

# 碳經濟

## CARBON ECONOMY

發行人 尹啓銘  
顧問 黃萬翔 吳明機  
陳小紅  
總編輯 洪德生  
執行編輯 黃宗煌 洪瑞彬  
編輯委員 李堅明 吳再益  
林師模 陳家榮  
梁啟源 顧洋  
蔣本基 蕭代基  
朱麗慧 王金凱  
編輯助理 劉光哲 楊晴雯  
發行單位 行政院經濟建設委員會  
執行單位 台灣經濟研究院  
地址 台北市寶慶路3號  
台北市德惠街16-8號7樓

### 專題分析

英、荷、日、澳的氣候變遷災害調適策略比較  
郭彥廉、張瓊婷、朱吟晨

應用台灣TIMES模型評估我國能源密集度下降  
可行性  
郭瑾璋、周裕豐、劉子衡

美國夏威夷州能源需求面管理政策及其對台灣  
之意涵  
許志義、李靜渝

兼顧能源與溫室氣體政策之我國汽電共生系統  
發展方向探討  
林唐裕、陳玟如、蔡欣欣

### 出國參訪心得

ARPA-E 探索能源供給的未來：第三屆美國能源  
創新高峰會參訪心得  
朱曉萍、羅良慧、林海珍

第26期

2012年8月

NO. 26 Aug 2012

## 目 錄

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| 編者的話 .....                                              | 1  |
| 專題分析 .....                                              | 2  |
| 英、荷、日、澳的氣候變遷災害調適策略比較<br>/郭彥廉、張瓊婷、朱吟晨 .....              | 2  |
| 應用台灣 TIMES 模型評估我國能源密集度下降可行性<br>/郭瑾璋、周裕豐、劉子衡 .....       | 17 |
| 美國夏威夷州能源需求面管理政策及其對台灣之意涵<br>/許志義、李靜渝 .....               | 36 |
| 兼顧能源與溫室氣體政策之我國汽電共生系統發展方向探討<br>/林唐裕、陳玟如、蔡欣欣 .....        | 51 |
| 出國參訪心得 .....                                            | 64 |
| ARPA-E 探索能源供給的未來：第三屆美國能源創新高峰會參訪心得<br>/朱曉萍、羅良慧、林海珍 ..... | 64 |
| 政策動態 .....                                              | 72 |
| 會議資訊 .....                                              | 78 |
| 文獻新報 .....                                              | 83 |

### 一 編輯政策一

- ◇ 本刊以溫室氣體減量之政策及其經濟問題為重點，每季定期發行，當季刊登之文稿截稿日期為前一月的 15 日。本刊資料檢索網站：<http://www.cepd.gov.tw> 點選出版品、碳經濟
- ◇ 本刊歡迎關心溫室氣體減量議題之各界先進賢達踴躍賜稿(包括專題分析、時事評論、政策動態報導、研究成果、出席國內外會議心得等)，亦歡迎讀者就本刊相關議題發表讀後建言或心得。專題分析稿件每篇以不超過 6000 字為原則，其餘不拘。  
來稿請將電子檔 email 至執行編輯黃宗煌教授：[chhuang@mx.nthu.edu.tw](mailto:chhuang@mx.nthu.edu.tw)、楊晴雯：[jp62001@tri.org.tw](mailto:jp62001@tri.org.tw)。
- ◇ 本刊各篇專論刊登前均經編輯委員會審查，本刊編委會保留刪改權力，惟內容不代表發行單位立場。來稿如不允刪改，請作者事前聲明。

## 編者的話

今年五月中旬的德國波昂會議及八月底的曼谷會議，延續去年年底的南非德班會議，實為國際氣候變遷及調適相關會議重要里程碑，其重點包括：後京都進一步減量承諾、減量承諾轉化為量化目標，以及將碳捕捉與封存(CCS)技術納入清潔發展機制(CDM)等。上述共識不但解決京都議定書屆期的問題，亦方便各國對溫室氣體減量做更具科學化的管考追蹤。有鑑於此，本期特別從因應氣候變遷、能源密集度、能源需求面管理以及溫室氣體等政策角度，探討世界主要國家，與我國在節能減碳及因應氣候變遷調適作為上的現況與趨勢，

我國為因應全球氣候變遷所造成之衝擊，行政院經濟建設委員會於 2010 年起開始研擬氣候變遷調適政策綱領及行動計畫。政策綱領於 2010 年底初擬完成，隨後持續修正，並提請行政院國家永續發展委員會討論，定 2012 年提報行政院核定。因此本期收錄成功大學郭彥廉教授等人著作，介紹四個因應氣候變遷的先進國家－英、荷、日、澳－及台灣的氣候變遷調適策略(草案)，分別依台灣調適綱領的架構，探討四個國家在國家層級的調適相關法規、組織、政策，以及防災領域中央或地方的調適策略、行動方案、行動計畫等。比較這些國家的異同，進而針對台灣目前調適政策與行動方案較缺乏的項目作政策建議。

能源密集度方面，鑑於能源效率為因應全球氣候變遷的關鍵策略，且我國已於「永續能源政策綱領」中，明確指出我國永續能源發展目標，故本期收錄工研院郭瑾瑋管理師等人著作，探討我國能源密集度下降可行性，透過台灣 TIMES 模型，評估技術效率提昇之效果及影響，作為國內相關部會擬定具體節能減碳行動方案參考依據。

另一方面，我國屬於海島型國家，能源仰賴進口，都會人口密集、多山與離島，環境生態極度敏感。在同樣的地理限制下，夏威夷卻可以透過能源需求面管理，達到能源安全以及自給自足的目標。因此，本期收錄中興大學許志義教授等人著作，闡述夏威夷州能源效率及能源節約相關法制，以及能源需求面管理平台架構與做法，以茲效法與借鏡。

另一方面，能源同時扮演經濟成長與溫室氣體排放之推手，我國在追求永續發展目標之際，正面臨能源稀缺與全球暖化的雙重壓力，此時汽電共生系統將成為政府致力於節能減碳之另一可行政策。因此，本期收錄台灣綜合研究院林唐裕所長等人著作，探討自民國 70 年代迄今，汽電共生系統對我國能源系統之貢獻與效益。

出國參訪心得部分，為增進對美國能源科技政策與先進潔淨能源之發展趨勢的瞭解，本期收錄國家實驗研究院朱曉萍副主任等人著作，概述美國未來能源技術創新之尖端議題與相關政策，以瞭解美國政府與企業，在潔淨能源技術發展與環境永續經營上的合作模式。



## 專題分析

### 英、荷、日、澳的氣候變遷災害調適策略比較

郭彥廉（國立成功大學經濟學系助理教授）

張瓊婷（亞太經濟合作颱風與社會研究中心副研究員）

朱吟晨（國家災害防救科技中心計畫研究助理）

#### 一、前言

政府間氣候變化專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, 以下簡稱 IPCC)第二工作小組第四次評估報告提到,即使採行最嚴格的減緩(溫室氣體減量)措施,在未來數十年中,仍無法避免進一步的氣候變遷衝擊,因此調適就變得非常必要(IPCC, 2007)。此報告分別評估氣候變遷對水、生態系統、糧食、海岸線及健康等五個部門的衝擊,但氣候變遷的現象包括溫度上升、豪大降水事件、受乾旱影響的地區、強烈熱帶氣旋、極端高海平面等,均與天然災害相關。此外,根據世界銀行的報告,台灣有 73%人口與面積暴露於三種以上的天然災害(Dilley, Chen, Deichmann, Lerner-Lam, & Arnold, 2005)。因此,對台灣而言,防災應是氣候變遷衝擊調適的重點。為了因應無法避免的氣候變遷衝擊,世界各國均已開始研議其氣候變遷調適策略以減輕衝擊。

台灣為因應全球氣候變遷所造成之衝擊,行政院經濟建設委員會(以下簡稱經建會)於 2010 年起開始研擬氣候變遷調適政策綱領及行動計畫。政策綱領於 2010 年底初擬完成,隨後持續修正,並提請行政院國家永續發展委員會討論,定 2012 年提報行政院核定(經建會, 2011)。本文將介紹四個因應氣候變遷的先進國家—英、荷、日、澳—及台灣的氣候變遷調適策略(草案),分別依台灣調適綱領的架構,探討四個國家在國家層級的調適相關法規、組織、政策,以及防災領域中央或地方的調適策略、行動方案、行動計畫等。比較這些國家的異同,進而針對台灣目前調適政策與行動方案較缺乏的項目作政策建議。

#### 二、文獻回顧

本文選擇英、荷、日、澳為比較案例主要因為日本是全球第一個針對氣候變遷立法的國家,英國亦立有氣候變遷法,澳洲則是第一個設立氣候變遷部的國家,均可稱為因應氣候變遷的先進國。此外,日本與荷蘭則因國土面積、部分地形、災害類型、國情與台灣類似,且均已制訂氣候變遷調適策略,經常在氣候變遷相關議題中被提出與台灣進行比較。以下介紹英國、荷蘭、日本、澳洲在法規、組織、策略和計畫等四個面向,以及台灣的國家調適策略及其防災領域的調適策略。

##### (一) 英國的防災調適策略

**法規與組織** 英國正式的氣候變遷調適行動始於 2004 年,但在 2008 年氣候變遷法(Climute Change Act)立法後,執行方式有了很大的轉變。氣候變遷法除了給予減量法源基礎外,亦使得調適有了一個國家層級的規範。氣候變遷法規定調適工作由環境、食品與鄉村事務部(Department for Environment, Food and Rural Affairs, 以下簡稱 DEFRA)負責;溫室氣體減量工作則由新成立的能源與氣候變遷部負責,同時在內閣設立氣候變遷委員會,在委員會下則設立調適小組,以提供政府建議並監督氣候變遷國家調適方案(The

Government's Adapting to Climate Change Programme, 簡稱 ACC)之執行, 此小組主席亦為該委員會成員。

**策略** DEFRA 在 2004 年提出其五年策略規劃中, 提到了氣候變遷調適政策綱領 (Adaptation Policy Framework, 以下簡稱 APF), 此綱領的目標是提供一個方法將調適整合到政策制訂過程中, 如此才能與其他政策目標一起評量重要性, 並且將此方法建置到英國政府各個部門的內部評估程序中(DEFRA, 2004)。換言之, 英國的氣候變遷調適綱領沒有針對個別部門的政策進行規範, 而是將氣候變遷的考量納入既有制度。以政府採購準則為例, DEFRA 和政府商業辦公室(Office of Government Commerce)合作制定了將調適納入政府採購的準則, 以供各級政府採購相關機構和人員依循。

APF 共有三個階段的工作。第一階段(2006 年)的工作在於描繪當時全國在氣候變遷調適的現況, 其中的公眾諮詢結果支持調適工作應是一個跨政府部門方案。全國風險評估將有助於建立一個堅實的證據基礎, 調適方案也應定期報告進度。方案將不會規定該如何調適, 政府將指出資訊來源, 並且建議最佳因應作法, 以協助民眾做最佳決策(DEFRA, 2005)。第二階段(2007 年)的目標是發展跨部門的調適目標及調適決策工具。APF 引用始於 1997 年的英國氣候衝擊研究計畫(UK Climate Impacts Programme, 以下簡稱 UKCIP)所發展的各种評估工具, 例如, UKCIP 提出的風險、不確定性和政策制定架構, 以幫助利害關係人訂定實際的調適目標、認知和管理氣候變遷的風險(Willows & Connell, 2003)。第三階段(2008 年)針對一般民眾、中小企業、組織, 將前述工具修訂為調適高手(adaptation wizard)<sup>1</sup>, 提供一個完整的操作步驟與手冊, 包含了各步驟問題的檢查清單(UKCIP, 2008)。使得讀者可以從 UKCIP 的研究成果與自身氣候調適經驗出發, 評估目前調適進度與制訂未來的調適策略。

**方案和計畫** 根據 APF 所進行的公眾諮詢的意見—調適工作應是一個跨政府部門方案, 加上 2008 年氣候變遷法立法, APF 轉變為由 DEFRA 主導的氣候變遷國家調適方案(The Government's Adapting to Climate Change Programme, 簡稱 ACC)。ACC 同樣沒有涉及個別領域、部門, 如防災的調適策略。防災領域的調適仍由原主管機關環境局<sup>2</sup>(Environment Agency, 以下簡稱 EA)進行, EA 針對自身的職權將氣候變遷調適納入考量, 並負責協助英格蘭各單位和組織進行調適。ACC 中有多項調適經費, 用以對全國的調適工作提供支援和建議, 例如「地方和區域伙伴」(Local and Regional Adaptation Partnership)和「區域氣候變遷伙伴」(Regional Climate Change Partnerships)等。

氣候變遷法規定政府每五年進行一次全國氣候變遷風險評估報告(UK Climate Change Risk Assessment, 簡稱 CCRA), 第一次已於 2012 年初發表, 政府須根據 CCRA 每五年檢討國家調適方案。在第一次風險評估報告提出前(2008-2012), 即 ACC 的第一階段共有四個工作小組, 工作內容如下:

#### 1. 提供實證

對於氣候變遷的影響及造成的結果, 發展一個更全面廣泛的證據基礎, 這將幫助個人和組織更有效率地決定如何適應。這部分的工作與 UKCIP 密切相關。原訂 2008 年出版的 UKCIP08, 於 2009 年改稱英國氣候變遷情境(UK Climate Change Projections,

<sup>1</sup> 調適高手簡介: Metcalf, G (2008), *Climate Change Decision-Making based on UKCIP's 'Adaptation Wizard'- Treating Climate Impacts as a Business Risk* (<http://www.ctci.org.tw/fp.asp?xItem=2277&ctNode=450>).

<sup>2</sup> 環境局為環境、食品與鄉村事物部的秘書處, 為非隸屬政府部會的一個公共執行機構(executive non-departmental public body)。

簡稱 UKCP)，並出版了更新的英國氣候變遷情境—UKCP2009。此工作小組將評估氣候變遷對英國的風險，並將出版第一個全國性調適的成本效益分析。

## 2. 提高行動意識並幫助民眾採取行動

讓個人和組織瞭解到現在需要採取行動以調適氣候變遷，一旦其決定採取行動，也能找到有助於他們調適的資訊。此工作小組將提升民眾對這個議題的意識；推廣採取行動所需的資訊及工具；運用調適行動資訊的能力。英國的商業、創新與技能部 (Department of Business, Innovation and Skills, 簡稱 BIS) 便於 2010 年配合 ACC 開始一項 BIS 調適計畫(plan)。計畫把氣候變遷情境轉換為可處理的風險與機會，連結調適措施與氣候變遷對產業的衝擊(BIS, 2010)。

## 3. 確保與評量調適進度

此工作小組將發展一組指標以評估調適進度，例如該工作小組已經針對英格蘭的地方政府建立一個評估各種政務納入調適考量的指標。政府根據氣候變遷法要求公部門及民營化機關須提出報告，說明如何評估及因應氣候變遷對達成營運目標所產生的風險。除了前述調適指標外，英國政府在 2007 年已經將「帶領全球致力於避免危險氣候變遷(PSA27)」列為三十個政府跨部門優先工作之一(Government, 2007)。該項工作還訂出六個衡量整體氣候變遷因應的指標，其中第二個指標—具有永續水資源使用方式的地區之比例，反映了減少水資源需求與水資源使用效率，以及長期規劃確保水資源供給的彈性。

## 4. 政府政策與作業程序應考量調適

ACC 沒有涉及個別領域的政策，調適計畫的評估則同其他計畫，援用財政部的綠書(Green Book)所提供的評估架構和準則，進行成本效益分析。以防災領域的調適為例，防災的原主管機關 EA 訂於 2009 年前針對自身的職權，發展調適行動計畫，並於 2010 年前與新的組織策略整合成調適方案(EA, 2008)。EA 目前已經有數項為因應氣候變遷衝擊而進行的防災調適計畫，如泰晤士河口 2100(Thames Estuary 2100)及漢柏河口防洪策略(Humber Estuary Flood Defense Strategy)。目前這兩個計畫均已進行公眾諮詢及策略環境影響評估。泰晤士河口 2100 計畫包含了泰晤士河的感潮帶，從河口到倫敦市區的上游，既有的計畫是在 2030 年以前大部分地區能防禦 1,000 年重現期的洪水，但相關的設施在未來 20 到 30 年內將達其使用年限，加上社經發展及氣候變遷，防洪能力將逐漸不敷使用。泰晤士河口 2100 的目標是發展一個長期的洪災管理計畫，將洪災風險、現在與未來資產、永續、利害相關人的需求、氣候變遷、社經條件均納入考量的百年計畫(EA, 2009)。漢柏河口防洪策略也是類似的計畫，目標是發展一個百年為期，考量河口自然、周遭發展、景觀、永續及未來海平面上升等因素的防洪計畫(EA, 2005)。

2012 年發表的 CCRA 將極端天氣及海岸與內陸水災評估為國家最顯著的氣候變遷風險(DEFRA, 2012)。根據氣候變遷法，第二個階段的 ACC 將據此規劃全國調適方案(National Adaptation Programme)，並於 2013 年開始執行。

## (二) 荷蘭的防災調適策略

**法規與組織** 在氣候變遷調適的立法方面，荷蘭國會已在 2011 年通過三角洲法(Deltawet)，賦予三角洲方案、三角洲委員長和提撥三角洲基金之法源。三角洲委員會第

一次成立於 1953 年的北海洪災之後，政府爲了避免此種嚴重的海洪風險，成立了三角洲委員會，荷蘭政府核定其所提三角洲計畫(Deltaplan)，並於 1958 年開始相關建設，稱爲三角洲工程(Deltawerken)，所有的工程直至 2010 年才正式完工。爲了因應氣候變遷，荷蘭政府於 2007 年第二次成立三角洲委員會，由前農業、自然和食品品質部部長所帶領，並於 2010 年結束，交棒給三角洲委員長。前述委員會針對荷蘭未來百年的水及氣候變遷等議題，提供建言，其中最主要的建議爲三角洲法立法的需求。而政府也回應三角洲委員會的建言，在 2009/2010 開始三角洲方案，此方案之目的主要在於確保水源供應及水資源安全性(包括防洪工程)，只單就「水」方面的氣候變遷調適進行規範，並非涵括全面的調適，不過其規劃所及的空間範疇相當廣泛，包括海岸及流域、都市及鄉村、開發地區及生態保護區等。

荷蘭的氣候變遷相關研究始於 1989 年間，2001 年之後非科研政府部門－住宅、空間規劃及環境部(Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu，簡稱 VROM；其於 2010 年末和交通、公共工程和水資源管理部 Ministerie van Verkeer en Waterstaat 合併，形成基礎建設與環境部，原文 Ministerie van Infrastructuur en Milieu，簡稱 I&M)開始加入，並主導相關政策的規劃。一是荷蘭氣候變遷之科學評估和政策分析方案(Wetenschappelijke Assessment en Beleidsanalyse，簡稱 WAB)，WAB 由荷蘭環境評估署(Planbureau voor de Leefomgeving，簡稱 PBL)爲 VROM 所作之規劃，參與機構爲各相關政府單位和研究機構，包括荷蘭皇家氣象機構(Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut，簡稱 KNMI)。在研究方面，荷蘭國科會(Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek，簡稱 NWO)在 2004 至 2010 年間所支持之脆弱度、調適與減量計畫(Vulnerability, Adaptation and Mitigation，簡稱 VAM)，主要探討調適的制度層面，以及調適和減量之間的替代和互補關聯(Chang, Martens, & Amelung, 2010; NWO, 2004)。

荷蘭在氣候變遷的經費主要來自知識投資補助基金(Besluit subsidies investeringen kennisinfrastructuur，簡稱 BSIK)。基金來源爲部分的北海天然氣收入，其目的在爲荷蘭創造高品質的知識經濟。至今已提撥 8 億歐元，補助 37 個計畫，其中 31 個計畫已結案，包括與水共生(Leven met Water)、氣候空間(Klimaat voor Ruimte)、和氣候知識(Kennis voor Klimaat)等調適相關計畫。

**策略** 雖然荷蘭氣候變遷調適策略直到 2007 年才正式通過，但 2005 年完成的國土空間規劃策略(Nota Ruimte)即爲了氣候變遷調適工作鋪路。國土空間規劃策略將防洪(避免洪水危及公共安全)列爲政策目標之一。爲了達成此目標，荷蘭採用了與水共生的策略，並且藉由在各主要河川與海岸禁止新的大規模開發，以及創造更多保留空間以容納洪水。在這些保留地區進行的活動需詳細進行區劃和設計，以避免造成地表水與地下水的污染(VROM, 2005)。氣候變遷的國家調適策略(Nationale Adaptatiestrategie，簡稱 NAS)爲下段將介紹的氣候調適與空間規劃國家方案之成果，NAS 從 2005 年由上議院提案，直到 2007 年 11 月獲由內閣、國會和上議院組成的國家會議通過，主旨是仿荷蘭治水哲學－給河川留空間－訂爲給氣候留空間 (Maak Ruimte voor Klimaat)(蕭代基等，2008)。NAS 的政策備忘錄中說明其原則是透過土地利用、空間規劃，以調適氣候變遷引起的災害。NAS 第一個基本承諾是進行風險管理，策略性地考量各種不確定性，以避免或最小化災害損失。以堤防爲例，爲了因應洪水的不確定性，現有的堤防應考慮更改爲階梯形式，以減少極端事件發生，如洪水或潮水溢堤時，堤內大量淹水且無法排出而造成的嚴重損害。第二個承諾是利用與包容自然系統原有的特徵。例如在堤外的住宅需要適應河川水位的動態改變(稱之爲兩棲屋或浮動式房屋等)，此外，建立更多容納洪水的空間，如潟湖等。在都市地區則可採用如滯洪池等設施，以及家戶減災措施及空間規劃，以減少災害損失(參見圖 1)。目前已經有一些根據此策略設計之建築或區域規劃完工啓用(ARK, 2007a)。



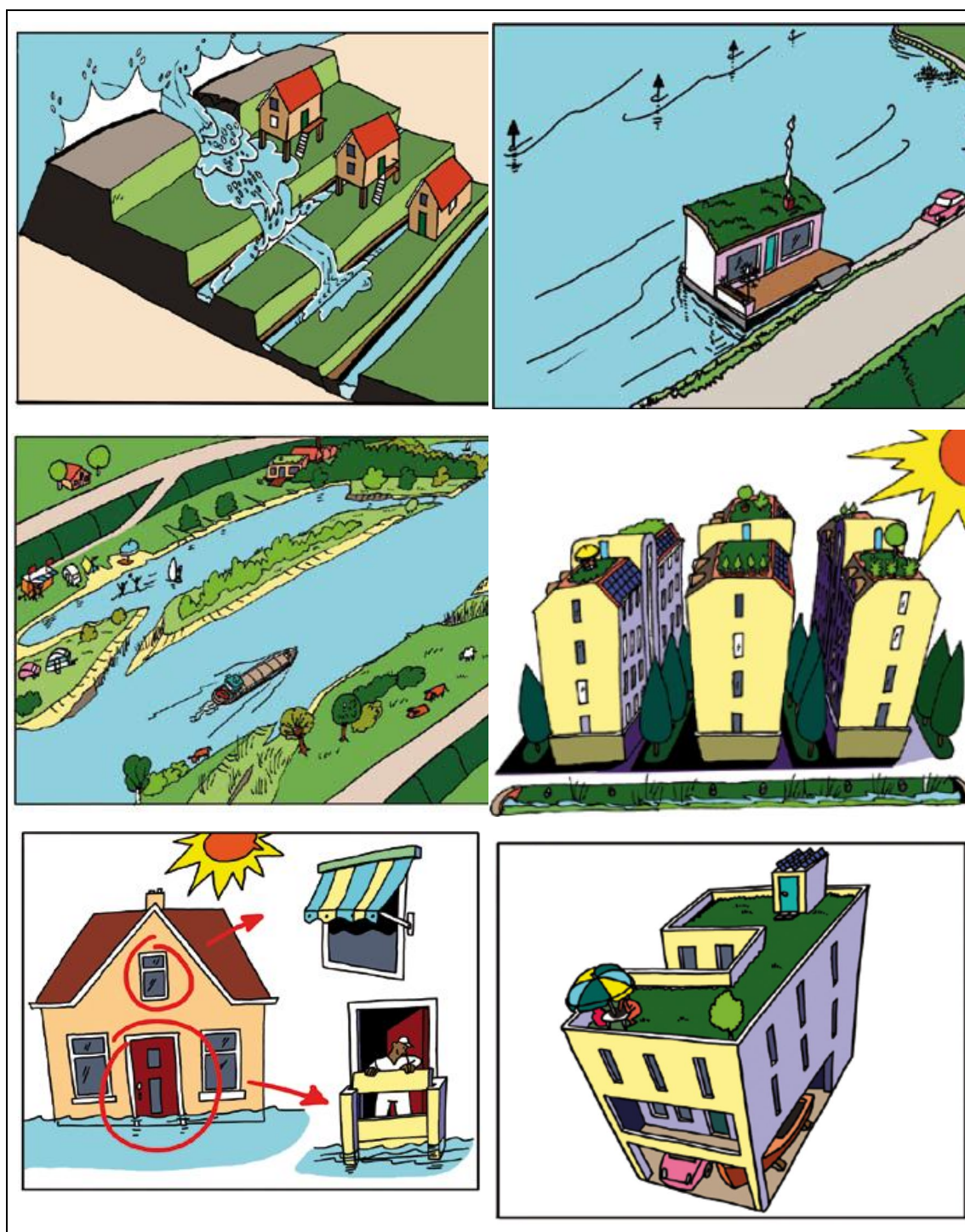


圖 1. 運用空間規劃調適氣候變遷災害概念圖

資料來源：ARK (2007a)

**方案與計畫** 2006 年由中央政府提案的氣候調適與空間規劃國家方案 (Adaptatieprogramma Ruimte en Klimaat, 簡稱 ARK) 正式推行，此方案目的在於確保荷蘭的空間規劃能因應未來一百年環境與氣候變遷，採用氣候不侵之土地利用概念，主要在於結合技術及社會調適方式，並強調創意，將氣候可能對土地利用所帶來的相關風險降至就社會及經濟價值而言可接受的程度 (ARK, 2007b)。參與的機構從中央政府到地方政府，從公部門到私部門。除主導的 VROM 以外，還有公共工程及水資源管理部 (Ministerie van



Verkeer en Waterstaat, 簡稱 V&W)、農業、自然及食品品質部(Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselkwaliteit, 簡稱 LNV)和經濟部(Ministerie van Economische Zaken, 簡稱 EZ)等四個政府單位, 以及省政府單位聯盟(Interprovinciaal Overleg)、市政府單位聯盟(Vereniging van Nederlandse Gemeenten)、水利會聯盟(Unie van Waterschappen)、非政府組織、私部門、個別的省份、市和水利會等。ARK 下的一個路程規劃計畫(Routeplanner)負責評估氣候變遷衝擊, 並分析相關調適政策。2007 年出版的氣候不侵之荷蘭(Towards a Climate-Proof Netherlands)報告書擬定荷蘭朝向 2050 年之氣候變遷調適策略相關規劃, 氣候不侵是指一個系統能在氣候變化下, 阻擋和吸收因氣候變遷所帶來的相關壓力, 以持續正常運作。該報告歸結要讓荷蘭這個國家作到氣候不侵是相當不容易, 不過針對各次系統, 如海岸系統和河川系統則有相當之可行性(ARK, 2007b)。

