與政策各層面的變化與趨勢

本計畫每週完成新聞掠影 3 篇，已蒐集傳統能源、再生能源、節能科技、能源創新利用等節能減碳相關技術、制度與政策之變化與趨勢，且依資訊屬性之不同，歸納政策與法規面、產業面、環境與發展趨勢面、技術面等四大面向；截至 2017 年 12 月 4 日為止，已完成蒐集 123 篇國際能源領域動態資訊，以利於流動快速之及時資訊中，掌握國內外對於能源領域及節能減碳等綠能技術、制度與政策各層面的變化與趨勢。相關清冊如表 10。

表 10、新聞掠影清冊

No.	篇名	資訊屬性
1	韓國電力公司於約旦風場破土動工	產業面
2	南韓樂天購物中心將廣泛設置電動車充電站	產業面
3	南韓智慧家庭需要新思維	政策與法規面
4	浦項鋼鐵於韓國進行商業化碳酸鋰生產	技術面
5	韓國太陽能將於 2022 或 2023 年達到市電同價	環境與發展趨勢面
6	南韓水原市力圖成為國際級城市 擴大太陽能板設置	政策與法規面
7	日本與印度太陽能產業之對照	環境與發展趨勢面
8	現代汽車 2018 年將推出全新氫燃料電池運動休旅車	技術面
9	日本太陽能產業加速發展	產業面
10	日本小規模地熱發電崛起	政策與法規面
11	中國大陸多晶矽進口量將攀升並重返太陽能產業榮景	環境與發展趨勢面
12	日本節能目標再升級 影響擴展至飯店百貨業	政策與法規面
13	GS 集團持續強化各行業地位	產業面
14	南韓政策加持 電動車需求激增	政策與法規面
15	日本於 2016 年支付 2.3 兆日元後 將調降電能躉購費率	政策與法規面
16	比亞迪 eBUS-12 電動巴士首度於南韓亮相	環境與發展趨勢面
17	美國矽晶圓廠 1366 科技公司電池轉換效率達 19.9%	技術面
18	現代汽車新插電式油電車 Ioniq 上市	技術面
19	蘋果公司於日本實施供應商潔淨能源計畫	產業面
20	零能耗住宅將打開日本住宅型太陽能市場	政策與法規面

No.	篇名	資訊屬性
21	全球再生能源發電量再創歷史新高	環境與發展趨勢面
22	丹麥、德國和荷蘭將打造 100 GW 離岸風力發電島	環境與發展趨勢面
23	印度總理莫迪目標將太陽光電分送至貧窮國家	政策與法規面
24	聯合國報告：再生能源成本 10 年內可望比化石燃料更便宜	環境與發展趨勢面
25	英國將提供 2.9 億英鎊支持再生能源計畫	政策與法規面
26	丹麥政府將結束全數再生能源補貼	政策與法規面
27	美參議員提出 100% 潔淨能源法案，以使 2050 年全面淘汰化石燃料	政策與法規面
28	亞馬遜投資燃料電池 以呼應雲端計算策略	產業面
29	特斯拉將搭配太陽能發電擴增超級充電站數量	產業面
30	科學家提高鋰穩定性 為鋰空氣電池鋪路	技術面
31	全球超過 940 萬人為再生能源工作者	環境與發展趨勢面
32	水力發電使加拿大再生能源占總發電量之三分之二	環境與發展趨勢面
33	美國舊金山灣區捷運可望採用 100% 再生能源系統	產業面
34	印度太陽能價格已比化石燃料發電更便宜	環境與發展趨勢面
35	澳洲阻止中國大陸企業併購輸電網路	政策與法規面
36	美國東北各州增加天然氣用量，造成燃煤問題	環境與發展趨勢面
37	科學家合成細菌動力燃料電池由甲烷直接發電	技術面
38	日本主要車廠共同正式支持氫燃料電池車	產業面
39	跨國消費品公司聯合利華宣布英國據點將使用風能供電	產業面
40	車廠不甩特斯拉仍持續投資燃料電池車	產業面
41	新加坡小島再生能源試驗關乎能源之未來發展	環境與發展趨勢面
42	科學家研發輕量「印刷太陽能板」供災難時使用	技術面
43	鋰離子電池可解決資料中心技術問題，但仍有新挑戰	技術面
44	美國能源部宣布投入 1,590 萬美元於固態氧化物燃料電池研究	政策與法規面
45	浮體式風力發電在歐洲已蓄勢待發	產業面
46	太陽能的能源獨立性改變德國人的家庭生活	環境與發展趨勢面
47	風力發電商 LOC 集團瞄準浮體式風力發電之後勤配套	產業面
48	瑞士商 INDEOtec 取得異質接面太陽能電池所需 PECVD 工具新訂單	產業面
49	美國第一個離岸風力安裝船將結合石油及天然氣業	產業面

No.	篇名	資訊屬性
50	中國大陸將進行超越特斯拉的大規模鋰離子電池生產計畫	政策與法規面
51	Energy Renaissance 公司將在澳洲達爾文打造 1 GWh 鋰離子儲能電池生產廠	產業面
52	世界首座浮動式風場於蘇格蘭離岸布建	環境與發展趨勢面
53	日本松下公司異質接面太陽能電池組件之輸出溫度係數已達世界領先程度	技術面
54	英國政府宣佈投入 4,442 萬美元於創新型清潔能源計畫	政策與法規面
55	英商 3SUN 公司尋求 1,410 萬歐元資金以採購異質接面太陽能電池工具	環境與發展趨勢面
56	谷歌預計自 9 月起取得挪威風能電力	環境與發展趨勢面
57	浮動式風力發電技術已趨向成熟	技術面
58	特斯拉宣布 100 天內於澳州建立鋰離子電池儲存系統	技術面
59	美國科學家設計出可吸收太陽光幾近全部波長之太陽能電池	技術面
60	美國維吉尼亞 Dominion 能源公司與丹麥 Dong 公司組成離岸風力發電計畫團隊	產業面
61	風力發電投資者湧入拉丁美洲	環境與發展趨勢面
62	工程師開發高效率低成本之新型碳氫化合物燃料電池	技術面
63	中國太陽能發電於 2017 年首創 7.2GW 新高	產業面
64	全球首座「浮動式」風力機現身於英國蘇格蘭海域	環境與發展趨勢面
65	豐田將於 2022 年推出長程、快充之電動汽車	環境與發展趨勢面
66	英國預計自 2040 年起禁止新柴油及汽油車上路	政策與法規面
67	科學家為極地環境用鋰電池提供最新研究資訊	技術面
68	英國蘇格蘭政府承諾資助碳信託 150 萬英鎊進行離岸風力發電研究	政策與法規面
69	美國特斯拉即將於全球電池競賽中失去龍頭地位	產業面
70	日本鋰電池製造商 GS Yuasa 發表新型電池使電動車行駛里程數倍增	技術面
71	日本豐田氫燃料電池 Kenwort 貨車帶動重型運輸車新革命	產業面
72	全球離岸風力發電發展逐步成長	環境與發展趨勢面
73	智利將以風力、太陽能及火山驅動能源轉型	政策與法規面
74	美國、中國大陸與俄羅斯等國共同開發可改變未來能源之核融合計畫	技術面

No.	篇名	資訊屬性
75	LG 電子投資發展第三代燃料電池	產業面
76	全球首座浮動式風場已安裝最後一架風力機	環境與發展趨勢面
77	風力發電成本 2030 年前將可望再下降 50%	環境與發展趨勢面
78	鋰離子電池加入鑽石取得重大突破	技術面
79	研究人員開發效率達 35.9%之三接面太陽能電池	技術面
80	再生能源短期內可確保電力供應但仍有供不應求之風險	環境與發展趨勢面
81	再生能源於成長中面臨風險	環境與發展趨勢面
82	英國與中國宣布合作發展新一代再生能源技術	技術面
83	離岸風電已比新核電便宜	環境與發展趨勢面
84	全球安全科學組織 UL 和 GCC 實驗室宣布合資加強中東再生能源基礎設施建設	環境與發展趨勢面
85	澳州最大公用事業單位將再生能源搭配能源儲存逐步取代燃煤發電	政策與法規面
86	美國加州議會未能通過百分之百再生能源目標	政策與法規面
87	美國電力與天然氣公司欲讓所有美國人皆可使用再生能源	產業面
88	美國風電商與愛荷華州公共事業爭議顯示美國清潔能源法存在更廣泛歧見	政策與法規面
89	丹麥將迎接太陽能源	環境與發展趨勢面
90	氫能為新加坡未來永續能源之賭注	環境與發展趨勢面
91	沙烏地阿拉伯官方表示需更努力完成太陽能計畫	政策與法規面
92	印度電力供應將以擁抱再生能源為主	政策與法規面
93	美國能源部呼籲提高煤炭、核能和水力發電之電價	政策與法規面
94	再生能源投資者在波多黎各殘破電網看到機會	產業面
95	國際能源總署預估印度再生能源在 2022 年前將倍增並超越歐盟擴增	環境與發展趨勢面
96	新興經濟體印度將吸引數十億美元投資太陽能及風力發電	產業面
97	2030 年前定置型能源電池成本降幅達 66%，儲存容量增長 17 倍	環境與發展趨勢面
98	美國環保署長向煤礦工人表示將廢除發電廠規則	政策與法規面
99	澳州能源商 Origin 呼籲實施清淨能源目標以減少能源價格波動	產業面
100	倘若川普取消對伊朗能源協定，能源發展將涉險	政策與法規面

No.	篇名	資訊屬性
101	南韓將於 2017 年完成能源轉型路線圖	政策與法規面
102	印度新能源部長邀請夥伴國家發展印度製再生能源	產業面
103	能源平衡：日本再生能源發展逐步增長	環境與發展趨勢面
104	印度再生能源占比達 13.2% 之歷史新高	環境與發展趨勢面
105	沙烏地阿拉伯能源部長預估全球能源需求至 2050 年將增加 45%	環境與發展趨勢面
106	歐洲公司投資伊朗再生能源計畫	產業面
107	科學家發明太陽能窗戶可供應幾近全美國之用電量	技術面
108	斯里蘭卡審慎考慮私人能源投資之擔保風險	產業面
109	美國聖路易市承諾在 2035 年前達到 100% 風力和太陽能發電	政策與法規面
110	印度與義大利簽署六項協議，加強鐵路及能源領域之合作	政策與法規面
111	澳州鋼鐵業結合再生能源與重工業	產業面
112	印度國家銀行 SBI 投資 7 家公司太陽能計畫	產業面
113	科學家研究表示水力發電為最具危險性之綠色能源	環境與發展趨勢面
114	福特與歐洲汽車巨頭聯手打造長程充電網	產業面
115	印度將引領未來世界能源需求	環境與發展趨勢面
116	中國大陸能源目標為 2020 年前終止浪費再生能源	政策與法規面
117	新加坡勝科公司再度取得印度風力發電計畫	產業面
118	八萬名約旦難民獲得 40,000 片太陽能板，造價 1,700 萬美元之太陽能電廠	產業面
119	國際太陽能聯盟為 20 GW 容量電廠提出風險降低之可行性研究	環境與發展趨勢面
120	美國賓州政府與業界之夥伴關係透過儲能與微電網培訓推動再生能源	政策與法規面
121	國際能源總署預測澳州將成為世界能源領導者	環境與發展趨勢面
122	太陽、風和水力：至 2022 年非洲再生能源將飆升	環境與發展趨勢面
123	國際能源總署報告：2040 年印度將佔全球能源需求之中心地	環境與發展趨勢面

註：新聞掠影全文詳「十、附件(三)新聞掠影(請詳參光碟一)」。

## 肆、研究工作執行進度

### 一、 工作項目及進度

工作項目	106 年												備註
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	
1. 蒐集國內外在電力與工業、運輸、服務業、住宅部門，相關技術與制度的發展資訊，同時進行分析並提出建議 (於查核點說明蒐集資料之文獻清單)			—————→			1							
2. 蒐集國內外在電力與工業、運輸、服務業、住宅部門相關政策實施，以及國內外重要研究單位模擬分析結果，經彙整評估後並提出建議 (於查核點說明蒐集資料之文獻清單)			—————→							2			
3. 定期蒐集國際能源領域動態資訊，掌握技術、制度與政策各層面的變化與趨勢 (於查核點說明蒐集資料之文獻清單)			—————→			3a				3b			
4. 每週完成新聞掠影 3 篇			—————→			4a		4b		—————→		4c	
5. 完成能源簡析 6 篇			—————→			5a		—————→		5b			
6. 期中/期末報告/研究論文一篇						—————→		6a			—————→		6b 6c
工作進度估計百分比 (累積數)			5 %	20 %	35 %	45 %	55 %	65 %	75 %	85 %	95 %	100 %	

註：——▶ 表預計進度、...▶ 表實際進度

## 二、查核點及進度說明

查核點	時間	辦理事項	進度說明
1	6月	蒐集國內外在電力與工業、運輸、服務業、住宅部門，相關技術與制度的發展資訊，同時進行分析並提出建議	本計畫已完成蒐集、彙整與分析國內外電力與工業、運輸、服務業、住宅部門，相關技術與制度之發展資訊，並提出國內相關建議。相關文獻清單詳見「陸、參考文獻」。
2	10月	蒐集國內外在電力與工業、運輸、服務業、住宅部門相關政策實施，以及國內外重要研究單位模擬分析結果，經彙整評估後並提出建議	本計畫已初步蒐集國內外在工業、運輸、服務業等部門相關政策實施，以及國內外重要研究單位模擬分析結果。相關文獻清單詳見「陸、參考文獻」。
3a	6月	蒐集國際能源領域動態資訊	已蒐集國際綠能與節能減碳技術、制度與政策相關發展趨勢資料，並依政策與法規面、產業面、環境與發展趨勢面、技術面等面向進行歸納。相關內容詳見參附件一光碟。
3b	10月	蒐集國際能源領域動態資訊	已完成蒐集國際綠能與節能減碳技術、制度與政策之最新趨勢。
4a	6月	每週完成新聞掠影3篇	符合進度；截至106年10月20日止，已完成93篇能源掠影。
4b	9月	每週完成新聞掠影3篇	106年9月30日前累計完成84篇能源掠影。
4c	12月	每週完成新聞掠影3篇	已於106年12月4日前累計完成123篇能源掠影。
5a	6月	完成能源簡析3篇	已完成國外研究機構模擬(1)工業部門、(2)服務業部門、(3)運輸部門應用節能減碳技術之模型分析結果文稿，詳見「十、附件(二)能源簡析」。



查核點	時間	辦理事項	進度說明
5b	9月	完成能源簡析3篇	106年9月30日前已完成國外研究機構模擬(1)電力部門、(2)住宅部門應用節能減碳技術之模型分析結果，以及(3)探討美國、日本需求部門如何透過制度建立達成其國家減碳目標。
6a	6月	完成期中報告	已於106年6月8日完成。
6b	10月	完成期末報告	已於106年10月30日完成。
6c	11月	完成研究論文一篇，並投稿國內研討會或期刊	已於106年11月24日完成。

### 伍、人力配置

類別	姓名	現任職務	在本計畫內擔任之具體工作性質、項目及範圍
主持人	林若蓁	財團法人台灣經濟研究院研究一所 副研究員/組長	負責計畫督導及推廣策略規劃
研究人員	林聖哲	財團法人台灣經濟研究院研究一所 助理研究員/副組長	負責蒐集國內外在服務業、住宅部門，相關技術與制度的發展資訊，並彙整以及撰寫
研究人員	陳璿恩	財團法人台灣經濟研究院研究一所 助理研究員	負責蒐集國內外在電力與工業、運輸、服務業、住宅部門相關政策實施，進行彙整及撰寫
研究人員	李宜軒	財團法人台灣經濟研究院研究一所 助理研究員	負責國內外電力與工業、運輸部門，相關技術與制度的發展資訊之分析、蒐集國內外重要研究單位模擬分析結果並彙整及撰寫
研究助理	黃韻靜	財團法人台灣經濟研究院研究一所 研究助理	負責定期蒐集國際能源領域動態資訊，以及計畫相關行政事務

### 經費動支情形

計畫執行期間：106.3.22~106.12.31

單位：新臺幣元

項目	核定金額	已核銷金額	動支率
一、人事費用	337,500	337,500	100.00%
二、消耗性器材藥品費用	20,000	15,624	78.12%
三、其他研究有關費用	329,500	343,207	104.10%
合計	687,000	696,331	101.35%

## 陸、參考文獻

1. AGEB (2016), AGEB-Energy Balance 2014.
2. Andrew J. Jordan and John R. Turnpenny (2015), The tools of policy formulation: actors, capacities, venues and effects, Edward Elgar .
3. BEIS (2016), Energy Consumption in the UK.
4. Committee on Climate Change (2010), The Fourth Carbon Budget – reducing emissions through the 2020s.
5. DECC, Energy Act,  
<https://www.gov.uk/government/collections/energy-act>  
(最後瀏覽日期：2017年6月2日)
6. DECC, National Renewable Energy Action Plan for the United Kingdom - Article 4 of the Renewable Energy Directive 2009/28/EC,  
[https://ukccsrc.ac.uk/system/files/publications/ccs-reports/DECC\\_LC\\_165.pdf](https://ukccsrc.ac.uk/system/files/publications/ccs-reports/DECC_LC_165.pdf)  
(最後瀏覽日期：2017年6月2日)
7. Department for Transport (2017), Freight Carbon Review 2017.
8. Dieselnets, Emission Standards Japan,  
<https://www.dieselnets.com/standards/jp/>  
(最後瀏覽日期：2017年6月3日)
9. EERE, About the Appliance and Equipment Standards Program,  
<https://energy.gov/eere/buildings/about-appliance-and-equipment-standards-program>  
(最後瀏覽日期：2017年6月3日)
10. EIA (2016), Annual Energy Outlook 2015.
11. EIA (2016), International Energy Outlook 2016.
12. EIA (2016), World Energy Projection System Plus: Industrial Module.