目前還在執行的最大規模之調適計畫是氣候知識(KvK)<sup>3</sup>, 計畫時期為 2008 至 2013 年, 總經費預算為 1 億歐元, 一半由中央政府支付, 另一半則由省/市地方政府、水利會和私部門負擔。此計畫選定八個調適重點區(hotspots)進行個案研究, 其主要原因除了在區域層面較能落實調適策略外, 亦在於找出並組織為達到氣候不侵之相關知識, 並將荷蘭在氣候變遷下之脆弱性轉換為利基, 包括研究商機及三角洲地區對抗氣候變遷之技術。這八個重點發展區有兩個共通點: 一為大型投資所在地; 二則是對氣候變遷具有高度脆弱性。此計畫不僅著重於氣候相關知識之儲備和移轉, 更著重於研究團隊和地方調適重點區之合作, 以善用地方特有知識。這不僅是知識的蒐集彙整, 還包括溝通, 例如氣候變遷速寫簿(sketchbook)及從速寫簿到氣候圖集(climate atlas)兩個子計畫, 計畫將氣候變遷的衝擊圖像化, 以利於與地方環境知識結合, 進一步促使地方代表透過此平台溝通討論調適策略。

### (三) 日本的防災調適策略

**法規與組織** 日本對氣候變遷因應的立法是所有國家中最早的, 自 1997 年的京都會議後, 日本即在當年 12 月的內閣會議中成立地球溫暖化對策推進本部(以下簡稱推進本部), 由內閣總理大臣(首相)擔任本部長, 整合所有的行政公部門, 以推動各項技術面與策略面的研究(蕭代基等, 2010)。隔年國會通過地球溫暖化對策推進法, 推進本部也制訂了地球溫暖化對策推進大綱。然而, 推進本部、推進法、推進大綱主要都是規範溫室氣體減量。在氣候變遷的調適方面, 並沒有一套由上而下的制度架構。位階最高的調適行動是在調適技術方面, 由首相所召開的總和科學技術會議, 在 2009 年成立了實現氣候變遷適應型社會的技術發展方針專責小組, 提出了創造可適應氣候變遷之新社會技術發展方針。此方針提出了兩個主要的策略, 一為強化綠社會基礎設施(グリーン社会インフラの強化), 一為創造領先世界的環境先進都市(世界をリードする環境先進都市創り)。前者包含了安全、安心的水環境、豐富的綠環境、永續的可再生能源系統, 後者包括了都市緊密化、發展防災資訊、形成健康長壽環境等措施(氣候變動適應型社会の実現に向けた技術開発の方向性立案のためのタスクフォース, 2010)。

**策略** 環境省在 2007 年 10 月成立全球暖化影響與調適研究委員會, 其在 2008 年 6 月公佈氣候變遷聰明調適策略(氣候変動への賢い適応)。在日本的氣候變遷聰明調適策略中, 強調其以脆弱度評估與氣候變遷的未來推估為基礎, 考慮有效性及有效率的調適。策略包含八個重要領域, 分別是糧食、水環境與水資源、自然生態系、防災與沿岸大都市、健康、國民生活與都市生活、開發中國家以及其他領域等。調適策略的具體內容包含: (1) 加強區域脆弱性的評估、(2) 導入監測與早期預警系統、(3) 活用科技、政策與社經等層面的不同策略、(4) 考量長、短期兩種觀點、(5) 觀測結果的利用與確保調適策略的導入、(6) 調適策略的主流化、(7) 有效實現低脆弱性的「靈活對應系統」、(8) 促進互利型調適策略、

<sup>3</sup> 相關資訊請參見: <http://knowledgeforclimate.climateresearchnetherlands.nl/nl/25222734-Home.html>

(9)利用保險等經濟體系以提升全體社會的調適能力、(10)聯合相關組織與建立合作體制、(11)促進社會各類自治體的自發性參與、(12)人才的培育等(地球溫暖化影響・適応研究委員會, 2008)。

根據以上的調適策略，各領域再擬訂調適措施，措施可分為三類：(1)技術類，含技術與資訊、認知；(2)政策類，含立法與人力資源；(3)社會經濟類，指與社會系統與經濟系統相關者。以水環境與水資源類領域為例，在未來氣候變遷的情境下，為防止水資源不足，民眾抽取地下水造成地層下陷，技術類調適措施為可採海水淡化；政策類可採法律規範地下水的抽水限制，或是選擇利用課稅等經濟手段抑制地下水的抽取。在防災與沿岸大都市領域，面臨未來預期的海平面上升，沿岸的大都市為防減災，技術上應該強化海岸防護；政策上實行綜合的沿岸地區管理；社會經濟上建立災害復原基金或補助金。所有領域都有這三類的調適措施(地球溫暖化影響・適応研究委員會, 2008)。

環境省為了讓其他部門及地方政府能共同參與調適，於 2010 年成立了氣候變遷調適方針討論會以提出氣候變遷調適方針。該方針界定了五大類調適，包括(1)針對已經發生且極可能由氣候變遷引起的衝擊，如強降雨頻率增加等，採取緊急回應措施(短期調適措施)；(2)針對單一部門推估的衝擊，評估調適措施風險降低的效果及成本，屬於中長期部門別措施；(3)針對更需要部門整合的調適方法，以及基礎設施強化，包括技術、制度、財務、人力資源等，採取系統性、一致性的方法，屬於中長期整合性與基礎建設強化措施；(4)透過制度安排與技術發展，強化目標區域、部門的資訊蒐集、儲存、管理與利用；(5)提升民眾及調適承辦公務員的意識與瞭解，以及透過界定部門及地方政府權責單位，來達到促進參與及合作。此外，對於設計與執行調適的步驟亦有詳細說明。最後則彙整目前日本已經進行的調適行動作為範例，讓其他部門與地方能學習調適方法。調適案例共有四個：(1)風險評估：東京都進行氣候變遷對中暑影響的風險評估；(2)規劃與執行監測：長野縣開發新技術監測高山積雪，以瞭解氣候變遷對積雪的影響；(3)調適法令：埼玉縣制訂氣候變遷因應自治條例，內容包含減量與調適；(4)整合土地利用的防災：國土交通省在 2008 年完成的「因應全球暖化引起與水相關的災害之調適策略」中建議，未來水災防治計畫應搭配土地利用管制，例如劃定災害危險區域以避免新的開發，對於既有開發區則可以採圍堤或墊高房屋的方式減輕水災危害(參見圖 2)(氣候變動適応の方向性に関する検討会, 2010)。



圖 2. 搭配土地利用管制的水災防治計畫概念圖

資料來源：氣候變動適応の方向性に関する検討会(2010)

**計畫** 前述的調適案例顯示在環境省制定氣候變遷調適方法之前，主要受氣候變遷衝擊的幾個部門即已開始進行調適規劃。國土交通省已進行的調適計畫就包含了：(1)促進包含水質、水量、地下水、海岸的水資源綜合管理；(2)透過亞洲河川流域管理組織網絡

貢獻季風亞洲地區的流域管理、(3)製作水資源綜合管理指南、(4)參與世界水資源論壇、(5)研擬因應全球暖化引起水相關災害之調適策略、(6)研擬極小化氣候變遷引起的災害風險之港灣調適策略。其中第五項計畫提出了六個調適策略：(水利)設施的調適、與社區發展結合的調適(即包含增強私有住宅抗災能力及搭配土地利用管理等措施(圖 2))、以災害管理為主的調適策略、避免旱災的調適策略、河川環境變遷的調適、增強氣候變遷衝擊的觀測系統。國土交通省隨後將這些調適策略納入 2010 年修訂完成的環境行動計畫，其中包含低碳社會及氣候變遷的調適策略，並且已經依據這些策略執行相關計畫(參見圖 3)(國土交通省, 2010)。



圖 3. 氣候變遷引發的災害風險增加之調適案例

資料來源：國土交通省(2010)

#### (四) 澳洲的防災調適策略

**法規與組織** 澳洲政府 1998 年在環境部下成立澳洲溫室氣體辦公室(Australian Greenhouse Office, AGO)，是全世界第一個致力於減少溫室氣體排放量的政府組織。2007 年 12 月 AGO 改組成氣候變遷部，也是國際上第一個部會級的氣候變遷專責機構(蕭代基等，2008)，其於 2008 年又改為氣候變遷與能源效率部(Department of Climate Change and Energy Efficiency, DCC)。DCC 主要負責三個任務：(1)減少澳洲溫室氣體排放量、(2)調適無法避免的全球變遷影響、(3)促進全球溫室氣體減量方案形成。亦即澳洲的減量與調適均由此氣候變遷部主管，其主要的工作在於建立社區回復力與塑造有利的條件，以利人民調適；在考量與全國人民資產相關的計畫時，將氣候變遷納入評估；提供健全的科技資訊；帶領全國進行相關改革。氣候變遷對各地的影響並不是全面且一致的；各地的脆弱度不同，每個地方因氣候變遷所帶來的變化，可能會發生在不同的時間點，也有可能產生不一樣的衝擊。基於這個理由，澳洲在未來五到十年內，六個最須優先進行調適的領域為：(1)水資源、(2)海岸、(3)公共建設、(4)自然生態系、(5)自然災害管理、(6)農業。為追蹤及確認在調適策略的作為是否恰當，澳洲政府預定每五年發表一份「氣候未來報告」(DCC, 2010a)，但第一份報告已經延至 2012 年以後才出版。澳洲因應氣候變遷的立法均是針對減量，調適的部分並沒有法令。

**策略** 由澳洲各級政府首長組成的澳洲政府委員會(Council of Australian Governments, COAG)在 2007 年 4 月同意國家氣候變遷調適綱領(National Climate Change Adaptation Framework)。在這份綱領中，架構了澳洲跨政府組織間，在面對氣候變遷衝擊與調適的多項選擇時，各部會該如何提出需求，並進行相互間的溝通協調。調適策略的兩大重點：(1)建立了解與調適能力、(2)降低區域性的脆弱度，並詳列各項議題可能執行的行動措施(COAG, 2007)。為了執行此綱領，澳洲政府同年開始執行氣候變遷調適方案(Climate



Change Adaptation Program)，總經費約 1.26 億澳幣，主要目的是為了幫助澳洲人民更清楚了解及管理碳排放所帶來的風險，並掌握相關機會。澳洲政府的調適措施分為三方面：(1) 資助研究、(2) 補助地方政府與專業人士的計畫、(3) 進行國家重大脆弱度評估。澳洲政府資助科學研究、做全面性的評估、建議調適策略，但由地方政府執行計畫。此方案於 2007 年成立澳洲氣候變遷調適中心(National Climate Change Adaptation Research Facility)，主要工作在於發展國家調適研究計畫、整合國內外氣候變遷衝擊與調適研究及發展用於溝通的材料、執行國家重點調適研究及建立與維持調適研究網絡。

**計畫** 澳洲中央政府著力於兩個關鍵部門的調適，一為水供給，二為海岸地區。澳洲幾乎所有重要城市都在海岸邊，將近 85% 的人口聚集在海岸附近；海岸不僅是進出口貿易的重要位置，也是澳洲人休閒遊憩的熱門場所。有鑒於全球氣候變遷、溫度上升，海冰的融解將使海平面上升，嚴重威脅澳洲的海岸安全，DCC 在 2009 年提出了第一版的澳洲海岸氣候變遷風險報告。該報告使用機率的概念，像是未來若是遭遇百年一次、或千年一次的水災頻率等，現階段該有怎樣的作為。文末並列出對於建築物可有的三種調適選項：(1) 保護、(2) 撤退、(3) 調適，及其利弊得失(DCC, 2009)。澳洲政府預計於五年內花費 2500 萬澳幣根據此報告幫助沿海的社區準備及調適氣候變遷的影響；諮詢沿海官方與民間各界以發展一個沿海城鎮藍圖；五年內花費 1 億澳幣保護珍貴的海岸環境；五年內花費 2 億澳幣確保大堡礁不受氣候變遷及水質惡化的影響。

由於地方是面對氣候變遷衝擊的前線，所以澳洲中央政府還透過地方調適途徑方案(Local Adaptation Pathways Program)補助地方政府進行調適。方案主要的目的是協助地方政府根據 2006 年製作的「氣候變遷衝擊與風險管理－企業與政府手冊」(AGO, 2006)，將氣候變遷的風險評估納入其決策過程。在地方政府的氣候變遷調適行動報告中，列舉公共建設、遊憩設施、健康維護、自然資源等項目的調適選項，並以幾個已經初步進行調適行動的地方為例，加以闡述調適的內容。例如在面對海岸地區風險時，Clarence 城市在考量中期時程(25-75 年)時，建議下列的調適方式：(1) 對於新的開發要有整體規畫；(2) 重建各種硬體防災工程，使其超過未來洪水的高度；(3) 針對可能受到災害影響的建物，需進行減災並配合詳細的災害應變、撤離計畫；(4) 提供社區教育及資訊，使人民能認知並能因應風險；(5) 持續監測、分析與複習所知(DCC, 2010b)。

## (五) 台灣的防災調適策略

**法規與組織** 台灣還沒有針對氣候變遷立法，目前溫室氣體減量由行政院環境保護署負責，氣候變遷調適則由行政院經濟建設委員會負責。氣候變遷調適政策綱領及行動計畫(草案)中，政策願景是建構能適應氣候風險的永續臺灣。政策原則包括：(1) 政策與機制之整合；(2) 預防、安全與效率並重；(3) 前瞻思維與無悔策略；(4) 調適與減緩兼顧；(5) 調適應以生態系統為基礎；(6) 人人有責、夥伴參與及合作；(7) 考量弱勢族群與不同性別之需求；(8) 全民素養與能力之提升；(9) 國際合作。政策目標是提升及健全台灣面對氣候變遷的調適能力，以降低台灣的脆弱度。為達成此政策目標，此綱領擬訂了以下八項工作：(1) 建立因應氣候變遷調適之法律架構與政府組織；(2) 建立考量氣候因素的國家發展計畫與決策機制；(3) 建立有效的氣候變遷預警、衝擊評估及決策支援系統，並強化國家與地方氣候災害防救體系及能力；(4) 規劃兼具氣候變遷調適與減緩的無悔對策與措施。(5) 加強氣候變遷調適科技研發，並培育廣博且專精的氣候變遷專業研究分析人才；(6) 紮根全民共同面對與共同承擔的氣候變遷調適教育；(7) 建立整合公私部門與全民參與的調適決策與行動平台；(8) 規劃經濟誘因及相關配套制度，以鼓勵公私部門主動落實氣候變遷調適。調適行動方案便是根據這八項工作，再分為災害、水資源、維生基礎設施、能源供給及產業、海岸、農業及生物多樣性、健康、土地使用等八大領域所擬訂(經建會, 2011)。

**策略** 在災害領域的調適策略共有以下六項：(1)推動氣候變遷災害風險評估與高災害風險區與潛在危險地區的劃設；(2)加速國土監測資源與災害預警資訊系統之整合，以強化氣候變遷衝擊之因應能力；(3)檢視、評估現有重大公共工程設施之脆弱度與防護能力，並強化災害防護計畫；(4)重大建設與開發計畫應重視氣候變遷衝擊；(5)推動流域綜合治理，降低氣候風險；(6)強化極端天氣事件之衝擊因應能力，推動衝擊與危險地區資訊公開、宣導、預警、防災避災教育與演習。在土地使用領域的調適策略共有以下六項：(1)將環境敏感地觀念落實在國土保育區的劃設與管理；(2)因應氣候變遷加速與國土空間相關計畫之立法與修法；(3)建立以調適為目的之土地使用管理相關配套機制；(4)定期監測土地使用與地表覆蓋變遷，並更新國土地理資訊系統資料庫；(5)提升都市地區之土地防洪管理效能與調適能力；(6)檢討既有空間規劃在調適氣候變遷之缺失與不足(經建會, 2011)。

**計畫** 目前中央層級的調適行動計畫由各權責部會自行根據政策綱領推動相關計畫。在防災領域 2011 年即有 50 個相關計畫。以符合第二項調適政策－強化氣候變遷衝擊之因應能力，加速國土監測資源與災害預警資訊系統之整合－為例，國科會便由國家災害防救科技中心執行「國土資訊系統災害防救應用推廣服務」；經濟部地調所執行「強化坡地環境地質與防災應用」；交通部氣象局執行「災害性天氣監測與預報作業建置計畫」；交通部公路總局公路執行「災情彙整及 GIS 決策支援應變實務操作」；經濟部水利署執行「研發洪水預警、淹水預警、災害決策支援、旱災應變技術」；農委會水保局執行「全流域防災應變資訊平台暨全球化推廣計畫」。在地方的調適行動方面，2012 年起經建會擇定台北市與屏東縣作為推動地方氣候變遷調適計畫的示範縣市。

### 三、政策比較分析

從前述英、荷、日、澳的氣候變遷防災調適策略可以發現，四國均於數年前開始進行氣候變遷調適，但各國採用的方法，如立法或設立組織，或綱領及方案的內容均有不少差異。因台灣的氣候變遷調適綱領還未經在行政院核定，行動方案還在研擬中，故本文以比較分析英、荷、日、澳四國的調適制度、調適領域、防災策略或計畫為重點，作為台灣擬訂調適行動方案的參考。

#### (一) 調適制度比較

以下將進行英、荷、日、澳四國氣候變遷調適制度的比較(參見表 1)。由於各國在調適方面的制度使用不同的名稱，因此僅能概略地分為以下四類：(1)立法；(2)主管機關；(3)國家層級的調適政策(policy)，含策略(strategy)、方針(guideline)、綱領(framework)，與方案(programme)；(4)部門調適方案、計畫(project)、計劃(plan)。此處的政策指政府針對構想之目標或特定問題，予以原則化，作為行動的方針。由於通常並非具體說明行動的內容，故多數國家並沒有針對政策給予法律上的定義，同時也有稱之為策略或綱領者。方案則是指一特殊領域中一連串之個別計畫，一般多是針對中、長程措施的計畫。計劃(plan)指特定部門或區域的發展規劃。

日本、英國、澳洲均有針對氣候變遷立法，荷蘭則立有三角洲法，但只有英國的氣候變遷法(2008 年)中有明確規範國家的調適行動。英國於 2006 到 2008 年間雖有氣候變遷調適政策綱領(APF)，但其目標是發展一個將調適政策整合到政策制訂過程的方法，此作法後來被納入氣候變遷法。這與其他國家問題導向的政策、策略、綱領性質不同。此外，英國於氣候變遷法立法後，成立能源與氣候變遷部負責溫室氣體減量，由環境、食品與鄉村事務部(DEFRA)主管氣候變遷調適方案規範調適行動，例如促進氣候變遷調適的意識與行

動等，部門別的調適措施及計畫則仍由原主管機關推動。澳洲則是設立新政府組織－氣候變遷與能源效率部，以負責減緩與調適兩方面的工作。

日、荷、澳均有國家層級的調適策略或綱領。澳洲的氣候變遷調適綱領除明訂調適政策以外，還包括各部會間執掌與協調，為三國中最詳盡者。日本的氣候變遷調適方針包含可行的調適措施，部門別的計畫推動則回到原主管機關進行；荷蘭先由調適方案(ARK)推動調適工作，國家調適策略(NAS)則是方案的政策成果之一，現已獲國家會議通過，調適方案以建議各種空間規劃的調適措施為主要目的。

為落實法令、調適綱領或策略，英、澳、荷均訂有氣候變遷調適方案(programme)，但規範的內容差異極大。英國的氣候變遷調適方案沒有涉及部門調適措施與計畫。部門別的調適計畫則如 BIS 調適計畫。澳洲的調適方案則包含各部門的調適措施及計畫，主要作為編列經費補助及管考相關調適計畫之用。荷蘭面臨氣候變遷時的最大威脅將是洪患，其氣候調適與空間規劃國家方案即為確保荷蘭的空間規劃能因應環境與氣候變遷。水相關之調適工作源於荷蘭治水歷史沿革，目前交由三角洲委員會管理，列入三角洲方案規範。日本目前沒有國家層級的調適方案，部門別的計畫如國土交通省的環境行動計畫，其針對水資源管理及災害降低等面向提出具體的規劃。

表 1. 英、荷、日、澳氣候變遷調適制度比較表

| 國家 | 調適相關立法 | 減量主管單位       | 國家層級的調適政策           | 部門別調適方案、計畫案例 |
|----|--------|--------------|---------------------|--------------|
|    |        | 調適主管單位       | 國家層級的調適方案           |              |
| 英國 | 氣候變遷法  | 能源與氣候變遷部     | 氣候變遷調適政策綱領          | BIS 調適計畫     |
|    |        | 環境、食品與鄉村事務部  | 氣候變遷調適方案            |              |
| 荷蘭 | 三角洲 法  | 基礎建設及環境部     | 國家調適策略              | 三角洲方案        |
|    |        |              | 氣候調適與空間規劃國家方案、氣候知識  |              |
| 日本 | 無      | 地球溫暖化對策推進本部  | 氣候變遷聰明調適策略、氣候變遷調適方針 | 國土交通省環境行動計畫  |
|    |        | 各部門推動        |                     |              |
| 澳洲 | 無      | 成立氣候變遷與能源效率部 | 國家氣候變遷調適綱領          | 地方調適途徑方案     |
|    |        |              | 氣候變遷調適方案            |              |

四國的調適策略以荷蘭最有特色，荷蘭的策略以空間規劃為主，原因及優點有以下兩者：一是相對於多數歐美國家，荷蘭地狹人稠且多數土地低於海平面，因而易受災，土地的使用受到較多限制，土地利用的原則是荷蘭最重要的國策；二是以空間規劃為主要政策標的可以減少各種土地利用的競合，亦即不同調適策略的衝突。以日本的聰明調適為例，在糧食領域、作物種植及水產養殖地區的改變、生態系領域的生態迴廊設置，及防災領域的超級堤防設置，均有可能位在同一個受氣候變遷衝擊的地區。個別地區確切的調適措施仍須因地制宜，空間規劃可以作為整合部門策略的工具。

荷蘭的氣候變遷調適以空間規劃為目的，所以調適方案(ARK)由空間規劃主管機關(VROM)主導，會同公共工程及水資源管理部、農業自然及食品品質部、經濟部、省/市政府、各級水利會，以及專家學者之合作，提出土地利用的原則，以及各種減少氣候變遷衝擊的創新空間規劃觀點，但其他部門，如農糧、公共衛生等領域的調適仍包含於方案中。



## (二) 重點調適領域比較

各國的調適領域(部門)差距不大，且都強調與水相關災害為首要風險。英國第一階段的調適方案以整體因應策略為主，沒有個別領域、部門的策略。第二階段的調適方案根據氣候變遷法，將以風險評估報告(CCRA)呈現的重要風險進行調適，該報告將氣候變遷風險分為十一個領域，並將水災與海岸侵蝕風險管理列為最需要早期(未來五年)調適行動的領域之首，未來調適方案勢必著重於此。荷蘭、日本、澳洲及台灣均有設定重要領域，或甚至研擬重要領域的調適策略。重要領域如表 2 所示，各國均將防災、水資源、生物多樣性(或生態系)列為重點。日本、澳洲與台灣將農業(或糧食)獨立為一重點領域；澳洲與台灣將公共建設或維生基礎設施獨立為重點，荷蘭則併入對經濟體的影響；日本與台灣將健康列為重點之一；日本、澳洲與台灣均提到海岸領域，荷蘭則併入防洪議題。由此可見，防災(含防洪)、水資源、海岸均是各國調適的重點領域。比較特殊的調適領域是日本的開發中國家領域，荷蘭的氣候知識計畫亦包含成立國際三角洲同盟，均可歸類為國際合作。台灣的調適政策綱領原包含了國際合作，但十項調適工作及防災領域的調適策略均未明確提到國際合作的方法。由於氣候變遷的衝擊可能迥異於當地過去經驗，加上從台灣的國家調適策略將防災列為第一個調適領域，且其策略亦包括流域管理，顯見流域防災為重要調適標的。未來應考慮擬訂這方面的國際合作行動計畫有利於擴展調適經驗。

表 2. 荷、日、澳氣候變遷調適策略領域或重點工作領域比較表

| 國家 | 調適策略領域                                                 |
|----|--------------------------------------------------------|
| 英國 | 生物多樣性與生態系統服務、農業、森林、水、海洋與漁業、水災與海岸侵蝕、建成環境、能源、運輸、健康、工商服務業 |
| 荷蘭 | 氣候變遷對荷蘭的影響、防洪、生活環境、生物多樣性、經濟(含重要基礎設施、水資源等)              |
| 日本 | 糧食、水環境與水資源、自然生態系、防災與沿岸大都市、健康、國民生活與都市生活、開發中國家、其他        |
| 澳洲 | 水資源、海岸、公共建設、自然生態系、自然災害管理、農業                            |
| 台灣 | 災害、水資源、維生基礎設施、產業及能源供給、海岸、農業生產與生物多樣性、健康、土地使用            |

## (三) 防災調適策略、措施比較

在防災調適領域，荷、日、澳均在其國家氣候變遷調適策略或綱領中列舉許多防災調適措施，但作法各自不同。荷蘭 NAS 的政策備忘錄中說明了透過土地利用、空間規劃調適氣候變遷災害，並且具體地提出許多新的空間規劃調適方法，如圖 1 所示。日本聰明調適策略的防災領域及調適方針也提到建築樣式的改變，以及發展適合土地利用的調適等創新調適措施，如圖 2 所示。此外，聰明調適策略中的調適措施涵蓋範圍廣泛，除了科技運用與土地利用限制等台灣調適策略綱領中已明確指出的策略，還包括經濟與法律措施，如立法限制地下水抽取、成立住宅水災保險、成立災後重建基金等。這些實際的法規與經濟誘因制度未來可以考慮納入台灣的調適行動方案。

四個國家的調適策略均包含了提供氣候變遷的危害、後果等實證資訊；加強災害監測；及防災相關的政策與計畫需考量氣候變遷的影響等。然而，英國的調適方案除了提供實證資訊以外，還進一步要求提高民眾進行調適行動的意識，並幫助民眾採取行動，BIS 調適計畫甚至希望將氣候變遷情境轉換為可處理的風險與機會，連結調適措施與氣候變遷對產業的衝擊，尋找調適的商業機會等。英國的 CCRA 除了評估風險以外，也同時評估機會。荷蘭的氣候知識計畫，亦以整合達到氣候不侵之相關知識為主，並將荷蘭在氣候變遷下之脆弱性轉換為利基為目的。此外，還開發利害相關人參與調適決策的方法。日本、澳洲及台灣的調適策略提到防災計畫需考量氣候變遷的影響，但英國的調適方案則進一步要求所

有政府政策與作業程序均考量調適，不僅評量調適進度，調適方案還需對應風險評估結果。

#### 四、結論與建議

根據 IPCC 第四次評估報告，即使 2000 年以後不再排放溫室氣體，氣溫仍將上升，故氣候變遷勢必於未來造成衝擊，氣候變遷調適即甚為重要(IPCC, 2007)。英、荷、日、澳均於 2005 年前後開始推動國家調適策略，各國的調適策略在制度面雖有所差異，但調適的重點領域及措施仍有些類似。英國立法規範調適行動，但調適方案僅針對國家整體的調適工作進行規劃，個別領域的調適完全交由各部門及地方政府進行。英國的調適方案著重於提高民眾進行調適行動的意識並幫助民眾採取行動、要求所有政府政策與作業程序均需考量調適，且評量調適進度等三方面都顯著地比其他國家先進且嚴格，值得學習。

澳洲設立氣候變遷部、氣候變遷調適中心、國家調適綱領及方案，並透過地方調適途徑方案補助地方政府、社區進行調適，為調適制度最完整的國家，但其受氣候變遷衝擊的影響可能與台灣差距較大。荷蘭因其地狹人稠且國土易受災的特性，將國家調適方案的重點放在空間規劃，藉由規範國土空間利用進行減災，且可以避免不同領域調適措施互相衝突的問題。此外，荷蘭的調適方案結合研究單位與行政單位，提出許多新的空間調適措施，且據以執行。日本的災害特性亦與台灣類似，調適的重點領域幾乎一樣，但日本的調適措施將各種不同類型的措施一併納入，如技術與資訊、立法與人力資源、社會經濟系統等，全面顧及各種調適的機會，值得台灣學習。

#### 參考文獻

- 氣候變動適應の方向性に関する検討会(2010)，氣候變動適應の方向性，環境省。  
([http://www.env.go.jp/earth/ondanka/adapt\\_guide/index.html](http://www.env.go.jp/earth/ondanka/adapt_guide/index.html))
- 氣候變動適應型社会の実現に向けた技術開発の方向性立案のためのタスクフォース  
(2010)，氣候變動に適應した新たな社会の創出に向けた技術開発の方向性，総合科学技術会議。( <http://www8.cao.go.jp/cstp/sonota/kikoutf/kikou.html>)
- 地球温暖化影響・適應研究委員会(2008)，氣候變動への賢い適應－地球温暖化影響・適應研究委員会報告書，東京都，日本：環境省。  
([http://www.env.go.jp/earth/ondanka/rc\\_eff-adp/index.html](http://www.env.go.jp/earth/ondanka/rc_eff-adp/index.html))
- 國土交通省(2010)，環境行動計画－地球環境時代に対応したくらしづくり，國土交通省。  
([http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei\\_environment\\_fr\\_000101.html](http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_fr_000101.html))
- 經建會(2011)，台灣氣候變遷調適政策綱領(草案)。
- 蕭代基、王京明、張瓊婷、楊智凱、黃德秀(2008)，氣候變遷調適政策藍圖之研議：建立多種減緩政策與調適政策之組合，台北：財團法人中技社。
- 蕭代基、楊之遠、柳中明、王京明(2010)，我國氣候變遷之調適願景與調適政策建構之基礎研究，台北：行政院環境保護署。
- AGO. (2006). *Climate Change Impacts & Risk Management: A Guide for Business and Government*: AGO.
- ARK. (2007a). *National adaptation strategy –policy memorandum*: ARK.
- ARK. (2007b). *Towards a climate-proof Netherlands - Summary routeplanner from*

- [http://promise.klimaatvoorruijme.nl/pro1/publications/show\\_publication.asp?documentid=657&GUID=4507e506-abc4-49e4-b0b6-4c75516ae8f2](http://promise.klimaatvoorruijme.nl/pro1/publications/show_publication.asp?documentid=657&GUID=4507e506-abc4-49e4-b0b6-4c75516ae8f2)
- BIS. (2010). *BIS Climate Change Adaptation Plan*. London, the UK: BIS.
- Chang, C. T., Martens, P., & Amelung, B. (2010). The Social and Behavioural Aspects of Climate Change: Linking Vulnerability, Adaptation and Mitigation. In P. Martens & C. T. Chang (Eds.), *The Social and Behavioural Aspects of Climate Change: Linking Vulnerability, Adaptation and Mitigation*. Sheffield: Greenleaf Publishing.
- COAG. (2007). National Climate Change Adaptation Framework. from <http://www.climatechange.gov.au/government/initiatives/national-climate-change-adaptation-framework.aspx>
- DCC. (2009). Climate Change Risks to Australia's Coast. from <http://www.climatechange.gov.au/publications/coastline/climate-change-risks-to-australias-coasts.aspx>
- DCC. (2010a). *Adapting to Climate Change in Australia - An Australian Government Position Paper*. DCC.
- DCC. (2010b). *Climate Change Adaptation Actions for Local Government*. DCC.
- DEFRA. (2004). *Delivering the Essentials of Life – DEFRA's Five Year Strategy*. Norwich, the UK: The Stationery Office.
- DEFRA. (2005). *Adaptation Policy Framework - A consultation by the Department for Environment, Food and Rural Affairs*. London, the UK: DEFRA Publications.
- DEFRA. (2012). *The UK Climate Change Risk Assessment 2012 Evidence Report*. London: DEFRA.
- Dilley, M., Chen, R. S., Deichmann, U., Lerner-Lam, A. L., & Arnold, M. (2005). *Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis*. Herndon, VA: World Bank Publications.
- EA. (2005). *Humber Estuary Flood Defence Strategy - Strategic Environmental Assessment - Environmental Report*. Leeds, the UK: Environment Agency.
- EA. (2008). Climate Change Adaptation Strategy (2008-11). from [http://www.environment-agency.gov.uk/static/documents/Leisure/adaptation\\_strategy\\_2083410.pdf](http://www.environment-agency.gov.uk/static/documents/Leisure/adaptation_strategy_2083410.pdf)
- EA. (2009). *Thames Estuary 2100 - Strategic Environmental Assessment - Environmental Report*. London, the UK: Environment Agency.
- Government, H. (2007). *PSA Delivery Agreement 27: Lead the global effort to avoid dangerous climate change*. Norwich, the UK: The Stationery Office.
- IPCC. (2007). Summary for Policymakers. In M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. v. d. Linden & C. E. Hanson (Eds.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

- NWO. (2004). *Vulnerability, Adaptation and Mitigation - Social Aspects of Gradual and Abrupt Climate Change*. the Hague, the Netherlands: NWO.
- UKCIP. (2008). *The UKCIP Adaptation Wizard V 2.0*. Oxford, the UK: UKCIP.
- VROM. (2005). *National Spatial Strategy Summary - Creating space for development*: VROM.
- Willows, R., & Connell, R. (2003). *Climate Adaptation: Risk, Uncertainty and Decision-making - UKCIP Technical Report*. Oxford, the UK: UKCIP.



# 應用台灣 TIMES 模型評估我國能源密集度

## 下降可行性

郭瑾瑋（工研院綠能與環境研究所 管理師）

周裕豐（工研院綠能與環境研究所 研究員）

劉子衙（工研院綠能與環境研究所 正研究員）

### 一、前言

國際能源總署(IEA)2010 年能源技術展望報告指出，若要達成全球 2050 年排放量回到 2005 年的 50%水準(BLUE 情境)，最主要的減量貢獻將源自於能源效率提昇，減量貢獻比達 43%，而在 2011 年世界能源展望評估報告，全球大氣中溫室氣體濃度維持在 450ppm 情境下，提昇能源效率減量貢獻在 2020 年高達 72%，顯示提升能源效率為短期內最有效的節能減碳措施（見圖 1）。

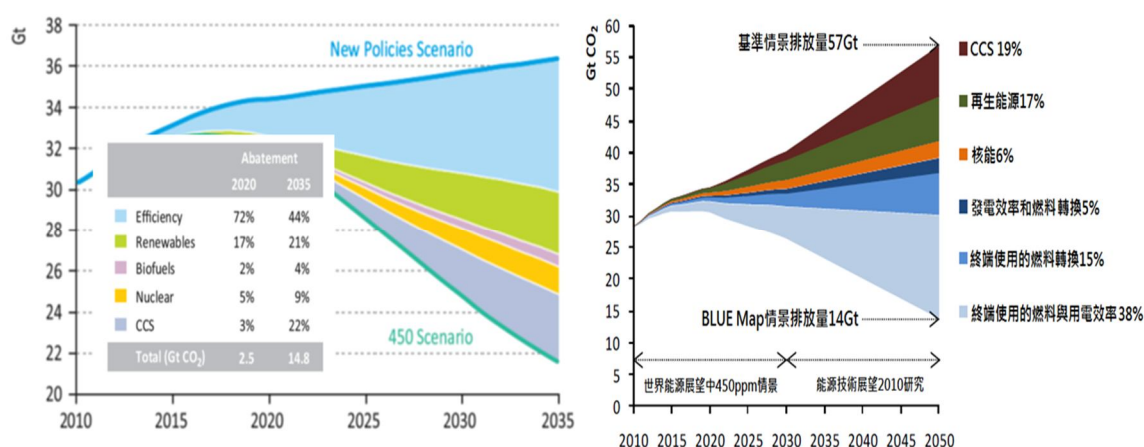


圖 1. 能源效率減量貢獻

資料來源：IEA, Energy Technology Perspectives: Scenarios & Strategies to 2050, 2010; IEA, World Energy Outlook 2011.

若比較各減量策略之減碳成本，依麥肯錫 2009 年全球減量成本曲線評估結果(圖 2)，各部門能源效率提昇措施多屬無悔策略(減碳成本為負)，顯見提昇能源效率不僅是最快捷有效的措施，亦是最具減碳效益的手段，對降低國家總節能減碳成本攸關最重大。

國際通用之能源效率指標可分為二大類：(1)總體能源及經濟指標—能源密集度(油當量/元)或能源生產力(元/油當量)，代表國家或部門層級-以每單位 GDP 所需消耗之能源表示；(2)個別效率指標—單位產品耗能值、熱力學效率值，代表部門別及產業別、製程及設備效率層級。其中，能源密集度指標常被用來比較各國的或各經濟部門的能源使用效率，甚至其節能的成果。圖 3 為我國 2001~2011 年經濟成長與最終能源消費成長趨勢，近十年能源消費年平均成長率為 2.17%，GDP 年平均成長率為 4.44%，能源密集度年平均下降 2.18%，顯示我國 GDP 與能源消費已逐漸脫鉤。

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

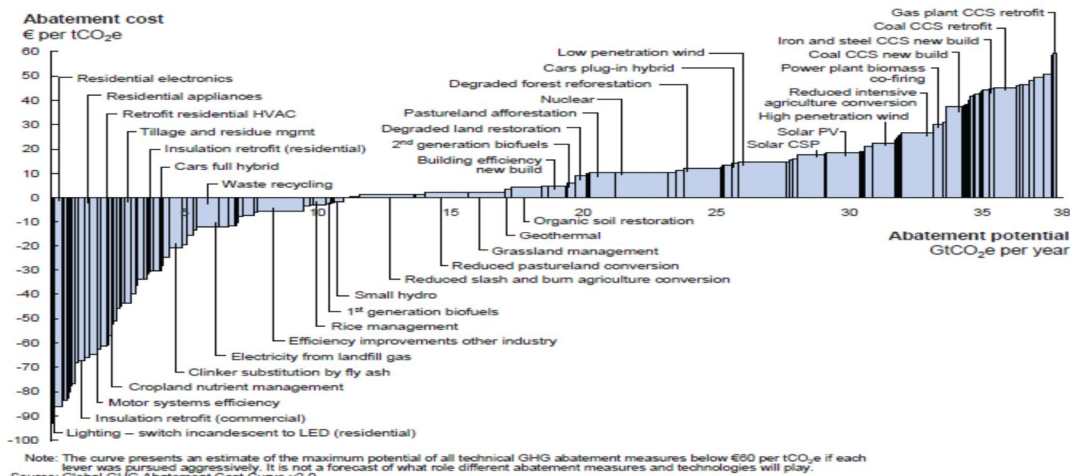


圖 2. 麥肯錫全球減量情境下之減量成本曲線

資料來源：Mckinsey, Pathways to a Low-Carbon

Economy-Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve, 2009.

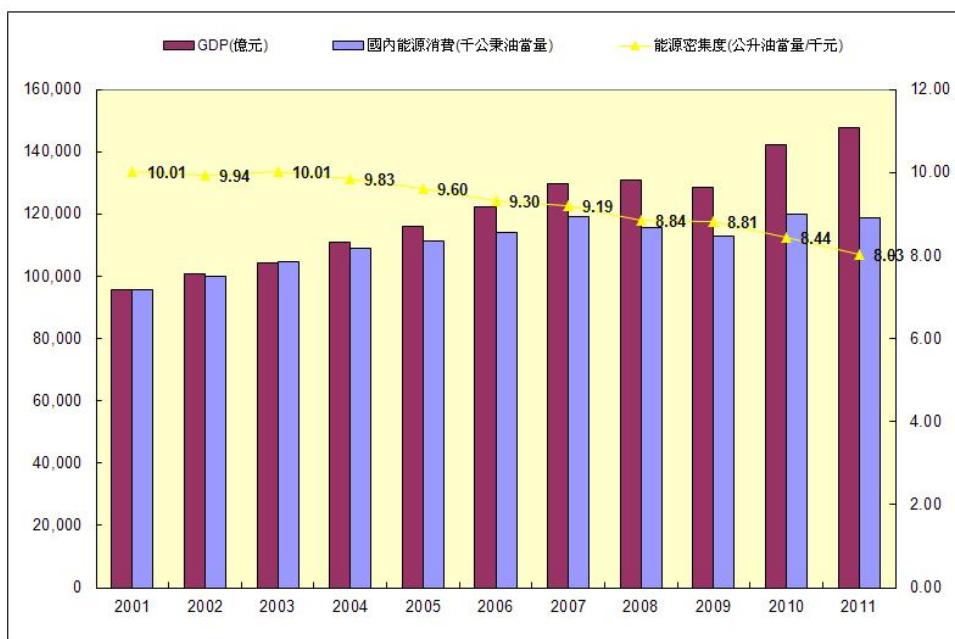


圖 3. 我國能源密集度下降趨勢

資料來源：能源統計月報(2012.05)，國民所得摘要(2012.05)，本研究整理。

表 1 為我國 2006 年至 2011 年部門別能源密集度趨勢，2011 年全國能源密集度為 8.03(公升油當量/千元)，較前一年下降 4.8%。若以部門別進行比較，服務部門能源密集度 3.04(公升油當量/千元)為最佳，農林漁牧業能源密集度 5.27(公升油當量/千元)次之，工業能源密集度 13.92(公升油當量/千元)則最高。若與前一年相比較，我國整體能源密集度下降主要原因為工業部門能源密集度下降 5.9%、服務業部門能源密集度下降 3.8%所致。僅管過去 5 年我國能源密集度年平均下降 2.9%，惟若與國際比較，依 2011 年 IEA/OECD 出版之能源統計指標，我國能源密集度為 178 公升油當量/千美元，雖較韓國(222 公升油當量/千美元)、美國(211 公升油當量/千美元)為佳，但相較日本(156 公升油當量/千美元)、新加坡(144 公升油當量/千美元)、英國(122 公升油當量/千美元)則仍有進步的空間。

表 1. 我國 2006-2011 年部門別能源密度變化

|            | 95    | 96    | 97    | 98    | 99    | 100   | 99年成長率(%) | 100年成長率(%) | 95-100年平均<br>成長率(%) |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|------------|---------------------|
| 全國         | 9.30  | 9.19  | 8.85  | 8.81  | 8.44  | 8.03  | -4.2%     | -4.8%      | -2.90%              |
| 全國(扣除進料)   | 8.17  | 7.85  | 7.51  | 7.37  | 7.01  | 6.89  | -5%       | -1.7%      | -3.35%              |
| 農業部門       | 6.34  | 5.46  | 5.97  | 5.4   | 5.18  | 5.27  | -4%       | 1.7%       | -3.63%              |
| 工業部門       | 17.22 | 17.15 | 16.64 | 16.81 | 14.79 | 13.92 | -12%      | -5.9%      | -4.17%              |
| 工業部門(扣除進料) | 13.65 | 13.02 | 12.45 | 12.23 | 10.8  | 10.67 | -12%      | -1.2%      | -4.81%              |
| 服務部門       | 3.62  | 3.4   | 3.27  | 3.23  | 3.16  | 3.04  | -2%       | -3.8%      | -3.43%              |

註：1. 能源密集度＝能源消費量/實質 GDP。

2. 工業部門定義包含「能源統計月報」中工業部門+能源部門自用，目的為與主計處 GDP 行業分類做對應。

3. 服務部門定義包含運輸部門及服務業部門。

資料來源：能源消費量:能源統計月報，2012 年 1 月；主計處 2012 年 1 月。

鑑於能源效率為因應全球氣候變遷的關鍵策略，我國政府於 2008 年 6 月 5 日核定之「永續能源政策綱領」中，則明確指出我國永續能源發展目標，希望在未來 8 年每年提高能源效率 2% 以上，使能源密集度於 2015 年較 2005 年下降 20% 以上；並藉由技術突破及配套措施，2025 年下降 50% 以上。為協助國內相關部會擬定具體節能減碳行動方案，並探討我國能源密集度下降可行性，本研究將應用台灣 TIMES 模型，評估技術效率提昇之效果及影響。

## 二、研究方法

為因應第一次能源危機，IEA 於 1976 年成立了多國共同合作的能源技術系統分析研究計劃(Energy Technology Systems Analysis Program, ETSAP)，此計劃主要目的在建立各會員國之能源系統分析能力，並成功開發 MARKAL 模型(MARKet ALlocation)，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。然隨著時間的演進，現實世界所需模擬的議題日趨複雜，MARKAL 模型既有功能尚有些考量不周全之處，因此 ESTAP 於 ANNEX VI(1996-1998) 期間開始發展 TIMES 模型，於 ANNEX VII(1999-2001) 期間完成此模型之驗證與應用。

TIMES 為 The Integrated MARKAL-EFOM System 的縮寫，表示其為 MARKAL 與 EFOM(Energy Flow Optimization Model) 兩模型之結合，其中 EFOM 亦為能源工程模型，主要用於歐洲各國，其特點在於具彈性的投入與產出機制，因此 TIMES 模型比 MARKAL 模型在投入與產出關係之設定上更具彈性。本研究應用之 TIMES 模型，為工研院在能源局計畫支持下所引進發展之能源工程模型。工研院於 1993 年建立「台灣 MARKAL 能源工程模型」，1994 年開發完成「台灣 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 年完成台灣 TIMES 模型本土化資料庫的建置。

TIMES 模型和 MARKAL 模型的基本架構相似(bottom-up model)，均具備豐富能源技術資料，將複雜的能源系統(全國、地區或部門)以線性規劃模式展現。模型為部分均衡的能源最佳化模型、可考量多區域及外在環境與資源限制。模型的核心是以能源服務需求(外生變數)為驅動力，以線性規劃方法考慮能源系統發展可能的情境與限制，在能源系統成

本最小化目標下，規劃符合未來能源服務需求下之能源供需情形與能源系統技術組合，模型操作流程如圖 4 所示。

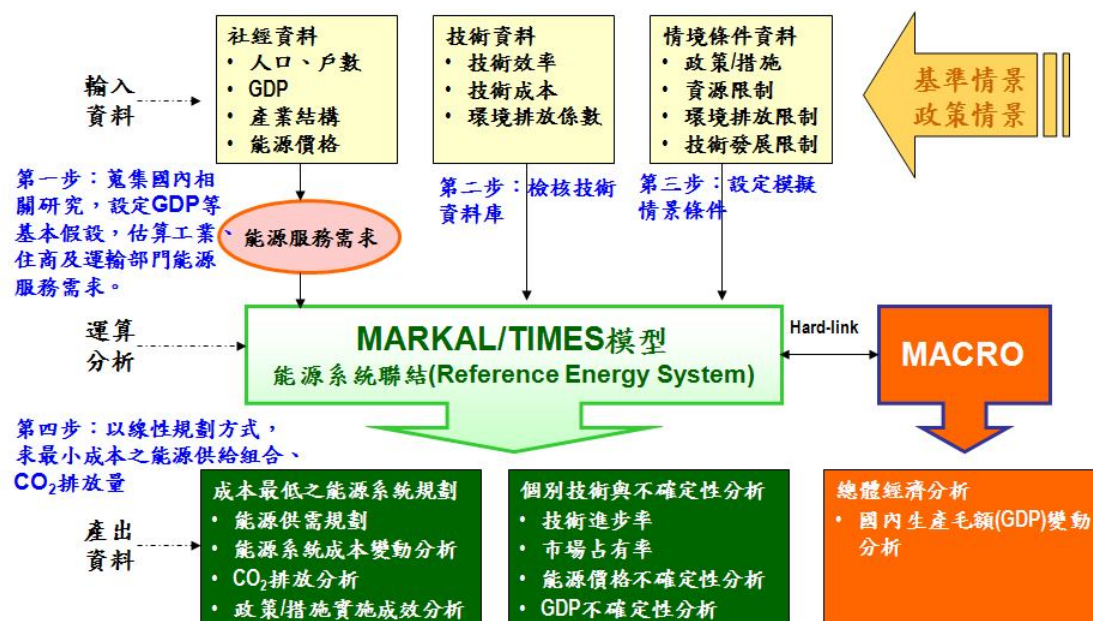


圖 4. 台灣 MARKAL/TIMES 模型操作流程  
資料來源：工研院綠能所

台灣 TIMES 模型較 MARKAL 模型新增之功能為(1)可變時間期程(Time Periods)長度，MARKAL 模型受限於只能設定固定的 Time Periods 長度，故台灣 MARKAL 模型是以 5 年為一期，但 TIMES 允許使用者自行定義長度，在規劃初期，欲模擬短期的因應策略，可以設定以每 1 年為 1 期，而規劃期間之中長期，則可以設定較長的時間長度(如 5 年為一期)，目前台灣 TIMES 模型技術資料庫 2005 年至 2030 年設為 1 年 1 期，2035 年至 2050 年則設為 5 年 1 期；(2)時間劃分(Timeslice)更細緻，MARKAL 模型只有電力與低溫熱能設定 Timeslice level，但在 TIMES 模型中所有的能源商品及製程都可以設定 Timeslice level。此外，MARKAL Timeslice 數量限制為電力 6 個，熱 3 個，但 TIMES 對時間的劃分更細緻，可分四季、並新增週末與一般日的劃分機制，每日分割上更可細分至每小時。目前台灣 TIMES 模型共設定為 12 個 Timeslice level；(3)可考量技術之 Vintage 機制，MARKAL 模型技術參數與該技術所使用的年限為相互獨立，TIMES 模型則新增 vintage 機制；(4)TIMES 模型中投入與產出之比例設定更具有彈性，並簡化許多設定步驟，可精確表示各種不同類型的製程及燃料間的轉換；(5)TIMES 模型新增區域指標、可區隔資料年與分析年、考量設置的建造時期與除役時期及其成本，且對投資成本有更精確考量、允許汰舊換新、區分技術服務年限與經濟年限、增加污染物排放的相關資料等。目前台灣 TIMES 模型資料庫共分三大類技術：轉換技術(63 項)、處理技術(75 項)及需求技術(256 項)，該三大類技術同時又涵蓋工程、經濟及環境等三種技術參數(≥36,000 個)，技術分類如表 2 所示。



表 2. 台灣 TIMES 模型技術分類

| 分類       | 技術內容(2011)                                                                          |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 轉換技術     | 燃煤汽力機、燃氣汽力機、燃油汽力機、複循環機組、核能、水力發電、鋼鐵業汽電共生等，合計63個技術項目。                                 |
| 處理技術     | 煉焦、煉油、脫硫、去氮、煤炭氣化、天然氣液化、生質能氣化、空氣污染防制技術等，合計75個技術項目。                                   |
| 工業部門需求技術 | 涵蓋鋼鐵業、水泥業、造紙業、石化業、紡織業、電子業等六大產業，及鍋爐、製程熱、動力等三大共通性需求，合計17個能源服務需求項目，相對應之技術項目共計103個技術項目。 |
| 住商部門需求技術 | 涵蓋烹調、住商熱水、住商空調、住商照明、冰箱、住商其他用電與其他燃料等11項能源服務分類，而相對應之需求技術選項合計88項。                      |
| 運輸部門需求技術 | 涵蓋機車、小客車、大小貨車、大客車、軌道運輸、船舶、航空等能源服務需求項目，合計12個能源服務需求項目，相對應之需求技術項目合計65個。                |

資料來源：台灣 TIMES 模型

### 三、假設條件與情境設計

在進行能源密集度下降可行性評估分析前，依能源工程模型的操作程序(如圖 4)，首先必須完成情境之假設條件設定，包括：實質經濟成長率預測、人口數及戶數成長預測、產業結構演變趨勢、電力需求預測及國際能源價格。而這些假設條件的設定，均來自於各專業研究機構或學術單位運用不同的專業預測模型、產業發展趨勢及判斷等所估算而來，以下茲詳述假設條件與情境設計：

#### (一) 假設條件

##### 1. 實質經濟成長預測

實績值係依據主計處公布之國民所得資料(2006 年幣值)，2010 年至 2050 年的國內生產毛額係依據清大 TaiSEND 模型<sup>4</sup>所推估的經濟成長率，2011 至 2015 年年平均成長率為 4.69%、2016 至 2020 年年平均成長率為 3.97%、2021 至 2025 年年平均成長率為 3.51%、2026 年至 2030 年年平均成長率為 3.11%、2031 年至 2035 年年平均成長率為 2.75%、2036 年至 2040 年年平均成長率為 2.60%、2041 年至 2045 年年平均成長率為 2.45%、2046 年至 2050 年年平均成長率為 2.37%。

<sup>4</sup> 清大永續發展研究室 TaiSEND 模型估算，2010 年 11 月。

| 年別        | GDP 成長率 |
|-----------|---------|
| 2011-2015 | 4.69%   |
| 2016-2020 | 3.97%   |
| 2021-2025 | 3.51%   |
| 2026-2030 | 3.11%   |
| 2031-2035 | 2.75%   |
| 2036-2040 | 2.60%   |
| 2041-2045 | 2.45%   |
| 2046-2050 | 2.37%   |

資料來源：清華大學黃宗煌教授 TaiSEND 模型，2010。

## 2. 人口數及戶數成長預測

人口數實績值係依據主計處「臺灣地區經社觀察表」，戶數實績值則依據主計處統計資料。而未來人口數預測值係依據經建會公佈之「2010 年至 2060 年臺灣人口推計-中推計」，未來戶數成長率則參考清大永續發展研究室利用 State Space 模型之推估值，在考量人口成長率逐年降低下，戶數年平均成長率亦逐年降低。2011 年~2025 年人口平均年成長率為 0.07%，戶數平均年成長率為 1.41%。

|           | 人口成長率  | 戶數成長率 |
|-----------|--------|-------|
| 2011-2015 | 0.15%  | 1.63% |
| 2016-2020 | 0.06%  | 1.41% |
| 2021-2025 | -0.02% | 1.23% |
| 2026-2030 | -0.12% | 0.41% |
| 2031-2035 | -0.27% | 0.41% |
| 2036-2040 | -0.45% | 0.41% |
| 2041-2045 | -0.64% | 0.41% |
| 2046-2050 | -0.84% | 0.41% |

資料來源：

1. 經濟建設委員會，2010 年至 2060 年臺灣人口推計-中推計，2010 年。
2. 戶數成長率引用清大永續發展研究室 State Space 模型估計值，2009 年。

## 3. 產業結構演變趨勢

產業結構主要係依據 TaiSEND 模型「內生求解」的各行業附加價值為衡量標準。台灣近幾年來產業結構發展趨勢，農業部門的比重不斷降低，至 2010 年其生產毛額占實質 GDP 的比重為 1.32%，依據 TaiSEND 模型之推估結果，農業部門至 2050 年生產毛額占實質 GDP 的比重持續下降，僅 0.77%；工業部門 2010 年生產毛額占實質 GDP 的比重為 34.78%，至 2050 年其生產毛額占實質 GDP 的比重降至 22.63%；至於服務業的比重則不斷攀升，2010 年其生產毛額占實質 GDP 的比重為 63.92%，預測至 2050 年其生產毛額占實質 GDP 的比重將上升至 76.6%，顯示我國產業結構的發展最終仍舊以服務業為主力。

| 年    | 農業    | 工業     | 服務業    |
|------|-------|--------|--------|
| 2015 | 1.37% | 29.91% | 68.72% |
| 2020 | 1.28% | 30.01% | 68.71% |
| 2025 | 1.21% | 29.22% | 69.57% |
| 2030 | 1.09% | 27.64% | 71.27% |
| 2035 | 1.00% | 26.00% | 73.00% |
| 2040 | 0.90% | 24.31% | 74.79% |
| 2045 | 0.84% | 23.66% | 75.50% |
| 2050 | 0.77% | 22.63% | 76.60% |