13. EIA (2017), Annual Energy Outlook 2017 with projections to 2050.
14. Energiewende Outlook: Transportation sector,  
<https://http://www.pwc.de/de/energiewende/assets/energiewende-outlook-transportation-2015.pdf>  
(最後瀏覽日期：2017年6月2日)
15. EPA, Program Overview for Renewable Fuel Standard Program,  
<https://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program/program-overview-renewable-fuel-standard-program>  
(最後瀏覽日期：2017年6月2日)
16. GOV. UK, Environmental taxes, reliefs and schemes for businesses,  
<https://www.gov.uk/green-taxes-and-reliefs/climate-change-levy>  
(最後瀏覽日期：2017年6月3日)
17. GOV. UK, Plug-in car, motorcycle and van grants,  
<https://www.gov.uk/plug-in-car-van-grants/what-youll-get>  
(最後瀏覽日期：2017年6月3日)
18. Gregory Brinkman (2015), Renewable Electricity Futures: Operational Analysis of the Western Interconnection at Very High Renewable Penetrations, NREL.
19. IEA (2015), World Energy Outlook Special Report.
20. IEEJ (2016), Economic and Energy Outlook of Japan through FY2017.
21. IHS Emerging Energy Research (2010), Global Ocean Energy Prospects Boosted by Established Hydro and Wind Players, IHS Emerging Energy Research.
22. James E. McCarthy (2017), Clean Air Act Issues in the 115th Congress: In Brief, Congressional Research Service.
23. Lisa M.H. Hall, Alastair R. Buckley (2016), A review of energy

- systems models in the UK: Prevalent usage and categorisation.  
Applied Energy, Vol. 169, P607-628.
24. LSE, Integrated Climate and Energy Programme (IEKP),  
<http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/law/integrated-climate-and-energy-programme-iekp/>  
(最後瀏覽日期：2017年6月3日)
  25. Monica D. and Saptarshi M. (2010), An outlook into energy consumption in large scale industries in India: The cases of steel, aluminium and cement, Energy Policy 38, P7286-7298.
  26. NEEAP, 3rd National Energy Efficiency Action Plan (NEEAP) 2014 for the Federal Republic of Germany,  
[https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2014\\_neeap\\_en\\_germany.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2014_neeap_en_germany.pdf)  
(最後瀏覽日期：2017年6月3日)
  27. NewClimate Policy Database,  
[http://climatepolicydatabase.org/index.php?title=Browse\\_countries](http://climatepolicydatabase.org/index.php?title=Browse_countries)  
(最後瀏覽日期：2017年6月2日)
  28. RNE21 (2016), Renewables 2016 Global Status Report. REN21 Secretariat.
  29. Rudloff, M. (2007), Advanced Biofuel for Transport-BTL-Technology, Environmental Impact and Market Access, 6th International Colloquium Fuels, Stuttgart / Ostfildern, Germany.
  30. SETIS, SET-Plan 10 Key Actions, <https://setis.ec.europa.eu/>  
(最後瀏覽日期：2017年6月2日)
  31. The National Archives, Climate Change Act 2008,  
<http://www.legislation.gov.uk/ukpga/2008/27/contents>  
(最後瀏覽日期：2017年6月2日)

32. The White House, An America First Energy Plan,  
<https://www.whitehouse.gov/america-first-energy>  
(最後瀏覽日期：2017 年 6 月 2 日)
33. University College London, UK Markal,  
<https://www.ucl.ac.uk/energy-models/models/uk-markal>  
(最後瀏覽日期：2017 年 6 月 2 日)
34. U.S. Department of State, Bilateral and Regional Climate Partnerships, <https://2001-2009.state.gov/g/oes/climate/c22820.htm>  
(最後瀏覽日期：2017 年 6 月 3 日)
35. Wei-Chen Liao, Jong-Shun Chen, Chia-Hao Liu, Jyh-Jun Chen, Fu-Kung Ko (2015), The inspection of CO<sub>2</sub> emission targets of industry sector in Taiwan.
36. Wesley C., Trieu M., Jeffrey L., Daniel S., James M., James R., Benjamin S., and Gian P. (2016), 2016 Standard Scenarios Report: A U.S. Electricity Sector Outlook, NREL.
37. KPMG，COP22：第 22 屆聯合國國際氣候大會重點整理，  
<https://home.kpmg.com/tw/zh/home/insights/2016/11/cop22-weekly-summary.html>  
(最後瀏覽日期：2017 年 6 月 2 日)
38. 五大重點 讓你秒懂巴黎氣候大會，  
<http://www.appledaily.com.tw/realtimenews/article/new/20151201/743760/>  
(最後瀏覽日期：2017 年 6 月 2 日)
39. 中華人民共和國國家統計局，  
<http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2016/indexeh.htm>  
(最後瀏覽日期：2017 年 6 月 2 日)

40. 中華人民共和國國務院新聞辦公室(2016)，中國交通運輸發展白皮書。
41. 中國大陸國家發展改革委員會(2016)，能源發展「十三五規劃」。
42. 中國大陸國家發展改革委員會、國家能源局(2016)，電力發展「十三五規劃」(2016~2020年)。
43. 《巴黎協定》上路後，企業不可不知的減量概念，  
[http://lowestc.blogspot.tw/2016/11/cop22\\_16.html](http://lowestc.blogspot.tw/2016/11/cop22_16.html)  
(最後瀏覽日期：2017年6月2日)
44. 四礮子坪潛在地熱 可供金山家戶1年用電，  
<http://news.ltn.com.tw/news/life/paper/1090394>  
(最後瀏覽日期：2017年6月16日)
45. 交通部運輸研究所(2012)，運輸政策白皮書(綠運輸)。
46. 國土交通省，自動車燃費目標基準について，  
[http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha\\_fr10\\_000005.html](http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr10_000005.html)  
(最後瀏覽日期：2017年6月2日)
47. 國立環境研究所，各国が提出した INDC(約束草案)の合計は、2度目標の達成に十分なのか？  
<https://www.nies.go.jp/event/cop/cop21/20151204.html>  
(最後瀏覽日期：2017年6月2日)
48. 經濟部能源局(2016)，104年我國燃料燃燒二氧化碳排放統計。
49. 經濟部能源局(2016)，2016年能源產業技術白皮書。
50. 經濟部能源局(2016)，永續能源政策綱領。
51. 經濟部能源局(2016)，能源發展綱領。
52. 經濟部能源局(2017)，服務業能源管理系統示範推廣輔導計畫。
53. 經濟部能源局(2017)，區域性儲能設備技術示範驗證計畫

54. 經濟部能源局，節約能源規定宣導網，  
<http://energylaw.ecct.org.tw/page4.htm>  
(最後瀏覽日期：2017年6月2日)
55. 闕棟鴻，德國能源轉型的現況與展望，  
[km.twenergy.org.tw/ReadFile/?p=Reference&n=201611884549.pdf](http://km.twenergy.org.tw/ReadFile/?p=Reference&n=201611884549.pdf)  
(最後瀏覽日期：2017年6月2日)
56. 環境資訊中心，COP22 能源日談轉型 企業減碳再加碼，  
<http://e-info.org.tw/node/201166>  
(最後瀏覽日期：2017年6月2日)  
謝惠子，德國通過再生能源法案修正 FIT 補貼將走入歷史，  
<http://energymonthly.tier.org.tw/Report/201608/47.pdf>  
(最後瀏覽日期：2017年6月2日)
57. 風力發電四年推動計畫  
<http://www.twtpo.org.tw/>  
(最後瀏覽日期：2017年10月12日)
58. 離岸風電知識網  
<http://www.nepii.tw/KM/OWE/index.html>  
(最後瀏覽日期：2017年10月12日)
59. KEPCO(2016), 2015 Annual Report.
60. KEEI(2016) Energy Review Monthly - March 2016(Full Text)  
(最後瀏覽日期：2017年10月18日)



## 柒、附錄

### 一、 能源安全、能源運輸安全與國內能源政策滾動式措施

#### 1. 國內外能源安全

根據國際能源總署(IEA)對能源政策提出能滿足永續發展的3E均衡目標，同時兼顧能源安全(Energy Security)、環境保護(Environmental Protection)及經濟成長(Economic Growth)，方為完整的能源政策架構。

能源安全為美國歷任總統皆強調之能源政策目標，歐巴馬政府更積極地提出能源獨立，試圖將能源安全更具體表現。美國透過三個核心措施保障能源安全。第一、發展新的能源開發技術達成能源獨立目標；第二、提升汽車燃油效率與新型運輸技術降低對於石油之依賴；第三、在國務院下設立能源局強化能源外交，確保石油進口來源穩定。

首先，在發展新的能源開發技術方面，美國除了積極發展頁岩油氣的探採技術，大量設置再生能源之外，也積極強化核電安全監控管理促使核能持續發展。其次，美國運輸部門的石油消費量占全部七成，故美國政府除了不斷提高汽車燃油的效率標準外，亦積極的開發電動車及燃氣引擎技術，以降低石油依賴。目前，已愈來愈多長途運輸卡車改用液化天然氣(LNG)為燃料，美國石油消費量已有逐漸下降之趨勢。第三，為了強化能源外交關係保障石油來源的穩定，美國國務院於2011年11月成立能源局，期望透過外交關係，掌握能源地緣政治，確保獲得安全可靠能源供應。

歐盟為全球主要能源消費經濟體，整體國家能源蘊藏量並不豐富，暗藏能源供應安全問題。歐盟執委會於2010年公布最新十年能

源策略方案，於未來10年積極投資研發新能源，尋找當前慣用能源替代品，以滿足日益增加之能源需求。

德國受到地理環境限制，境內天然氣逾八成仰賴國外進口，石油進口依存度更高達九成五以上，俄羅斯皆為德國最大的進口國。然而俄羅斯與歐美各國針對區域性議題(如烏克蘭)長期存在著各種衝突，亦促使德國極欲降低自身對俄羅斯之能源依賴。為確保能源安全，並達成環境永續以因應氣候變遷，德國早從1980年，即著手規劃能源轉型(Energiewende)，希望藉由再生能源的發展，減少對石油、天然氣、煤炭及核電的依賴。能源安全部份，德國長期維持超過90天之石油儲存量，以應付任何石油短缺之緊急狀況<sup>46</sup>。

為了減少碳排放英國政府已宣布逐步減少煤炭發電量，2025年前徹底關閉燃煤電廠。但2016年英國初級能源消費中，煤炭占比仍高達39%。放棄燃煤供電所致的電力供應缺口需要由其他方式彌補。英國擴大發展燃氣發電、核電與新能源，同時加快建設跨國輸電線路，通過進口電力滿足國內需求，以確保電力供應安全<sup>47</sup>。

日本能源依賴進口，確保能源穩定供應儼然成為能源安全政策核心目標，日本主要採行兩項做法維繫能源安全。第一、大量石油及天然氣存量，以因應國際能源情勢變化；第二、提高自有油氣資源比例，降低對外依賴。首先，日本石油及天然氣安全存量可維持日本至少150天的石油消費需求。IEA對於會員國石油安全存量的建議數量為90天，日本安全存量遠遠超過此一建議值。日本為降低對外石油的依賴，擬訂目標於2030年前，將日本企業至海外油氣田開發油氣井，並將其開發油氣運回國內使用之比例提高至40%，以確保

---

<sup>46</sup>德國能源轉型的現況與展望—發布至 2016 年能源規劃藍圖，持續進行再生能源等各領域之改革

<sup>47</sup> <https://kknews.cc/zh-tw/finance/a8gnp86.html>

油氣供應來源，油氣源多元化，穩定國內油氣價格。

韓國亦為能源進口國，能源安全政策至關重要。相關政策主要有以下三項做法。第一、維持能源供需平衡：保障傳統能源穩定供應及改善能源安全體系，構建安全可靠的能源開發、供應、消費體系。第二、開發海外資源：擬訂和執行長遠的、系統的海外資源開發綜合規劃，擬訂於2020年達成自主油氣比例目標至35%以上。第三、提高核能發電比例：根據2012年核能機構出版的全球核能白皮書，南韓有23座運轉中的核能反應爐，供給該國近1/3電力，並規畫於2030年前達到整體電力結構60%。然而，2017年文在寅政府計劃於2060年全面廢核，承諾停止所有現有核電廠興建計畫，並不再延長老舊反應爐的使用年限，引發該國國內對供電短缺和成本上揚的關切。

中國大陸受到國際節能與減碳趨勢影響，訂下2015年降低能耗和碳排放目標。能源政策以2011年至2015年「十二五能源規劃」作為指導方針，推動節能減碳措施。然而，穩定供應面政策措施例如保障能源供應安全，仍為能源規劃發展之重要議題，將使石油儲備體系完備，並加強天然氣和煤炭儲備與調峰應急能力之建設。

我國2017年頒布能源發展綱領，其主軸擴充IEA能源政策3E思想，核心思維為「能源安全」、「綠色經濟」、「環境永續」與「社會公平」等四大面向。能源安全方面，將有效運用各類能源優勢，積極增加能源自主性與確保能源多元性，布建分散式能源，優化能源供給結構，推動能源先期管理及提升能源使用效率，由能源需求面、供給面及系統面建構穩定、可負擔且低風險之能源供需體系<sup>48</sup>。

## 2. 國內外能源運輸安全

---

<sup>48</sup>經濟部能源發展綱領核定版

控制能源通道歷來為美國國家安全戰略之重點。為確保能源運輸安全，美國擴大加強海軍建設，利用其強大的海軍控制全球石油戰略樞紐和石油運輸通道。美國自2007年起連續5年每年投入1億美元資金，加強九個非洲國家的安全局勢。時任布希總統亦專門設立非洲司令部，透過結合反恐、石油與駐軍，將非洲打造成美國石油來源多元化之重要基地，使其成為維護能源安全之重要地區。

日本「從中東進口原油和天然氣」路線與中國大陸一帶一路政策之海上絲路重疊。日本為確保海陸運輸穩定，與中國爭相收購東埔寨唯一國際港口「西哈努克港灣」公司股權；此外三井物產亦計畫與印度塔塔集團合作承接斯里蘭卡可倫坡港之擴建合約，日本國際協力銀行等機構提供融資協助，確保印度洋交通要衝穩定<sup>49</sup>。

中國2013年提出一帶一路區域戰略與經濟合作構想，欲打造由鐵公路、港口、發電廠及油管組成之網路，連結中國與歐洲。其中海路能源安全為重點項目，中國八成原油皆經由麻六甲海峽，中國長期戰略即希望透過一帶一路滲透至東南亞，削弱美國在此地之勢力。

2017年英國通過未來五年對外國防政策《英國國家安全戰略、戰略防禦與安全》，深化與海灣國家關係(巴林、科威特、阿曼、卡達、沙特和阿聯酋)，並視其為維護地區穩定、避免直接恐怖主義威脅、保障英國能源安全十分重要的夥伴。根據巴林實施的政策，為了保障英國海軍在該地區展開，已開始建造新的海軍基地<sup>5051</sup>。

2017年「815全臺大停電事件」反應我國液化石油天然氣供應之脆弱。並同時顯現我國海上運輸風險與國內輸送天然氣管路風險，

---

<sup>49</sup> <http://news.ltn.com.tw/news/business/paper/1109615>

<sup>50</sup> [http://news.ifeng.com/a/20170525/51161297\\_0.shtml](http://news.ifeng.com/a/20170525/51161297_0.shtml)

<sup>51</sup> <http://militaryethics.666forum.tw/t811-topic>

大潭電廠為全國第二大發電廠，但因供氣及輸電系統脆弱，成為供電穩定的最大的隱憂。根據我國能源局數據顯示，82%原油供應與98%液化天然氣運輸，全部經由南海運送，一旦中國大陸於南海進行軍事封鎖，台灣能源供應將告中斷，台灣有必要仿效日本、南韓，建立國家儲油基地，以因應當前南海日趨險惡之局勢。另外，我國最初發展核能乃是有鑑於國家安全及國防戰略考量，倘若發生能源進口中斷之情事，核能則可繼續提供基載發電一段時間(至少2年)<sup>52</sup>。是故，國家安全應為制定國家政策的最高指導原則，若欲尋求能源獨立，則不應放棄核能。最後，能源運輸相關政策應與今日新南向政策配合，透過與亞洲鄰近國家或重要組織進行跨區域性合作，以降低能源運輸風險。

### 3. 國內能源政策

2016年5月我國已啟動國家「能源轉型」，宣示2025年達成非核家園，為確保能源轉型過程順利，同時掌握綠色成長契機與落實公平正義，將「能源發展綱領」核心思維擴充為「能源安全」、「綠色經濟」、「環境永續」與「社會公平」等四大面向，建構完整之施政主架構，更強調綠能發展所帶來的經濟新動能與環境效益，同時納入社會公平思維，落實能源轉型之民主與正義；綱領中亦建構推動配套機制，力求落實執行節能、創能、儲能及智慧系統整合等計畫。2017年4月行政院核定「能源發展綱領」修正案，確立邁向2025年非核家園的台灣能源轉型發展架構<sup>53</sup>。

綱領主要增修內容為：

(1) 在「能源安全」面向，由能源需求面、供給面及系統面建構

---

<sup>52</sup> 我國高佔比天然氣發電的隱憂與對策(2017)，高梓木

<sup>53</sup> 中華民國經濟部(2017)

穩定、可負擔及低風險之能源供需體系：

- A. 能源需求面：新增產業結構優化轉型，以達成淨零耗能建築為目標。並強化負載管理措施、規範電業推動節能義務，透過上位產業結構改變、下位管理尖峰用電需求與賦予電業推動節能義務等方式，強化需求面節能。
  - B. 能源供給面：新增建構再生能源友善發展環境，兼顧環境生態保護、鼓勵分散式電源設置。並藉由積極發展再生能源及分散式電源，降低系統調度負擔及線損，並降低對環境影響，達到多元創能。
  - C. 能源系統面：新增強化智慧電表、電網及儲能系統之設置與應用，以及綠電優先併網，透過綠能周邊設備建置，提升系統穩定供電能力，容納更多再生能源發電，並邁向系統整合智慧化。
- (2) 在「綠色經濟」面向，區分「打造綠能產業生態系」、「普及綠能在地應用」及「創新綠能減碳科技」三大方針，藉由建構有助綠能產業的發展環境，整合綠能相關產業，培育綠能產業技術及人才，結合區域特性反映在地化特色，以形成具全球競爭力的綠能產業生態系，拓展整體輸出之國際商機，期由綠色就業及綠色成長，帶動國家經濟發展新動能。
- (3) 在「環境永續」面向，針對近來地方關切的空污議題、能源設施布建之環境衝擊與2025年非核家園目標，新增「維護空氣品質」、「規劃適當區位」與「達成非核家園」方針，同時保留原能源部門溫室氣體減量，及建構低碳環境等相關策略。

- (4) 在「社會公平」面向，強化能源領域公眾參與及風險溝通、建構公平競爭能源市場，包含：
- A. 促進能源民主與正義：建立能源領域公眾參與、風險溝通機制及誘因，引導民間共同參與能源轉型，並落實資訊公開，以促進程序正義。
  - B. 能源市場革新：分階段推動電業改革，促進電業公平競爭及合理經營，並推動能源價格合理化，導入綠色稅制等工具，以有效反映內、外部成本。
- (5) 在政策配套方面，新增推動綠色金融發展、中央與地方共同推動區域能源治理及深化能源風險溝通與教育，以強化能源轉型政策配套；另訂定包含能源發展目標、具體推動措施及政策工具之「能源轉型白皮書」並定期檢討，作為綱領後續具體推動機制。

另外，「再生能源發展條例」明訂推廣目標採滾動式管理，每兩年檢討一次，未來將據此強化再生能源推動，使目標量達到穩健成長，除滿足電價可接受、成本效益考量外，亦可減少二氧化碳排放，提高我國能源自給率與能源多元化，並促進我國綠色產業發展。

## 二、新聞掠影123篇(請詳參附件一光碟)

### 三、能源簡析6篇

#### 國外研究機構模擬電力部門應用節能減碳技術之模型分析結果

##### 1. 前言

2016 年國際能源展望 (International Energy Outlook 2016, IEO2016)參考案例中，截至 2040 年為止，世界淨發電量將從 2012 年 21.6 兆千瓦小時(2020 年 25.8 兆千瓦小時)提升至 2040 年 36.5 兆千瓦小時，增長幅度達 69%。

電力為世界上增長最快的最終用途能源消費形式，其增長趨勢已維持數十年。電力系統從獨立的小電網，持續發展至國家綜合市場乃至國際市場。經濟增長為電力需求增加的重要因素，儘管與過去二十年相比，世界國內生產總值(Gross domestic product, GDP)增長放緩，但電力需求仍持續成長，特別是新興的非經濟合作暨發展組織 (Organization for Economic Co-operation and Development, OECD)。

2012 年非 OECD 國家發電量已超過世界電力需求的一半，其經濟將持續強勁地成長，總發電量從 2012 年 11.3 兆千瓦小時提升至 2040 年 22.3 兆千瓦小時，幾乎增長一倍，市場份額將達 61%(圖 1)。

一般而言，OECD 國家電力市場建設良好，電力消費模式較為成熟，其電力需求低於非 OECD 國家。OECD 國家 GDP 年增長率為 2.0%，雖然低於非經合組織國家的 4.2%，但 OECD 國家淨發電量從 2012 年 10.2 兆千瓦小時提高至 2040 年的 14.2 兆千瓦小時，增幅達 38%。



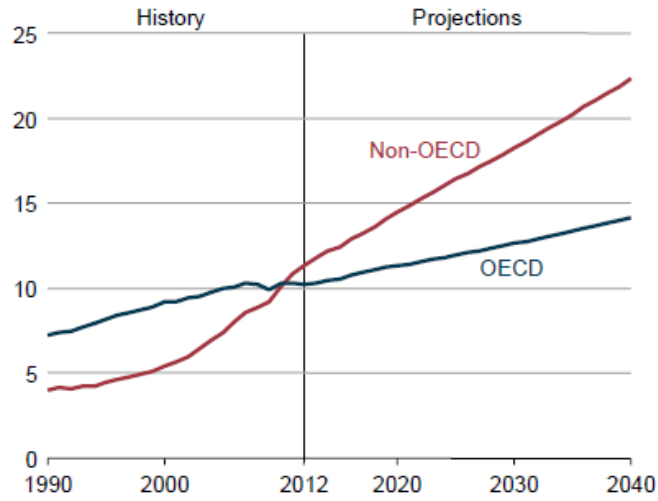


圖 1、1990-2040 年 OECD 國及非 OECD 國電量生產總值(兆千瓦小時)

IEO2016 參考案例反映經濟活動將繼續推動電力需求增長。然而，相對於 GDP 增長率，用電量增長率仍然較小。由於政策鼓勵及規範能源效率，使能源使用效率不斷提升，未來經濟增長率和電力需求增長率將不再同步(圖 2)。2005 年至 2012 年，世界 GDP 年增率為 3.7%，世界淨發電量年增率為 3.2%。在 IEO2016 參考案例中，世界 GDP 年增率 3.3%，世界淨電量從 2012 年至 2040 年，世界發電量年增率為 1.9%，將遠低於經濟增長比例。