資料來源：清華大學黃宗煌教授 TaiSEND 模型，2010。

#### 4. 能源價格預測

我國能源超過 99%仰賴進口，因此國內能源價格受國際能源價格影響很大。未來能源價格為模型重要參數，係依據目前國內進口能源價格與美國能源部對於未來各項進口能源價格預測資料，並考量能源進口來源特性，估計各項能源價格。其中原油、燃料煤與原料煤等能源價格預測值是以國內海關進口價格與美國能源部(AEO2011)能源價格迴歸估計而得。天然氣預測價格則是以國內原油進口價格與液化天然氣價格迴歸估計而得。

|      | 原油<br>(NT\$2009/桶) | 燃料煤<br>(NT\$2009/公噸) | 原料煤<br>(NT\$2009/公噸) | 液化天然氣<br>(NT\$2009/M <sup>3</sup> ) |
|------|--------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------------|
| 2015 | 2,538              | 3,007                | 6,400                | 12.5                                |
| 2020 | 2,884              | 3,067                | 6,476                | 13.8                                |
| 2025 | 3,139              | 3,113                | 6,603                | 16.4                                |
| 2030 | 3,285              | 3,116                | 6,705                | 17.8                                |
| 2035 | 3,323              | 3,199                | 6,983                | 23.2                                |
| 2040 | 3,573              | 3,162                | 7,059                | 30.8                                |
| 2045 | 3,841              | 3,127                | 7,135                | 39.9                                |
| 2050 | 4,130              | 3,091                | 7,213                | 53.3                                |
| 2055 | 4,419              | 3,055                | 7,291                | 66.7                                |

說明：各能源價格預測值是以國內海關進口價格與美國能源部(AEO2011)能源價格及 OECD 國家能源平均進口價格迴歸估計而得。相關迴歸式如下所示：

我國原油進口價格 =  $0.97778 \times \text{AEO 原油價格}$ ； $R^2=0.9932$

我國煤進口價格 =  $-30.3345 + 3.844206 \times \text{AEO 煤價格} + 0.296183 \times \text{OECD 國家平均煤進口價格}$ ； $R^2=0.9863$

我國天然氣進口價格 =  $(0.542442) \times \text{AEO 天然氣價格}$ ； $R^2=0.9632$

#### (二) 能源服務需求推估

台灣 TIMES 模型係在滿足能源服務需求量下，以最小成本進行能源供需系統規劃。因此，能源服務需求為整個 TIMES 模型重要的外生參數，亦為模型規劃未來長期能源發展之驅動力。在進行長期能源發展的情景規劃前，首要步驟便是進行能源服務需求的推估。

能源服務需求的定義係指對能源服務之需求，亦即為能源所能提供之服務。在 TIMES 模型中，將能源服務需求區分為三大部門：工業部門、住宅與服務業部門及運輸部門(如表 3)。各部門所需的能源服務需求來自於煤炭、石油、天然氣、水力、核能及再生能源等

各種初級能源，經過不同的處理及轉換技術，以提供各部門內各分項行業或設備類別所需要的能源類別。以照明設備為例，消費者所需的為照度需求，並非實際的電力，所以照度需求為照明的能源服務需求，爾後再以 TIMES 模型提供的各項照明設備技術，去推估滿足未來照度需求下，所需要的電力需求，再藉由 TIMES 模型的轉換技術規劃出滿足照明需電量下的電力供應量與發電技術組合。由於能源系統龐大而複雜，所需的能源種類相當多，以能源服務需求取代能源需求量之優點在於可保持能源系統的彈性，讓各種能源技術間產生相互替代關係。

表 3. TIMES 模型能源服務需求分類

| 部門分類     | 能源服務需求分類                                                                                               |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 工業部門     | 鋼鐵業(含鋼胚與軋鋼)、水泥業、造紙業(含紙張與紙板)、石化業(含石化中間原料、塑橡膠原料、石化原料、化學製品、塑膠製品、紡織)、電子業(含半導體、液晶面板)、其他行業(含鍋爐、製程熱、動力)及非能源使用 |
| 住宅與服務業部門 | 烹調、住宅熱水、商用熱水、住宅空調、商用空調、住宅照明、商用照明、冰箱、其他家電、服務業電器、服務業其他能源需求                                               |
| 運輸部門     | 機車、小客車、大客車、小貨車、大貨車、航空、鐵路、客運船舶、貨運船舶、高鐵、捷運                                                               |

資料來源：台灣 TIMES 模型。

因能源服務需求為整個 TIMES 模型重要的外生參數，亦為模型規劃未來長期能源發展之驅動力，以下茲分別說明工業部門、住宅與服務業部門及運輸部門之能源服務需求推估方式：

### 1. 工業部門能源服務需求

- 鋼鐵業與石化業依政策環評所估算之產出成長率，作為該行業之能源服務需求成長率。
- 水泥業、造紙業、電子業等其他行業則委由 TaiSEND 團隊採用時間序列模型推估未來能源服務需求(產量)成長率。
- 鍋爐、製程熱：以 GDP 與產業結構計算非資訊工業 GDP 成長率，作為鍋爐、製程熱之能源服務需求成長率。
- 動力：以台電公司(2010)所估算之工業電力用電成長率，作為動力之能源服務需求成長率。
- 非能源使用：依據 GDP 成長率與產業結構計算工業 GDP 成長率，以此作為非能源使用之能源服務需求成長率。

### 2. 住宅與服務業部門能源服務需求

本研究運用系統動態模型以推估住宅與服務業部門能源服務需求(系統動態學為一種預測與規劃的模型工具)，在進行住宅與服務業部門能源服務需求規劃預測時，主要影響變數包括：經濟成長率、服務業用電、服務業 GDP、人口數、戶數、樓地板面積、旅館住宿人數、醫院住院人數及大專就學人數等。各項住宅與服務業部門能源服務需求推估方式如下：



- 烹調及熱水：主要影響變數為人口數及 GDP 成長率，因此在人口數成長率逐年降低影響下，烹調能源服務需求年平均成長率亦逐年降低。
- 住宅空調：住宅空調能源服務需求主要由戶數成長驅動冷氣機數量之增加，在戶數的成長率逐漸降低情況下，住宅空調能源服務需求成長率亦逐年降低。
- 商業空調：商業空調能源服務需求主要影響變數為人均 GDP 及服務業 GDP 占比，故其能源服務需求成長率與 GDP 及服務業結構占比變化趨勢相近。
- 住宅照明：住宅照明能源服務需求因人口數影響住宅存量成長率，故整體住宅照明需求成長率逐年下降。
- 商業照明：商業照明需求主要影響變數為人均 GDP 及服務業 GDP。
- 冰箱：以冷凍冷藏等效內容積需求成長率作為能源服務需求未來成長率，根據研究顯示冰箱的等效內容積成長率基本上由人口成長率主導，故其能源服務需求成長率與人口成長率變化趨勢相近。

### 3. 運輸部門能源服務需求

運輸部門能源服務需求分為城際運輸及都會運輸，其中城際運輸需求推估方法是以交通部運輸研究所「永續發展之城際運輸系統需求模式研究」推估的 2016 年、2026 年、2036 年城際客運需求和貨物運輸需求為基礎，再以 TaiSEND 模型推估之 GDP 及人口數進行調整，而都會運輸需求則利用時間序列方法進行能源服務需求預測。

#### (三) 情境設計

檢視各國為了達成減量目標採行之能源密集度措施主要朝三個主軸：第一個為技術減量，主要著重在各種排放部門之節約能源、提升能源效率等；其次為經濟手段，如執行經濟誘因措施或實施租稅制度(如能源稅、碳稅)；最後為改變社會體制，如改變生活型態、消費行為及產業結構等。由於 TIMES 模型為能源工程模型，不易評估經濟手段對能源需求之影響分析，且不易模擬行為面(需求面)的策略，因此本研究評估僅著重於技術面之能源效率提昇措施的影響效果。

在進行能源密集度下降可行性分析時，由於 TIMES 模型中 GDP 為外生變數，故產業結構調整或產業高值化等效果，已反應至 GDP 與產業結構等外生變數所推估之能源服務需求中，故模型情境設計是以技術凍結情境，先將 GDP 對能源密集度下降的影響效果分離出，再估算我國技術面能源效率提昇致使能源密集度下降的影響效果，表 4 為我國能源密集度下降可行性分析情境內容，各部門情境設計則參考國內外能源效率提昇措施，相關細節整理於表 5 至表 7。

表 4. 我國能源密集度下降可行性評估之情境設計

| 部門別      | 技術凍結情境         | 技術發展情境                                                                                                                                                                |
|----------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 工業部門     | 技術維持在 2010 年水準 | <ul style="list-style-type: none"> <li>單位產品耗能提昇：參考能源查核資單位產品耗能指標值及國際 BPT(Best Performance Technology)。</li> <li>改善製程、導入高效率技術。</li> </ul>                               |
| 住宅與服務業部門 | 技術維持在 2010 年水準 | <ul style="list-style-type: none"> <li>提昇能源效率基準：參考國內能源效率基準規劃。</li> <li>導入高效率化設備：參考工研院綠能所 2011 年技術專家建立之 MACC(Marginal Abatement Cost Curve)資料庫<sup>5</sup>。</li> </ul> |
| 運輸部門     | 技術維持在 2010 年水準 | <ul style="list-style-type: none"> <li>提昇新車效率標準：參考國際燃油效率現行標準。</li> <li>推動替代燃料車：參考國內智慧型車輛推動規劃。</li> <li>推廣大眾運輸工具。</li> </ul>                                           |

各部門技術面能源效率提昇措施情境設計，主要係參考國際各部門能源效率提昇措施及我國能源效率提昇政策，將各部門技術面之能源效率提昇措施整理如下：

### 1. 工業

工業部門主要減量措施為採行最佳可行技術(BAT)或最佳操作技術(BPT)、推廣能源效率增加計畫(鼓勵設備汰舊換新)、單位產品耗能標準等。本研究各行業技術發展情境主要係參考我國工業部門能源查核計畫過去單位產品耗能下降趨勢、大用戶年平均節能率及國際技術發展趨勢。TIMES 模型工業部門分類為鋼鐵業、軋鋼業、水泥業、半導體業、石化原料業-乙稀、其他化工製品業、造紙業、紡織業，及馬達、鍋爐、製程熱等共用設備，各行業/設備情境設計如表 5 所示。

<sup>5</sup> ITRI MACC 係由工研院綠能所、機械所及材化所近百位各技術領域專家，依長期執行國內先進節能技術開發計畫之經驗，並搭配本院能源查核團隊、節能推廣團隊等與廠商實際訪查經驗所建置之我國減量成本曲線。

表 5. 工業部門技術發展情境

| TIMES 模型<br>工業部門分類 | 技術發展情境                                                                                                                                                                           |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 鋼鐵業                | <ul style="list-style-type: none"> <li>國內鋼鐵業透過製程設備更換、設備能源效率提昇，初期依能源查核過去鋼鐵業單位產品耗能下降趨勢，即電弧爐煉鋼單位產品耗能年下降 1.36%，高爐年下降 0.3%；廠商分期達成能源查核單位產品耗能指標值，至後期單耗則提高至與全球 BPT 相符</li> </ul>         |
| 軋鋼業                | <ul style="list-style-type: none"> <li>依能源查核大用戶申報統計，設軋鋼業未來節能率同過去九年基本金屬工業節能率，平均年節能 0.48%；此外廠商分期達成能源查核單位產品耗能指標值</li> </ul>                                                         |
| 水泥業                | <ul style="list-style-type: none"> <li>水泥業既有廠依能源查核過去卜特蘭水泥單位產品耗能下降趨勢，單位產品耗能年下降 0.84%，而新設廠則符合能源查核單位產品耗能指標值，至後期單耗則提高至與全球 BPT 相符</li> <li>提高水淬爐石替代熟料的比例，至 2030 年較目前增加 20%</li> </ul> |
| 半導體業               | <ul style="list-style-type: none"> <li>依能源查核大用戶申報調查資料顯示，電機電子業過去九年平均年節能率為 2.04%；且電子半導體業平均 4 年一次新製程產生，單位產品耗能降低約 20%</li> </ul>                                                     |
| 石化基本工業-<br>乙稀製程    | <ul style="list-style-type: none"> <li>依能源查核大用戶申報調查資料顯示，化工業過去九年平均年節能率為 1.09%；此外，2013 年後三輕更新完成，單位產品耗能由 8,850 Mcal/ton 降為 5,500 Mcal/ton</li> </ul>                                |
| 紡織業                | <ul style="list-style-type: none"> <li>依能源查核大用戶申報調查資料顯示，紡織業過去九年平均年節能率為 0.9%</li> </ul>                                                                                           |
| 造紙業                | <ul style="list-style-type: none"> <li>依能源查核調查資料顯示，2005~2009 年紙張及紙板單位產品耗能年平均分別下降 0.73%與 1.19%；2020 年後引進國際先進技術，效率較台灣目前高約 13.6%~50%</li> </ul>                                     |
| 馬達                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>參考經濟部能源局 2008 年「高效率馬達推廣策略座談會」訂定之目標，導入高效率馬達，未來新設馬達全數採用高效率馬達，而既有設備則至 2025 年全面替換為高效率馬達</li> </ul>                                            |
| 鍋爐                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>導入高效率鍋爐(燃煤及燃氣鍋爐效率為 93%，燃油鍋爐效率為 90%)，未來新技術滲透率參考工研院 MACC 曲線，2011 年開始逐年滲透，至 2025 年全數鍋爐替換為高效率鍋爐</li> </ul>                                    |
| 其他                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>依能源查核大用戶申報調查資料顯示，整體製造業過去九年平均年節能率為 1.33%</li> </ul>                                                                                        |

## 2. 住宅與服務業

住宅與服務部門主要減量措施為提昇能源效率基準、導入高效率化設備及建築外殼改善。TIMES 模型住宅與服務業部門分類為熱水、照明、空調、電冰箱、烹調及其他用電器具與燃料設備，各設備技術發展情境主要係實施 MEPS 與導入變頻機及高效率設備，各設備情境設計如表 6 所示。

表 6. 住宅與服務業部門技術發展情境

| TIMES 模型<br>住宅與服務<br>業分類 | 技術發展情境                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 熱水                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 住宅熱水：依據燃氣熱水器節能標章，現行節能標章效率值為 82.5%，新修訂案為 83%，未來可能提高至 85%。假定新技術以每年 10% 的市場滲透率，10 年後完全取代既有技術</li> <li>● 商用熱水：商用熱水器效率提昇由目前 80%，提昇至 82%，熱泵熱水器市占率是由 2011 年的 5% 至 2030 年提昇至 25%，2050 年提昇至 50%</li> </ul>                                                                                               |
| 照明                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 實施 MEPS，依螢光燈節能標章能源效率基準，搭配傳統式安定器效率提昇為 85 lm/W，搭配電子式安定器效率提昇為 88.5 lm/W；省電燈泡 2010 年依照現行法規安定器內藏式螢光燈泡能源效率基準(98 年 8 月公告)</li> <li>● 導入 T5 螢光燈及 LED 燈，LED 燈技術效率 2015-2020 年則依 IEA(2006)技術效率趨勢</li> <li>● 假定各項新技術以每年 10% 的市場滲透率取代既有技術，10 年後完全取代既有技術，且 T5 螢光燈及 LED 燈至 2030 年市占率分別達 6 成及 2 成以上</li> </ul> |
| 空調                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 實施 MEPS，窗型及分離式冷氣機依 2011 年及 2016 年依照現行法規無風管冷氣機能源效率基準(於民國 100 年及 105 年實施)，之後逐期提高能效基準，但因技術理論限制，COP 最高達 3.85；箱型冷氣高效率值則以能源效率分級標示制度代表</li> <li>● 導入變頻空調，變頻機依空調機季節性能源效率為基礎，以現行 COP 管制值乘 1.35 估算；中央空調則導入高效率水冷變頻螺旋式及離心式冰水機，IPLV 達 7.0</li> <li>● 以上各項新技術以每年 10% 的市場滲透率取代既有技術，10 年後完全取代既有技術</li> </ul>    |
| 電冰箱                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 市場導入新技術，其效率依經濟部能源局公告電冰箱能源因數值標準 (MEPS) 與 節能標章- 實施日期 2011.01.01，新技術以每年 10% 的市場滲透率取代既有技術，10 年後完全取代既有技術</li> </ul>                                                                                                                                                                                  |
| 烹調                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 市場導入新技術，其效率依經濟部能源局公告燃氣台爐節能標章- 實施日期 2011.09.26，新技術以每年 10% 的市場滲透率取代既有技術，10 年後完全取代既有技術</li> </ul>                                                                                                                                                                                                  |
| 其他用電器具                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 住商部門其他用電器具及其他燃料設備，假定技術效率每年自發性提昇 0.4%/年</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                               |

### 3. 運輸

運輸部門主要減量措施為提高車輛能源效率、增加低碳燃料使用占比及鼓勵使用大眾運輸，而降低車輛運輸耗能短期解決方案則以提昇車輛能源使用效率為優先(具成本有效性)。TIMES 模型運輸部門分類為小客車、小貨車、大貨車、大客車、機車、軌道運輸、航空及船舶，各運具技術發展情境主要係依據全國能源會議「提升汽、機車新車耗能標準，至 2015 年提高 15%~30%」之結論，並參考國際車輛能效標準及國際運輸技術發展趨勢，各運具情境設計如表 7 所示。



表 7. 運輸部門技術發展情境

| TIMES 模型運輸部門分類 | 技術發展情境                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 小客車            | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 為落實 2009 年全國能源會議「提升汽、機車新車耗能標準，至 2015 年提高 15%~30%」之結論，2009 年修訂之「車輛容許耗用能源標準」，小客車油耗標準已提昇 10%，假設 2015 年小客車能效標準將較 2008 年前提昇 40%，且未來新技術將以每年 10% 的市場滲透率取代既有技術</li> <li>● 為推廣生質柴油，2011 年起實施 B2 政策，2016 年起提昇為 B5</li> <li>● xEV 車亦逐年進入市場，至 2030 年市占率達五成</li> </ul> |
| 小貨車            | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 2009 年修訂之「車輛容許耗用能源標準」，小貨車油耗標準已提昇 10%，假設 2015 年小貨車能效標準將較 2008 年前提昇 40%，且未來新技術將以每年 10% 的市場滲透率取代既有技術；</li> <li>● 為推廣生質柴油，2011 年起實施 B2 政策，2016 年起提昇為 B5</li> <li>● HEV 車及 BEV 車亦逐年進入市場，至 2030 年市占率達五成。</li> </ul>                                             |
| 大貨車            | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 因國內目前尚未針對重型車輛訂定車輛能效標準，故參考能源局能技組「國家節能減碳總行動方案」100 年度工作計畫提報資料，短期節能 10% 為目標，假設 2011 年起大貨車能效標準將較目前平均效率提昇 10%，新技術以每年 10% 的市場滲透率取代既有技術</li> <li>● 推廣生質柴油，2011 年起實施 B2 政策，2016 年起提昇為 B5</li> </ul>                                                                |
| 大客車            | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 假設 2011 年起大客車能效標準將較目前平均效率提昇 10%，新技術以每年 10% 的市場滲透率取代既有技術；</li> <li>● 推廣生質柴油，2011 年起實施 B2 政策，2016 年起提昇為 B5</li> </ul>                                                                                                                                       |
| 機車             | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 為落實 2009 年全國能源會議「提升汽、機車新車耗能標準，至 2015 年提高 15%~30%」之結論，2009 年修訂之「車輛容許耗用能源標準」，機車油耗標準已提昇 5%，假設 2016 年機車能效標準將較 2008 年前提昇 30%</li> <li>● 推廣電動機車，至 2012 年達工業局目標 16 萬台</li> </ul>                                                                                 |
| 軌道運輸           | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 至 2050 年小客車運量有 10% 移轉至大眾運輸工具（與日本低碳社會目標同），其中以台鐵及高鐵替代客車-長程運輸需求；以捷運-替代短程運輸需求</li> </ul>                                                                                                                                                                      |
| 航空             | <ul style="list-style-type: none"> <li>● IPCC 預估解除飛行管制的限制，獲得 6~12% 的燃油節省量，而增加運載率、降低飛機重量與飛行阻力、使用最佳飛行速率、減少使用飛機輔助動力系統與滑行時間等措施，可降低 2~6% 燃油用量。因此，假設航空器具未來設備效率可提昇 10%，每年逐步滲透，至 2030 年新技術市場滲透率達 20%</li> </ul>                                                                                            |
| 船舶             | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 船舶若採用小型蒸汽動力循環作為柴油機廢熱回收系統，約可節省 10% 總能源消費量。此外，在船艙加裝翼板、改良漁船線型減低船舶阻力以及運用奈米塗料，可減少船舶阻力 13%，也可減少興波阻力 3.3%。依本計畫 98 年召開之運輸座談會資料，未來般船效率可提高 10%，新技術市場滲透率至 2030 年為 20%</li> </ul>                                                                                     |

表 8 為綜合前述工業部門、住宅與服務業部門及運輸部門技術發展情境主要行業及設備之重要參數設定。

表 8. 技術發展情境主要行業及設備之重要參數設定

| 部門別      | 行業/設備       | 比較基準         | 新技術                                                                                                                                                                                                   | 新技術進入市場時程                                                                                                                                                                            | 新技術年滲透率假設                                                                                     |
|----------|-------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 工業部門     | 鋼鐵業         | 2010 年效率=100 | <ul style="list-style-type: none"> <li>效率=101.36</li> <li>效率=111.39</li> <li>效率=116.76</li> </ul>                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>2011</li> <li>2011</li> <li>2015</li> </ul>                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>≥10%</li> </ul>                                        |
|          | 半導體業        | 2010 年效率=100 | <ul style="list-style-type: none"> <li>效率=102.04</li> <li>效率=120</li> </ul>                                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>2011</li> <li>2015</li> </ul>                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>未設定</li> </ul>                                         |
|          | 石化基本工業-乙稀製程 | 2010 年效率=100 | <ul style="list-style-type: none"> <li>效率=101.09</li> <li>效率=111.76</li> </ul>                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>2011</li> <li>2013</li> </ul>                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>未設定</li> </ul>                                         |
|          | 造紙業         | 2010 年效率=100 | <ul style="list-style-type: none"> <li>效率=101.19</li> <li>效率=113.6</li> </ul>                                                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>2011</li> <li>2020</li> </ul>                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>未設定</li> </ul>                                         |
| 住宅與服務業部門 | 熱水          | 2010 年效率=100 | <ul style="list-style-type: none"> <li>效率=103.1</li> <li>效率=111.3</li> </ul>                                                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>2011</li> <li>2020</li> </ul>                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>未設定</li> </ul>                                         |
|          | 照明          | 2010 年效率=100 | FL <ul style="list-style-type: none"> <li>效率=111.6</li> <li>效率=127.2(T5)</li> </ul> LED <ul style="list-style-type: none"> <li>效率=139.8</li> <li>效率=146.9</li> </ul>                                  | FL <ul style="list-style-type: none"> <li>2011</li> <li>2011</li> </ul> LED <ul style="list-style-type: none"> <li>2015</li> <li>2020</li> </ul>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>節能標章產品≥10%</li> <li>LED 燈至 2030 年市占率達 2 成以上</li> </ul> |
|          | 空調          | 2010 年效率=100 | 小型空調 <ul style="list-style-type: none"> <li>效率=116.2(COP)</li> <li>效率=129.6(COP)</li> <li>效率=149.0(SEER)</li> </ul> 中央空調 <ul style="list-style-type: none"> <li>效率=123.8</li> <li>效率=133.3</li> </ul> | 小型空調 <ul style="list-style-type: none"> <li>2011 (COP)</li> <li>2016 (COP)</li> <li>2016 (SEER)</li> </ul> 中央空調 <ul style="list-style-type: none"> <li>2011</li> <li>2020</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>≥10%</li> </ul>                                        |
| 運輸部門     | 小客車         | 2008 年效率=100 | <ul style="list-style-type: none"> <li>效率=110</li> <li>效率=140</li> </ul>                                                                                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>2011</li> <li>2015</li> </ul>                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>≥10%</li> </ul>                                        |
|          | 小貨車         | 2008 年效率=100 | <ul style="list-style-type: none"> <li>效率=110</li> <li>效率=140</li> </ul>                                                                                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>2011</li> <li>2015</li> </ul>                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>≥10%</li> </ul>                                        |

#### 四、台灣能源密集度下降可行性評估結果

##### (一) 初級能源供應量變化

2010 年我國能源供給量為 145,561 千公秉油當量，其中石油比重達 49%，其次煤炭占 32.09%、天然氣(含液化天然氣)為 10.16%、核能發電 8.28%，慣常水力發電占比亦下降至 0.28%，新能源之能源供給量占比僅 0.07%。依據我國再生能源與天然氣發展目標，在技術凍結情境中，2030 年我國初級能源供給規劃至 2030 年成長為 203.75 百萬公秉油當量，

在技術發展情境中，2030 年級能源供給成長為 178.23 百萬公秉油當量，相較技術凍結情境減少 12.5%，其中又以煤炭為主要減少能源類別，占總減量的 75%（見圖 5）。

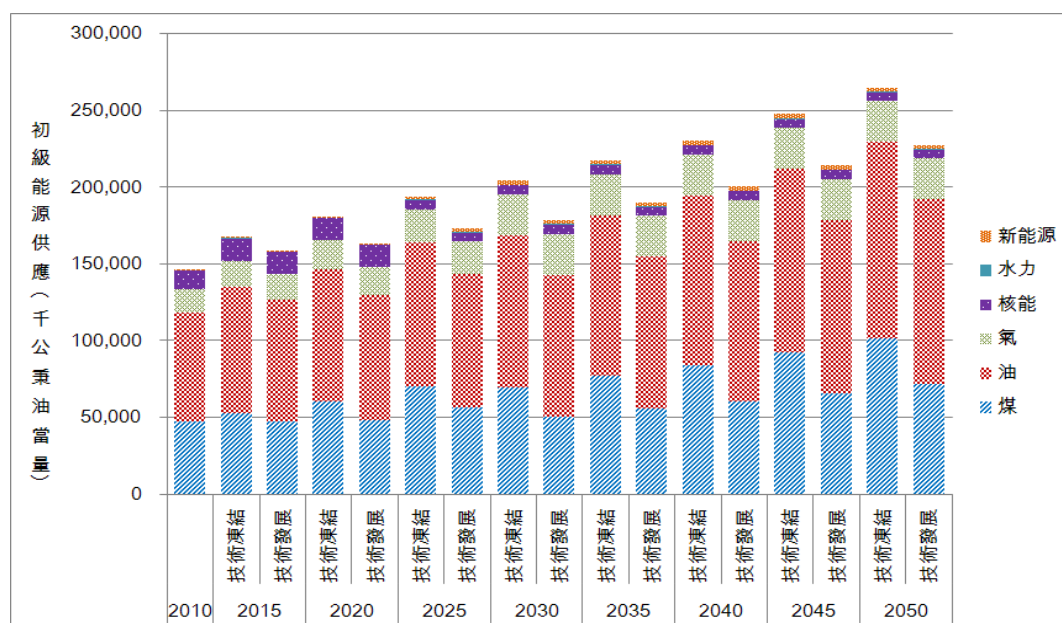


圖 5. 我國初級能源供應變化

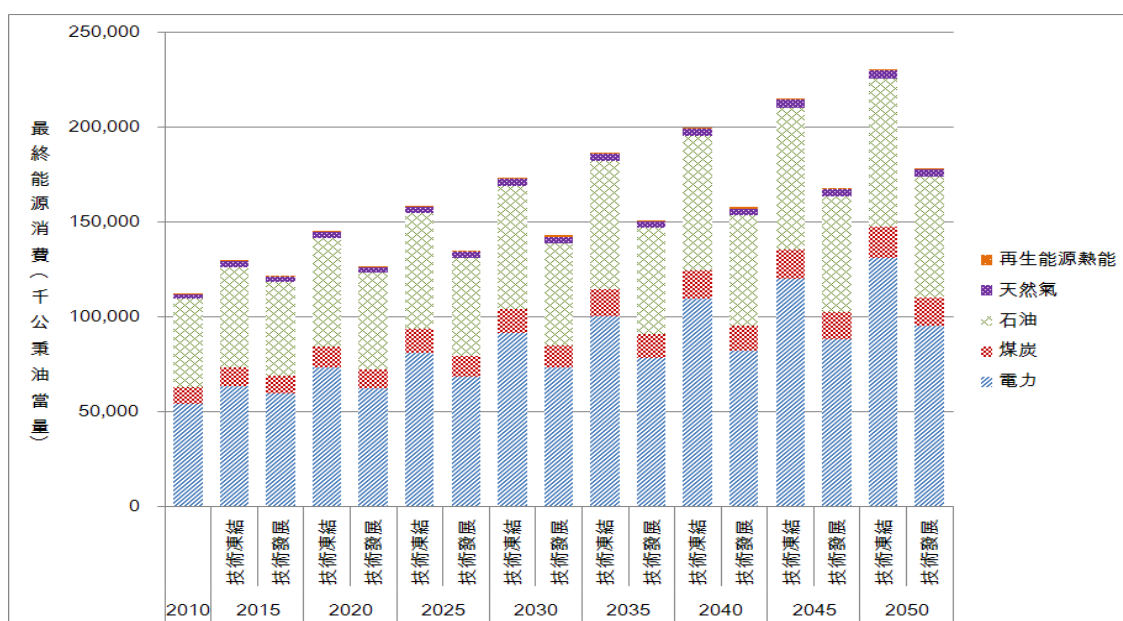


圖 6. 我國最終能源消費變化

## (二) 最終能源消費量變化

2010 年我國最終能源消費量為 111,926 千公秉油當量，其中電力占 48.01%、石油產品占 41.45%、煤及煤製品占 8.02%、天然氣(含液化天然氣)占 2.11%、太陽熱能占 0.41%。在配合我國未來經濟的穩定發展，在技術凍結情境下，未來最終能源需求呈逐漸成長趨勢，

至 2020 年為 144.6 百萬公秉油當量，2025 年為 158.1 百萬公秉油當量，2030 年為 172.8 百萬公秉油當量，2010 年至 2030 年年平均成長率為 2.2%。在技術發展情境下，未來最終能源需求至 2020 年為 126.4 百萬公秉油當量，2025 年為 134.5 百萬公秉油當量，2030 年為 142.6 百萬公秉油當量，2010 年至 2030 年年平均成長率為 1.2%（見圖 6）。

技術發展情境相較技術凍結情境 2030 年最終能源消費量減少 17.5%，其中又以電力為主要減少能源類別，占總減量的 60%，其次為石油產品占 35%、煤炭占 4.1%、天然氣占 1.8%。

### （三）部門別能源消費量變化

比較各部門技術凍結情境與技術發展情境之最終能源消費量變化，各部門節能潛力以工業部門、住宅與服務業部門最為顯著，2030 年分別占節能量的 39.8%、39.3%，而運輸部門節能占比約為 20.9%（見圖 7）。

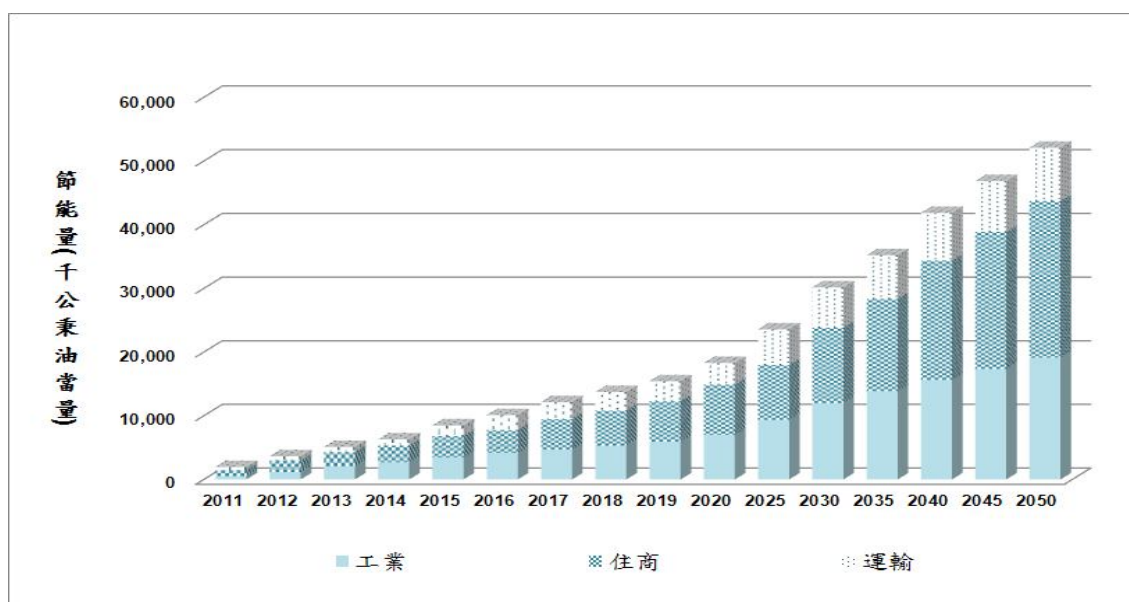


圖 7. 我國部門別最終能源消費變化

工業部門節能措施為導入高效率設備與製程改善，預計至 2030 年節能量達 12,000 千公秉油當量。初期以石化原料業節能最為顯著，其因 2013 年三輕更新完成，節能貢獻比達 40%，其次為其他化工製品製造業，節能貢獻比約 20%。後期因半導體業 4 年新一代製程技術產生，節能潛力最為顯著（見圖 8）。

住宅與服務業部門節能措施為導入 MEPS 與高效率設備，由於 2020 及 2030 年因多數既有設備已全數汰換為高效率設備，故至 2030 年節能量明顯增加達 11,840 千公秉油當量，其中空調設備因變頻技術效率相較既有定頻效率提昇幅度大，且空調占整體住宅與服務業耗能最大，故節能占比亦是最為顯著，節能貢獻超過 60%，其次為照明，節能貢獻比約為 23%（見圖 9）。

運輸部門 2015 年及 2025 年因小客車、小貨車及機車車輛能效大幅提昇，且新技術完全取代既有技術，故節能量明顯增加，預計至 2030 年節能量達 6,309.7 千公秉油當量。各運具設備中，初期以小客車及機車節能占比最為顯著，主要原因為車輛容許耗能基準提昇，且 2012 年達成工業局電動機車推動目標，而至 2030 年則以小客車及小貨車節能占比

較高，節能貢獻比分別達 49%與 25%。此外，因推廣大眾運輸工具，鐵路及捷運之能源耗用量不降反增（見圖 10）。

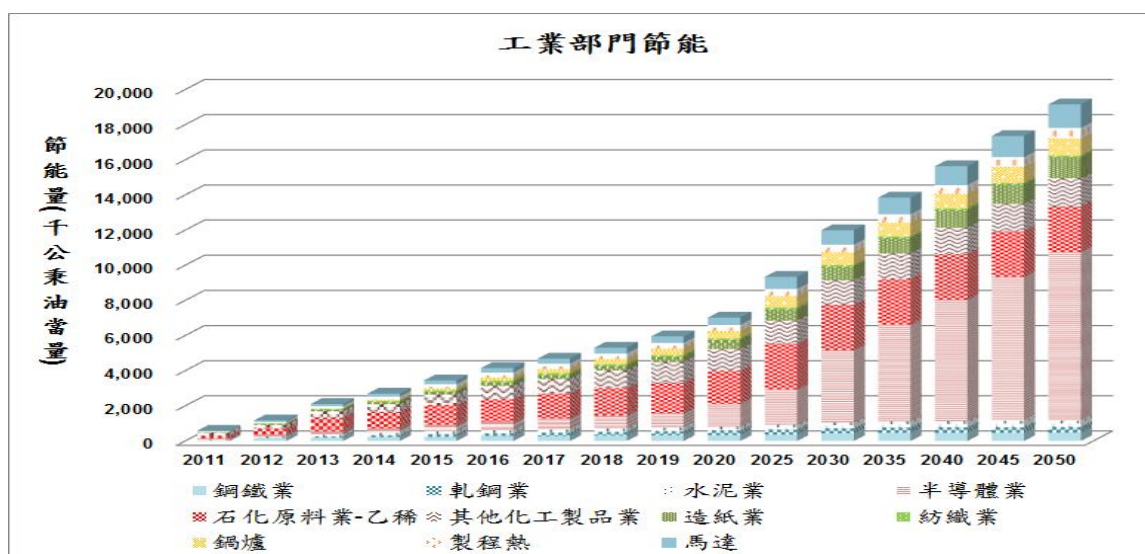


圖 8. 工業部門最終能源消費結構變化



圖 9. 住宅與服務業部門最終能源消費結構變化

#### （四）能源密集度下降趨勢

技術凍結情境下，因 GDP、產業結構及人口等外生變數影響下，能源密集度至 2015 年與 2025 年分別降為 7.7 公升油當量/千元與 6.47 公升油當量/千元，年平均下降為 1.89% 與 1.78%，與 2005 年能源密集度相較，分別下降 20%及 33%，未能達成我國節能目標。而在技術發展情境下，由於逐年導入高效率技術，能源密集度至 2015 年與 2025 年將分別降為 7.23 公升油當量/千元與 5.50 公升油當量/千元，年平均下降為 3.10%與 2.83%，與 2005 年能源密集度相較，分別下降 25%及 43%。顯示技術效率發展情境下，可望達成我國能源密集度每年下降 2%的目標，惟 2050 年若需較 2005 年下降 50%，則新技術市場滲透率與效率提昇需更進一步提昇（見圖 11）。



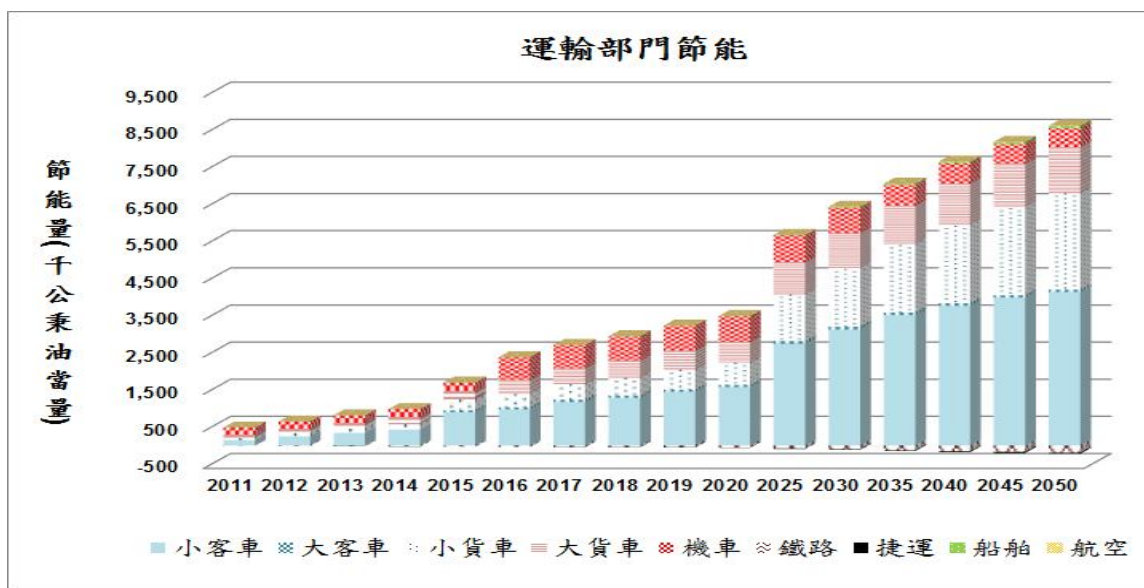


圖 10. 運輸部門最終能源消費結構變化

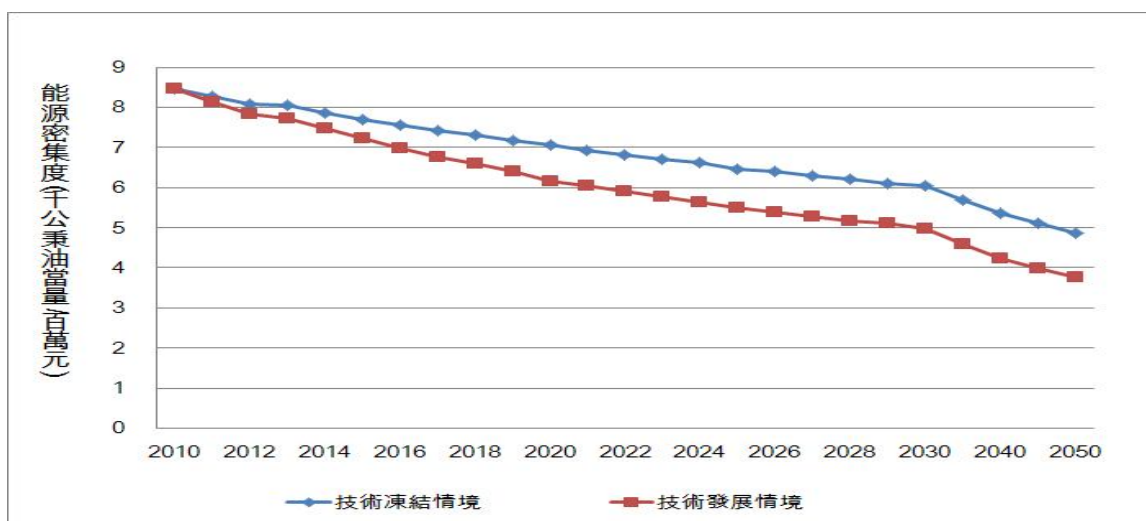


圖 11. 我國能源密集度下降趨勢

## 五、結論與建議

為評估我國能源密集度下降可行性，本研究蒐集國內外能源效率提昇策略，並運用台灣 TIMES 模型分別以技術凍結與技術發展情境，評估我國能源密集度下降的幅度。結果顯示，在技術發展情境下，我國能源密集度至 2015 年與 2025 年年平均下降為 3.10%與 2.83%，與 2005 年能源密集度 9.60 公升油當量/千元相較，則分別下降 25%及 43%，顯示可望達成我國能源密集度每年下降 2%的目標，惟 2050 年若需較 2005 年下降 50%，則新技術市場滲透率與效率提昇需更進一步提昇。此外，由於在技術發展情境下，高效率技術的引進主要是透過成本設定及市場滲透率的假設，因研究時間限制，本次研究針對滲透率的設定採較主觀的設定方式，為利於政策後續實際落實推動，未來 TIMES 模型將參考國際滲透率推估模式，針對重要設備進行滲透率評估，並召集相關專家進行討論，以提高評估結果之合理性。

## 參考文獻

- 工研院，工研院減量成本曲線資料庫，2011 年。
- 台電公司，台電統計年報，2009 年。
- 行政院，永續能源政策綱領，2008 年。
- 行政院主計處，國民所得統計摘要，2012.05。
- 行政院經濟建設委員會，2010 年至 2060 年臺灣人口推計，2010 年。
- 行政院經濟建設委員會，國家節能減碳總計畫，2010 年。
- 行政院經濟建設委員會，溫室氣體減量政策對產業發展之影響及因應對策，2006 年。
- 行政院經濟建設委員會，溫室氣體減量政策對運輸及住商部門之影響及因應對策，2007 年。
- 經濟部，我國整體能源效率提升策略面向與加強作法，2010 年。
- 經濟部能源局，98 年全國能源會議全體大會大會結論，2009 年 4 月。
- 經濟部能源局，工業部門能源查核管理與節能技術服務計畫執行報告，2010 年。
- 經濟部能源局，能源統計月報，2012.05。
- 經濟部能源局，對能源密集產業低碳化之能源效率管理及輔導策略作法，2010 年。
- 環保署，我國低碳路徑發展藍圖規劃專案工作計畫執行報告，2010 年。
- IEA, Energy Technology Perspective 2010.
- IEA, Key World Energy Statistics, 2011.
- IEA, World Energy Outlook 2011.
- Mckinsey, Pathways to a Low-Carbon Economy-Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve, 2009.

## 美國夏威夷州能源需求面管理政策及其對台灣之意涵<sup>6</sup>

許志義（國立中興大學應用經濟學系暨資管所合聘教授、產業發展研究中心主任）

李靜渝（國立中興大學產業研究發展中心研究助理）

### 一、前言

美國夏威夷州地理位置特殊，主要分為五個島<sup>7</sup>，絕大部分的能源需求均仰賴進口，尤其石油佔整體能源需求的比重超過 90%。在此情況下，隨著國際油價節節升高，相對於島內能源供應價格的飆漲<sup>8</sup>（參見圖 1），其能源需求面管理的相對機會成本亦隨之增加，亦顯示其潛在效益相對提高。再者，夏威夷州能源與電力系統與外界孤立，加上都會人口密集、多山與離島，環境生態極度敏感，與台灣能源經濟情勢十分相似。雖然如此，但其產業特性與能源政策發展目標，卻與台灣有所不同，此包括：(1)台灣經濟以出口導向產業發展型態為主，夏威夷則以內需導向之觀光產業為主；(2)台灣多風災水澇，且地震頻繁，夏威夷則相對甚少風害與震災；(3)台灣再生能源發展面向極為重視產業出口，夏威夷則聚焦於提升能源安全與自給自主。準此，值得針對夏威夷州的能源需求面管理與節能減碳政策，予以探討，俾與台灣借鏡對照，爰為本文研究動機。

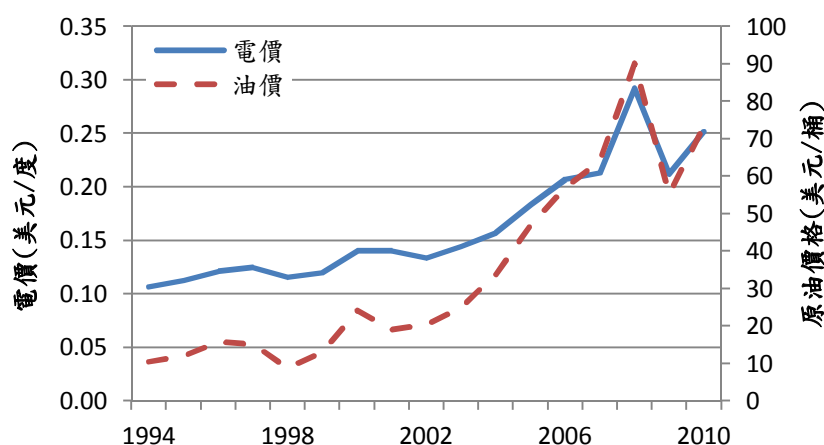


圖 1 夏威夷州 1994~2010 年能源價格趨勢圖

資料來源：美國能源資訊處(U.S. Energy Information Administration)

本文以下首先闡述夏威夷州能源效率及能源節約相關法制。接著，以夏威夷州能源需求面管理的兩大平台—夏威夷電力公司(Hawaiian Electric Company, HECO)與夏威夷能源機構(Hawaii Energy)分為需求面管理第一階段與第二階段，分別探討各種能源效率計畫執行方案及其成效評估。然後，引申討論夏威夷州能源需求面管理政策意涵。最後，提出本文結論與建議。

<sup>6</sup>本文改寫自國科會能源國家型科技計畫(NSC100-3113-P-005-001)之部分研究成果，作者們感謝國科會的支持，惟一切文責由作者們自負。

<sup>7</sup>夏威夷五大島分別為大島（Hawaii）、歐胡島（Oahu）、茂宜島（Maui）、拉娜島（Lanai）及莫洛凱島（Molokai）。

<sup>8</sup>夏威夷州能源價格除了受到幾次金融風暴(包括 1998 年亞洲金融風暴、2000 年網路泡沫化、2008 年美國次級房貸)影響，些微下滑之外，長期整體上均呈現價格攀升趨勢。

## 二、夏威夷州能源效率及能源節約相關法制

夏威夷州能源效率及節約 (Energy Efficiency & Conservation) 之相關法規與制度如下：

1. 再生能源配置標準 (Renewable Portfolio Standards, RPS)：此標準於 2001 年由夏威夷州議會通過，並於 2004、2006、2009 年加以修訂。設定 2010 年再生能源發電量目標為 10%，往後逐年提高水準(2015 年 15%；2020 年 25%；2030 年 40%)。夏威夷州所採用之再生能源發電共七類，包括：風力發電 (Wind)、太陽能 (Solar Energy)、生質能源 (Biomass)、地熱能 (Geothermal)、水力發電 (Hydropower)、海洋熱能轉換 (Ocean Thermal Energy Conversion, OTEC)、洋流能 (Wave and Ocean Current)。
2. 淨能量電表 (Net Energy Metering, NEM)：此係指電力用戶擁有或租用符合條件的再生能源發電設(包括太陽能、風能、生質能、水力及小水能等)，即可與夏威夷電力公司簽定電力互購合約，直接將再生能源發電設施所產生的電能，沖銷用戶本身的用電需求量，甚至可以回售過剩的電能給電力公司。
3. 夏威夷全球溫室效應解決法案 (Hawaii Global Warming Solution Act, ACT234)：此法案於 2007 年 7 月由夏威夷州議會決議通過，旨在設定 2020 年 1 月之前，夏威夷州需將溫室氣體 (greenhouse gas, GHG) 排放量減少至 1990 年的排放總量。
4. 夏威夷清潔能源倡議 (Hawaii Clean Energy Initiative, HCEI)：2008 年 1 月美國能源部和夏威夷州簽署備忘錄 (Memorandum of Understanding, MOU)，其內容為 2030 年需達成 70% 的清潔能源供給目標，其中 30% 的貢獻度來自能源需求面管理 (即能源節約)、40% 的貢獻度來自再生能源，此一倡議預計將可抑低夏威夷州 2008 全年石油消費量的 72%。
5. 新發電容量競標制度 (Competitive Bidding for New Generation)：此制度係於 2006 年 12 月由夏威夷州議會通過法規，係指對於新的發電系統自由化的競標制度。

夏威夷州主要五島為觀光地區，再生能源發電需要大量土地興建設施，但卻會影響景觀美感，與觀光產業之發展有相互排擠效果。因此，州政府規劃在離島興建大規模再生能源的裝置容量，再透過海底電纜傳輸至其他島嶼，夏威夷州累計至 2011 年底各類再生能源總裝置容量已達 322.7MW(見圖 2)。為降低夏威夷州對石油需求的過度依賴，公用事業委員會(Public Utility Committee, PUC)研訂 20 年的購電協議(Power Purchase Agreement, PPA)合約，此合約對再生能源發展產生重大影響。2011 年 11 月公告夏威夷州電力饋網費率 (Feed-In Tariff, FIT) 時(見表 1)，按公用事業委員會規定，目前 FIT 制度僅開放小型與中型規模，並限制各家電力公司可收購的初始容量(initial FIT capacity)，夏威夷電力公司(Hawaiian Electric Company, HECO)為 60MW、茂宜電力公司(Maui Electric Company, MECO)為 10MW、夏威夷電力和照明公司(Hawaii Electric Light Company, HELCO)為 10MW。

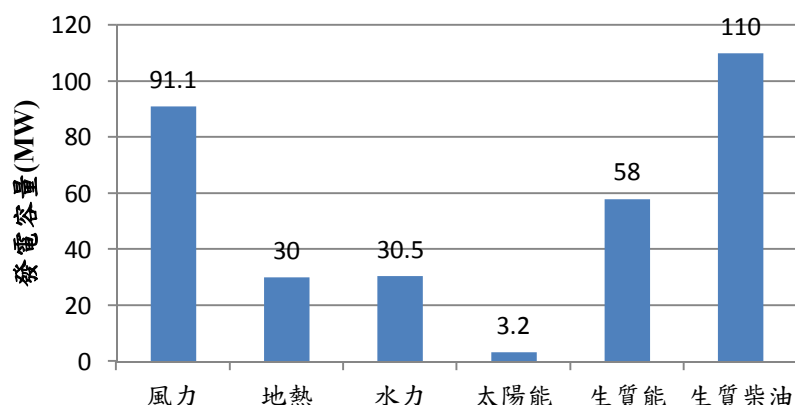


圖 2. 夏威夷州 2011 年各類再生能源累計裝置容量

資料來源：State of Hawaii Department of Business, Economic Development & Tourism (2011), *State of Hawaii Energy Resource Coordinator's Annual Report 2011*, p11.

表 1. 夏威夷州 FIT 發電規模及其內容

| 級別 | 發電規模                                                                                                                                 |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 小型 | 0 至 20 KW，在夏威夷五個島皆可進行。                                                                                                               |
| 中型 | 超過 20KW：<br>(1) PV—歐胡島 500KW、茂宜島及大島 250KW，拉娜島及莫洛凱島 100KW。<br>(2) CSP—歐胡島、茂宜島及大島 500KW，拉娜島及莫洛凱島 100KW。<br>(3) 川流式水力及岸風力--五個島皆為 100KW。 |
| 大型 | (1) 超過中型計劃的最大範圍，並包含少於 5 MW 歐胡島計劃，和茂宜島 2.72 MW 計劃，或系統前一年尖峰負載量的 1%，但並不包括茂宜及大島風力的產生。<br>(2) 此類型不適用於拉娜及莫洛凱兩島。                            |

FIT 推動之初，僅涵蓋太陽能電池( Photovoltaic Cell, PV)、聚光型太陽能( Concentrated Solar Power, CSP)、岸上風力( On-shore Wind) 與川流式水力( In-Line Hydro) 等。FIT 的運作機制屬競標導向，電力公司透過競標平台，排定太陽能面板發電系統購電合約的優先排序，且禁止雙邊協議可能引發不公平競爭之行為。此種定價機制有四項特點：(1)收購費率應以各種不同之再生能源發電技術類別及發電規模為基準，而不以區域別分類；(2)若再生能源發電出力未足時，不加以收購；(3)對於區域配電公司( Regional Electricity Companies, RECs) 不給予額外利潤，使再生能源發電所獲致之環境效益全部回饋給消費者；(4)收購費率亦不因時段區隔。每年須公開揭露 FIT 的年度報告。表 2 為夏威夷州 FIT 購電費率標準。

表 2. 夏威夷州 FIT 費率收購標準

| 再生能源類型               | 小型(¢/kWh) | 中型(¢/kWh) | 大型(¢/kWh) |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|
| 太陽能發電(PV)            | 21.8      | 18.9      | 19.7      |
| 聚光型太陽能發(CSP)         | 26.9      | 25.4      | 31.5      |
| 岸上風力(On-shore Wind)  | 16.1      | 13.8      | 12.0      |
| 川流式水力(In-line Hydro) | 21.3      | 18.9      | -         |

資料來源：Hawaiian Electric Company (2012), [www.heco.com/portal/site/heco/](http://www.heco.com/portal/site/heco/).