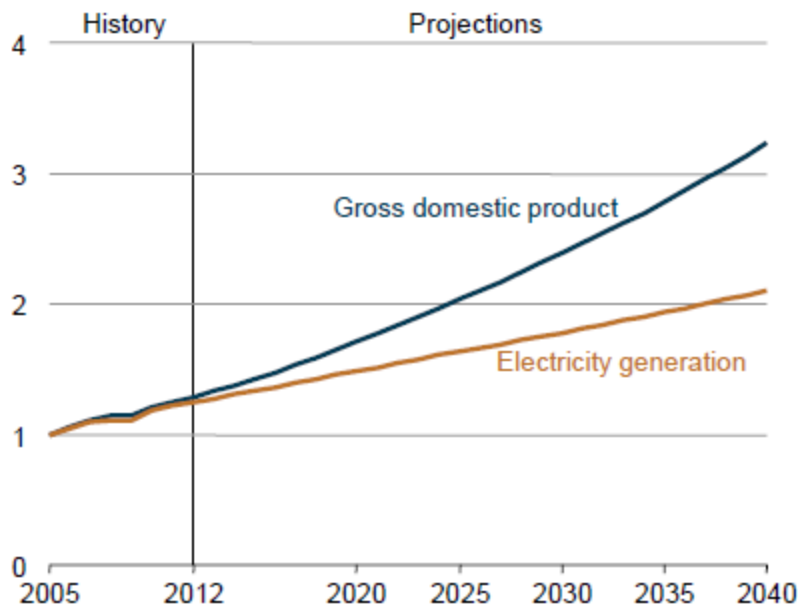


圖 2、2005-2040 年 GDP 及電量生產總值

## 2. 節能減碳技術模型及應用之國家、單位簡介

美國國家環境保護局(Environmental Protection Agency, EPA)，為美國聯邦政府獨立行政機構，主要負責維護自然環境並保護人類健康不受環境危害影響。EPA 由美國總統尼克森(Richard Nixon)提議所設立，所轄機構包括華盛頓特區總局、十個區域分局和超過十七個研究實驗所。環保局具體職責包括，根據國會頒布環境法令制定相關法規，從事或贊助環境研究及計畫，並加強環境教育以培養公眾環保意識與責任感。

在過去十年來，EPA 採用數種不同的經濟模型進行分析研究，特別針對燃煤電廠，提出並制定影響電力部門的若干法規。此規定將對美國未來數十年燃煤發電及整個電力系統的運行與發展產生深遠影響。諸多模型分析認為，政策規定將導致燃煤發電廠除役。在建模過程中，模型假設扮演影響模型分析結果的關鍵角色，進而左右 EPA 政策制定。其中，假設包括天然氣價格與發電設備所採用的汙染控制技術等。

綜合規劃模型(Integrated Planning Model, IPM)由國際 ICF(Inner City Fund)公司所設計開發。國際 ICF 公司主要對政府、商業與國際客戶，提供管理、技術與政策諮詢和建置服務，協助客戶構思、發展、執行與改善，並提供解決方案以解決複雜的自然資源、社會和國家安全問題。該公司主要針對四個市場提供服務，包括(1)能源、環境和交通市場、(2)健康、教育和社會計畫、(3)國土安全和國防、(4)金融市場。其客戶包括 EPA、Bipartisan 政策中心和艾迪生電力研究所(Edison Electric Institute, EEI)等。

IPM 為電力部門的多區域、動態、定性線性規劃模型。國際 ICF 公司集成規劃模型 IPM®提供批發功率、系統可靠性、環境約束、燃料選擇、傳輸、容量擴展以及發電機對電網中的線性優化框架。以最低成本手段，符合發電能源與容量需求為該模型之基本邏輯。同時，遵守包空氣污染法規、傳輸與工廠操作等特定限制。

該模型利用 Windows™數據庫平台與窗口，取得電力市場中每座電鍋爐與發電機詳細資訊。ICF 擁有北美與歐洲電力市場相關模型，IPM 使用範圍如下：

- 發電和輸電資產評價研究
- 長期區域能源與能力價格預測
- 空氣排放戰略與污染排放標準
- 投資組合優化策略
- 替代環境監管標準之影響評估
- 燃料價格變化之影響評估
- 經濟或電力需求增長分析
- 潛在建設評估，以確定新建物或傳輸設備之最佳組合
- 評估發電廠退役時間
- 環境決策之最佳時序訂定
- 熱電聯產(Combined heat and power, CHP)分析
- 需求面之訂價衝擊
- 未服務負載之概率與成本評估

### 3. 模型分析結果作為政策實施參考實例

IPM®多功能性允許用戶指定使用自身提供的數據集，已被用於聯邦能源管理委員會(Federal Energy Regulatory Commission, FERC)

區域傳輸組織(Regional Transmission Organizations, RTO)成本效益分析，以及 EPA 對公共事業空氣排放之分析。美國電力部門應用節能減碳技術模型制定政策之實例，如表 1。

表 1、模型分析結果作為政策實施參考實例<sup>54</sup>

政策名稱	年度	類別狀態	政策類別	政策目標
清潔空氣州際規則	2011年	強制性	政策支持/戰略規劃	減少溫室氣體
汞和空氣有毒物質標準	2011年	強制性	機構監控/政策支持/制度創造	減少溫室氣體
清潔電力計畫	2014年	強制性	機構監控/政策支持/制度創造	減少溫室氣體

EPA 清潔空氣州際規則(Clean Air Interstate Rule, CAIR)，針對煙塵(細顆粒物質)和煙霧(臭氧)之排放量，減少東部二十八州二氧化硫及氮氧化物排放量上限與交易計畫。要求東部減少不良氣體之排放，以降低細微顆粒與臭氧污染對下風向地區之影響。2015年1月1日 CAIR 已被跨國空氣污染規則(Cross-State Air Pollution Rule, CSAPR)取代。

CSAPR 與 CAIR 均旨在調節州際間空氣污染，規則中允許州際間進行排放量信用交易。在 CSAPR 下，美國東部二十三州須大幅度減少二氧化硫與氮氧化物排放量，二十五州則必須在臭氧季節減少氮氧化物排放量(圖 3)。

<sup>54</sup> <https://www.iea.org/policiesandmeasures/renewableenergy/>

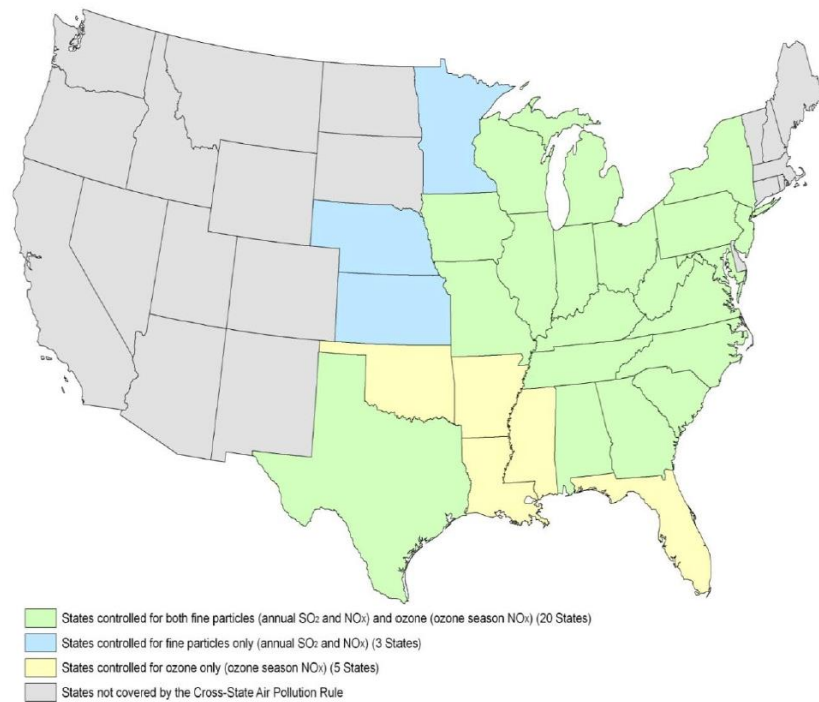


圖 3、美國各州受 CSAPR 規範說明

2011 年，EPA 頒布一項限制發電廠排放汞與其他有毒空氣污染物量等相關規則。汞和空氣有毒物質標準(Mercury and Air Toxics Standards, MATS)針對來自全國 580 多家煤電和燃油電廠，制定汞和其他有害污染物相關規範標準，該規則要求新建和現有的燃煤電廠減少汞和其他重金屬(如砷，鉻和鎳)以及酸性氣體(如氯化氫和氟化氫)之排放。該規則規定污染物的排放限制，並允許採取一些合格措施例如，發電廠可使用一系列污染控制技術，例如濕/乾式洗滌器、乾式吸附劑注射系統、活性炭注射系統與織物過濾器，以達到降低污染物排放標準。MATS 要求發電廠於 2015 年前達標，允許發電廠有一年緩衝期，將期限推遲至 2016 年。

EPA 於 2014 年發布清潔能源計畫草案，旨在減少化石燃料發電率、促進再生能源並提高消費端能源使用效率，擬 2030 年前發電廠的排放量較 2005 年減少 30%。依照此計畫規範，發電廠商每年需減

少二氧化碳排放約 5 億噸，燃煤電廠將遭受重大的打擊。尤其是服役時間較長之發電廠(目前全美燃煤電廠平均廠齡為 42 年)，必須作出提前退役之決定。

#### 4. 結論與建議

綜觀全球，化石燃料(煤，石油，天然氣)仍為美國電力生產主要來源(圖 4)。核能則為許多歐洲經濟區域國家的重要來源，再生能源對發電之貢獻率仍小。儘管會員國風力與太陽能發電之增長率高，但水力發電(主要是大型水電站)仍然為主要再生能源。另外，少數會員國對使用熱電聯產有重大發展，但仍低於歐盟目標。

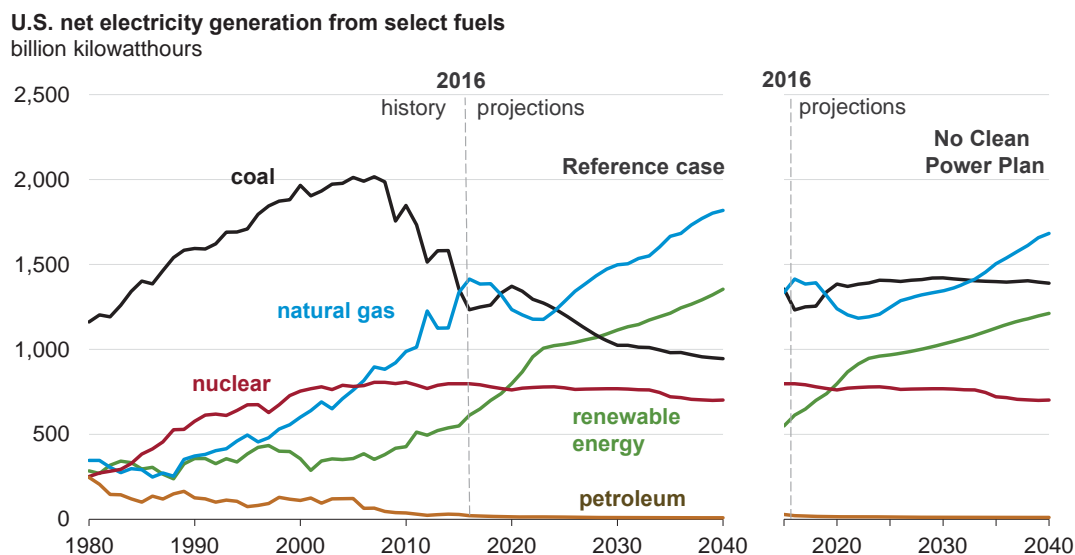


圖 4、美國各種來源所生產之總電量

隨著需求不斷增長，受到清潔能源計劃(Clean Power Plan, CPP)推動及再生能源稅收抵免的短期利誘(圖 5)，新增產能主要驅動因素之化石燃料將逐漸退役。即使 CPP 未實施，只要天然氣價格持續低廉與稅收減免，亦將導向天然氣和再生能源成為主要新一代能源來源。

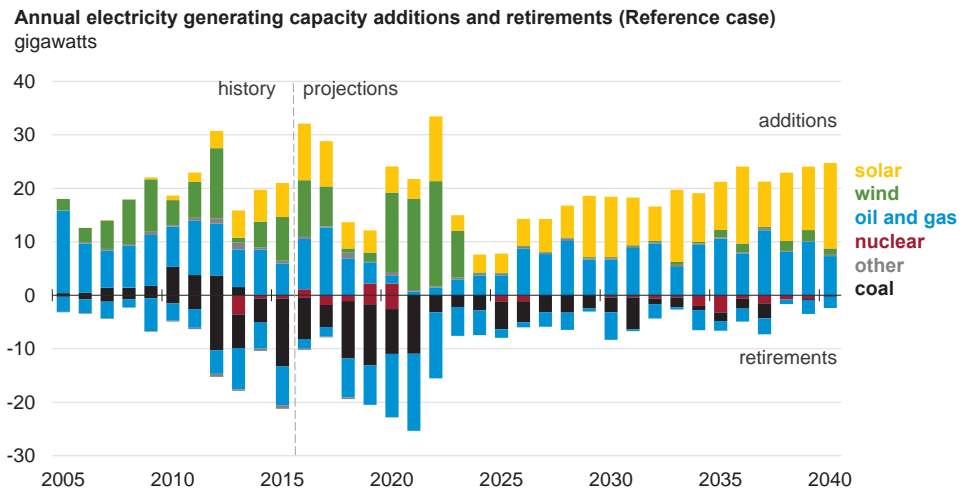


圖 5、電力來源及退役項目(%)

美國電力部門包括工業、商業、公共與住宅客戶之發電、輸配電、營銷等方式提供服務，亦包括許多監管該行業之公共機構。美國電力市場受到不同公共機構監管。核電廠安全由核管理委員會監督；分銷部門之經濟監管通常由公用事業委員會進行；國家間傳輸部分則由聯邦政府通過聯邦能源管理委員會監管。

台灣電力部門包括：發電、傳輸、配電、營銷電力。2007 年電力部門火力發電占比為 68.8%，二氧化碳排放約占全國總排放量 59%。節能減碳措施，將使電力部門成為首要衝擊對象，政府陸續提出「再生能源發展方案」及「擴大國內天然氣使用方案」等能源替代方案，將對電力部門成本效益產生不確定的影響。我國未來 CO<sub>2</sub> 減量目標的挑戰，應提供不同的選擇。

短期政策方面，台灣近期由於無法使用核能機組與 CCS 技術等限制，擴大燃氣使用與提昇效率，仍為現階段較佳選擇。長期策略方面，除了目前積極進行減碳計畫，發展再生能源、提升發電效率等方式外，公司行號可考慮合作投資非電業或國外計畫型減量專案，以取得更多碳抵換權。另外，提供電業及用戶足夠誘因設置智慧電

表，方能有效推動智慧電表之普及率。智慧電錶裝置只是起步，電價費率結構與其他應用軟體之應用發展才是推動關鍵。電力需求預測，可藉由智慧電表裝設，加以理解全國用電狀況，再搭配專家學者分析，達到電力需求預測及監測，以利未來相關政策之擬定。

## 5. 參考文獻

1. [https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383(2017).pdf)
2. <http://www.rff.org/files/sharepoint/WorkImages/Download/RFF-DP-12-52.pdf>
3. [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2016).pdf)
4. <https://www.icf.com/resources/solutions-and-apps/ipm>



## 國外研究機構模擬工業部門應用節能減碳技術之模型分析結果

### 1. 前言

目前全球工業部門佔整體能源消費量約 54%，相較於其他部門消耗更多的能源，溫室氣體排放量佔整體約 40%(圖 1)。2013 年工業部門能源消費成長 2.3%，其中 60% 貢獻來自於中國大陸與印度，此兩國工業部門最終能源消費成長 3.6%。經濟合作暨發展組織 (Organization for Economic Co-operation and Development, OECD) 國家的工業部門能源使用成長 3.3%，而非洲緩慢成長 1.2%，中東地區則下降 1.9%，拉丁美洲地區亦下降 0.9%。

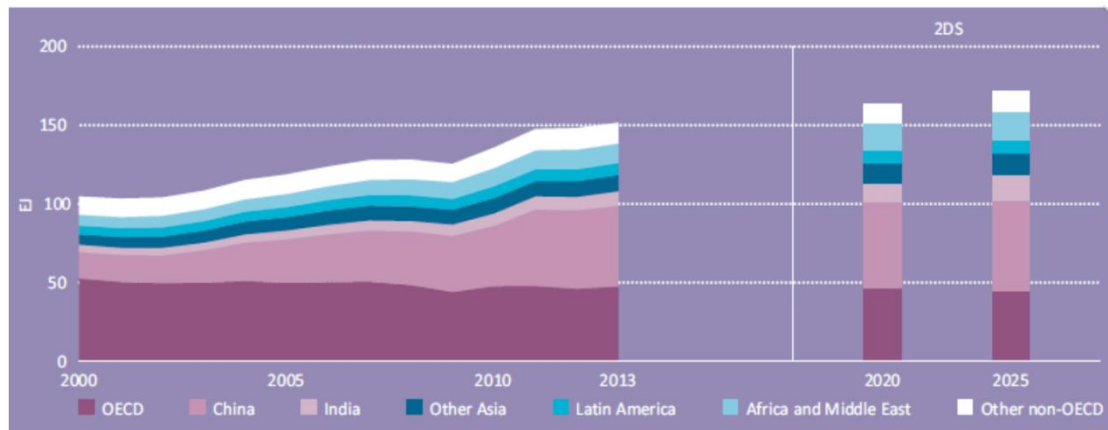


圖 1、全球工業部門能源使用分佈<sup>55</sup>

美國能源資訊署(Energy Information Administration, EIA)將工業部門依其能源消費情況區分為三種不同之產業類型，包括能源密集製造業、非能源密集製造業及非製造業(表 1 表 7)。工業部門各產業消耗的燃料混合與強度，依據其國家經濟活動水準與組合、技術開發情況而有所不同(圖 2)，全球工業次級部門(Sub-sector)總產值如圖 3 所示。

能源於工業部門之用途廣泛，例如加工、裝配、蒸汽、熱電聯

<sup>55</sup> IEA (2016), Energy Technology Perspectives 2016.

產、工藝加熱、製冷、建築照明、暖氣與空調。工業部門能源消耗亦包括基本化學原料，例如液態天然氣(Natural Gas Liquid, NGL)與石油產品(例如石腦油)等應用於製造有機化學品與塑料，而天然氣原料則用於生產農藥。

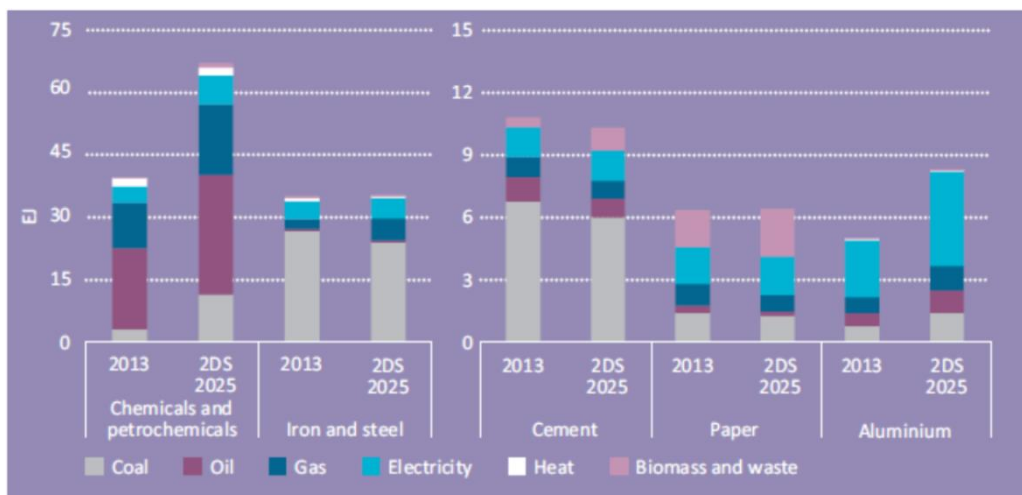


圖 2、全球工業部門各行業能源組合<sup>56</sup>

根據「2016年國際能源展望」(International Energy Outlook 2016) 研究報告指出<sup>57</sup>，全球工業部門能源消費由 2012 年之 222 千兆英熱單位(British Thermal Unit, BTU)，預估於 2040 年將增加至 309 千兆 BTU，年均增長率為 1.2%。工業部門大部分能源消費的長期增長，皆發生於非 OECD 國家。2012 年至 2040 年非 OECD 國家工業部門能源消費之年均增長率為 1.5%，而 OECD 國家則為 0.5%。2012 年非 OECD 國家工業部門能源消費佔全球工業部門之 67%，預估至 2040 年將佔全球工業部門之 73%。

整體而言，工業部門能源使用由 2012 年之 73 千兆 BTU，增長至 2040 年之 85 千兆 BTU。根據「2016 年國際能源展望」研究報告

<sup>56</sup> IEA (2016), Energy Technology Perspectives 2016.

<sup>57</sup> <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/industrial.cfm>

顯示，OECD 國家工業部門能源使用情形緩慢增長，2012 年至 2040 年之年均增長率為 0.5%。工業部門能源使用量佔 OECD 國家整體能源使用量約 40%。在非 OECD 國家工業部門中，由於許多新興非 OECD 國家經濟體由原先之能源密集製造業轉型其他產業，能源消費由 2012 年之 64% 下降至 2040 年之 59%，其他部門能源消費則呈現上升。

在區域基礎上，根據「2016 年國際能源展望」研究報告顯示，預估工業部門組成變化最大者為中東地區與俄羅斯(採礦/開採佔非製造行業比重最大)、印度(農業佔非製造業比重最大)，其變化係由於生活水準提升及燃料市場的改變。上述地區之產業中，服務業增長相對較快，而非製造業部門則將放緩。對於印度而言，因農業發展趨緩，產業轉向服務業部門；對於中東地區與俄羅斯而言，此一轉變係因石油與天然氣開採產業成長趨緩所致。印度佔全球非金屬礦產比例擴大，部分原因係其國內建造業的快速增長。

表 1、全球工業部門：主要分類及其代表性產業<sup>58</sup>

產業分類	代表性產業
<b>能源密集製造業</b>	
餐飲	食品、飲料與煙草製品製造
紙漿與造紙	造紙、印刷及相關支援活動
基本化學	無機化學品、有機化學品(例如乙烯丙烯)、樹脂與農藥；包括化學原料
精煉	石油煉廠與煤製品製造業，包括用作原料的煤與天然氣

<sup>58</sup> <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/industrial.pdf>

鐵與鋼	鋼鐵製造業，包括焦爐
有色金屬	鋁與其他有色金屬，例如銅、鋅和錫
非金屬礦物	水泥與其他非金屬礦物，例如玻璃、石灰、石膏與粘土製品
<b>非能源密集製造業</b>	
其他化學品	藥品(藥用與植物)、油漆與塗料、粘合劑、洗滌劑等雜項化學產品，包括化學原料
其他工業	所有其他工業製造業，包括金屬耐用品(金屬製品、機械、電腦及電子產品、運輸設備及電氣設備)
<b>非製造業</b>	
農業、林業、漁業	農業、林業、漁業
礦業	採礦、石油與天然氣開採、以及金屬與非金屬礦物之開採
建造業	建築物(住宅與商業)、重土建工程、工業建築與專業貿易承包商

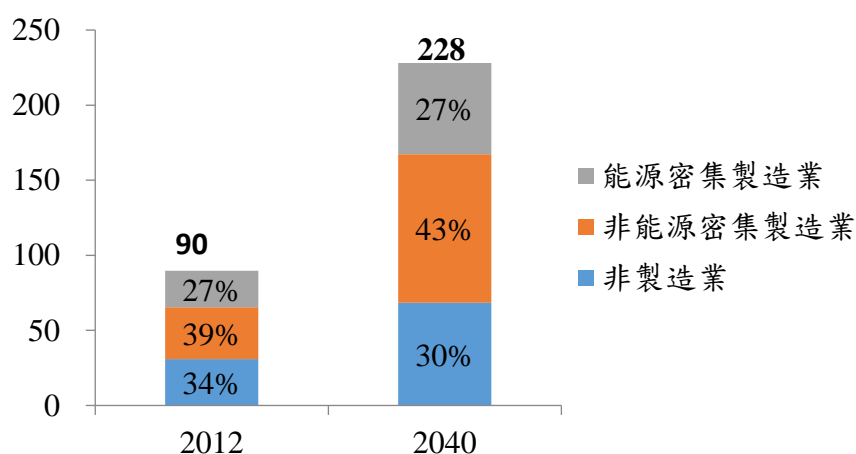


圖 3、全球工業次部門總產值(單位：兆美元)<sup>59</sup>

<sup>59</sup> <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/industrial.cfm>

## 2. 節能減碳技術模型及應用之國家與單位簡介

美國能源資訊署由美國能源部(Department of Energy, DOE)管轄，負責蒐集、分析及傳遞能源相關資訊，促進健全的政策制定，建立有效的市場，並使公眾瞭解能源、經濟與環境。環境評估包含煤炭、石油、天然氣、核能及再生能源等相關數據，但不會提出政策相關結論。

美國能源資訊署於1985年建立世界能源預測系統(World Energy Projection System Plus, WEPS+)<sup>60</sup>，其為一能源需求模擬系統，預測國際16個區域工業終端使用部門之能源消費情形。其中，世界工業模型(World Industrial Model, WIM)為世界能源預測系統中13項構成要素之一，該模型為發佈「2016年國際能源展望」工業部門預測之工具。世界能源預測系統係以年為基礎，推估至2040年國際16個區域製造業、農業、建築與礦業等部門之18種能源使用情形，該模型系統採用存量-流量(stock-flow)會計架構，依特定行業之外生產量表示產能。世界工業模型假設原先設備因產能逐年遞減而汰換。因此，存量-流量會計架構可接受模型系統納入因隨著時間經過所產生能源效率改變之條件。

另外，美國能源資訊署亦於2001年建置國家能源模型系統(National Energy Modeling System, NEMS)，主要為分析經濟變化、能源供需、以及能源價格等參數交互影響之整合模型，美國能源資訊署提出之「2017年度能源展望」(Annual Energy Outlook 2017)工業部門相關能源消費資訊，即以此模型作為預測之工具。

---

<sup>60</sup> <https://www.eia.gov/reports/index.cfm#/T1601,T132,T1301>

另外，MARKAL模型於2003年由英國能源研究中心(UK Energy Research Centre, UKERC)開發，主要應用於英國長期能源系統演化分析，協助決策者進行許多政策制定。MARKAL模型建置經費來自於政府政策相關計畫所提供之額外資金，例如英國永續氫能聯盟(UK Sustainable hydrogen energy consortia, UKSHEC)、日本-英國低碳社會計畫(Japan-UK Low Carbon Societies Project)。2007年發展出MARKAL- MACRO模型，主要作為能源系統總體經濟之實驗性測試。

MARKAL模型之次要應用為英國能源研究中心能源2050(UKREC Energy 2050)，此強化了模型中之技術描述，並開發MARKAL Elastic Demand模型版本，以驗證2050年減少二氧化碳排放量80~90%之經濟與技術可行性。<sup>61、62</sup>

### 3. 模型分析結果作為政策實施參考實例

美國能源資訊署公佈之「2016年國際能源展望」研究報告，提及以實際通貨膨脹調整後的總產出應用於估算工業部門的能源消費，將經濟活動分為部門與產業。總產出包括中間投入，例如購買能源、原物料、生產流程中使用的服務等提供構成經濟活動之所有產業銜接數據。相比之下，國內生產毛額(Gross Domestic Product, GDP)及其組成部分，不包括工業過程的中間投入。「2016年國際能源展望」研究報告亦分析工業總產值的關鍵組成部分，及其如何隨著時間的推移改變，有助於解釋工業部門能源消費之變化。

---

<sup>61</sup>

<https://www.theccc.org.uk/archive/aws2/4th%20Budget/CCC%20MARKAL%20Final%20Report%20-%20UCL%20Nov10.pdf>

<sup>62</sup> Andrew J. Jordan and John R. Turnpenny (2015), The tools of policy formulation: actors, capacities, venues and effects, Edward Elgar .

另外，根據「2017年度能源展望」報告指出<sup>63</sup>，美國能源市場之模型考量宏觀經濟成長、世界石油價格、技術進步與能源政策等因素之預測情形。而為預測2050年美國工業部門能源供給與需求，美國能源資訊署於技術方面，將工業模型納入技術改變，應用於修正以金屬為基礎產品耐久性與散裝化學品等產業，其能源密集度預測之持續性技術評估研究；環境方面，則研究散裝化學品、鋼鐵與水泥等碳密集產業之碳捕獲與封存可行性。根據「2017年度能源展望」報告案例分析結果，工業部門能源消費將由2016年之26千兆英熱單位增加至2040年之32千兆英熱單位，預期成長率超過25%。由於該國生產需求強勁，美國將於預測期間內成為潔淨能源出口國。

美國能源部聯邦能源管理計畫(Federal Energy Management Program, FEMP)之工業設施倡議(Industrial Facilities Initiative, IFI)協助聯邦機構提高設施的能源效率。除了傳統性耗能製程外，例如加熱、冷卻、照明、家用熱水等，如果設施或其製程包含高密度耗能，即被定義為工業。除了提高能源效率之外，IFI亦提供聯邦工業設施監管需求，包括行政命令 13423(Executive Order 13423)-強化聯邦環境、能源與運輸管理，要求聯邦設施、實驗室和工業建築物，在2015年前將能源消費量降低30%。通過與美國能源部工業技術計畫合作，IFI向聯邦工業設施提供關於能源、水與生產力評估之專業服務，包括訓練、協助提升效率及私人部門的融資。

英國政府於2011年公佈之第4期碳預算(UK Fourth Carbon Budget)，係應用MARKAL模型模擬英國2020年與2050年相對於1990年水準分別減少碳排放量37%與80%目標，並考量成本效益與

---

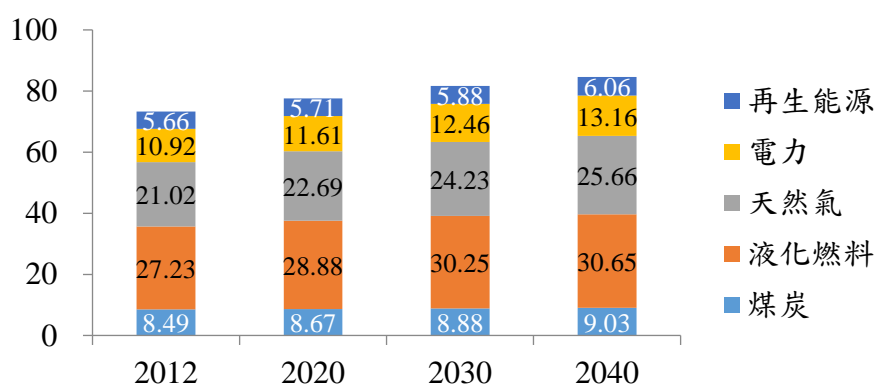
<sup>63</sup> [https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383(2017).pdf)

技術可行性下，分析可能採取之減碳路徑、成本與投資需求。其中，工業部門主要措施，包括提升能源效率、利用生質能產生之熱能取暖、發展碳捕獲與封存(Carbon Capture and Storage, CCS)技術等。

#### 4. 結論與建議

根據工業總產值、能源密集度(每單位產出之能源消費量)與工業組成差異，工業部門的能源消費量因地而異。企業能夠透過多種方式降低能源消耗，包括改善工業部門流程，以減少能源浪費，並回收能源消耗(通常為放熱過程)，增加熱電聯產的使用，以及回收材料與燃料投入，以降低成本並改善效率。

在工業燃料使用方面，天然氣與電力為 OECD 國家工業部門增長最快之能源使用形式(圖 4)，各種能源於 2012 年至 2040 年之年均增長率約為 0.7%(表 2)。非 OECD 國家增長最快之能源使用形式亦為天然氣(年均增長率為 2.2%)與電力(年均增長率為 1.6%)，但其再生能源消費量迅速擴大，2012 年至 2040 年之年均增長率為 1.7%，而液化燃料與煤炭消費量則分別增長 1.4%與 0.8%(圖 5)。全球工業部門大部分能源消費之增長係發生於新興非 OECD 國家。

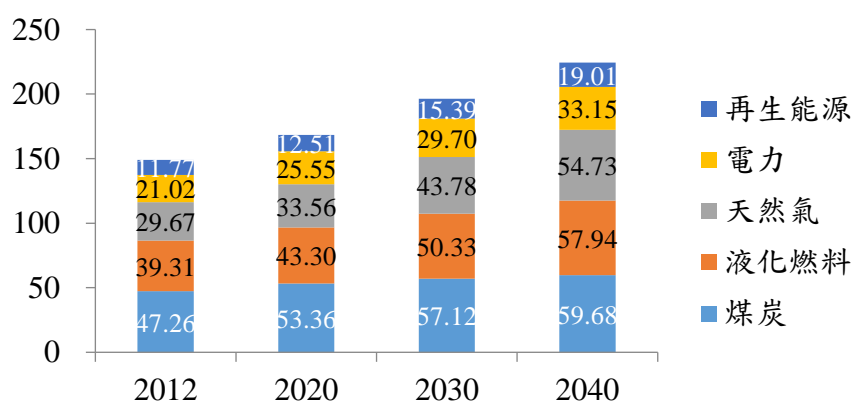


註：單位為千兆英熱單位。



圖 4、2012~2040 年 OECD 國家工業部門能源消費(依能源別區分)<sup>64</sup>

整體而言，未來我國於制定能源政策時，建議應持續釋放實質利多，例如提供租稅誘因、訂定設備能源效率標準或推廣使用能源管理系統，以支持高效率能源技術之導入。透過稽核與獎勵高效率能源設備建置，期能提升我國工業部門對於改善能源效率之重視。工業部門可應用當地原物料與能源資源，並以最大程度進行製程整合與效率改善，例如結合鄰近生產地之可使用工業副產品，以減少製造過程產生之二氧化碳排放量。最後，建議我國政府借鏡國際工業部門減碳經驗與作法，透過制定穩定、長期及低碳之政策方案，並為工業部門設定二氧化碳減量目標，期能朝向減少溫室氣體排放之碳經濟時代邁進。



註：單位為千兆英熱單位。

圖 5、2012~2040 年非 OECD 國家工業部門能源消費(依能源別區分)<sup>65</sup>

表 2、2012~2040 年各國能源使用年均增長率(依地區別與產業別區分)<sup>66</sup>

<sup>64</sup> <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/industrial.cfm>

<sup>65</sup> <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/industrial.cfm>

<sup>66</sup> <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/industrial.cfm>

區域	「2016 年國際能源展望」工業部門			服務部門/ 其他經濟
	能源集中 製造業	非能源集中 製造業	非製造業	
<b>OECD</b>	1.5	2.4	1.8	2.0
<b>OECD 美洲</b>	2.0	3.5	2.5	2.5
美國	1.1	2.4	1.5	1.9
加拿大	1.8	2.2	2.1	2.1
墨西哥/智利	3.2	4.2	2.2	3.2
<b>OECD 歐洲</b>	1.2	1.9	1.1	1.8
<b>OECD 亞洲</b>	1.2	1.5	1.4	1.4
日本	0.0	0.4	0.2	0.7
南韓	2.2	2.2	1.9	2.0
澳洲/紐西蘭	2.5	1.8	2.3	2.7
<b>非 OECD</b>	4.1	4.6	3.3	4.9
<b>非 OECD 歐洲/歐亞</b>	2.3	2.2	0.8	3.4
俄國	2.3	1.8	0.2	3.4
其他	2.3	3.0	2.0	3.3
<b>非 OECD 亞洲</b>	4.5	4.8	3.7	5.2
中國	4.3	4.8	3.2	5.6
印度	5.4	5.8	4.0	6.8
其他	4.0	4.0	4.2	3.8
中亞	3.5	4.4	3.0	7.3
非洲	2.8	4.3	2.9	3.8
<b>非 OECD 美洲</b>	2.3	2.1	3.0	2.8

區域	「2016 年國際能源展望」工業部門			服務部門/ 其他經濟
	能源集中 製造業	非能源集中 製造業	非製造業	
巴西	2.4	1.8	3.0	2.5
其他	2.3	2.3	3.0	2.9
全世界	3.4	3.9	2.0	3.5

## 5. 參考文獻

1. <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/industrial.cfm>
2. <http://www.nrel.gov/docs/fy17osti/66939.pdf>
3. <http://www.nrel.gov/docs/fy15osti/64467.pdf>
4. <https://setis.ec.europa.eu/>
5. <https://setis.ec.europa.eu/related-jrc-activities/jrc-setis-reports>
6. [https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383(2017).pdf)
7. <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/data/browser/#/?id=6-AEO2017&cases=ref2017&sourcekey=0>
8. [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/weps/documentation/pdf/wepsplus\\_2016\\_industrialmodule.pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/weps/documentation/pdf/wepsplus_2016_industrialmodule.pdf)
9. <https://www.eia.gov/reports/index.cfm#/T1601,T132,T1301>
10. Andrew J. Jordan and John R. Turnpenny (2015), The tools of policy formulation: actors, capacities, venues and effects, Edward Elgar .
11. Committee on Climate Change (2010), The Fourth Carbon Budget – reducing emissions through the 2020s.
12. Lisa M.H. Hall, Alastair R. Buckley (2016), A review of energy systems models in the UK: Prevalent usage and categorisation. Applied Energy, Vol. 169, P607-628.



## 國外研究機構模擬運輸部門應用節能減碳技術之模型分析結果

### 1. 前言

運輸部門的化石能源佔總能源消費量之比重日益增加，根據「2016年國際能源展望」(International Energy Outlook, 2016)報告指出，運輸部門能源消費將由2012年之104千兆英熱單位成長至2040年之155千兆英熱單位，年均成長率為1.4%。事實上，運輸活動對環境所產生的負面影響，例如二氧化碳、氮氧化物(NOx)及細懸浮微粒(PM2.5)等與日俱增，皆已成為全球氣候變遷及溫室效應關切議題之一。為減緩對環境衝擊，近期運輸部門積極推動公共運輸與新軌道運輸路網，並鼓勵民眾使用電力驅動車輛。隨著前述趨勢演進，運輸部門的能源消費型態與需求已產生結構性變化，對電力使用需求日增，並逐漸減少對原油及石油之依賴。

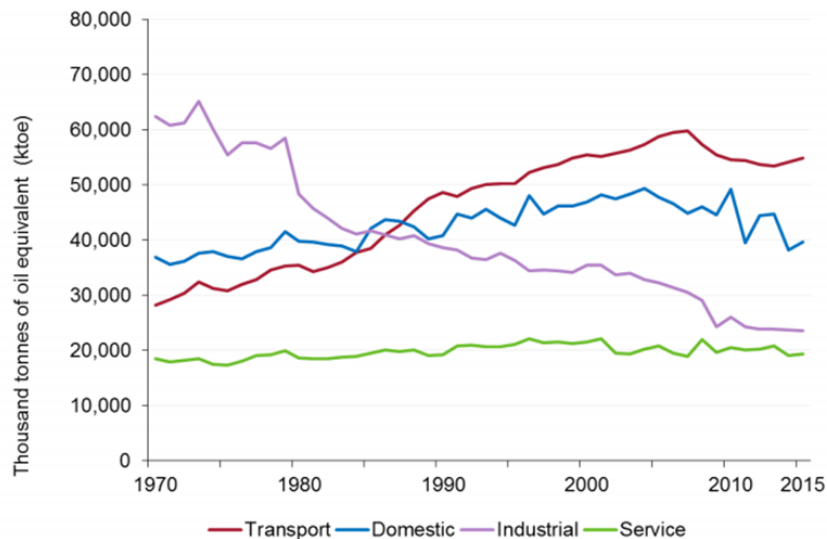


圖 1、英國各部門能源消費趨勢<sup>67</sup>

英國 2015 年運輸部門佔所有部門最終能源消費量之比例最大(40%)，其次分別為住宅部門(29%)、工業部門(17%)與服務業部門

<sup>67</sup> Lisa M.H. Hall, Alastair R. Buckley (2016), A review of energy systems models in the UK: Prevalent usage and categorization.

(14%)(圖 1)。事實上，1970 年至 1984 年之間，工業部門能源消費佔比最大，自 1985 年住宅部門能源消費佔比首度超過工業部門，直至 1988 年運輸部門成為最大的能源消費部門，並持續高居各部門之首。若針對 2008 年至 2015 年學術論文中各部門被提及次數而言，以運輸部門研究與討論之次數最多，如圖 2 所示。

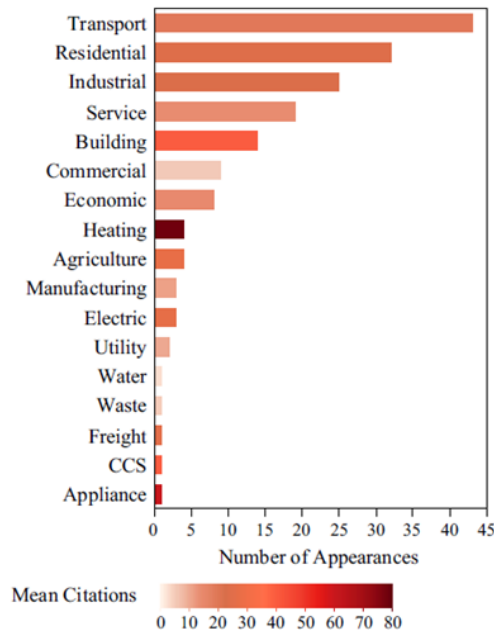


圖 2、英國能源相關學術文獻中各部門出現之次數統計圖<sup>68</sup>

英國擁有豐富的天然資源，運輸部門能源供給以煤炭、原油及天然氣為主，但仍以發展潔淨的再生能源作為長期電源規劃方案。英國政府除了透過制訂再生能源相關政策，更積極發展新技術及扶植國內相關產業，期能維持英國再生能源之競爭力。推估至 2020 年英國運輸部門電力將有 10% 來自於再生能源，如圖 3。

<sup>68</sup> Lisa M.H. Hall, Alastair R. Buckley (2016), A review of energy systems models in the UK: Prevalent usage and categorization.