6. 夏威夷建築物能源守則( Hawaii Building Energy Code ):2010 年 1 月 1 日起，夏威夷所有新建的建築物及房屋，均須裝置一定比例的太陽能熱水系統。
7. 建築物節省能源成本設計 ( Building design for reduce energy cost ): 係指建築物節約能源成本及提升能源效率的設計規範。
8. 節能績效保證合約 ( Performance contracting ): 此合約係指建築設施的所有人及能源服務產業 ( ESCo ) 雙方，以未來的節約量作為建築物用電及能源效率改善的成本。合作的雙方為能源節約計畫訂定節能績效的保證合約。在此合約下，能源服務公司將保證節約量達到或超過該簽約之能源用戶每年支付能源節省計畫的成本。為了落實能源的節約改善方案之執行，能源服務公司需提供長期的人員培訓及維護服務，透過此合約的保證效益下，夏威夷州政府亦儘量將大部份的建築委外給能源服務產業。其成功案例甚多，例如：夏威夷大學 Hilo 校區(UHH)及社區大學在 1999 年開始此種計畫，共計約 50 棟校園建築實施。據校方統計，此計畫可為 UHH 省下超過 140 萬美元的能源相關支出。值得注意的，夏威夷大學還可擁有超過 8 萬美元的保證金，此 8 萬美元保證金意指當能源服務公司無法達成為夏威夷大學節省能源費用所設定目標的承諾時，該 8 萬美元將賠償予夏威夷大學。現此制度亦為落實能源需求面管理的重要政策之一，值得予以重視。

### 三、夏威夷州能源需求面管理第一階段(1996 年~2009 年 6 月)

夏威夷州早在 1996 年即開始執行能源需求面管理方案，當時由夏威夷公用事業委員會 ( Public Utilities Commission, PUC ) 委託 HECO 負責經營管理，並撰寫相關年報(annual report)提出可供驗證之能源需求面管理之績效評估數據。以下先探究能源需求面管理方案內容；接著，討論能源需求面管理方案之成效評估。

#### (一) HECO 能源需求面管理方案

首先，HECO 推動的能源效率計畫 ( Energy Efficiency Program, EEP )，主要業務分為家庭用戶與商業用戶兩大類別。家庭用戶主要執行的方案有：(1) 螢光燈 ( 省電燈泡 ) 之特殊燈泡優惠卷 ( Compact Fluorescent Lights, CFLs, Specialty Bulb Coupons )；(2) 「能源之星」家用設備之現金折抵 ( ENERGY STAR® Appliance Rebates )；(3) 太陽能熱水器之現金折抵 ( Solar Water Heating Rebates )；(4) 高效熱水器之現金折抵 ( High-Efficiency Water Heater Rebates )。至於工商業用戶方面，若在新建築或現有的設施上加裝合格的節能設備，即可獲得各種相關優惠，主要執行內容包括：(1) 裝置能源效率設備方案 ( Commercial and Industrial Energy-Efficiency Program )；(2) 客戶現金折抵方案 ( Commercial and Industrial Customer Rebate Program )；(3) 新建築方案 ( Commercial and Industrial New Construction Program )。

上述各方案特別值得說明者，有以下兩項：

1. 「能源之星」家用設備之現金折抵：購買具有「能源之星」標籤的家電設備，可獲得現金折抵之獎勵優惠約\$40 至\$110 美元，如吊扇(Ceiling Fan)\$40 美元、洗衣機(Clothes Washer)\$50 美元、洗碗機(Dishwasher)\$50 美元、冰箱(Refrigerator)\$50 美元、窗型冷氣(Window Air Conditioner)\$75 美元、分離式冷氣

(Ductless Split Air Conditioner)\$110 美元。透過安裝具有能源之星標籤的家電設備，一般家庭每年可節約將近\$80 美元的能源費用支出。此類現金折抵金額的大小，均事先由 PUC 核定，其經費來源係由 HECO 撥一筆足額款項（主要來自電力公司年度營收的某一比例，此比例事前亦需 PUC 核准）存入夏威夷銀行(Bank of Hawaii, BOH)，由消費者事先填寫申請表並簽名，經 SAIC<sup>9</sup>認可後，即由 SAIC 直接開支票給消費者購買節能家電予以扣抵，消費者再憑此支票到 BOH 提領現金。

2. 太陽能熱水器之現金折抵：以一般家庭的平均規模而言，安裝太陽能熱水系統之平均成本大約為\$6,620 美元，其價格會隨系統大小及承包商的不同而有所差異。確認安裝後即可享有\$750 美元的折抵，因此電力用戶僅需支付給承包商\$5,870 美元，同時電力用戶還享有聯邦政府與州政府租稅減免，分別為 30%及 35%。透過補貼後之淨成本降為\$2,055 美元，此可見其政策補貼誘因頗大。

夏威夷州在應用天然氣方面進行能源需求面管理之政策方案措施亦頗獲相關主管部門之重視，其作法如下：由於電力熱能轉換效率通常約為 33%至 40%，加上其線路損失約為 5%至 6%，而瓦斯熱能轉換效率約為 70%至 90%，加上其管線損失約為 0.01%，故以瓦斯做為熱能之轉換效率遠高於電力。若以瓦斯做為熱源，相較於電力做為熱源，可減少約 40%之二氧化碳排放量。再者，夏季用電尖峰時段，為瓦斯系統離峰時段；而冬季瓦斯需求尖峰時段，恰好為電力系統離峰時段。如此一來，政策制定者可利用電力與瓦斯的互補特性，訂定相關的能源需求面管理推廣策略。就此而言，夏威夷天然氣節能減碳係由瓦斯公司（Gas Company）負責，該公司因供應全夏威夷州之管線瓦斯，現階段正致力於合成天然氣之研究開發。從石油副產品中萃取合成天然氣，此過程利用廢水回收產生氫氣（屬再生能源），2010 年合成天然氣約占總供氣量 5%；除此之外，瓦斯公司正在開發其他符合永續發展之綠色能源。預計於 2015 年，可再生或永續能源之合成瓦斯可達全州總供氣量之 50%，俾達成夏威夷州政府所訂定之整體節能政策目標。

## （二）HECO 能源需求面管理方案成效評估

2008 年夏威夷電力公司(Hawaiian Electric Company, HECO)實施 9 大項需求面管理方案，包括：商業與工業能源效率方案(Commercial and Industrial Energy-Efficiency Program, CIEE)、商業與工業新建築方案(Commercial and Industrial New Construction Program, CINC)、商業與工業用戶獎勵方案(Commercial and Industrial Custom Rebate Program, CICR)、住宅省電效率熱水器方案(Residential Efficient Water Heating Program, REWH)、新住宅建築方案(Residential New Construction Program, RNC)、住家能源節省方案(Energy Solution for the Home Program, ESH)、太陽能節約試驗方案(Solar Saver Pilot Program, SSP)、住宅電力需求負載直接控制方案(Residential Direct Load Control, RDLC)、以及商業與工業電力需求負載直接控制方案(Commercial and Industrial Direct Load Control, CIDLC)。

---

<sup>9</sup> SAIC 成立於 1969 年，是一家高科技研究與工程技術公司。SAIC 於 2009 年 7 月獲得夏威夷州整體能源需求面管理方案的執行權，除了負責 Hawaii Energy 計畫運作與推廣，並包括市場評估、資訊科技以及基礎建設的發展。

值得注意的，以上各項需求面管理方案均需分別以參與者檢定(Participant Cost Test, PCT)、電力用戶影響檢定(Ratepayer Impact Measure Test, RIM)、總資源成本檢定(Total Resource Cost Test, TRC)、公用事業成本檢定(Utility Cost Test, UCT)成本效益檢定計算。根據夏威夷 PUC 核可之 HECO 年度報告，其益本比數值如表 3 所示。

表 3. 2008 年夏威夷州需求面管理方案之益本比檢定結果

| 方案名稱                     | PCT   | RIM  | TRC   | UCT  |
|--------------------------|-------|------|-------|------|
| 商業與工業能源效率方案 (CIEE)       | 8.34  | 0.74 | 4.60  | 6.35 |
| 商業與工業新建築方案 (CINC)        | 5.52  | 0.71 | 2.99  | 4.03 |
| 商業與工業用戶獎勵方案(CICR)        | 7.65  | 0.58 | 2.83  | 3.99 |
| 住宅省電效率熱水器方案 (REWH)       | 1.53  | 0.63 | 1.17  | 1.49 |
| 新住宅建築方案(RNC)             | 1.48  | 0.77 | 1.21  | 1.98 |
| 住家能源節省方案(ESH)            | 11.97 | 0.82 | 5.85  | 7.80 |
| 太陽能節約試驗方案(SSP)           | 0.57  | 0.32 | 0.28  | 0.46 |
| 住宅電力需求負載直接控制方案(RDLC)     | 無窮大   | 1.95 | 2.30  | 1.95 |
| 商業與工業電力需求負載直接控制方案(CIDLC) | 25.14 | 1.17 | 16.46 | 1.17 |

資料來源：Hawaiian Electric Company (2009), *Demand-Side Management Programs: Accomplishments and Surcharge Report*.

根據 TRC 檢定的評估準則，HECO 於 2008 年實施的需求面管理方案皆頗具成本效益，唯獨太陽能節約試驗方案(SSP)的益本比為 0.28。依據 TRC 檢定的一般判定準則，其值小於一，且不論是 PCT 檢定、RIM 檢定、或是 UCT 檢定，SSP 方案的益本比皆小於一，表示該方案並不符合成本效益。然而，其獲准執行的原因據本文推論如下：2008 年夏威夷州潔淨能源倡議(Hawaii Clean Energy Initiative)要求於 2030 年潔淨能源比重必須佔該州 70 %之總能源供給之目標，而其輔助法案之潔淨能源總括法案(Clean Energy Omnibus Bill)則要求其中 40%、30%分別來自再生能源與能源效率提升。因此，HECO 不得不加速配合太陽能相關方案之推動。而商業與工業電力需求負載直接控制方案(CIDLC)於 TRC 檢定的益本比高達 16.46<sup>10</sup>，而 PCT、RIM 檢定、以及 UCT 檢定的益本比皆大於一，代表 HECO 執行 CIDLC 方案確為具成本效益的方案。

整體觀之，HECO 在執行能源需求面管理期間成效頗佳，包括：裝置超過 180 萬盞省電燈泡、5 萬套太陽能熱水器系統，以及超過 39,000 組符合「能源之星(ENERGY STAR®)」檢驗標準的家電，其抑低電力系統尖峰負載之成效達 169 MW。同時，有助於電力用戶在其省電器材或設施之經濟使用年限期間內，節省總金額超過 6 億 4 千萬美元之用戶端支出；其整體節能效益相當於平均一年省下 160 萬桶的原油，並減少 864,000 噸的 CO2 排放量。根據歷年 PUC 相關能源需求面管理成效評估報告顯示(見表 4)，2009 年的能源需求面管理成效最佳，省下 982.8GWh，其中 17.7%來自再生能源發電、82.3%來自節約能源技術。另外，節約能源技術所帶來的節電成效每年皆呈現大幅度成長，可見 HECO 執行能源需求面管理績效卓越。

### (三) HECO 需量反應計畫

需量反應(Demand Response)包括負載反應(Load Response)與價格反應(Price Response)。負載反應是指用戶在尖峰負載或電力系統出現緊急情況時，配合電力公司之需要減少用戶本身負載需求，如負載直接控制(Direct Control)，以減少用戶負載或完全中斷用戶負載。HECO 實施的可停電力方案(Interruptible Program)，亦稱自動需量反應

<sup>10</sup>工商產業可停電力需量反應方案的硬體投資與運轉維護成本，通常相較於其他需求面管理方案為低，因而成本效益檢定常出現較大的益本比數值。

方案 (Auto-Demand Response Program)。此方案執行面的作法，可分為兩種：第一種是一小時前通知後再停電，多半用於冷凍空調設施之電力用戶；另一種是不需事前通知即可停電，大多為電熱水器之可停電力方案用戶。停電回饋金之高低，係依據事前通知與否而有所差別。無需事前通知者，優惠扣抵為每月\$10/kW，高於目前的需量費率每月\$8/kW（只針對商業用戶，因一般家庭用戶並無需量費率），此顯示為吸引電力用戶參與此一可停電力方案，HECO 甚至願意賠本倒貼；反之，若需停電前一小時先行通知者，則其優惠扣抵較少，為每月\$5/kW。

表 4. 2003~2009 年節約能源執行成效

單位：GWh

|                                         | 2003 <sup>1</sup> | 2004   | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   | 2009   |
|-----------------------------------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Efficiency Saving(A)                    | 179.6             | 479.8  | 533.0  | 603.7  | 744.2  | 890.5  | 982.8  |
| -Renewable Displacement Technology      | 172.3             | 84.8   | 94.1   | 106.4  | 124.8  | 140.4  | 174.0  |
| -Energy Efficiency Technology           | 7.3               | 395.0  | 438.9  | 497.3  | 619.4  | 750.1  | 808.8  |
| Electricity Sale (B)                    | 10,206            | 10,511 | 10,538 | 10,568 | 10,585 | 10,390 | 10,126 |
| Total Electricity Demand (C=A+B)        | 10,386            | 10,991 | 11,071 | 11,172 | 11,329 | 11,281 | 11,109 |
| Efficiency Saving/Electricity Demand(%) | 1.7%              | 4.4%   | 4.8%   | 5.4%   | 6.1%   | 7.5%   | 8.8%   |

註 1：2003 年的再生能源發電與節約能源技術之定義不同於其他年份。

資料來源: Research and Economic Analysis Division (2011), *Hawaii Economic Issues: Renewable Energy in Hawaii*, p7.

HECO 針對住宅用戶提供熱水器與中央空調兩種不同需量反應方案，因熱水器與中央空調為住宅用戶最大耗能來源，尤其是熱水器所花費的電費占總電費高達 30%。HECO 會替參與用戶家中的熱水器和空調免費裝置開關控制器，每次執行抑低用電時間不超過一小時，因此用戶較無不便或不適之感。根據 HECO(2012)針對 2011 年的統計數據顯示，住宅用戶參與需量反應方案獎勵總金額支出達 670 萬美元。其中，熱水器參與用戶為 34,200 戶，並減少負載達 15MW；中央空調參與用戶為 4,100 戶，並減少負載達 2.7MW。

為提高供電系統穩定度與延緩興建新電廠，HECO 針對商業用戶設計直接負載控制、小型商業、快速需量反應(Fast DR)三種不同需量反應方案。Fast DR 為電力系統無法滿足電力負載需求或再生能源(風力、太陽能)發電突然故障時的緊急降載電力方案。參與用戶僅在執行抑低用電前 10 分鐘才接獲通知，執行過程中亦不得使用 HECO 的備用電力(back-up power or stand-by power)。表 5 為住宅用戶與商業用戶的需量反應方案內容比較。

夏威夷州於 2007 年提出再生能源與分散式系統整合(Renewable and Distributed Systems, RDS)計畫，此計畫為六家日本領導廠商和美國的能源研究部門共同投資合作，其中日本的新能源產業技術綜合開發機構(New Energy and Industrial Technology Development Organization, NEDO)投資金額達 3700 萬美元，美國參與此計畫組織包括美國能源部、夏威夷州政府商業與能源發展及觀光局(Department of Business and Energy Development and Tourism, DBEDT)與夏威夷大學等研究機構。該合作計畫將在 2012 年底開始佈建智慧電網，並在 2013~2015 年配合試驗性新電價制度實施運作。此計畫主要目標包括：

1. 利用大規模再生能源進行負載轉移(load shift)。

2. 對家電產品進行直接控制(direct control)與利用電力調節系統(power conditioning system, PCS)控制太陽能發電量，以因應電力供需的急遽變化。
3. 整合電動車(Electric Vehicle, EV)與插電式複合電動車(Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV)管理系統及智慧電網系統，以因應電動車日益提高的市場滲透率。
4. 提升智慧電網系統的網路安全(cyber security)。
5. 建立自動化控制系統之基礎建設，以提升電網整體系統之擴展性與高度反應力。
6. 強化 EV/PHEV 管理系統與智慧電網系統的公共基礎建設，並利用資通訊科技與控制系統提升生活品質。
7. 發展偏遠島嶼公共基礎建設的商業模式(business models)與評估工具(assessment tools)。

表 5. HECO 需量反應方案比較

| 內容別      | 住宅用戶                                        |                  | 商業用戶                                                   |                                              |                    |
|----------|---------------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------|
|          | 熱水器                                         | 中央空調             | 直接負載控制                                                 | 小型商業                                         | Fast DR            |
| 執行時段     | 24x7x365                                    | 24x7x365         | 24x7x365                                               | 24x7x365                                     | 週一至週五<br>7am-9pm   |
| 執行總時數限制  | -                                           | -                | 300 小時/年                                               | 300 小時/年                                     | 80 小時/年            |
| 單次執行時數限制 | -                                           | -                | -                                                      | -                                            | 2 小時               |
| 執行次數限制   | -                                           | -                | -                                                      | -                                            | 40 次               |
| 通知方式     | Dispatch <sup>1</sup> /<br>UFR <sup>2</sup> | Dispatch/<br>UFR | Dispatch/ UFR                                          | Dispatch/ UFR                                | Dispatch only      |
| 獎勵金額     | \$3/月                                       | \$5/月            | Dispatch=\$5 per<br>kW<br>Dispatch/UFR=\$1<br>0 per kW | 中央空調=\$5 per<br>ton/月<br>熱水器=\$5 per<br>kW/月 | \$5/kW+\$0.5/<br>度 |
| 事前通知     | -                                           | -                | 事前一小時通知                                                | -                                            | 事前 10 分鐘<br>通知     |

註 1：dispatch refers to an event triggered manually by a system operator.

註 2：Under Frequency (UFR) trip refers to an event triggered automatically by the system when monitoring devices sense that frequency has dipped too far below an acceptable 60 Herz level.

資料來源: Hawaiian Electric Company (2012), <http://dr.heco.com/Overview.aspx>.

HECO 根據夏威夷各島嶼供電系統及電力需求情況不同而制定電價，共分為大島、拉娜島、茂宜島、莫洛凱島四個島嶼的住宅用戶時間電價方案，而各島嶼參與戶數限制也有所不同<sup>11</sup>。以下皆以 Hawaii 島嶼之試驗性新時間電價方案(見表 6)為例。電力公司先安裝智慧電表於參與計畫用戶家中，並觀察 1 至 3 個月該用戶電力負載需求，待收集用戶使用時間電價方案資料後，可作為未來時間電價費率調整改善之參考。若用戶於此示範計畫觀察階段中，欲停止採用時間電價方案，可立即向電力公司申請回復原先採用之非時間電價方案，且不需支付任何罰金。但未來一年內，不得再申請回復採用時間電價方案。

HECO 另提供住宅用戶兩種電動車時間電價方案(見表 7)，其一為家庭用電量與電動車充電量計算來自同一電表(即單一電表)，另一種則是將家庭用電量與電動車充電量分開兩個電表計算(即雙電表)。參與電動車時間電價方案之用戶需達以下三項條件：(1)若選用雙電表方案，家庭用電量與電動車用電量計算需來自不同電表，用戶需安裝單獨計算電動車用電量之電表；(2)電動車充電容量不得低於 4kW；(3)用戶需提供擁有電動車及充電設備之相關證明。

<sup>11</sup> Hawaii 時間電價計畫參與戶數之上限設定為 1000 戶，而拉娜島、茂宜島、莫洛凱島參與計畫戶數各為 300 戶。設定上限目標，主要為了按部就班，避免躁進，以防失控。



表 6. 夏威夷大島(Hawaii Island)住宅用戶時間電價費率(TOU-R)

| 項目                    | 類別                      | 費率            |
|-----------------------|-------------------------|---------------|
| 用戶費率(customer charge) | 單相                      | \$9.5 /月      |
|                       | 三相                      | \$17.5 /月     |
| 能量費率(TOU charge)      | 尖峰時段(3:00p.m.-8:00p.m.) | 33.7043 ¢/kWh |
|                       | 離峰時段(8:00p.m.-3:00p.m.) | 12.7043 ¢/kWh |
| 附加使用費率(usage charge)  | 每月用電量介於 350-1200 kWh    | 1.0 ¢/kWh     |
|                       | 每月用電量超過 1200 kWh        | 2.0 ¢/kWh     |
| 底度費用(minimum charge)  | 單相                      | \$17.50 /月    |
|                       | 三相                      | \$22.50 /月    |

註 1：此電價方案自 2011.3.1 起生效。

資料來源：Hawaiian Electric Company (2011), *Schedule TOU-R: Residential Time-of-Use Service*.

表 7 比較兩種電動車時間電價方案之固定費率可發現，家庭用電與電動車用電分開電表計算，亦即雙電表(two meters)的用戶費率較低。因為額外新增電表的用戶費率，不宜高出原本只裝單一電表(one meter)的用戶費率太多，才能提高用戶額外裝設電表之意願。另外，比較兩者流動費率恰與前述相反，雙電表之尖離峰費率較單一電表高，且離峰時段費率甚至高出單一電表電價方案五倍之多。

表 7. 夏威夷大島(Hawaii Island)電動車時間電價費率

| 項目                               | 類別                                                              | 單一電表          | 雙電表                        |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------|----------------------------|
| 用戶費率<br>(customer charge)        | 單相                                                              | \$9.50 /月     | \$1.50 /月                  |
|                                  | 三相                                                              | \$17.50 /月    |                            |
| 基本燃料費用 (base fuel energy charge) |                                                                 | 9.0708¢ /kWh  | -                          |
| 能量費率<br>(TOU charge)             | 尖峰時段<br>(週一至週五 5:00p.m.-9:00p.m.)                               | 13.0099¢ /kWh | 19.7986¢ <sup>2</sup> /kWh |
|                                  | 半尖峰時段<br>(週一至週五 7:00a.m.-5:00p.m.)<br>(週六至週日 7:00a.m.-9:00p.m.) | 10.0099¢ /kWh | -                          |
|                                  | 離峰時段<br>(每日 9:00p.m.-7:00a.m.)                                  | 2.0000¢ /kWh  | 11.0708¢ /kWh              |
| 附加使用費率<br>(usage charge)         | 每月用電量介於 350-1200 kWh                                            | 0.8299¢ /kWh  | -                          |
|                                  | 每月用電量超過 1200 kWh                                                | 1.6481¢ /kWh  | -                          |
| 底度費用<br>(minimum charge)         | 單相                                                              | \$17.50 /月    | \$1.5 /月                   |
|                                  | 三相                                                              | \$22.50 /月    |                            |

註 1：此試驗性新電價方案適用於 2010.10.1 至 2013.9.30。

註 2：雙電表時間電價方案中，尖峰時段為週一至週五 7:00 a.m. - 9:00p.m.。

資料來源：Hawaiian Electric Company (2010), *Schedule Residential TOU EV: Residential Time-of-Use Service with Electric Vehicle Pilot*.

參與用戶雖然無需負擔另行安裝智慧電表的設備費用(該智慧電表係由 HECO 免費提供)，但仍需支付約 1000 美元安裝新的插槽成本(new socket cost)。在此情況下，假設一部電動車充電電壓為 240 伏特，現階段充電技術需花費五小時充足電量，約可續航 80 英里。因此，電動車時間電價之參與用戶，必須是經常性定期使用電動車者，方符合另行加裝智

慧電錶設備支出(約 1000 美元)的成本效益準則。按美國電力研究院(Electric Power Research Institute, EPRI)2007 年模擬不同情境下，使用電動車所產生之預期效益，包括：(1)減少國外油品進口；(2)提高美國國內旅遊需求(目前美國有過半數的車輛，每天行駛距離低於 30 英里；此種情況在夏威夷州有限幅員內的駕駛者，其比例更高)；(3)節省消費者燃料費用(電動車使用 1 美元的電力所行駛的路程，高出一般汽車加油耗費 1 美元所行駛路程之三倍)；(4)減少二氧化碳排放量等。

#### 四、夏威夷州能源需求面管理第二階段(2009 年 7 月迄今)

Hawaii Energy 係夏威夷州自 2009 年 7 月 1 日起，推行需求面管理方案之專責機構，特別聚焦於能源節約效率計畫(Energy Conservation and Efficiency Program)。SAIC(Science Applications International Corporation)在 PUC 監督下，參與公開競標獲勝，取得 Hawaii Energy 之營運權，為期五年，至 2014 年 6 月 30 日止，接受 PUC 付託，負責執行夏威夷州全州整體能源需求面管理方案。換言之，SAIC 即所謂「第三方」營運者(the third-party contractor)。

至於，Hawaii Energy 機構之業務經費來源，係由全州各類用戶電費總營收的 1.5%課徵公共利益費用(public benefits fee)，以此費用成立專款專用之公共利益基金(public benefits funds)，用於補助或獎勵需求面管理推動方案之用。該機構之定位並非財團法人或社團法人，乃類似行政法人的非營利組織。惟該機構工作人員分屬 SAIC 及 Honeywell 之公司員工，核心團隊成員約 20 餘人。這是因為夏威夷州能源需求面管理方案係按住宅部門(residential sector)、工業部門(industrial sector)、商業部門(commercial sector)分別執行。其中，工業與商業部門由 SAIC 直接負責；至於住宅部門，則是由 SAIC 另行委託 Honeywell 公司承辦。以其不同專長之故也！

為何 PUC 要委由第三者進行能源需求面管理方案？究其因，為避免利益衝突，自 2009 年 7 月 1 日起，PUC 委託電力公司與電力用戶之外的第三方，執行能源需求面管理之相關任務。蓋電力公司主要營業任務為銷售電力，而需求面管理之核心價值在於節約用電，因此售電和節電之間有明顯的衝突矛盾，故宜交由與雙方相互獨立且無利益糾葛的「第三方」來執行需求面管理任務方屬妥當。再者，電力公司本身組織彈性較低，針對市場需求快速變化之情況，不易有效因應。尤其，需求面管理倚賴行銷心理學、社會學及經濟學，與電力公司工程技術專業導向之組織文化，並未盡相符。因此篩選相對公正且專長相符之「第三方」來執行需求面管理，可針對不同類別之電力用戶進行深入個案分析與「量身訂做(tailor-made)」方案，並且拉高層次從整體國家社會的觀點，而非僅由電力公司之觀點，來推動宏觀視野之能源需求面管理方案，將可獲得更具全面性之效果。

SAIC 成立於 1969 年，原為專業於科學、工程及科技應用的一家公司，利用整合性的專業知識解決有關國家安全、能源、環境及重大基礎設施及健康等重要課題，尤其電腦應用與行銷管理為其強項。以下簡述由 SAIC 負責營運的 Hawaii Energy 機構繼 HECO 之後，著手進行能源需求面管理的若干重要政策：

##### (一) 持續實施能源效率計畫

在家庭用戶方面，除了購買具有「能源之星」標籤的家電設備，可獲得現金折抵之獎勵優惠外，若用戶願意將仍可使用的舊冰箱汰換成具有節能效果的新冰箱，將會得到\$125 美元的現金折抵，高於單純購買新冰箱的\$50 美元現金折抵，且 Hawaii Energy 機構負責將舊冰箱回收處理。如此一來，不僅新購屋及家電損壞的用戶有意願參與能源效率計畫，

還可提高用戶家電汰舊換新的參與意願，達到全民共同節能減碳之效。另外，為了讓用戶了解家中用電情況，Hawaii Energy 機構鼓勵用戶安裝用電顯示螢幕，現金折抵為購買金額的 50%，其最高上限為\$100 美元。

根據 Hawaii Energy(2012)商業用戶方案，用戶購買節能電器之不同機型、尺寸、使用年限，將獲得不同的現金折抵。其中，氣冷式箱型(air cooled packaged)與分離式冷氣系統(split air conditioning system)與水冷式冰水機(water cooled chiller)的節能效率需高於國際節能標準(International Energy Conservation Code, IECC)的 15%，方符合申請現金折抵標準。

## (二) 宣導節能減碳

公布夏威夷州每個島嶼的年用電量及耗能數據，並與美國整體平均用電比較。根據 Hawaii Energy(2012)最新統計顯示，拉娜島為夏威夷州平均用電成本最高，達 44.4 美分/度，而美國平均用電成本僅為 11 美分/度，顯示夏威夷州用電成本相對昂貴，揭露此資訊將可促進民眾力行節能減碳。另外，Hawaii Energy 機構將有關再生能源及如何實行節約能源的宣導短片掛在網頁上，以利推廣成效。同時，在 Hawaii Energy 機構之網頁上，表揚積極節能減碳之公司或個人，稱之為「節能英雄(Energy Heroes)」，供大眾參考與學習。

## (三) 用戶區隔

Hawaii Energy 機構將電力用戶分為五類：住宅擁有者(home owner)、租屋者(renter)、大樓或住宅區等公共空間管理者(property manager)、企業擁有者(business owner)、能源設備及家電設施的製造商(vendor)，並針對不同類型的電力用戶推動量身訂做之行銷策略：