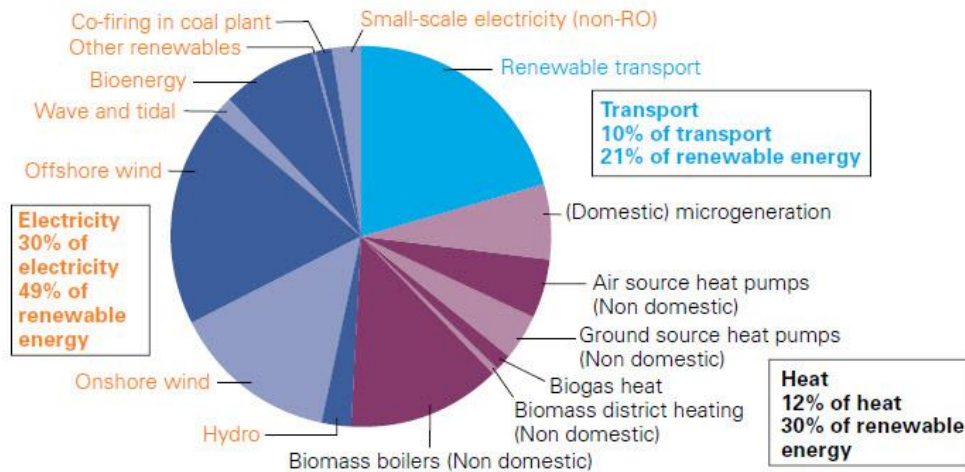


圖 3、英國 2020 年再生能源發電配比<sup>69</sup>

德國於 1980 年即開始規劃能源轉型，為了強化能源安全、減緩溫室氣體排放，並希望藉由發展再生能源，減少對石油、天然氣、煤炭及核能發電之依賴。德國能源政策以 3E 為最高指導原則，包括能源安全(Energy Security)、經濟效率(Economic Efficiency)及環境永續(Environmental Sustainability)，目標設定 2020 年與 2050 年運輸部門能源消費相較於 2005 年水準分別減少 10%與 40%，並達成 10%最終能源消費來自於再生能源(圖 4)。

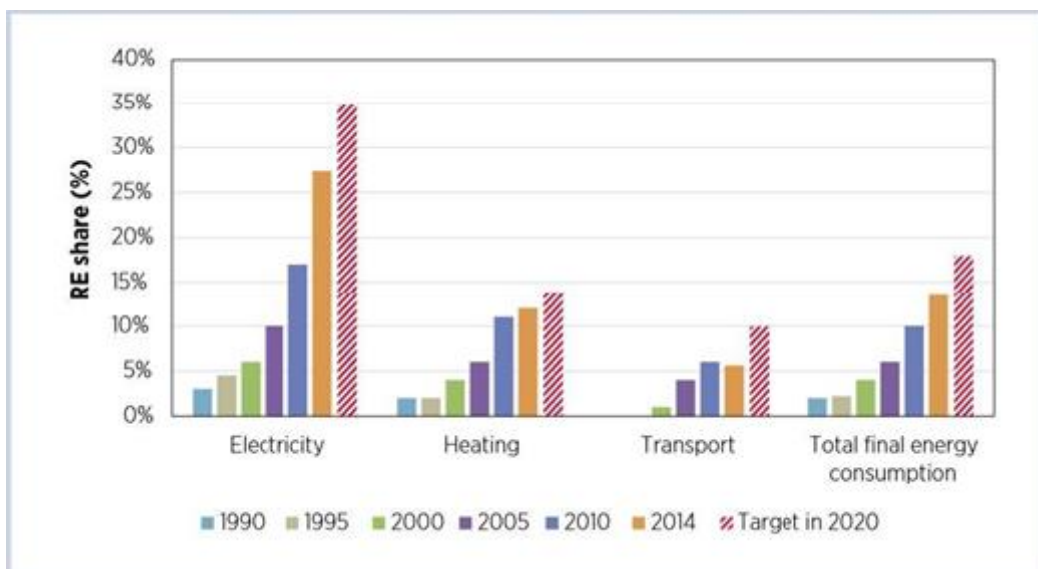


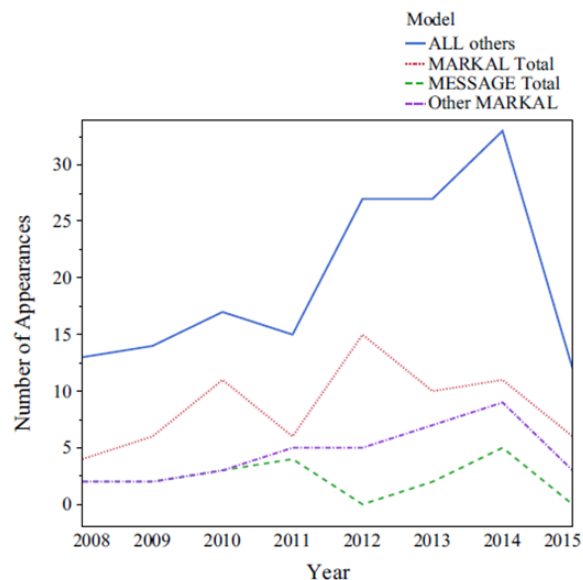
圖 4、德國各部門再生能源發電配比<sup>70</sup>

<sup>69</sup> Global CCS Institute, Outcome for each Energy Sector.

## 2. 節能減碳技術模型及應用之國家與單位簡介

1970 年代的石油危機後，為保持能源供給之穩定性，相關的能源系統規劃模型相繼推出。然而，隨著全球氣候暖化，該模型探討重點已逐漸轉為環境導向應用(例如二氧化碳排放量預估)。且由於增加了變量(例如太陽光電模組與風力發電)、成本影響(新基礎設施、需求平衡)及系統技術變革等因素，其運跑結果將更符合實際情況。

現有能源模型十分多樣化，各模型皆有各自獨特之計算方式、技術與解決方案。英國知名且發展數十年之節能減碳技術模型，例如 MARKAL(The MARKet Allocation Model)、MESSAGE(Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental impact model)，其研究跨越之主題與領域廣泛。事實上，英國近期新研究方法係找出研究目的之綱要，結合多項具有不同目標的模型，再以一框架統整並進行綜合分析。英國文獻資料顯示，MARKAL 及 MESSAGE 使用率保持穩定，且較多文獻參考使用(圖 5)。



<sup>70</sup> IRENA (2015), Renewable Energy Prospects: Germany. REmap 2030-A Renewable Energy Roadmap.



圖 5、英國能源相關文獻所使用之模型<sup>71</sup>

UK MARKAL 模型起初係由英國政府資助的一項研究，爾後版本則由英國能源研究中心(UK Energy Research Centre)繼續開發。MARKAL 模型基於線性規劃找出最適成本技術組合，包括燃料處理與供給、基礎建設、二次能源、終端科技和能源服務需求等各要素，完整描繪英國從外地進口至本地生產的能源系統架構(包含化石燃料與再生能源)。

AsTra(ASsessment of TRAnsport Strategies)模型建立於 1997 年，由德國卡斯魯爾萊茵威斯特法倫水研究所(IWW Karlsruhe)與義大利運輸顧問公司(TRT Trasporti e Territorio Srl, TRT)共同開發，主要作為分析歐盟運輸政策之策略性評估，其由下往上並納入長期與整合性衝擊因素，2007~2010 年連結氣候政策評估、高油價經濟衝擊評估、再生能源政策造成之就業影響等因素模型。2011~2013 年發展 AsTra-EC 模型版本，由德國弗朗霍夫協會系統與創新研究所(Fraunhofer Institute Systems and Innovation Research, ISI)與義大利運輸顧問公司(TRT)改良，模型納入包括人口與社會結構、經濟、國際貿易、運輸、車輛數量、環境等條件。

英格蘭高速公路管理局(Highways England)在 2015 年委託英國運輸研究實驗室(Transport Research Laboratory, TRL)於主要路網(Strategic Road Network, SRN)進行動態無線電力傳輸(Dynamic Wireless Power Transfer, DWPT)系統之可行性研究，試驗時間約 1.5 年，以確保主要路網在未來大量電動混合車輛上路後能夠提供安全的道路環境(圖 6)。

---

<sup>71</sup> Lisa M.H. Hall, Alastair R. Buckley (2016), A review of energy systems models in the UK: Prevalent usage and categorization.

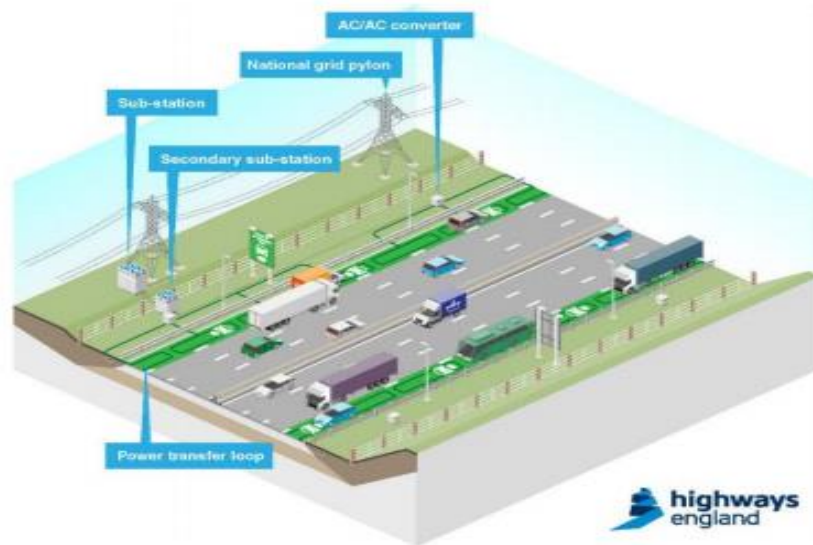


圖 6、英國政府利用模型檢驗高速公路電氣化政策的可能性

為達成德國政府設定運輸部門最終能源消費量 2020 年減少 10%，2050 年減少 40%(相對於 2005 年水準)之目標，德國 PricewaterhouseCoopers(PwC)顧問公司應用其發展之運輸模型，該模型假設於 2050 年電力平均排放係數基礎下，模擬於不同情境之下，運輸部門可減少之二氧化碳排放量，以期符合德國中長期減碳目標。

### 3. 模型分析結果作為政策實施參考實例

UK MARKAL 模型已對英國的減碳政策造成深遠的影響。英國 2003 年與 2007 年能源白皮書、2008 年氣候變遷法案、氣候變遷委員會(Committee on Climate Change, CCC)之首份報告、能源與氣候變遷署和氣候變遷委員會之第四期碳預算報告等重要文件，均是由 UK MARKAL 模型所支持的研究作為基礎(圖 7)。

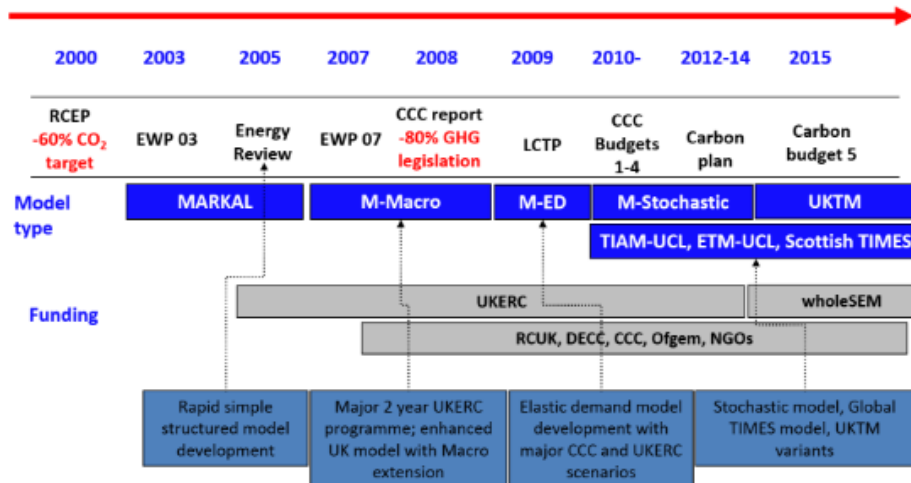


圖 7、英國政府利用 MARKAL 模型作為減碳政策的制訂參考

歐盟聯合研究中心(Joint Research Centre, JRC)於 2012~2014 年應用 ASTRA 模型調查歐洲運輸部門長期挑戰與發展歐洲運輸研究政策之策略性方案，且於 2015 年發佈「運輸產業的未來」(The Future of the Transport Industry)技術報告。

英格蘭高速公路管理局為確認動態無線電力傳輸系統之減碳潛力，於一條長度一公里的單向動態無線電力傳輸道路進行試驗，研究結果發現行駛於該道路上的動態無線電力傳輸車輛比例逐漸增加，其中當輕型車輛為 10%至 30%，重型車輛為 5%至 75%時，預估可減少超過 40%的二氧化碳排放量。此研究協助英國政府將動態無線電力傳輸系統納入二氧化碳減排方案，以期達成英國 2050 年減碳 80% 的政策目標。

德國 PwC 顧問公司應用運輸模型調查運輸部門之減碳潛力(圖 8)。研究結果顯示，目前汽車節能科技已逐漸呈現穩定成長趨勢，然而全新的科技尚未能夠深入市場。運輸部門若無法進行大幅度的轉型，可能使德國政府難以達到預期的減碳目標。該報告提出重要評論，包括(1)若將部分貨物運輸自公路部門轉移至鐵路部門，將可產

生極大的減碳效果；(2)運輸部門二氧化碳排放量減少之情況下，所需支出有提高之傾向；(3)惟有在大量採用電動車的情況下，始可能達成德國政府的減碳目標；(4)高成本新興動力技術將隨著產品市場化而逐步降低成本，對化石燃料的需求亦將減少。若要達成國家減碳目標，必須擴大基礎建設投資與政府資金挹注；(5)油電混合科技係較為實際的發展方向，而油電混合比例亦將影響國家減碳目標的貢獻程度。

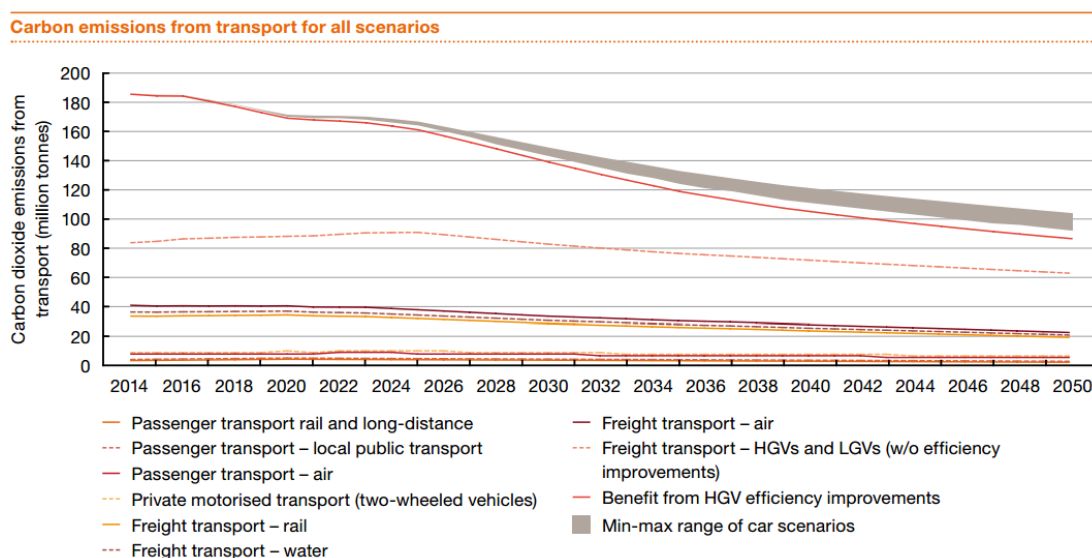


圖 8、德國 PwC 顧問公司模擬運輸部門於各情境下之碳排放量

#### 4. 結論與建議

全球暖化議題受到各國政府重視，節能減碳成為全世界共同目標，且由於大部分國家之運輸部門為前兩大溫室氣體排放部門，因此，運輸部門節能減碳相關政策之制定顯得更為重要。

在環境變遷議題上，英國為世界首位將碳排放量納入法規、提出碳預算的國家，其於 2008~2012 年總計減少 22.5% 之溫室氣體排放量(以 1990 年為基準)，如期達成京都議定書之減量目標(減少 12.5%)與第一期碳預算目標(減少 22%)。英國主要節能措施包括綠色

方案、能源公司義務、能源白皮書及減稅補助等，整體節能方向值得我國參考。於推動再生能源方面，可參考英國建立無線充電設備，以提高民眾購買電動車之意願，達到降低運輸部門碳排放量之可能性。

此外，德國政府於 2010 年提出能源轉型概念，被定義為能源系統長期結構性的變化。德國走向分散式再生能源與改善能源效率，至目前為止，能源轉型已經成功取代核能；未來目標為廢除煤炭，減少非潔淨能源的使用，以期至 2050 年建立 60% 來自再生能源之能源系統。德國汽車工業發達，新型動力技術領先全球，認為油電混合車為較實際之發展方向，但因目前電動車技術尚未完全成熟，故需有其他配套措施或政策支應，以達成節能減碳目標。由於零星措施通常可發揮之潛力有限，必須多種方式並行，例如節約能源與提高能源效率。由德國能源政策制定過程觀之，大部分係透過政黨協商、專家討論及公民參與，再做一完整分析，最後由執政黨進行最終決策並具體提出未來發展之目標。透過政府目標的宣示，各部門與執行機構逐年擬定各項法規，而全體致力朝向目標努力。

國家能源政策攸關整體經濟、環境發展，建議我國政府參考先進國家相關經驗，滾動式修正能源政策，並透過民眾宣導與溝通，提高對於再生能源之認識與接受度，以使我國再生能源產業能在穩健中求成長，及早達成 2025 年再生能源推動目標。

## 5. 參考文獻

1. Department of Transport (2017), Freight Carbon Review 2017.
2. European Commission (2015), The Future of the Transport Industry Report, JRC Technical Reports.

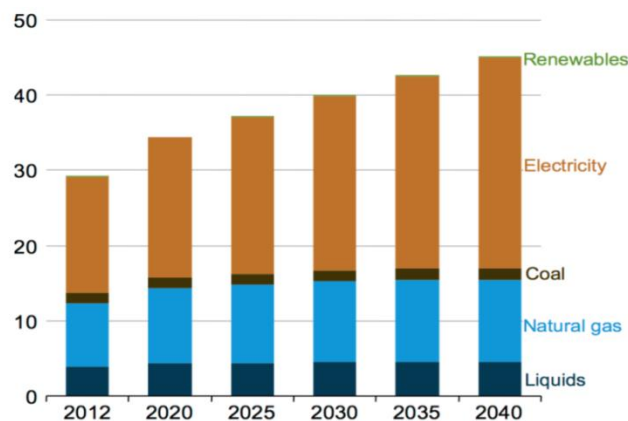
3. Global CCS Institute, Outcome for each Energy Sector,  
<https://hub.globalccsinstitute.com/publications/uk-renewable-energy-strategy/outcome-each-energy-sector>  
(最後瀏覽日期：2017年6月21日)
4. GOV. UK, This series brings together all documents relating to Energy Consumption in the UK,  
<https://www.gov.uk/government/collections/energy-consumption-in-the-uk>  
(最後瀏覽日期：2017年6月21日)
5. Highways England (2015), Feasibility study: Powering electric vehicles on England's major roads.
6. IRENA (2015), Renewable Energy Prospects: Germany. REmap 2030-A Renewable Energy Roadmap.
7. Lisa M.H. Hall, Alastair R. Buckley (2016), A review of energy systems models in the UK: Prevalent usage and categorization. Applied Energy, Vol. 169, P607-628.
8. PricewaterhouseCoopers (2015), Energiewende Outlook: Transportation sector.
9. UCL Energy Institute Models,  
<https://www.ucl.ac.uk/energy-models/models/uk-markal>  
(最後瀏覽日期：2017年6月21日)
10. U.S. Energy Information Administration (2016), International Energy Outlook 2016.

## 國外研究機構模擬服務業部門應用節能減碳技術之模型分析結果

### 1. 前言

服務業係為社會提供勞務或服務之業務，而非銷售貨物，根據美國人口普查局(U.S. Census Bureau)定義之服務業部門，其範疇包括倉儲與卡車運輸服務、資訊供應服務、證券或投資服務、專業技術和科學服務、廢棄物管理服務、保健與社會救助服務、藝術與娛樂服務等產業組成。相對經濟活動集中於工業或農業之國家，國家經濟集中於服務業者時常被認為已開發國家。

服務業部門能源消費係由氣候、可供使用能源來源與技術、建築與設備效率等因素決定。建築外殼與服務業設備能源效率則由服務業部門公司於建物建造與營運時之經營決策，此決策將受該國家能源政策與法規之影響。由圖 1 可知，全球服務業部門之電力消費逐年增加。



註：單位為千兆英熱單位(British Thermal Unit, BTU)。

圖 1、2012~2040 年全球服務業部門能源消費(依能源別區分)<sup>72</sup>

根據「2016 年國際能源展望」(International Energy Outlook 2016) 研究報告中顯示，服務業部門能源消費增長率以非經濟合作暨發展

<sup>72</sup> IEO2016, [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2016).pdf)

組織(Organization for Economic Co-operation and Development, OECD) 國家較高。美國能源資訊署(U.S. Energy Information Administration, EIA)評估 2012 年至 2040 年全球服務業部門能源使用平均增長率為 1.6%。非 OECD 國家服務業部門能源使用量每年提高 2.4%，OECD 國家服務業部門能源使用量則增長 1.1%。許多 OECD 國家因國內生產毛額(Gross Domestic Product, GDP)增長趨緩，且人口增長率不斷下降，預計服務業部門能源需求增長率將會逐漸下降。此外，隨著時間經過，節能技術提升與基礎設施更新，緩和能源需求的增長。表 1 為各國服務業部門能源消費預測，主要區分為 OECD 地區及非 OECD 地區，以百分比方式呈現平均年度變化情形。

表 1 各國服務業部門能源消費年均變化率<sup>73</sup>

區域	年均變化率			
	2012~20 年	2020~30 年	2030~40 年	2012~40 年
<b>OECD 地區</b>	<b>1.6</b>	<b>0.9</b>	<b>0.8</b>	<b>1.1</b>
美洲	1.1	0.8	1.0	0.9
歐洲	1.9	1.2	0.8	1.3
亞洲	2.4	0.9	0.6	1.2
<b>非 OECD 地區</b>	<b>3.0</b>	<b>2.5</b>	<b>1.9</b>	<b>2.4</b>
歐亞	2.1	1.5	0.9	1.4
亞洲	3.7	2.9	2.1	2.9
中東	2.4	2.5	2.0	2.3
非洲	3.3	3.1	3.1	3.2
美洲	2.1	1.9	1.7	1.9

<sup>73</sup> IEO2016, [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2016).pdf)



全世界	2.1	1.5	1.2	1.6
-----	-----	-----	-----	-----

以英國為例，根據英國能源消費(Energy Consumption in the United Kingdom, ECUK)統計資料顯示，相對於 1970 年水準，2010 年英國服務業部門之能源密集度下降 60%(表 1)。

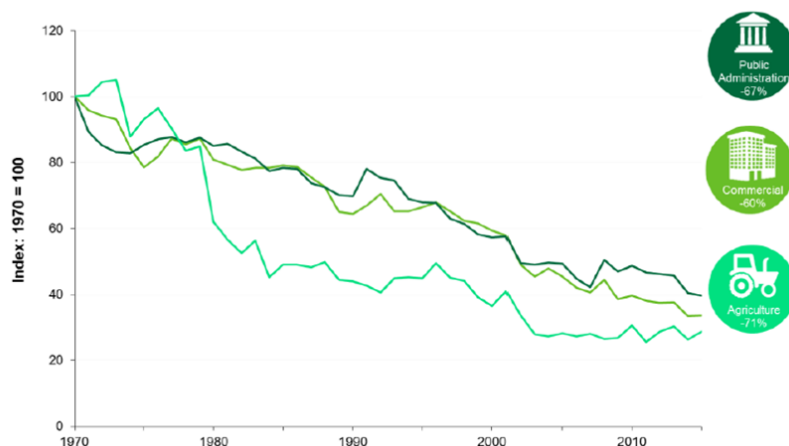


圖 2、1970~2010 年英國服務業部門能源密集度變化<sup>74</sup>

## 2. 節能減碳技術模型及應用之國家與單位簡介

為符合可負擔、安全及低碳能源之目標，由國際能源總署 (International Energy Agency, IEA) 於 2006 年所公告之「能源技術展望」(Energy Technology Perspectives, ETP)、以及 2016 年之 ETP 城市建築分析架構，其藉由使用全球模擬存量會計模型 (Global Simulation Stock Accounting Model)，將建築部門模型拆分為 33 個國家及地區的住宅與服務業部門，並進行長期之能源系統趨勢與技術需求分析。其中，服務業部門之能源使用範圍，包括貿易、金融、房地產、公共行政、健康照護、食品、住宿、教育及其他商業服務等相關活動<sup>75</sup>。

<sup>74</sup> <https://www.gov.uk/government/collections/energy-consumption-in-the-uk>

<sup>75</sup>

[https://www.iea.org/media/etp/etp2016/AnnexE\\_UrbanBuildingsEnergyEstimationMethodology\\_web.pdf](https://www.iea.org/media/etp/etp2016/AnnexE_UrbanBuildingsEnergyEstimationMethodology_web.pdf)

世界能源預測系統(World Energy Projection System Plus, WEPS+) <sup>76</sup>係一能源需求模型，為美國能源資訊署(U.S. Energy Information Administration, EIA) <sup>77</sup>作為評估國際能源數據差異之資料處理工具。EIA 評估一國家歷史能源使用量，主要基於外部資訊來源，包括外國政府、國際能源機構與其他組織，但仍可能出現部分問題，包括數據質量、細節差異與其及時性。

WEPS+模型為發佈「2016年國際能源展望」(International Energy Outlook 2016)研究報告預測之工具，透過歷史資料回測以校對「國際能源統計年報」(International Energy Statistics, IES)數據。該模型整合EIA 發佈之「國際能源統計年報」全球歷史數據、「短期能源展望」(Short-Term Energy Outlook, STEO)與「年度能源展望」(Annual Energy Outlook, AEO)對美國能源之預測。

相較「國際能源統計年報」，WEPS+模型對於國際能源消費最終用途掌握更多細節，故可將其與「國際能源統計年報」之地區與燃料水準數值進行比對。當WEPS+模型之各地區能源消費最終用途合計數值與「國際能源統計年報」之數值不一致時，各地區與燃料水準之差異說明即呈現於「2016年國際能源展望」研究報告中。

英國知名且發展數十年之節能減碳技術模型，例如MARKAL(The MARKET Allocation model)、MESSAGE(Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental impact model)，其研究跨越之主題與領域廣泛。MARKAL 模型於2003年由英國能源研究中心(UK Energy Research Centre, UKERC)開發，主要應用於英國長期能源系統演化分析，協助決策者進行許多

---

<sup>76</sup> <https://www.eia.gov/reports/index.cfm#/T1601,T132,T1301>

<sup>77</sup> <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/industrial.cfm>

政策制定。該模型可輸入能源成本、廠房成本、廠房性能、建築性能等參數，其將選擇出最佳技術組合，以最低成本滿足需求。事實上，英國近期新研究方法係找出研究目的之綱要，結合多項具有不同目標的模型，再以一框架統整並進行綜合分析。圖 3 為英國政府政策白皮書提及之模型統計，其中以 MARKAL 模型被提及次數最多，顯示 MARKAL 模型及其修正模型被廣泛採用。

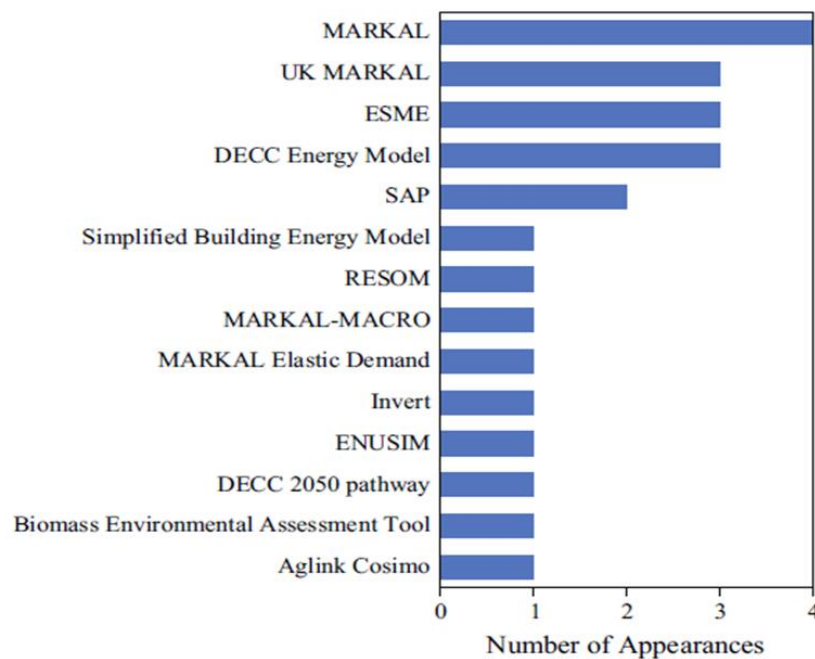


圖 3、英國政府政策白皮書之模型使用次數統計(2008~2015 年)<sup>78</sup>

### 3. 模型分析結果作為政策實施參考實例

透過「能源技術展望」(Energy Technology Perspectives, ETP)模型分析，研究結果將可作為發佈永續能源發展路徑的最適化政策與技術選擇之參考依據。該模型考慮建築物之使用年份、老化或翻新情形，以及建築物能量密集度改善情況。根據「2016 年能源技術展望」(ETP 2016)研究報告指出，當建築物翻修率小於 1%，其可提供

<sup>78</sup> Lisa M.H. Hall, Alastair R. Buckley (2016), A review of energy systems models in the UK: Prevalent usage and categorisation. Applied Energy, Vol. 169, P607-628.

能源密集度改善比率將少於 10~15%。另外，在 ETP 2016 報告中指出，若欲抑制增溫於 2°C 以下的減量目標(2°C Scenario, 2DS)之能源效率建築物，假設每年翻修率為 2~3%，則建築外殼改善率為 15~30%。

服務業部門由提供服務的企業、機構與組織組成，包括許多不同類型建築物、廣泛活動及與能源相關之服務。在「2016 年國際能源展望」研究報告中，提及全球服務業部門能源消費量年均增長率為 1.6%，服務業部門能源消費量佔世界總量之比例由 2012 年約 7% 上升至 2040 年約 8%。

許多 OECD 國家國內生產毛額成長趨緩，經濟增長放慢及人口減少，導致 OECD 國家服務業部門能源需求增長放緩。此外，持續的效率改善可以緩解能源需求增長，係因能源使用設備更新及發展更有效之儲能技術。OECD 國家中，2012 年至 2040 年服務業部門能源消費量同期增長 1.1%。

在非 OECD 國家中，經濟活動與商業增長迅速，加劇服務業之能源需求。非 OECD 國家人口增長亦較 OECD 國家為快，增加對教育、保健與社會服務的需求，同時帶動上述產業發展。另外，隨著發展中國家的技術進步與產業結構變遷，更多服務型企業興起，提高服務業部門能源需求。由於未來需要大量能源以帶動服務業建築增長，非 OECD 國家 2012 年至 2040 年服務業能源使用總量比例增長 2.4%，相較 OECD 國家服務業部門多出兩倍。

為達成 2020 年再生能源發展目標，英國政府透過財務、消除法規阻礙及發展新技術等方式加以推動，2011 年提出住宅及非住宅部門再生熱能獎勵，並於 2014 年宣佈所有用戶透過再生能源技術供熱

使用，每年可獲得約 3,000 英鎊之補助，涵蓋範圍包含家庭及商業用熱，鼓勵服務業部門之供熱系統使用再生能源設備<sup>79</sup>。

2016 年英國氣候變遷委員會(Committee on Climate Change, CCC)提出報告並向政府建議，2015~2030 年之間建築物碳排放量必須下降 22%，以達成英國政府 2050 年零碳排放之目標。英國氣候變遷委員會建議政府政策應支持低碳供熱與基礎設施，並重視低耗能及低碳建築之相關政策整合。同時，技術與供應鏈的挑戰及投資為最重要之環節，應透過跨部會共同研商。英國氣候變遷委員會建議採用白皮書，列出可持續達成零碳建築物之方法，以作為長期政策、法案等能源相關目標之參考。

#### 4. 結論與建議

依據經濟部能源局 2016 年公佈之我國能源消費情形，其中服務業部門能源消費量約佔全國總量之 10.8%。若再將服務業部門之能源消費結構依行業別區分，除了其他服務業外，以社會及個人服務業(15.8%)佔大宗，其次為住宿餐飲業(15.0%)、公共行政(13.5%)及批發零售業(9.2%)等。

考量服務業部門各目的事業主管機關眾多，為實踐國家節能減碳推動目標，建議可參考國際上節能減碳成功案例，彙整與分析其相關資料，藉以研擬我國節能減碳推動策略。另外，可透過輔導與追蹤服務業部門，協助其導入高效率節能設備，以大幅改善用電量，例如新型節能空調機汰換舊型機種、以 T5 或 LED 燈具取代傳統燈管、使用高效率變頻設備等。此外，若由建築物著手，則可透過使

---

<sup>79</sup> <https://www.ofgem.gov.uk/environmental-programmes/non-domestic-rhi/about-non-domestic-rhi>.

用綠建材、建築整合節能工法，搭配實施節能相關政策，以期達成我國節能減碳之目標。

## 5. 參考文獻

1. <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/industrial.cfm>
2. <http://www.nrel.gov/docs/fy17osti/66939.pdf>
3. <http://www.nrel.gov/docs/fy15osti/64467.pdf>
4. <https://setis.ec.europa.eu/>
5. <https://setis.ec.europa.eu/related-jrc-activities/jrc-setis-reports>
6. <http://www.nrel.gov/docs/fy17osti/67067.pdf>
7. [https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383(2017).pdf)
8. <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/data/browser/#/?id=6-AEO2017&cases=ref2017&sourcekey=0>
9. [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/weps/documentation/pdf/wepsplus2016\\_industrialmodule.pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/weps/documentation/pdf/wepsplus2016_industrialmodule.pdf)
10. <https://www.eia.gov/reports/index.cfm#/T1601,T132,T1301>
11. <https://www.ofgem.gov.uk/environmental-programmes/non-domestic-rhi/about-non-domestic-rhi>
12. Lisa M.H. Hall, Alastair R. Buckley (2016), A review of energy systems models in the UK: Prevalent usage and categorisation. Applied Energy, Vol. 169, P607-628.

## 國外研究機構模擬住宅部門應用節能減碳技術之模型分析結果

### 1. 前言

住宅部門能源為排除運輸用途外所有家庭能源之使用，包括供暖、製冷、照明及家電所需之能源。住宅部門能源消耗受收入水平、能源價格、地點、建築、天氣，設備效率/類型、能源獲取方式、能源可用性與能源政策等諸多因素影響。因此，家庭能源類型與數量無論在區域或國家間，皆有相當大差異。根據 2016 年國際能源展望 (International Energy Outlook 2016) 研究報告顯示，2040 年住宅部門能源消耗將占世界能源消費總量 13% 左右，從 2012 年至 2040 年間年均增長率 1.4%，總體增長 48%。

參考案例中，非經濟合作暨發展組織 (Organization for Economic Co-operation and Development, OECD) 住宅用電量從 2012 年至 2040 年間年均增長 2.1% (圖 1)，占 28 年來全球住宅能源增長使用量之 80%。OECD 國家之住宅部門能源使用量增長速度較慢，同期為 0.6% (圖 2)。全球住宅部門消耗電力份額從 2012 年 39% 上升至 2040 年 43%，2025 年電力將超過天然氣作為住宅能源主要來源；中國和印度由於經濟增長相對較快，其住宅能源需求亦持續增長，至 2040 年其住宅能源消費總量為 2012 年兩倍以上，占世界住宅能源消費總量 27%。

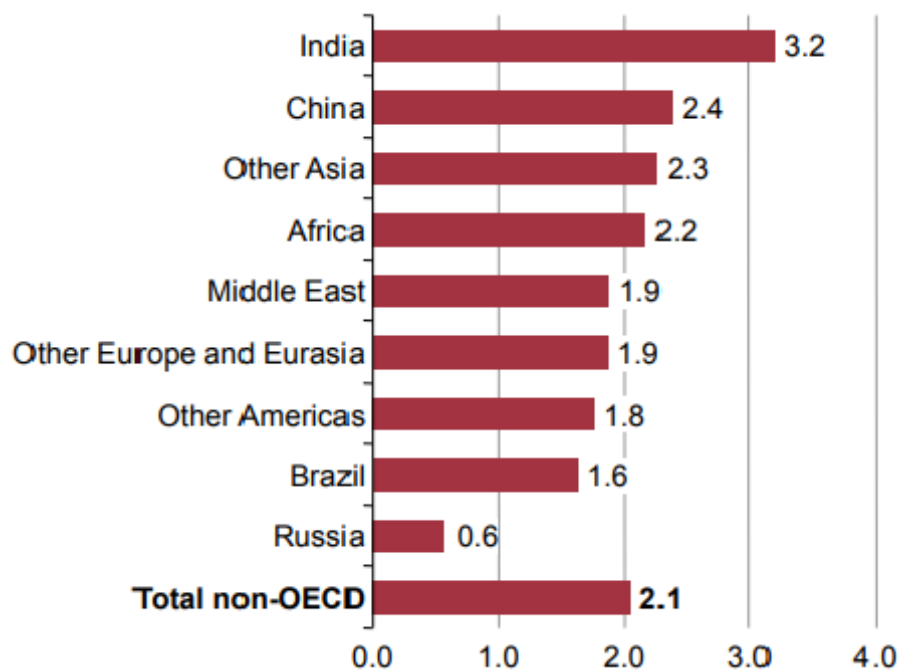


圖 1、2012 年至 2040 年非 OECD 國家能源消耗年均增長率(%)

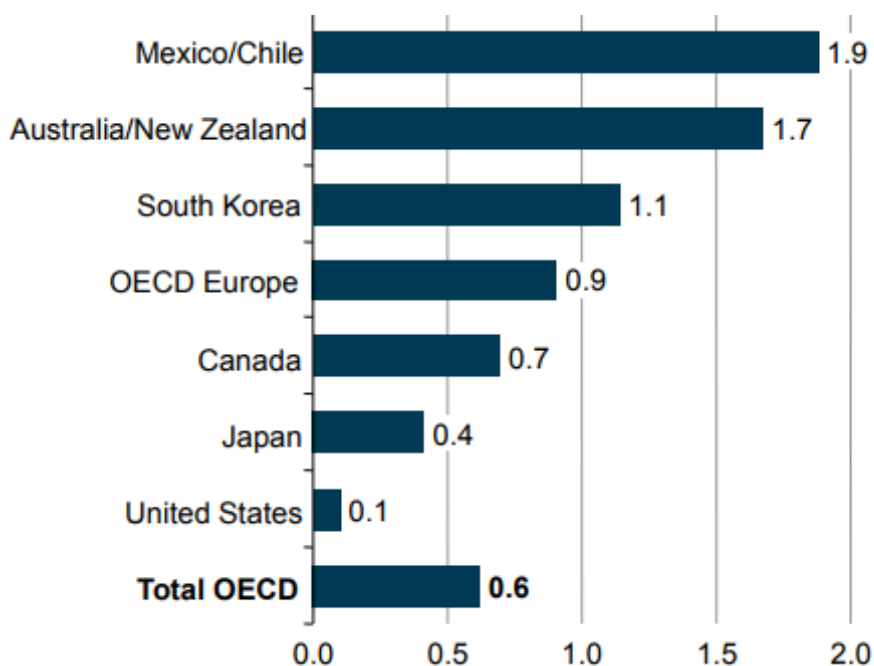


圖 2、2012 年至 2040 年 OECD 國家能源消耗年均增長率(%)

根據 2016 年國際能源展望，建築類能源消耗包括住宅與商業終端用戶，占全球能源消耗總量 20.1%。2012 年至 2040 年全球建築物能源消耗量年均增長率為 1.5%，其中 2012 年至 2040 年間非 OECD



國家，建築面積增長 2.1%，為 OECD 國家增長率之三倍。統計結果顯示，美國 2016 年能源消耗總量之 40% 為住宅及商業部門，住宅部門包括消耗各種燃料之設備，並提供不同的最終用途。更換設備時，消費者可選購符合聯邦電器效率標準之設備，或選擇更高效率設備，例如滿足或超過 ENERGY STAR<sup>®</sup> 規格設備。設備類型、能源效率和消耗燃料之組合直接影響住宅部門的總能耗，消費者甚至可增加費用，選擇購買或改裝不同類型的設備(例如管道，排氣口，天然氣管道或電氣連接)。

住宅部門的能源需求隨著家電用品不同而變化性較大，並無一致性衡量指標。每項家電用品的能源需求衡量單位皆不盡相同，考量到現階段各項家用電器能源服務需求實際統計資料，直接使用各項家用電器的電力耗用量，來替代真正的能源服務需求。例如照明與熱水系統採用千兆焦耳(Peta Joules, PJ)(1PJ=10<sup>15</sup>J)；烤箱與冰箱等則採用百萬單位(Million Units)，如表 1。