- (1) 住宅擁有者(home owner)：中產階級、自宅用戶較在乎家電用品的價格與直接現金折抵的多寡，通常希望買到相對便宜的節能家電，因此推動能源需求面管理的關鍵在於揭露較便宜的家電資訊，或是相對較貴但更節能的家電之成本效益回收年限，以利自宅用戶的消費者選購節能家電。
- (2) 租屋者(renter)：通常租屋者要自付水電費用，對於沒有自備家電者，較關切其租屋是否配備節能家電。反之，對於自備家電之租屋者，則有較高誘因購買節能家電。對後者而言，揭露節能家電相關資訊乃需求面管理政策之重要措施。再者，對於水電費用均包含在月租費之租屋者，通常較不關心節能家電成本效益評估的相關訊息，此一情況在夏威夷頗為普遍。因此，推動需求面管理的重點在於透過教育宣導來改變消費者的用電行為。目前 SAIC 委託 Opower<sup>12</sup>研究如何改變此種月租費包含水電費用之租屋者其用電行為模式，Opower 有軟體工程師、行為科學家、市場行銷專家等，專注研究如何透過量身訂做的需求面管理方案，達成社會整體節能減碳之目標。
- (3) 大樓或住宅社區等公共空間管理者(property manager)：由於此類管理者關切的重點在於公共設施每月能源帳單，亦即能省下多少公共設施水電費支出，例如公共空間改裝省電燈泡、游泳池改裝節能加熱系統等設備投資，在能源價格高漲之際，通常是管理者樂於採行之需求面管理方案。由於夏威夷早期興建的許多高樓建築，通常只裝置一個總電表及一套公用熱水系統，結果造成現階段能源浪費嚴重、大樓用戶間交叉補貼、及能源帳單支

<sup>12</sup> Opower 為 SAIC 委託之節能研究公司 (<http://www.opower.com/>)。

出不勝負荷。在此情況下，能源需求面管理重點工作在於提供最佳實務(best practice)案例經驗，供此類管理者示範觀摩，產生外溢效果。

- (4) 企業主 (business owner)：現階段因能源帳單支出日益高昂，此類用戶具較高誘因採行能源需求面管理方案。在此情況下，舉凡需量反應量身訂作之電價方案(如前述工商業用戶直接控制之可停電力方案)，只要符合用戶自身利益，便能開拓需求面管理新興市場，找到新的客戶，進而創造用戶、電力公司、社會「三贏」之經濟效益。
- (5) 能源設施及家電設備的製造商 (vendor)：此類用戶以利潤為導向，故推動需求面管理及節能減碳措施之重點在於使其了解消費者對節能設備之需求，進而刺激製造商設計或販賣具此類技術或特性的產品。尤其此領域技術領先者，若可進一步與製造商結合，共同量產殺手級應用產品(killer applications)，將相對提高其市場效益。

雖然目前 Hawaii Energy 機構所執行之能源需求面管理計畫已步上軌道，但仍有些問題有待突破，說明如下：

1. 夏威夷州有許多美軍駐紮軍營，為全夏威夷州耗電量最大的用戶。然而，營區內只有一個總電表，由國防預算支付，預算一旦編列通過後，經費來源無虞匱乏，導致軍區內包括公共空間、軍眷宿舍、招待所等之空調設備與照明燈具等，經常全天候啟動，毫無節能減碳之壓力與誘因。因此，改進之道在於行政導向之軍中文化背景下，宜由高階主管帶頭示範，並要求下屬養成隨手節約能源之習慣，可達上行下效、風行草偃之作用。同時，經常指派專人前往軍區各種場合宣導節約能源觀念與作法。
2. 污水(sewage)回收處理公司為夏威夷州單一用戶耗電量名列前茅的單位。由於其屬公用事業，皆按成本加成 (cost plus) 計價，且汙水回收系統有部分掌握在用戶端，因此相對情況較為複雜，且缺乏節能減碳的誘因。目前 SAIC 已進一步委託 Opower 公司研究合宜之改善方案。
3. 夏威夷早期新建之高樓建築，由於當時能源價格低廉，有些大樓整棟作為公寓出租之用，而租金價格也包含水電帳單，因此整棟大樓僅設置一個總電表，而無個別公寓之獨立電表。此做法在當時固然可以節省整棟大樓建築裝設諸多電表之硬體投資支出，以及逐一讀表、抄表之人力變動成本，但卻造成租戶使用水、電完全無額外付費之壓力，更難以養成節能節水之習慣。日後隨能源價格上漲，節能減碳意識日益普及，故分裝獨立電表可促使民眾提高節能意識，落實使用者付費精神。然而，因涉及內部管線設計與變動，對於各住戶分裝獨立電表，亦需增加一筆額外費用，故大樓管理者與住戶皆無意願。在此情況下，如何督促這些用戶節能減碳，成為當前需求面管理的課題。

## 五、對台灣之政策義涵

根據以上夏威夷州能源需求面管理之各種推動方案及其實施經驗，可歸納出以下六項政策意涵：

### (一) 由「第三方」負責執行需量反應方案

由於溫室效應與環境污染成本日益上升，而智慧型能源資訊(Energy Information Communication)管理成本逐年下降，需求面管理是 100%綠色節能減碳之政策工作，較諸再生能源更具推廣執行之優先性。傳統上，電力公司執行需求面管理政策之交易成本雖然相對較低(掌握電力供給與需求實際詳細資料)，然而電力公司主要職責在於銷售電力，與需求面管理計畫以節約用電之核心價值，兩者明顯產生利益衝突。尤其電力公司需求面管理部門通常唯有在缺電環境下，較獲得公司高層主管重視。一般情況下，執行此業務之員工不易施展策略性作為，人力資源亦相對欠缺，以夏威夷電力公司為例，原本執行需求面管理相關業務之員工尚不及五人，人士升遷管道亦相對有限。

總之，由電力公司負責規劃執行需求面管理方案，執行該方案之員工究竟應以電力公司自身利益或是整體社會全民利益為主要工作任務，往往陷入兩難之考量。在達成目標任務模糊不清情況下，甚難表現其績效。因此，由市場行銷分析專長之「第三方」，研擬並執行需求面管理方案政策，更為恰當且適合。

## (二) 強調供需整合資源規劃

夏威夷州能源需求面管理政策之核心理念，在於強調供給與需求面之資源整合。所謂供需整合規畫(Integrated Resource Planning, IRP)係指同時考慮供給面資源與需求面資源之成本與效益，進行整合性之替代方案評估，以追求整體社會總成本最低的電力資源供需整合規畫方案。換言之，凡是能配合電力系統供不應求時，而加以抑低負載的需求面管理方案，所抑低負載之報償均應等同於供電資源的市場價值，並獲得電力公司合理之報償。甚至為達節能減碳政策目標、誘發科技創新或增加綠色就業機會(Green Jobs)，對於小型新創的能源需求面管理方案，即使其益本比低於 1 之設定門檻，公用事業委員會仍然允許電力公司藉由加成(Adder)<sup>13</sup>或整體組合(Portfolio)方式，予以核准通過，並定期進行滾動式之管理評估與檢討修正。

## (三) 智慧電網、需求面管理及分散型供電系統之整合

區域的尖峰負載與系統的尖峰負載，往往發生在不同的時段而有不同的負載數量。所以，整個電力系統的尖峰負載通常都小於各地區尖峰負載的總和。換言之，區域負載因為有其彼此間參差率的存在，所以配電系統的設備利用率通常小於整體發電系統的設備利用率。因此，透過分散型發電設施將可延緩輸配電系統的投資，且其投資前置期非常短，較能機動地因應負載成長變化的不確定性。電力市場規劃應有的重要觀念就是要尋求一個平衡點，使中央式的發電系統與分散型的供電與儲能系統配合，達到相輔相成的效果。

## (四) 需求面管理與分散型發電系統之環保優勢

從供應端發電傳送到用戶端過程中，因能源型態轉換與傳輸，造成能趨疲(Entropy)的增加，亦即有效能源(Exergy)的耗損。除了提升發電端與輸配電系統效率可減少有效能源之損耗外，需求面管理若能有效節約一度電，約等同於省下五度電的供給量。另外，利用再生能源的分散型發電系統，也可有效降低對化石能源的依賴及消耗，減少二氧化碳等有害氣體及有毒物質產生，且其動能之取得成本甚低(如：太陽能、風力等)，相較於傳統的

---

<sup>13</sup> 美國華盛頓州採用的檢定方法即是「修正型社會成本檢定(Societal Cost Test, SCT)」，規定以 10% 的「加成」計算需求面管理整體生產力改善、經濟發展效益、環境效益等各項非能源因素之正向外部性。加拿大不列顛哥倫比亞公用事業委員會(British Columbia Utility Commission, BCUC)，則同意電力公用事業於計算 TRC 檢定時可採用 30% 的「加成」。



集中式發電而言，對於環境的衝擊較小，可減緩全球暖化之趨勢。尤其在目前重視環境品質的趨勢下，此種供電方式有其相對利益，甚至能享受政府給予租稅優惠<sup>14</sup>。

### （五）資通訊科技與能源需求面管理之整合

資訊科技對於電力的衝擊早在 1980 年代末開始，藉由資通訊數位科技的應用，使原本垂直整合的電力供應鏈，被切割細分化(Unbundling)，提供傳統電業之發電與輸電介面，以及配電與使用者介面產生新的競爭市場。資通訊科技帶給電力產業的第二波巨大衝擊即 21 世紀智慧電網的實現。此不僅意謂輸配電網路具有雙向互動與自我療癒的智慧，更突顯出數位匯流(Digital Convergence)浪潮下新世代網路(Next Generation Network; NGN)Web 2.0 概念的落實，亦即每一個電力消費者都可以是潛在的電力供應者。發電與供電可由各用戶、社區、鄉鎮自給自足，並與中央電力公司互通有無。這一波衝擊將帶動再生能源、電能管理、智慧生活服務科技、感知科技等相關產業發展，也呼應 e-Taiwan、M-Taiwan、U-Taiwan，到 I-Taiwan<sup>15</sup>的國家數位化政策。由此可見，資通訊科技與電能需求面管理有密不可分之關係。

### （六）能源需求面管理與分級電價之整合

在電力市場愈來愈競爭的情況下，電業將會依據用戶不同的需求提供不同電力品質的服務，以降低供電成本，此概念亦等同於需量反應。長遠來看，當分散型供電型態散佈在輸電及配電系統的各個角落時，未來的電力產業結構也將導致另一種革命性的轉變，亦即傳統的電業為了市場競爭，可能會主動將電力網絡區隔成很多小型的微電網(Micro Grid)，據此將每一個變電所變成一個利潤中心。在此情況下，分散型的電業結構將會促成多樣化的電價，依據時段、供電可靠度、電壓、供電數量與電價的不同，分解成各種不同的電力商品，提供變電所的區域使用者選擇，以滿足各種用戶不同的需求，進而促成電力市場的分級電價(Priority Service)。

## 六、結論與建議

夏威夷州能源情勢與台灣相似，大部分能源需求均仰賴進口，隨著國際油價攀升，其能源需求面管理的相對機會效益隨之增加。本文探討夏威夷州能源效率法制與需求面管理執行政策，包括再生能源發電、裝置節能設備之獎勵措施、時間電價、可停電力方案等，並由各項推動方案及其實施經驗，歸納出五項政策意涵，研究結果可供台灣進行需求面管理政策借鏡與參考。

狹義的需求面管理係指能源消費者藉由政府能源價格政策或法規之調整，進而誘導能源消費需求行為改變之做法。夏威夷州實施試驗性新時間電價之目的，即是透過價格資訊誘導消費者轉移尖峰用電至離峰時段，以降低供電系統尖峰負載。而廣義之能源需求面管理除了上述狹義範圍外，更包括個別能源用戶之小規模能源生產、儲存或能源供給容量的投資，以配合其改變能源消費型態之行為。如夏威夷州積極推廣用戶裝置太陽能熱水器和屋頂型太陽能面板，此種小規模的供電方式，可依其電力需求多寡進行調節，發電量小用戶自用可節省電費支出，發電量大用戶則可將多餘太陽能發電回售給電力公司，達到需求面管理與分散型發電整合之落實。

<sup>14</sup> 行政環境保護署修正「開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準」第二十九條指出，利用再生能源之自用發電設備，其裝置容量未達五百瓩者，免實施環境影響評估。

<sup>15</sup> 數位台灣 e-TAIWAN(Electronic)，2002-2007；行動台灣 M-TAIWAN(Mobile)，2005-2009；發展優質網路社會 U-TAIWAN(Ubiquitous)，2007-2011；智慧台灣 I-TAIWAN (Intelligent)，2009-2012。

在全球節能減碳風潮下，小型再生能源供電方式已逐漸成為電力用戶熱門投資的選項，甚至在未來智慧電網(Smart Grid)或微電網(Micro Grid)發展成熟時，電力系統有可能轉變成 Web 2.0 之型態，亦即每一個電力用戶都可成為電力供應者。夏威夷州為鼓勵用戶裝置太陽能面板，不僅提供購買設備之現金折抵，且聯邦政府與夏威夷州政府也各給予 30% 及 35% 的租稅減免，大幅降低太陽能設備成本，因此其 FIT 收購費率制訂也相較北歐國家低。如此一來，利用再生能源發電價格將降低至傳統化石燃料發電價格，或甚至更低，加速市電同價(grid parity)的實現，帶來正面影響效果，亦即將大幅提高一般民眾對太陽能發電的接受意願。當太陽能發電系統成熟發展具穩定性與效率性時，民眾與企業裝設太陽能發電的誘因將不再限於政府補助，更包括具有誘因的市電價格。

各國政府為減輕工業化汙染及溫室氣體排放量所造成的全球暖化與氣候變遷現象，提倡以再生能源取代化石燃料，並制定 FIT 制度。然而，FIT 費率高低並非為判定一個國家再生能源發電政策是否積極的最佳依據，其仍需以其他政策(如設備補助、租稅減免)輔佐以降低參與方案門檻，才能將分散式發電引進各個角落。此種分散式發電系統，不僅可降低電力長距離傳輸的線路損失，提升供電的可靠度與穩定度，同時也有利於電力公司掌握區域電力供需情況。準此而言，輸配電系統的壅塞管理(Congestion Management)，及電力市場各種輔助服務(Ancillary Service)之競標制度，均將有助於多樣化的分散型發電系統與需求面管理方案，進一步取得其市場利基，值得政策規畫者及早進行整體配套考量。從政策制定之角度，政府有關單位應在符合成本效益前提下，盡可能透過市場誘因及獎勵等，制定各種分散型能源及能源需求面管理之方案，促成整體能源效率提升，方有助於國家之永續發展。

## 參考文獻

- Hawaiian Electric Company, 2009. *Demand-Side Management Programs: Accomplishments and Surcharge Report*. Hawaii: Hawaiian Electric Company.
- Hawaiian Electric Company, 2011. *Hawaiian Electric Companies' Feed-in Tariff Program Website Overview and Tutorial*. Hawaii: Hawaiian Electric Company.
- Hawaiian Electric Company, 2012. *Energy Solutions for Business*. Hawaii: Hawaiian Electric Company.
- Hawaiian Electric Company, 2012. HECO Feed In Tariff Program. Hawaii: Hawaiian Electric Company. Available at: [www.heco.com/portal/site/heco/](http://www.heco.com/portal/site/heco/). Accessed 21 March 2012.
- Hawaiian Electric Company, 2012. Demand Response. Hawaii: Hawaiian Electric Company. Available at: <http://dr.heco.com/Overview.aspx>. Accessed 21 March 2012.
- [Hawaii Energy, 2012. Business Incentives Summary. Hawaii: Hawaii Energy.](#)
- U.S. Energy Information Administration, 2012. *Electricity*. United States: Energy Information Administration. Available at: <http://www.eia.gov/electricity/>. Accessed 2 April 2012.
- Research and Economic Analysis Division, 2011. *Hawaii Economic Issues: Renewable Energy in Hawaii*. Hawaii: Research and Economic Analysis Division.
- State of Hawaii Department of Business, Economic Development & Tourism, 2011. *State of Hawaii Energy Resource Coordinator's Annual Report 2011*. Hawaii: Department of Business, Economic Development & Tourism.

## 兼顧能源與溫室氣體政策之

### 我國汽電共生系統發展方向探討

林唐裕（台灣綜合研究院研一所所長）

陳玟如（台灣綜合研究院研一所組長）

蔡欣欣（台灣綜合研究院研一所高級助理研究員）

#### 一、前言

由於能源同時扮演經濟成長與溫室氣體排放之推手，我國在追求永續發展目標之際，正面臨能源稀缺與全球暖化的雙重壓力，此時汽電共生系統將成為政府致力於節能減碳之另一可行政策，此乃本文探討之重點。因此，本文首先將闡述汽電共生系統之重要性，並探討自民國 70 年代迄今，汽電共生系統對我國能源系統（尤其是電力供應系統）之貢獻，進而評估汽電共生系統設置之效益；最後，提出相關建議，俾供政府決策之參考。

#### 二、汽電共生系統重要性分析

##### （一）汽電共生系統原理概述

汽電共生系統係以同一初級能源投入後，可同時產出電力與熱能（蒸汽或熱水）之系統；亦可視為提升能源使用效率之發電技術。因其燃料所產生之熱能可同時提供蒸汽或熱水及發電使用，因此以能源使用效率而言，其燃料熱能大約 50~80% 可轉換成蒸汽及電能，與傳統純發電之火力電廠及產製蒸汽之鍋爐比較，節省燃料可達 20% 以上，進而減少溫室氣體排放之效果，如圖 1 所示。再者，汽電共生系統一般伴隨工廠而分散設置於各地，可免除輸配電過程中所損失的電力，對於分散電源及提高電力供應可靠度亦有顯著之成效。

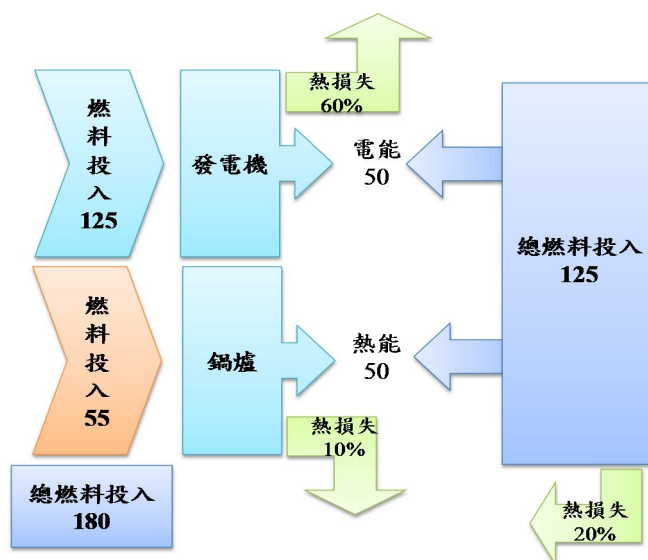


圖 1. 汽電共生系統與傳統發電方式比較

資料來源：台灣綜合研究院整理。

汽電共生系統可依操作系統方式之不同，可區分為先發電式(Topping Cycle)與後發電式(Bottoming Cycle)兩種。先發電式汽電共生系統之運轉流程係先由鍋爐生產蒸汽後，導入原動機帶動發電機產生電力，再利用發電過程所排出的餘熱，提供工廠製程使用。後發電式汽電共生系統之運轉流程，則先由鍋爐先產生高溫蒸汽後，送至工廠製程使用，再利用工廠製程所剩之餘熱或廢熱（生產製程中因化學反應產生之熱能）送至廢熱回收鍋爐後產生蒸汽，導入原動機帶動發電機產生電力。此種操作方式適用於生產製程需要高溫蒸汽之產業。

## （二）國外汽電共生發展現況及推動策略

有鑑於汽電共生系統具有節能、減少線路損失及降低溫室氣體排放量等多項優點，各國政府為兼顧能源安全與因應京都議定書之減排目標，採具高效率之汽電共生系統作為主要因應措施之一。茲以歐盟、英國、日本之發展情形分述如下：

### 1. 歐盟

2008 年歐盟汽電共生的裝置容量約 1.002 億瓩，占整體電力系統 12.5%；整體燃料使用情況，以天然氣與煤炭為大宗，其中，天然氣約占 39.4%，煤炭等固體化石燃料占 34.8%，再生能源則占 11.0%。儘管各國均實施有利的政策推動措施，但受到高昂氣價及相對低的電價而降低燃氣汽電共生廠之競爭力，近年汽電共生發電量占比呈現持平現象。

自 1997 年京都議定書通過後，歐盟於 2000 年擬定歐盟氣候變遷計畫(European Climate Change Program)，明訂歐盟成員國在「能源供給」方面，應推行汽電共生系統，協調各別具有效率之發電、產汽廠進行汽電共生系統之設置，並且在 2005 年第二階段的歐盟氣候變遷計畫中，繼續作為減碳措施之一。

歐盟為積極推動汽電共生系統，於 2004 年 2 月 21 日由歐盟執委會施行「汽電共生指令(The CHP Directive 2004/8/EC)」，該指令共計 18 條，主要內容包含界定汽電共生系統範疇與定義各型式之汽電共生系統、汽電共生系統效率計算方式與標準界定、建立汽電共生電力來源保證機制(Guarantee of Origin, GO)、要求成員國提交汽電共生發展潛力與其障礙自評報告書、要求成員國應建立獎勵機制、規定汽電共生餘電併聯電網及業者購電價格保障等規範。

此時歐盟亦陸續執行相關推動措施，諸如具有強制性質的建築指令(The Buildings Directive 2002/91/EC)、能源服務指令(The Energy Services Directive 2006/32/EC)；具有給予經濟誘因性質的排放交易制度指令(The EU ETS Directive 2003/87/EC)、再生能源指令(The Renewable Energy Directive)。

### 2. 英國

2008 年英國汽電共生系統裝置容量約 550 萬瓩，且以中、小型機組為主，占整體電力系統 6.5%。此外，燃料使用以天然氣為主，占比高達 70%，占英國整體天然氣消費量之 8%；此乃由於英國能源政策方向大幅度轉向低碳燃料之使用，以天然氣代替燃煤，在 1990 至 2004 年間於北海發現豐富的天然氣，加上政府大力推廣天然氣複循環機組(Combined Cycle Gas Turbine, CCGT)以及廢止對煤礦開採的補助等措施，故天然氣使用比例較高。

表 1. 英國推動汽電共生系統獎勵措施

|      | 計畫名稱                                               | 執行方式                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 補貼機制 | 社區能源計畫<br>(Community Energy programme)             | 1.資金協助：本計畫提供最高達 200 萬英鎊的設備補貼；而其餘 4,800 萬英鎊的則供資本資助(capital support)之用。<br>2.除金錢補助，計畫提供其它相關的協助，如「專家的訪問」、「訓練課程」、「如何投資的指示」，及「提供熱點地圖(heat density maps)」，以提供何地裝設汽電共生設備，是最具成本有效性的資訊。                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|      | 生質能資本補貼計畫(Bio-energy Capital Grant scheme)         | 於 2002 年設立，鼓勵使用「能源穀物」或其它「生質能物料」的汽電共生設備，其設備成本，可取得計畫的「資本補貼(capital grant)」。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 財務措施 | 免徵氣候變遷稅<br>(Climate Change Levy Exemption)         | 凡符合「高品質汽電共生」(good quality CHP)，其所使用之發電燃料，可免徵氣候變遷稅。於 2003 年 4 月起，其「燃料投入」以及「電力產出」用於廠內自用，或直接銷售給其它用戶者，均納入免徵氣候變遷稅之範圍。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|      | 資本抵減優惠<br>(Enhanced Capital Allowances ,ECAs)      | 適用於投資「特定節能設備」者。凡購置正常使用壽期的設備或機械(具有二十五年或更久的使用年限)可享受此項優惠。包括投資「高品質汽電共生設備」第一年，可享受 100%資本抵減的優惠，而沖銷所有的投資成本，享有租稅上的優待。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|      | 能源服務協定<br>(Energy services agreements)             | 在能源服務(ESCO)措施下，汽電共生設備者可透過銀行擁有所有權，租賃(lease)給 ESCO 公司經營或由業者委託能源服務公司提供服務。提供該設備所需之相關支出，如設備的設計、取得、裝設、營運、維修、運轉、能源服務。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|      | 附加價值稅減免                                            | 2005 年 3 月起，裝設家用小型汽電共生者(micro-congen)，可享有減免附加價值稅 5%之優惠。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|      | 氣候變遷協定<br>(Climate Change Agreements)              | 採取節能措施者，可減免「氣候變遷稅」。採取相關節約能源措施之工業部門，可享有氣候變遷稅(CCL)減少 80%的優待，而汽電共生設備也是節能措施重要的一環。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|      | 地方型基金與推廣措施<br>(Regional funds and support schemes) | 1.蘇格蘭能源效率局(The Scottish Energy Efficiency Office)提供無息貸款給母公司在蘇格蘭之中小企業，計畫自 5,000 到 50,000 英鎊，鼓勵提升能源效率與汽電共生設備之發展。<br>2.北愛爾蘭：(1)「貸款行動計畫」(Loan Action scheme)提供最高三萬英鎊之無息貸款給裝置汽電共生者；(2)中央能源基金(Central Energy Fund)提供最高達百分之百的補助，給政府建築物提升能源效率；(3)「北愛爾蘭永續建築計畫」(Northern Ireland Programme for Building Sustainable Prosperity)提供社區汽電共生設備，高達 50%的投資補助；(4)「示範計畫基金」(Demonstration Scheme funds)提供投資補助「位於偏遠地區或貧窮地區」(rural areas or impoverished areas)且以再生能源為投入的汽電共生設備，最高可達該設備之百分之五十。 |

資料來源：台灣綜合研究院整理，2011 年。

英國為因應京都議定書之生效，不論在氣候政策抑或能源政策均以汽電共生系統作為施政措施之一。諸如於 2006 年頒布之氣候變遷計畫(Climate change: The UK programme 2006)中，以推動汽電共生系統作為減碳配套措施之一；2007 年能源白皮書(2007 Energy White Paper: meeting the energy challenge)亦提出應持續推廣汽電共生，短程及中程將透過汽電共生系統，以減少電力傳輸之線損。

英國為推廣汽電共生系統，於 2004 年設定汽電共生系統 2010 年達到 1,000 萬瓩之發展目標，以助達成溫室氣體減量目標，故實施許多汽電共生的相關推動獎勵措施，本文彙整英國推動汽電共生之獎勵機制，詳見表 1。



### 3. 日本

截至 2011 年 3 月為止，日本汽電共生系統總裝置容量高達 940 萬瓩，占全國發電量之 5%；主要使用燃料天然氣占 53%，其次依序為油占 35%，其他（如廢棄物等）則占 12%。

日本為達京都議定書 2012 年減少 6%（相較於 1990 年）之目標，於 2008 年依地球暖化對策推進法授權訂定「京都議定書目標達成計畫」，合計推動 60 項政策與措施；其中，針對能源部門，亦以推動汽電共生系統作為因應措施之一。再者，為加強能源部門減碳效果，日本設定燃氣汽電共生系統推動目標，期望至 2010 年能達到 498 萬瓩至 503 萬瓩之間，而目前燃氣汽電共生系統裝置容量已達到 498 萬瓩。

回顧日本推動汽電共生系統政策措施可知，其主要以投資補貼及稅額減免優惠作為推動工具，顯示以政府承諾持續推動汽電共生系統之前提下，補貼經常被視為技術與經濟發展之明燈。本文彙整日本推動汽電共生之獎勵機制，詳見表 2。