表 1、MARKAL 之 2000 年住宅部門能源需求類型<sup>80</sup>

住宅能源需求類型	單位	
空間加熱	827.5	PJ
空間冷卻	—	PJ
熱水	336.9	PJ
照明	63.8	PJ
其他電器	114.7	PJ
電熱爐	25.3	百萬單位

<sup>80</sup> <http://www.ucl.ac.uk/energy-models/models/uk-markal/uk-markal-manual-chapter-6>

烤箱	25.3	百萬單位
冰箱	12.6	百萬單位
冰櫃	15.9	百萬單位
冷櫃	4.4	百萬單位
直立冷櫃	6.6	百萬單位

參酌經濟部能源局出版之家庭節約能源手冊(2006)，將常用家電分為五大類，分別為：(1)廚房類；(2)衛浴類；(3)照明類；(4)空調類；(5)視聽類。依照上述定義的能源服務需求，可歸類出家庭用電的細項，包括：(1)住宅烹調；(2)住宅熱水；(3)住宅冷藏；(4)住宅照明；(5)住宅空調；(6)其他家用電器等。其中，烹調類電器項目包括：微波爐、電鍋電子鍋、果汁機、排油煙機與瓦斯爐；熱水類電器項目包括：瓦斯熱水器與電熱水器；住宅冷藏則為電冰箱；住宅照明與空調則分別是日光燈與冷氣；其他家用電器項目包括：電視、電腦、電風扇與洗衣機等四項，各項電器系統動態模型的設定型態的主要有三種。

## 2. 節能減碳技術模型及應用之國家、單位簡介

能源信息管理局(Energy Information Administration, EIA)為美國能源信息首要來源，根據法律規定其數據、分析和預測不受美國政府任何其他官員控制。為了環境影響評估，創建美國國家能源建模系統(National Energy Modeling System, NEMS)，此為計算型能源經濟建模系統，根據宏觀經濟和金融因素，用於長期(30年)能源之生產、進口、轉換、消費與價格預測。因素包含世界能源市場、資源可用性、成本、行為和技術選擇標準，能源技術的成本和績效特徵

以及人口統計的假設。NEMS 為一模型化系統，其中分為四個模型代表美國能源需求之各面向，住宅建築部門、服務部門、工業部門與運輸部門。

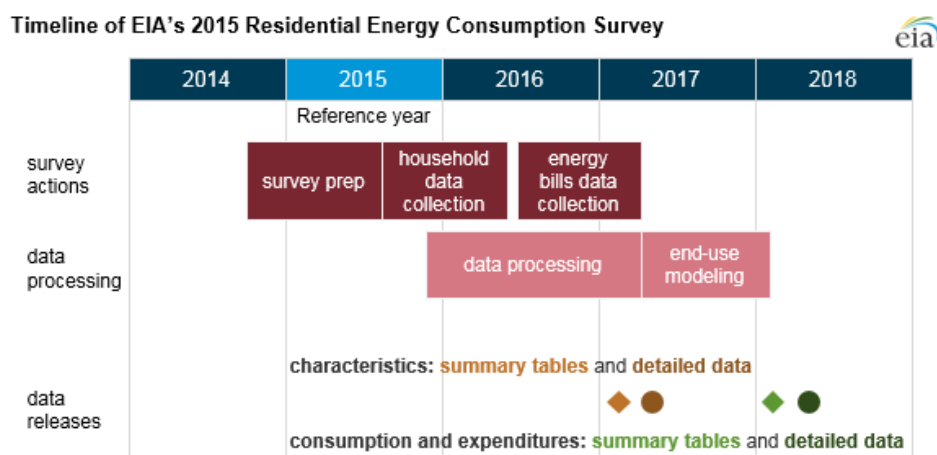


圖 3、2015 年美國 EIA 住宅部門能源消耗調查時程表<sup>81</sup>

英國 MARKAL 原始模型開發由英國政府出資，為 2003 年能源白皮書提供基礎而開發，於 2005 年由倫敦大學學院(University College London, UCL)能源系統團隊修訂，直至 2012 年繼續開發。目前學術版本則由英國能源研究中心研發及贊助。

MARKAL 一詞由原文市場(MARKet)與分配(ALlocation)所組成。該模型可納入多樣參數例如能源成本、廠房成本、廠房性能與建築性能等，並在滿足給定的能源需求量和污染物排放量限制條件下，使能源系統成本最小化，選定最佳技術組合。該模型考慮多元面向，從進口和國內生產資源(化石和再生能源)、燃料加工和供應(如煉油、生物製程)、基礎設施(如天然氣管道)，甚至燃料轉換為二次能源(包括電力、供熱和氫氣)，到最終用途技術(住宅、商業、工業、運輸、農業和非能源)和各式能源服務需求。

<sup>81</sup> <https://www.eia.gov/consumption/residential/index.php>

### 3. 模型分析結果作為政策實施參考實例

NEMS 模型由 EIA 制定，用於建構年度能源展望(Annual Energy Outlook, AEO)之預測，根據國會和各政府機構的服務要求對能源政策進行評估，模型分析結果通常作為政策實施參考實例。此模型可利用定義替代輸入和參數假設，評估新技術引入後之效果，以及市場獎勵與監管變化所產生之政策影響。

NEMS 住宅需求模型(Residential Demand Module, RDM)為一政策分析工具，用於政府立法、私營部門與影響需求部門相關技術發展。政策分析評估多個面向<sup>82</sup>：

- 新型終端技術
- 稅收政策導致燃料價格變動
- 設備能源效率及建築法規改變
- 獎勵能源效率相關投資
- 獎勵再生能源投資項目

NEMS 住宅部門需求模型有三個基本目標。一、根據住房和燃料類型、人口普查和終端服務，進行能源需求分類預測。二、政策分析工具，評估影響住宅部門的能源市場變化，建築、設備技術以及監管舉措等影響。三、作為 NEMS 系統之一環，為電力市場模型、天然氣供應模型和石油市場模型提供資訊，有助於計算總體能源之供需平衡。目前 NEMS 住宅需求模型應用於特定時間範圍內展開長期預測與能源政策分析，EIA 最新住宅能源消費調查(Residential Energy Consumption Survey, RECS)即採用此模型，預測至 2050 年住宅能源需求。

---

<sup>82</sup> [https://www.eia.gov/outlooks/aeo/nems/documentation/residential/pdf/m067\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/aeo/nems/documentation/residential/pdf/m067(2017).pdf)

英國 MARKAL 模型為一個多時間點的線性優化模型，並對英國的減碳政策造成深遠的影響。例如 2003 年與 2007 年的能源白皮書、2008 年氣候變遷法案、氣候變遷委員會(Committee on Climate Change, CCC)首份報告、能源與氣候變遷署和氣候變遷委員會的第四份碳預算報告等重要文件，均為 UK MARKAL 模型所支持的研究作為基礎。

#### 4. 結論與建議

綜觀國際間的節能政策，各國住宅部門皆有許多值得效仿之策略，以英國為例，其制定最小設備能源效率標準，並將建築能源進行分級，同時鼓勵相關能源家電產品研發，再提供消費者對於高效節能設備給予貸款及補助等汰換制度。建築方面，英國亦針對推出多款規定與補助，除了新建築須符合高效能標準外，亦要求老舊建築制定改善要求。從多元化住宅部門政策，顯示英國希冀透過法制力量降低溫室氣體排放量。

台灣永續發展不僅需考量民生需求與經濟發展，更應兼顧環境保護責任，因此制訂兼容並蓄的能源政策，成為國家未來發展之重要一環。我國住宅與服務業部門能源消費量約占全國總量之 21.7%，為實踐節能減碳目標，建議可參考國際上能源相關政策內容，彙整分析並加以改良，藉以研擬我國綠能推動策略。另外，可透過輔導與追蹤住宅部門，協助導入高效率節能設備，以改善家電產品耗電量。例如鼓勵空調設備汰舊換新、以 LED 燈具取代傳統燈管、使用高效率變頻設備等。我國曾訂定高耗能設備相關能效規範，但受限於台灣電價偏低且節能商品價格高，民眾因價差因素而卻步。建議可提出財政誘因或補貼節能設備廠商，增加民眾購買慾。

建築方面，則可透過使用綠建材、建築整合節能工法，並搭配實施節能相關鼓勵政策。亦可仿照英國，制定符合我國建築物能源標示制度，依不同建築類型制定能源使用標準，並提供消費者建築能源標章做選擇，透過推廣教育或財政鼓勵，提高民眾環保意識，刺激低耗能建築市場需求。另外，可針對建築部分制定規範目標，如要求新建築應符合綠建築等級；老舊建築制定改善要求與訂定能效標準；建築買賣市場資訊透明化，要求建商提供建築能源等級。期待藉由產、官、學專家共同研討，透過政策或宣導方式，加速我國住宅部門節能發展，以達國家制定減量與能效提升目標。

## 5. 參考文獻

1. [https://www.eia.gov/outlooks/aeo/nems/documentation/residential/pdf/m067\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/aeo/nems/documentation/residential/pdf/m067(2017).pdf)
2. [https://www.eia.gov/outlooks/aeo/workinggroup/buildings/pdf/aeo2016\\_1\\_buildings\\_working\\_group\\_2015-12-08.pdf](https://www.eia.gov/outlooks/aeo/workinggroup/buildings/pdf/aeo2016_1_buildings_working_group_2015-12-08.pdf)
3. [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2016).pdf)
4. <http://www.ucl.ac.uk/energy-models/models/uk-markal/uk-markal-documentation>
5. [https://www.belspo.be/belspo/organisation/Publ/pub\\_ostc/CG2131/rappCG22syn\\_en.pdf](https://www.belspo.be/belspo/organisation/Publ/pub_ostc/CG2131/rappCG22syn_en.pdf)

## 美國、日本需求部門如何透過制度建立達成其國家減碳目標

### 1. 前言

根據能源資訊局(Energy Information Administration, EIA)能源月報(Monthly Energy Review)資料整理，汽油、天然氣、煤炭、再生能源與核能為美國能源之主要來源(圖 1)。其中，三種化石燃料，汽油(37%)、天然氣(28%)、煤炭(17%)，2016 年能源消耗占比將近八成，並主導美國能源消耗近百餘年，嚴重排放二氧化碳等溫室氣體。

U.S. energy consumption by energy source, 2016

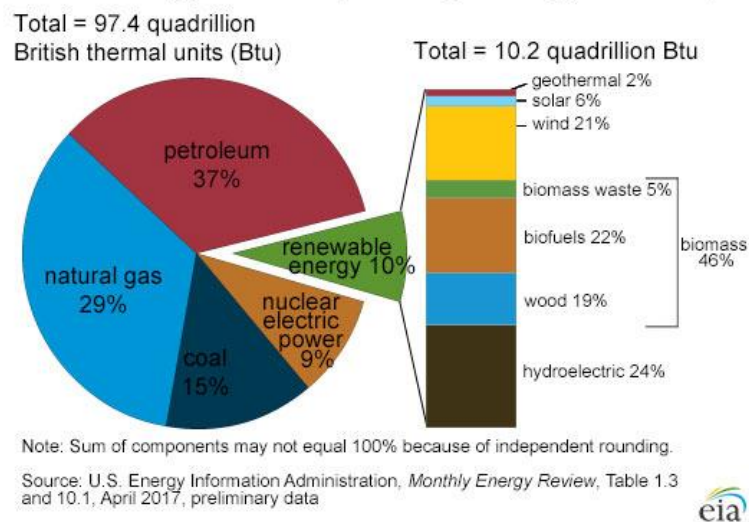


圖 1、2016 年美國能源消耗占比(資料來源: EIA)

美國為僅次於中國大陸全球第二大排碳國，美國國家環境保護局(Environmental Protection Agency, EPA)所發布「Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2015」指出，2015 年美國碳排放源依部門分別為電力(35%)、運輸(32%)、工業(15.8%)與住宅與服務業(13.4%)部門(圖 2)。由於燃燒化石燃料為美國最主要溫室氣體排放來源，主導美國溫室氣體歷史排放趨勢，二氧化碳排放量從 1990 至 2015 年上升 6%<sup>83</sup>。

<sup>83</sup> <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>



然而，碳排放量受諸多因素影響，例如人口成長、經濟成長、能源價格改變、新科技、消費行為改變、與季節氣溫等。1990 至 2015 年間，碳排放量與經濟及人口呈正向關係，其中排放量成長來自於主要電力生產及旅遊需求增長。EPA 認為減碳最有效方法為減少化石燃料消耗，對最大排放源(例如發電廠及摩托車)採取管制性措施，以有效減少溫室氣體排放。

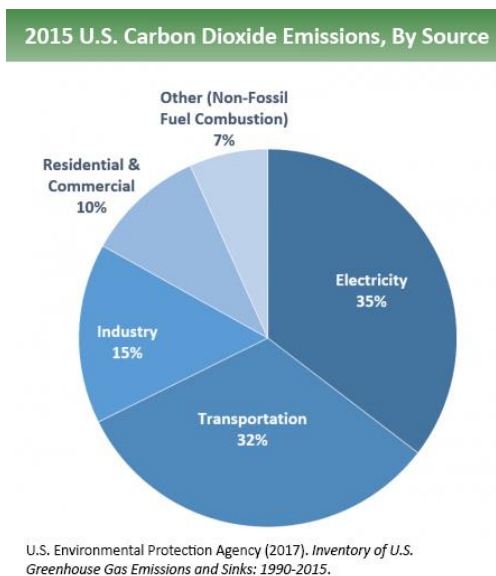


圖 2、2015 年美國各部門二氧化碳排放占比(資料來源: EPA)

根據日本電器事業聯合會 (Federation of Electric Power Companies of Japan, FEPC) 調查指出，2010 年日本電力來源主要為汽油、液化天然氣、煤炭等化石燃料(62%)、核能(28.6%)以及水力發電(8.5%)。日本在經歷 2011 年東日本大地震後，為脫離對核能依賴，停止大部分核電機組運作。因此，自 2011 年起大幅提高化石燃料占比，至 2014 年達 88%(圖 3)，同時使日本能源進口依賴度與碳排放量增高。

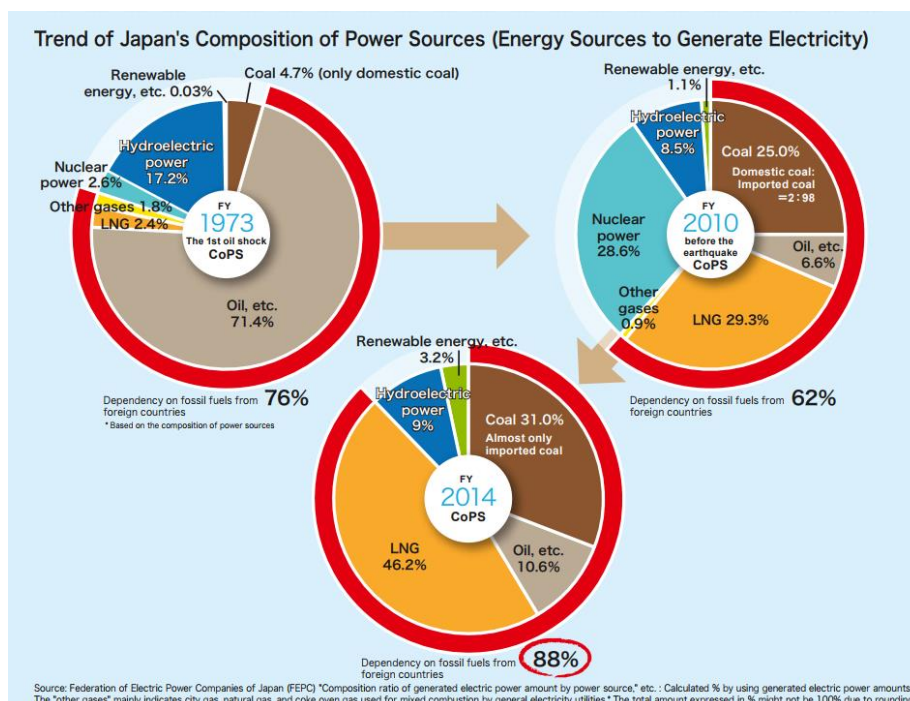


圖 3、1973、2010、2014 年日本電力生產之能源占比(資料來源: FEPC)

依據日本環境省發布資料，2013 年 4 月至 2014 年 3 月底，日本溫室氣體年排放量相較前一年度同期上升 1.2%，達 14.08 億公噸二氧化碳當量，與 2005 年及 1990 年水準比較，分別上升 0.8% 與 10.8%，為史上第二高，反映出核能電廠無限期關閉後燃煤發電上升情形<sup>84</sup>。

日本環境省地球化對策計畫中指出，2013 年度各部門碳排放量，以工業部門(33%)占最大宗，其次為服務業(21%)、運輸(17%)及住宅(15%)等部門。其中電力消費排放占 34% 加上能源轉換(8%)，電力相關二氧化碳排放約占 40%(圖 4)。日本為達成溫室氣體減量目標，各部門須共同努力推動節能減碳工作。

<sup>84</sup><http://www.reuters.com/article/us-carbon-japan/japans-co2-emissions-hit-second-highest-on-record-idUSKBN0N50BJ20150414>

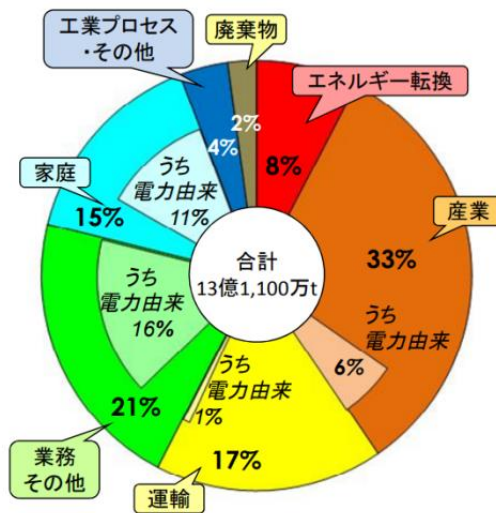


圖 4、2013 年度日本各部門二氧化碳排放占比<sup>85</sup>

## 2. 美國相關制度及執行成效

EPA 與美國能源部(Department of Energy, DOE)為提升能源效率達成 2025 年願景架構，2005 至 2010 年提出國家能源效率行動計畫(National Action Plan for Energy Efficiency)<sup>86</sup>，橫跨美國 49 州約 120 多項能源效率承諾，並建構一套全面性技術文件與工具協助各州增進節能效率，希冀藉此減少住商部門能源消費與電費支出，以抑制電力需求增加<sup>87</sup>。截至 2009 年，各州與公用事業公司為提高能源效率，每年投資約 20 億美元，每年節約相當於 30 多座發電廠共 500 MW 之發電量、減少 900 萬輛車輛之溫室氣體排放，同時亦為能源用戶每年節省將近 60 億美元開支<sup>88</sup>。

<sup>85</sup> <http://www.env.go.jp/press/files/jp/102816.pdf>

<sup>86</sup> <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/vision.pdf>

<sup>87</sup> <https://www.epa.gov/energy/national-action-plan-energy-efficiency>

<sup>88</sup> [http://www.utilityexchange.org/Resources/rmuee/2009/state\\_department\\_action\\_plan.pdf](http://www.utilityexchange.org/Resources/rmuee/2009/state_department_action_plan.pdf)

表 1：國家能源效率行動方案的執行目標(資料來源:EPA)

目標		行動方案細目
一	優先建立具成本效益的能源效率	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 引導提升能源效率的資源規劃</li> <li>• 引導調查能源效率潛力</li> <li>• 通訊套件</li> </ul>
二	結合其他計畫誘因與能源效率，確保節能與發電端誘因一致	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 結合電價誘因與能源效率研究之投資</li> </ul>
三	建立具成本效益的測試	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 了解能源效率計畫研究的成本效益</li> <li>• 引導提升能源效率的資源規劃</li> <li>• 引導調查能源效率潛力</li> </ul>
四	建立評價、衡量與認證機制	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 建立能源效率計畫的評價指南</li> </ul>
五	推廣有效的節能機制	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 設計與執行最佳節能方案指南(發展中)</li> </ul>
六	各州建立政策，確保節能措施的健全	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 建立能源效率概要說明書規則</li> <li>• 能源效率計畫與法案研究交流(發展中)</li> <li>• 州政府與地方領銜發展指南</li> </ul>
七	結合顧客定價與誘因，促進能源效率投資	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 費率設計引導顧客誘因之決策簡報</li> </ul>
八	建立計費系統	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 提供企業用戶能源使用狀況與成本資料，引導最佳節能措施</li> </ul>
九	執行能源資訊分享系統	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 電力需量反應與能源效率之協同研究(發展中)</li> </ul>

十	引進先進科技	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 最具能源效率規模經濟的研究</li> </ul>
---	--------	---

2008 年美國能源部(Department of Energy, DOE)推動更好建築挑戰(Better Buildings Challenge)<sup>89</sup>計劃，鼓勵各州公共事業、製造業、企業、學校等提升能源利用效率，並將數據中心、戶外照明系統作為重點監管對象。設定未來 10 年內達成減少能源使用 20% 目標。使商業、公共事業、工業與住宅建築提升能源效率達 2% 以上，可節省能源支出達數千億美元、減少溫室氣體排放與增加數千個工作機會。此計畫能源效率承諾量約為 2011 年三倍，並已節省能源超過 13 億美元(約合新臺幣 423 億元)支出、減少 1 千萬噸碳排放、每年平均減少能源使用超過 2%。

美國總統歐巴馬於 2013 年提出氣候行動計畫(Climate Action Plan)綱要，其核心為減少排放大戶之溫室氣體排放，並加強再生能源發展。相關氣候行動包含：明訂現役發電廠碳污染標準、再生能源(風能、太陽能及地熱能)加倍發電目標、2018 年後重型汽車燃料效率標準、2030 年累積減少 30 億公噸碳排放量之民生家電能源使用效率標準等<sup>90</sup>。另外，通過 2015 年能源效率改進法(Energy Efficiency Improvement Act of 2015)，改善國內建築能源效率提供法源基礎，以促進商用建築的能源效率管理。

2014 年 EPA 依據清潔空氣法案修正案(Clean Air Act Amendments, CAAA)授權，提出清潔電力計畫(Clean Power Plan, CPP)<sup>91</sup>。此計畫旨在藉由一系列各州電力碳排放係數規範，以達 2030 年

<sup>89</sup> <https://betterbuildingsinitiative.energy.gov/challenge>

<sup>90</sup> <https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/image/president27sclimateactionplan.pdf>

<sup>91</sup>

<https://www.federalregister.gov/documents/2017/04/04/2017-06522/review-of-the-clean-power-plan>

電力部門二氧化碳排放量可較 2005 年削減 30%。EPA 透過最佳減量系統(Best System of Emission Reduction, BSER) 四大基礎措施 (Building Blocks, BB)<sup>92</sup>：(1)提升化石燃料電廠效率、(2)採用低碳排電廠、(3)擴大低碳與零碳再生能源發電量、(4)採取需求面管理措施抑制整體排放。推估各州電力部門之獨立減碳目標(State Goal)，各州再依循基礎措施提出該州碳減量目標及計畫。

上述相關減碳政策卻於 2016 年底川普總統上任後發生轉變，2017 年 3 月底，川普總統簽署能源獨立行政命令 (Energy Independence Policy Executive Order)，檢討歐巴馬政府於 2015 年簽署之潔淨電力計畫及 2013 年發布氣候行動計畫綱要，並撤銷或擱置多個歐巴馬簽署環保相關之行政命令與備忘錄，企圖振興煤礦產業並放寬對發電業與製造業之碳排放與電力成本之限制<sup>93</sup>。

### 3. 日本相關制度及執行成效

日本為經濟大國卻為資源小國。經濟社會發展所需能源資源幾乎皆仰賴進口。因此，經濟發展政策制定過程中將節約、多目標合作和高效率作為日本能源政策重點。

由於日本溫室氣體排放量中九成與化石能源使用有關，為了達到低碳社會，日本政府採取一系列減少碳排放策略。節能減碳核心措施包括：能源稅(或碳稅)、新能源價格補貼、碳排放交易、節能標準、強制性能源管理制度、能源科技研發補助、大眾運輸系統、停車費率反映土地租金等。

自 1970 年代起，日本執行節能法，並且成功透過頂尖計畫、工業部門強制性能源管理，以及建物節能達到能源效率的目的。例如

---

<sup>92</sup> <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-05/documents/20140602fs-setting-goals.pdf>

<sup>93</sup> <https://www.epa.gov/energy-independence>

在能源資源節約和循環利用方面，進行極為細緻分類管理，強調從源頭上減少碳排放，此細緻規定造就日本高水平之低碳管理。依據東京財團研究評估，日本資源和能源節約對碳減排貢獻率高達八成。另外，建築循環利用法要求房屋改建需循環利用所有建築材料，催生世界上最先進之混凝土再利用技術，既節省資源亦大幅降低碳排放。

1999 年起日本實施領航者(Top runner)<sup>94</sup>制度控制住商、運輸部門能耗，以規範產品能源使用效率。適用於上市新產品，其產品耗能必須優於市場產品。至 2011 年底，日本共 23 項產品必須符合 Top runner 基準<sup>95</sup>。其中列為基準對象為(1)在日本被大量使用之產品、(2)使用時相當耗能產品、(3)有必要提升使用效率。汽車與家電等耗能產品製造商或進口商，須遵守各項產品所設定之目標年度標準。

此制度藉由提升製造端之機器能源使用效率，以控制住商、運輸部門能源使用量。在領航者基準規範下，產品效率提升率皆高於預期，制度成效相當亮眼(表)。

表 2、日本產品能源使用效率提升<sup>96</sup>(%)

產品名稱	產品能源使用效率	
	預期提升 (%)	實際提升(%)
映像管電視機	16.4%	25.7% (1997 至 2003 年度)
卡式錄放影機	58.7%	73.6% (1997 至 2003 年度)
室內空調*	66.1%	67.8% (1998 至 2004 年度)
電冰箱	30.5%	55.2% (1998 至 2004 年度)

<sup>94</sup> [http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saving/data/toprunner2015e.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/data/toprunner2015e.pdf)

<sup>95</sup> <https://www.iea.org/policiesandmeasures/pams/japan/name-21573-en.php>

<sup>96</sup> [http://km.twenergy.org.tw/KnowledgeFree/knowledge\\_more?id=90](http://km.twenergy.org.tw/KnowledgeFree/knowledge_more?id=90)

汽油自小客車*	22.8%	22.8% (1995 至 2005 年度)
柴油貨車*	6.5%	21.7% (1995 至 2005 年度)
自動販賣機	33.9%	37.3% (2000 至 2005 年度)
螢光燈燈具*	16.6%	35.7% (1997 至 2005 年度)
影印機	30.8%	72.5% (1997 至 2006 年度)
電子計算機*	69.2%	80.8% (2001 至 2007 年度)
硬碟 HDD*	71.4%	85.7% (2001 至 2005 年度)

註：\*表示節能基準是以每單位的能源消耗量(如 km/l)衡量，無\*表示是以整年能源消耗量衡量(如 kWh/年)。提升能源使用效率，是指在各機器基準下的改善效率，例如 10km/l→15km/l 為提升 50%，10kWh/年→5kWh/年為提升 50%

原先預計於 2011 年施行全球暖化碳稅(Carbon Dioxide Tax of Global Warming Countermeasure)，因福島核災而延遲至 2012 年。日本環境省表示，課徵碳稅將使得 2020 年碳排放量相較 1990 年低 0.5% 至 2.2%。另外，根據全球環境研究中心(Center for Global Environmental Research, CGER)調查指出，2015 年相較於 2013 與 2014 年碳排放明顯降低(圖 5)，主因為能源節約政策之有效推動、擴大再生能源使用與重啟核能等<sup>97</sup>。

<sup>97</sup> [http://www-gio.nies.go.jp/pdf/2017/gio\\_pamph\\_en.pdf](http://www-gio.nies.go.jp/pdf/2017/gio_pamph_en.pdf)



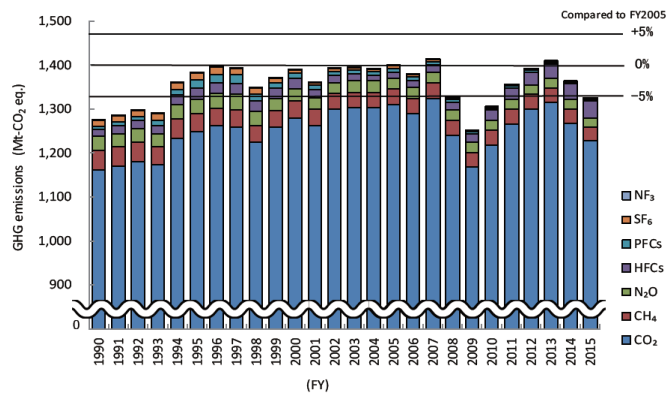


Fig. 4 Trend of Total GHG Emissions (FY1990-2015)

### 圖 5、日本 1990 年至 2015 年溫室氣體排放

由於受到 2011 年福島核災影響，日本將無法實現 2009 年所提出中期減碳目標「2020 年達到 1990 年減碳 25%」。2015 年日本政府積極尋求新的能源發展方針，推出 3E+S 計畫，以能源使用安全性為主軸進行擘劃。並設定能源穩定供應(Energy Security)、經濟效率(Economic Efficiency)、環境保障(Environment)為主要目標。以 2030 年為目標年度，調整能源生產與使用結構比例為再生能源(22 至 24%)、核能(20 至 22%)、液態天然氣(27%)、煤礦(26%)、燃油(6%)。

在 2015 年聯合國第 21 屆氣候變化綱要公約締約國大會(COP21)，日本提出國家自主貢獻(Intended Nationally Determined Contributions, INDC)目標，2030 年較 2013 年溫室氣體排放下降 25%，較 2005 年則下降 25.4%。在此目標下，2030 年溫室氣體排放值將達 10.42 億噸二氧化碳當量。另外，日本經濟產業省能源廳 2016 年公布日本能源革新戰略，其具體政策涵蓋「徹底節省能源」、「擴大再生能源」、「建構新能源系統」和「拓展能源產業海外市場」等四個領域。藉由改變整體節能策略、創造低碳電力市場、改革再生能源產業等，以達成 2030 年度的日本能源組合，同時降低碳排放量。

#### 4. 結論與建議

數十年來，全球碳排放數量激增。聯合國邀請各締約國於 COP21 召開前提交國家自主貢獻，以達全球升溫不超過 2 度 C 目標。主要目標降幅最大者為歐盟，2030 年碳排放將較 2013 年下降 29.4%，其次為日本(25%)與美國(23.1%)。各國將從事相關減排措施以達到此目標，甚至已明列目標具體措施。其中能源效率提升與再生能源發展等措施，將影響全球能源發展與變遷。

2015 年台灣通過溫室氣體減量與管理法，設定 2050 年將溫室氣體排放量降至 2005 年之 50% 以下。由美國潔淨電力計畫發現，抑制燃煤發電量提高再生能源仍為基本作法，並透過改善發電效率與需求端能效提升，將可進一步達成減碳目標。日本則透過工業部門強制性能源管理、產品能效標準與建物節能等，達到能源效率之目的。此些措施均可成為台灣推動終端使用者能源效率改善之參考，以促使溫管法減碳目標達成。

#### 5. 參考文獻

1. [https://www.eia.gov/energyexplained/?page=us\\_energy\\_home](https://www.eia.gov/energyexplained/?page=us_energy_home)  
(最後瀏覽日期：2017 年 9 月 25 日)
2. <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>  
(最後瀏覽日期：2017 年 9 月 25 日)
3. <https://betterbuildingsolutioncenter.energy.gov/>  
(最後瀏覽日期：2017 年 10 月 16 日)
4. [http://www.enecho.meti.go.jp/en/category/others/basic\\_plan/pdf/4th\\_strategic\\_energy\\_plan.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/en/category/others/basic_plan/pdf/4th_strategic_energy_plan.pdf)
5. [http://www.utilityexchange.org/Resources/rmuee/2009/state\\_department\\_action\\_plan.pdf](http://www.utilityexchange.org/Resources/rmuee/2009/state_department_action_plan.pdf)

6. <https://www.epa.gov/clean-air-act-overview/evolution-clean-air-act#caa90>
7. <https://www.go-moea.tw/download/message3/2015%E5%B9%B42%E6%9C%88%E5%B0%88%E9%A1%8C-%E7%BE%8E%E5%9C%8B%E7%AF%80%E8%83%BD%E6%B8%9B%E7%A2%B3%E6%94%BF%E7%AD%96%E6%8E%AA%E6%96%BD%E8%88%87%E5%B0%8D%E6%88%91%E5%9C%8B%E5%95%9F%E7%A4%BA.pdf>
8. [https://d32ogoqmya1dw8.cloudfront.net/files/integrate/teaching\\_materials/carbon\\_emissions/epa\\_factsheet\\_overview\\_clean.pdf](https://d32ogoqmya1dw8.cloudfront.net/files/integrate/teaching_materials/carbon_emissions/epa_factsheet_overview_clean.pdf)
9. <https://www.epa.gov/energy/national-action-plan-energy-efficiency>
10. [http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published%20Documents/Japan/1/20150717\\_Japan's%20INDC.pdf](http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published%20Documents/Japan/1/20150717_Japan's%20INDC.pdf)
11. [http://www.iberglobal.com/files/2017/japon\\_eia.pdf](http://www.iberglobal.com/files/2017/japon_eia.pdf)
12. <http://www.env.go.jp/press/files/jp/102816.pdf>
13. [http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saving/data/toprunner2015e.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/data/toprunner2015e.pdf)
14. [http://www.utilityexchange.org/Resources/rmuee/2009/state\\_department\\_action\\_plan.pdf](http://www.utilityexchange.org/Resources/rmuee/2009/state_department_action_plan.pdf)
15. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/vision.pdf>

#### 四、期末審查意見回覆表

委員提問事項	回覆
<p>1. 本研究資料蒐集及分析量足，每週三篇新聞掠影及能源簡析等文章資料豐富，期中及期末報告(初稿)也依計畫期程提出，計畫執行度佳。(謝秉志 副教授)</p>	<p>謝謝委員肯定。</p>
<p>2. 本計畫成員已納入6月中旬期中審查四位委員的十項建議於期末報告內，並如期如質達成計畫目標。(高梓木 諮議委員)</p>	<p>謝謝委員肯定。</p>
<p>3. 本計畫蒐集五個先進國家的研究調查，資料相當豐富，尤其能源新聞掠影能達到預期目標，是本計畫的亮點。(周光暉 諮議委員)</p>	<p>謝謝委員肯定。</p>
<p>4. 近期前署長魏國彥表示核能是綠能過渡期的能源，若報告結論中可加入核能為過渡性能源，可維持經濟，並讓綠能成長茁壯之意見，此方向應為洽當。(謝秉志 副教授)</p>	<p>謝謝委員指導。後續將參考委員建議內容，將核能作為過渡性能源等資訊納入報告結論當中。請詳參 60-63 頁。</p>
<p>5. 本計畫依國外技術/政策蒐集，國內技術/政策盤點以及未來技術/政策走向建議為三個工作主軸，建議在第三部分的未來走向建議章節</p>	<p>謝謝委員指導。後續將對未來技術/政策走向建議多加補充與說明，並以明確的方式描述。請詳參 60-63 頁。</p>

<p>多作說明，增加本報告之可用性。 (謝秉志 副教授)</p>	
<p>6. 國內是否有使用(或是本計畫是否有建議)相關知名的模型模擬各部門的推測，若有請補充內容。(謝秉志 副教授)</p>	<p>謝謝委員意見。後續將蒐集並整理國內相關單位(能源局、環保署等)應用於各部門之能源政策模型，納入報告中。請詳參 80 頁。</p>
<p>7. 報告中有提到多種模擬器，也多次重複介紹模擬器，建議在第一次介紹時詳細說明，之後毋須再介紹。(謝秉志 副教授)</p>	<p>謝謝委員指正。後續將對重複介紹模擬器(MARKAL)，於第一次介紹時作詳細介紹。請詳參 72-73 頁。</p>
<p>8. 對於火力發電，尤其是天然氣發電將於 2025 年佔我國能源供應之 50%，相關液化天然氣(LNG)接收站、海上運輸與國內輸送天然氣的管路風險議題，乃至牽動到我國能源安全、國內能源滾動式的更動均應加以考量。(高梓木 諮議委員)</p>	<p>謝謝委員指導。後續將能源風險與安全相關議題納入報告當中。將各項能源可面臨的問題與時程安排等，補充於結論與建議，並檢視我國政策相關配套措施是否足夠。請詳參 103-104 頁。</p>
<p>9. 我國各部門節能減碳相關技術初步評估五大部門，以工業部門對排放二氧化碳貢獻最大約(佔 5 成，47.8%)，而眾所矚目之電力部門僅佔約 1 成(10.5%)，應透過本計畫加強宣導此一研議成果，以導正火力發電成為空汙元凶之成見。(高</p>	<p>謝謝委員指導。後續於報告結論部分，將以明確方式闡述此研究成果，並以委婉語氣給予相關政策研擬之建議。請詳參 60-63 頁。</p>

<p>梓木 諮議委員)</p>	
<p>10. 我國最初發展核能時乃是基於國家安全與國防戰略之考量，在敵軍封鎖下煤炭與天然氣無法進口時，核能可繼續提供備載發電一段時間(至少 2 年)，以維持重要設施及機構的持續供電，不應忽略國安策略與佈局，應從尋求國家能源多元化與務實能源盤存、經濟面與環保上作為面向的考量。韓國皆尋求國家能源獨立，也均未放棄核電，最近韓國核電受到民意支持的啟示也應加以著墨。(高梓木 諮議委員)</p>	<p>謝謝委員指導與補充。後續將會納入韓國最新能源相關資訊於報告當中。請詳參 102 頁。</p>
<p>11. 有關「我國高佔比天然氣發電的隱憂與對策」，可酌予參考附件，本人新近的觀察與研究心得。(高梓木 諮議委員)</p>	<p>謝謝委員提供您寶貴的研究心得供參。並會將參考內容整理納入期末報告之能源安全建議中。請詳參 103-104 頁。</p>
<p>12. 有關台經院參與國內相關綠能產業協會，建議有機會引導本所建立對接的機制。(周光暉 諮議委員)</p>	<p>謝謝委員建議。台經院擔任 11 個綠色能源相關產業協會之秘書處。產業協會皆定期廣邀產官學研等專家，召開會員大會，從中掌握最新產業脈動並了解該商業模式所面臨之困難。 對於協會的成立組織、運作與平台執行</p>

	<p>方向，台經院皆會定義該產業所需，並協助技術產業化推動。核研所若未來有新技術或能源欲成立協會，台經院與核研所之未來合作不僅於研究，亦可朝此方向前進。</p>
<p>13. 對國內政策措施之建議，應審視相關推動方案(電業法、再生能源發展條例等)，檢討提出具體建議。(周光暉 諮議委員)</p>	<p>謝謝委員指導。後續將依據國內推動法案(電業法、再生能源發展條例等)等，提出具體建議。請詳參 60-63 頁。</p>
<p>14. 有關國外在碳稅及綠電憑證的作法，在國內推動之建議，應補充納入報告內。(周光暉 諮議委員)</p>	<p>謝謝委員指導。後續將蒐集國外在碳稅及綠電憑證等詳細推動作法，並提出國內政策推動等相關建議。請詳參 60-63 頁。</p>
<p>15. 報告中有分析國外模型應用在工業部份等不同領域，建議可回頭與國內模型(如 TIMES、MARKAL)做個比較。(周光暉 諮議委員)</p>	<p>謝謝委員指導。後續將依據委員建議，比較國內外模型在不同領域之模型應用。請詳參 80-81 頁。</p>
<p>16. 論文投稿內容建議投稿前給本所先審閱。(周光暉 諮議委員)</p>	<p>謝謝委員指導。本團隊將於貴所審閱確認投稿內容後再進行投稿。</p>

## 五、期刊投稿證明文件

郵件寄件者: 科技管理學刊MOT <motjournaltw@gmail.com> 郵件日期: 2017/11/20 (週一) 下午 03:03  
收件者: 陳璿恩  
副本: Re: 科技管理學刊投稿

老師 您好：

台端所賜稿件，本刊編輯委員會已收到。

◆您的稿件編號：**TM1711-3**

「科技管理學刊」編輯委員會  
TEL：03-5712121#57502  
地址：300 新竹市大學路 1001 號綜合一館 7 樓  
FAX：03-5726749  
E-mail：[motjournaltw@gmail.com](mailto:motjournaltw@gmail.com)

---

郵件寄件者: 科技管理學刊MOT <motjournaltw@gmail.com> 郵件日期: 2017/11/20 (週一) 下午 03:03  
收件者: 陳璿恩  
副本: Re: 科技管理學刊投稿

陳璿恩 <[d33304@tier.org.tw](mailto:d33304@tier.org.tw)> 於 2017 年 11 月 17 日 下午 2:12 寫道：

Dear 吳小姐您好：

我是台灣經濟研究院的璿恩，敝團隊有一篇論文「國外研究機構模擬工業部門應用節能減碳技術之模型分析結果」欲投稿於貴期刊，詳如附件。希望貴期刊給予敝團隊刊登的機會。

敬請您收到信件後回覆是否知悉

謝謝您

台經院 璿恩 敬上