表 2. 日本推動汽電共生系統獎勵措施

|      | 計畫名稱                                                                                    | 執行方式                                                                                                                  |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 補貼機制 | 新能源使用者支援計畫<br>(The Support Program for New Energy Users)                                | 提供補助金給引進合格新能源系統（如燃氣汽電共生系統及燃料電池）之企業。2008 年編列 335.8 億日圓預算；撥款率高達裝置成本的三分之一；其中，燃氣汽電共生系統最高可補貼 5 億日圓、燃料電池最高可補貼 10 億日圓。       |
|      | 在地新能源推動計畫                                                                               | 對地方公共部門提供補助金，補助初步商業化階段之合格新能源系統，合格技術包含具能源效率之設備（如潔能運具、燃氣汽電共生系統、燃料電池、再生能源等）。2008 年，政府編列 41.5 億元預算在此項計畫中，此預算可補貼一半以上的裝置成本。 |
|      | 研發與示範補助計畫                                                                               | 經濟產業省針對住商部門之燃料電池汽電共生技術研發與示範計畫提供補助資金，如對大型固定燃料電池示範專案，補貼企業購買此系統設備，每顆聚合電解燃料電池之補貼額度最高可達 220 萬日圓。                           |
| 財務措施 | 促進投資能源供需稅制<br>(Taxation System for the Promotion of Investment in Energy Supply-Demand) | 提供小型或中型企業抵減稅額 7% 之優惠，或給予汽電共生設備標準收購價之 30% 加速稅額折舊。                                                                      |
|      | 區域能源低利投資貸款                                                                              | 日本發展銀行 (the Development Bank of Japan) 對利用汽電共生系統進行區域能源整合專案，給予電力公司低利貸款優惠之機制。                                           |

資料來源：台灣綜合研究院整理，2011 年。

## 三、我國汽電共生系統之演進

由於能源扮演相當關鍵的地位，台灣追求永續發展時，正面臨能源稀缺與全球暖化的雙重壓力。其中，電力部門對能源需求占比幾近 4~5 成左右，顯示穩定的能源供應，對於電力部門而言相當重要。再者，我國電力事業由國營的台電公司獨家經營，業務涵蓋發、輸、配電等工作，肩負供電穩定之責任。爰此，面臨電力負載需求逐年遞增之趨勢，汽電共生系統成為紓解台電公司供電負擔之重要夥伴。

### （一）汽電共生系統發展現況

我國汽電共生系統發展至今，2011 年總裝置容量達 793.8 萬瓩；其中，合格汽電共生系統家數共計 93 家，裝置容量共計 761.3 萬瓩，占全國電力系統之 15.6%；餘電躉售量達 90 億度，為全國發電系統貢獻 16.3%之電力，僅次於台電公司 69.0%（能源局，2012）。

分析國內各區域合格汽電共生系統之分布情形，依裝置容量多寡排序如下：南部(71.7%)、北部(15.8%)、中部(11.6%)、及東部(0.9%)；其中，有關發電燃料占比高低之排序如下：煤炭占 70.6%、燃油占 11.2%、垃圾占 8.0%，其它(包括焦爐氣、高爐氣、轉爐氣、廢氣、廢熱等燃料)占 9.0%，詳見表 3。

然而，近年來天然氣價格高漲，100 年 1~9 月以中油售予合格汽電共生天然氣牌價估算業者平均發電成本為 4.67 元/度，與現行費率（最高收購價 4.34 元/度）相比明顯不具誘因，惟目前仍有 3 家燃氣業者（大台北瓦斯公司、台鹽通霄精鹽賞、中油大林煉油廠），其主要原因為受工廠面積所致；設置燃氣汽電共生系統不需儲煤倉、儲油槽，僅須與中油公司申請供氣管線，可節省土地使用面積。此外，為因應天然氣價格高漲，部分業者對於汽電共生系統之操作改為每個月啟動運轉 2~3 小時，以節省燃料成本。

表 3.我國各區域在民國 100 年之汽電共生系統裝置情形

單位：瓩

| 區域別         | 北部        |           | 中部       |           | 南部        |           | 東部       |           | 合計        |           |
|-------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| 燃料別         | 裝置<br>容量  | 占比<br>(%) | 裝置<br>容量 | 占比<br>(%) | 裝置<br>容量  | 占比<br>(%) | 裝置<br>容量 | 占比<br>(%) | 裝置<br>容量  | 占比<br>(%) |
| 煤炭          | 820,917   | 65.91     | 538,810  | 61.17     | 4,139,397 | 76.77     | 5,781    | 6.12      | 5,504,905 | 72.31     |
| 燃油          | 198,800   | 15.96     | 25,200   | 2.86      | 485,350   | 9.00      | 30,000   | 31.74     | 739,350   | 9.71      |
| 天然氣         | 500       | 0.04      | 6,750    | 0.77      | 50,000    | 0.93      | -        | 0.00      | 57,250    | 0.75      |
| 沼氣          | 4,083     | 0.33      | -        | 0.00      | 4,083     | 0.08      | -        | 0.00      | 8,166     | 0.11      |
| 垃圾<br>(含蔗渣) | 221,170   | 17.76     | 135,100  | 15.34     | 244,560   | 4.54      | 33,650   | 35.60     | 634,480   | 8.33      |
| 其它          | -         | 0.00      | 175,000  | 19.87     | 468,700   | 8.69      | 25,100   | 26.55     | 668,800   | 8.79      |
| 合計          | 1,245,470 | 100.00    | 880,860  | 100.00    | 5,392,090 | 100.00    | 94,531   | 100.00    | 7,612,951 | 100.00    |
| 區域別<br>占比   | 16.36     |           | 11.57    |           | 70.83     |           | 1.24     |           |           |           |

註：1.其它包含焦爐氣、高爐氣、轉爐氣、廢氣、廢熱。

2.區域別資料如下：

北部地區：宜蘭、基隆、台北、桃園；

中部地區：新竹、苗栗、台中、彰化、南投；

南部地區：雲林、嘉義、台南、高雄、屏東；

東部地區：花蓮、台東各縣市。

資料來源：經濟部能源局，2012。

## （二）汽電共生系統發展之歷程

本文將藉由回顧汽電共生系統發展之歷程，分析汽電共生系統對於我國能源領域與近期氣候變遷議題下所扮演之角色，遂以「台灣光復時期」、「民國 70~80 年代」、「民國 90 年代後迄今」三階段進行探討，如圖 2 所示。

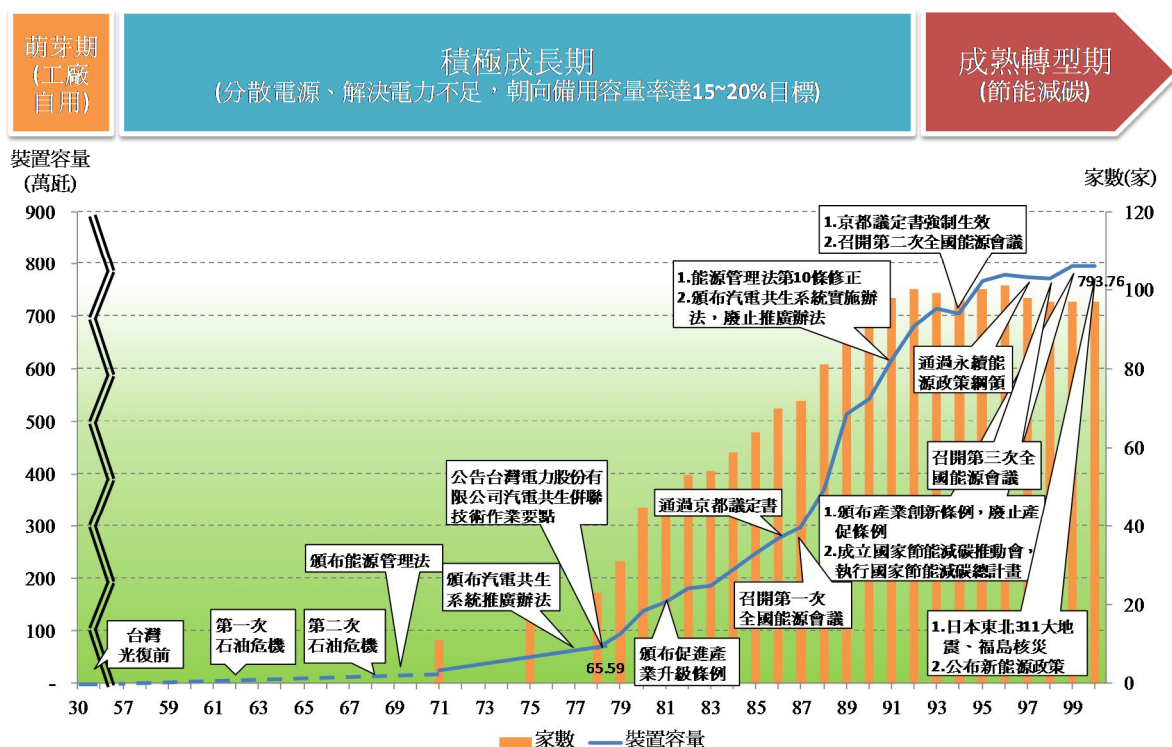


圖 2. 我國汽電共生系統發展歷程

資料來源：台灣綜合研究院整理，2011 年。

## 1. 台灣光復時期：汽電共生系統萌芽期

民國 34 年台灣光復時期，電力系統裝置容量為 27.5 萬瓩，但因受二次戰火波及，可用電力僅剩 3.3 萬瓩；待至 35 年 5 月 1 日台灣電力公司成立，進行電力設施修復工作後，至 42 年，整體電力裝置容量增至 36.3 萬瓩。此時期，電力主要依賴水力發電，發電量占比高達 93.7%。由於水力發電量受水文榮枯影響，當時部分業者（如台糖公司）為避免製程受到影響，故採取自行發電方式，設置汽電共生系統。

## 2. 民國 70~80 年代：汽電共生系統積極成長期

由於能源高度仰賴進口的台灣歷經 62、68 年兩次石油危機衝擊，政府能源政策改採發電多元化政策。除一方面推展核能發電，另一方面持續引進火力機組；此外，經濟部於民國 69 年頒布「能源管理法」，於第十條要求能源用戶生產蒸氣達中央主管機關規定數量（100 噸/小時）者，應裝設汽電共生設備，並給予加速折舊之經濟誘因措施。

爾後，民國 75 年起，台灣政經情勢歷經大變局，如宣布解嚴、開放大陸探親、引進高科技及產業結構轉變等，電力需求因此持續增加，惟部分電源開發計畫如核四、蘇澳等受環保抗爭之影響興建受阻，導致電力備用容量率與合理備用容量標準 15~20% 相去甚遠，造成多次限電，影響民生、社會、經濟甚鉅。

政府為加速推動國內汽電共生系統設置，分散電源，以紓解限電困境，於 77 年 7 月 15 日頒布「汽電共生系統推廣辦法」，針對汽電共生系統符合有效熱能比率不低於 20%，總熱效率不低於 50% 者，得向經濟部能源會申請登記為合格汽電共生系統，並享有加速折舊、投資抵減、低利融資貸款、天然氣價優惠、售電優惠（餘電收

購費率另可按台電公司核定之優惠價格予以收購合格汽電共生系統餘電)、購電優惠(備用電力)等更多獎勵優惠措施。

次年,台電公司為與汽電共生系統併聯時,能維持電力系統之品質、供電可靠度及公共安全,遂依「台電公司與合格汽電共生系統經營相互購電辦法」第3項規定,公告「台灣電力股份有限公司汽電共生併聯技術作業要點」,使汽電共生系統能夠給予穩定且便宜的電力。此時,汽電共生系統正式加入台電電力系統,裝置容量以年均成長15.2%之速度,自71年34.8萬瓩增至89年513.5萬瓩(合格汽電共生系統則達464.0萬瓩),對於台電電力系統佔有重要地位。

### 3. 民國90年代後迄今：汽電共生系統成熟轉型期

90年代後,汽電共生系統發展趨於成熟,再者自政府開放民營電廠後,台電備用容量率均維持一定水準。爰此,經濟部藉由配合民國91年1月「能源管理法」第10條修正條文施行之機會,於同年9月4日頒布「汽電共生系統實施辦法」已取代「汽電共生系統推廣辦法」。

條文內容依循「汽電共生系統推廣辦法」之架構擬定,亦授權由經濟部公告收購價格;惟依新舊有別方式,新設機組取消舊有電價及備用電力之優惠措施,既有機組亦依折舊年限取消優惠;對於新設機組亦提升合格汽電共生系統資格認定標準,將總熱效率標準自50%提升至52%。此外,配合「促進產業升級條例」施行,取消租稅減免措施;配合「自用發電設備登記規則」施行,取消聯合設置;亦取消融資優惠、天然氣價優惠。

自93年4月起國際燃料價格飆漲,加上投資環境不佳、餘電收購費率不利等因素,導致工廠設置汽電共生系統意願降低。惟正逢全球暖化問題,在各國均積極進行溫室氣體減量之趨勢下,我國能源政策目標由「穩定能源供應安全」轉為兼顧「節能減碳」之方向發展,而推動汽電共生系統目的亦由分散電源,解決電力不足問題,擴展至兼顧追求溫室氣體減量之角色。

諸如,政府為因應「京都議定書」生效,於94年6月朝開「全國能源會議」,討論京都議定書生效後,整體能源因應與策略方向。其中於議題二「能源政策與能源結構發展方向」方面,將推動汽電共生系統作為提高能源效率之手段,並訂定『2010年800萬瓩、2025年1,000萬瓩』之目標。

至97年6月5日,行政院於第3095次院會通過「永續能源政策綱領」,政策目標為達到能源、環境與經濟三贏局面,同時在發展潔淨能源下,全國二氧化碳排放減量,於2016年至2020年間回到2008年排放水準,2025年回到2000年排放水準;提高能源效率、發展潔淨能源,以及能源供應穩定等四項目標。爰此,政府為達成永續能源政策綱領之政策目標與各項能源議題之推動共識,於98年4月召開第三次全國能源會議,會議分「永續發展與能源安全」、「能源管理與效率提升」、「能源價格與市場開放」、「能源科技與產業發展」四項核心議題進行討論。此時,汽電共生系統推動目標已不再僅以整體裝置容量為評斷標準,而開始轉至『鼓勵燃氣、低碳及共同設置』方向發展。

隨著全球暖化問題日益嚴重及傳統能源加速耗竭,99年5月行政院奉 總統指示成立「行政院節能減碳推動會」,整合目前相關部會之節能減碳計畫,並邀集相關部會規劃我國「國家節能減碳總計畫」,訂定國家節能減碳目標,包括節能方面訂定

2008 年至 2016 年每年能源效率提高 2%，進而使能源密集度於 2015 年較 2005 年下降 20%以上，且藉由技術突破及配套措施，2025 年較 2005 年下降 50%以上；至於減碳目標方面，則配合 98 年全國能源會議結論，將減碳目標年修正為 2020 年回到 2005 年二氧化碳排放水準，2025 年回到 2000 年二氧化碳排放水準。汽電共生系統亦持續作為我國節能減碳措施之一。

爾後，受日本福島核災影響，我國於去(100)年 11 月 3 日頒布「新能源政策」，宣示在核能方面，在確保核能安全前提下，核四 2 部機組於 2016 年前穩定商轉，核一將配合提前停轉，核二、核三將依原先規劃正常除役；而在面對未來電力需求增加之趨勢下，勢必將產生電力缺口。

表 4. 台灣汽電共生系統推廣政策措施一覽表

| 實施期程 | 政策                         | 內容                                                                                                                                                                                                                                    |
|------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 69 年 | 頒布「能源管理法」                  | 要求能源用戶生產蒸汽達中央主管機關規定數量者，應裝設汽電共生設備，並且適用獎勵投資條例關於加速折舊之規定。                                                                                                                                                                                 |
| 77 年 | 頒布「汽電共生系統推廣辦法」             | 包括合格汽電共生廠之效率標準、融資優惠及租稅減免、天然氣使用優惠價格、聯合投資、購電與售電規定，以及合格系統經營者之義務等規範。                                                                                                                                                                      |
| 78 年 | 公告「台灣電力股份有限公司汽電共生併聯技術作業要點」 | 包括系統併聯方式、電力調度與通訊、系統併聯運轉、系統併聯保護等事項規定。                                                                                                                                                                                                  |
| 80 年 | 頒布「促進產業升級條例」施行細則           | 設置汽電共生設備者，可抵減營利事業所得稅額。                                                                                                                                                                                                                |
| 91 年 | 「能源管理法」修正                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 要求能源用戶生產蒸汽達中央主管機關規定數量者，應裝設汽電共生設備。要求綜合電業收購汽電共生系統之餘電，並提供系統維修或故障所需備用電力。</li> <li>■ 授權中央主管機關訂定收購餘電費率、汽電共生有效熱能比率與總熱效率基準及查驗方式之辦法，及裝設汽電共生之能源用戶與綜合電業相互併聯、電能收購方式、購電與備用電力費率及收購餘電義務之執行期間等事項。</li> </ul> |
| 91 年 | 頒布「汽電共生系統實施辦法」             | 包括有效熱能比率及總熱效率標準、合格汽電共生系統查驗方式、電能收購方式、收購餘電費率、購電及備用電力費率訂定原則，以及系統併聯規範。                                                                                                                                                                    |
| 93 年 | 頒布「合格汽電共生系統查驗原則」           | 公布合格汽電共生系統之範圍界定，以及各項相關數據之定義與計算方式。                                                                                                                                                                                                     |
| 96 年 | 執行「增購汽電共生電能暫行措施」           | 訂定增購汽電共生系統餘電費率，以及增購量核計方式。                                                                                                                                                                                                             |
| 97 年 | 成立「合格汽電共生系統輔導設置服務小組」       | 對於有意願設置汽電共生系統之廠商，提供技術面、法規面及經濟面之輔導建議。                                                                                                                                                                                                  |
| 98 年 | 修正「自用發電設備登記規則」             | 放寬申請共同設置自用發電設備標準。                                                                                                                                                                                                                     |
| 98 年 | 修正「合格汽電共生系統查驗原則」           | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 由鍋爐產生蒸汽先投入製程，再由製程產生廢熱作為發電使用者，其蒸汽熱能視為有效熱能</li> <li>■ 將其他有效能量之利用，如機械能、冷能等視為有效熱能產出。</li> </ul>                                                                                                  |
| 99 年 | 頒布「產業創新條例」                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 各中央目的事業主管機關得補助或輔導企業推動溫室氣體減量與污染防治技術之發展及應用、鼓勵企業提升能資源使用效率，應用能資源再生、省能節水及相關技術。</li> </ul>                                                                                                         |

資料來源：台灣綜合研究院整理，2011 年。



為補足未來之電力缺口，政府於能源政策之供給面，除「全力推動再生能源」之外，亦期望藉由「促進天然氣合理使用」、「建構智慧電網」，以及「擴張新能源及節能科技研發能量」確保電力穩定供應；再者，於需求面則規劃由「加速產業結構轉型及強化能資源有效運用」、「倡導節能生活」、「推動智慧節能基礎建設與示範推廣」，以及「建立完善有助節能減碳市場機能及法制」共四面向著手。其中，在強化能資源有效運用方面，亦擬擴大區域能資源整合應用作為節能減碳措施；而汽電共生系統更是成為促進區域能源整合、建立蒸汽資源鏈結之關鍵角色。關於我國歷年推動汽電共生系統的政策措施，彙整如表 4 所示。

#### 四、汽電共生系統設置效益分析

##### （一）評估範疇與方法

本文針對符合「汽電共生系統實施辦法」效率標準之「合格汽電共生系統」作為效益評估對象；其評估範疇涵蓋國家、台電公司及業者效益。其中，國家效益包含節約能源、溫室氣體減排效益；台電公司效益包含減少發購電成本效益及減少線損效益；而業者效益則為包含自用電與售電效益，以及自用蒸汽與售汽效益，如圖 3 所示。各類效益評估方法，茲分述如下：

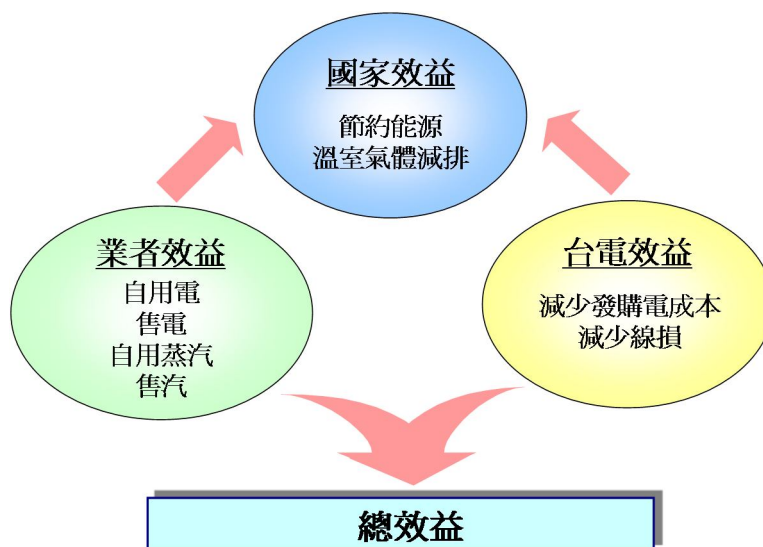


圖 3. 汽電共生設置效益評估範疇界定  
資料來源：台灣綜合研究院整理，2011 年。

##### 1. 國家效益

###### （1）汽電共生系統節約能源效益評估方法

步驟一：在相同供電及供汽量條件下計算設置/未設置汽電共生系統之總燃料投入量。

步驟二：計算設置汽電共生系統之燃料投入節約量，並換算為油當量、煤當量、電力量及貨幣價值。

## (2) 減排效益評估方法

步驟一：在相同供電及供汽量條件下計算設置/未設置汽電共生系統之燃料別投入量。

步驟二：取得燃料別 CO<sub>2</sub>、SOX、NOX 污染物排放係數。

步驟三：推估設置汽電共生系統與否之污染物排放量。

步驟四：將設置汽電共生系統所減少之污染物排放量與污染物單位減量成本相乘，求得設置汽電共生系統之減排效益。

## 2. 台電效益

### (1) 減少發購電成本效益評估方法

步驟一：由台電公司提供之該年度「發電簡報」及「備轉容量表」等日報資料，每月選取 3 個樣本，全年共 36 個取樣本。

步驟二：將台電替代汽電共生機組之發電成本與台電購買汽電共生電能之購電成本相比，即為台電公司外購汽電共生系統電力所減少之成本效益。

### (2) 減少線損效益評估方法

步驟一：將不同電壓別之汽電共生系統自用電量乘以相對應之該年度台電配電損失率、台電輸電損失率，以及台電發配電成本、發輸電成本，即可求得因汽電共生業者自用電所減少配電線損之效益。

步驟二：以台灣汽電共生系統輸電線損率乘以外購汽電共生餘電量及輸配電成本，可求得外購汽電共生餘電所增加的輸電線損之虧損。

步驟三：將減少配電線損效益與增加的輸電線之虧損加總後，即可得出台電減少線損之效益。

## 3. 業者效益

### (1) 售電效益評估方法

步驟一：估算汽電共生廠之燃料別售電量。

步驟二：估算該年度之汽電共生系統燃煤、燃油機組發電成本。

步驟三：將汽電共生平均售電價格扣除汽電共生機組別發電成本，再乘以該年度汽電共生售電度數，即可求得業者售電效益。

### (2) 自用電效益評估方法

步驟一：以台電電力價格（參考高壓平均電價）視為未設置汽電共生系統條件下之業者購電成本。

步驟二：由台電公司出版之當年度「統計年報」，取得汽電共生業者自用電

量。

步驟三：將台電電力價格扣除汽電共生機組別發電成本，再乘以汽電共生自用電量，即可求得業者自用電效益。

### (3) 售汽效益評估方法

步驟一：調查估算各機組別汽電共生廠之產汽成本、售汽價格與數量。

步驟二：將汽電共生各機組別售汽價格扣除汽電共生各機組產汽成本，再乘以該年度汽電共生售汽量，可求得業者售汽效益。

### (4) 自用蒸汽效益評估方法

步驟一：估算在未設置汽電共生系統條件下之各類別鍋爐產汽成本。

步驟二：調查估算汽電共生機組別之產汽成本、自用蒸汽量。

步驟三：將未設置汽電共生系統情境下之鍋爐產汽成本扣除設置汽電共生系統之產汽成本，再乘以該年度汽電共生自用蒸汽量，即可求得業者自用蒸汽效益。

## (二) 評估結果說明

經評估結果顯示，近年來台電公司外購汽電共生系統電力具有正面效益；不僅使台電公司因此獲得減少發購電成本及減少線損效益，確保我國長期電力供應穩定、品質提昇與成本降低等效益外，亦創造業者效益。惟在國家效益方面，因國內汽電共生系統約 80% 為燃煤機組，以其替代台電公司燃氣機組，反而降低減排效益。但就整體而言，設置汽電共生系統對於台灣整體確實具有正向效益。

表 5. 台灣地區近年汽電共生系統之設置效益評估比較

單位：億元

| 年度 | 國家效益   | 台電效益   | 業者效益   | 總效益    |
|----|--------|--------|--------|--------|
| 93 | 345.50 | 40.41  | 356.24 | 742.15 |
| 94 | 279.72 | 53.91  | 364.19 | 697.82 |
| 95 | 189.02 | 99.06  | 551.90 | 839.98 |
| 96 | 190.96 | 139.03 | 250.98 | 580.97 |
| 97 | 180.20 | 114.29 | 138.74 | 433.23 |
| 98 | 134.77 | 26.24  | 319.95 | 480.96 |
| 99 | -20.19 | 56.68  | 345.72 | 382.21 |

資料來源：台灣綜合研究院整理，2011 年。

## 五、結論與建議

誠如上述，由於汽電共生系統具有投入同一燃料而同時產出蒸汽與電能之功能，相較以同種燃料分別純發電、產製蒸汽之方式，可節省燃料 20% 以上，具有提高能源使用效率及節約能源，兼具減少空氣污染與抑制二氧化碳排放等效果。此外，由於汽電共生系統係伴隨工廠而分散設置於各地，對於分散電源及提高電力供應可靠度亦有顯著之成效。爰此，汽電共生系統對我國能源政策原所扮演分散電源、解決電力不足角色之外，更成為溫室氣體減量措施之一。

惟我國汽電共生系統因餘電收購價格無法完全反映燃料成本之情況下，近年來部分業者紛紛停止發電售電（如燃氣、燃油汽電共生業者）或改變燃料使用類別，導致汽電共生系統仍以含碳量較高之燃煤汽電共生系統為主。倘若未計入公共行政業應用汽電共生系統發電，則燃煤汽電共生系統占整體使用化石燃料之汽電共生系統發電量達 8 成之比例。

再者，根據台電 99 年電源開發方案顯示，現行基載機組不足，加上近年新增甚多複循環發電機組，如 98 年燃氣複循環機組總裝置容量達 1,364 萬瓩，占 33.9%（台電公司，2010）。造成台電公司在實際電力調度下，有一部分複循環機組已作基載運轉，一部分作尖峰運轉，導致評估設置汽電共生減碳效益時，反而出現「減碳效果不佳」之誤解。茲以汽電共生系統發電結構與台電遞補汽電共生系統電能之機組結構差異性說明，民國 99 年若無設置汽電共生系統而由台電系統遞補發電時，則台電公司遞補機組中 7.5%電能由燃煤機組發電、3.5%由燃油機組發電、89.0%由燃油機組發電；反觀汽電共生系統發電結構上，燃煤汽電機組占 83.2%，燃油汽電機組 13.2%，燃氣汽電機組則僅占 3.4%。

綜觀世界各國均鼓勵低碳、燃氣汽電共生系統之發展，期能達成溫室氣體減量之目標；反觀我國對於低碳、燃氣汽電共生系統之相關推動措施不如國外制度健全，進而影響低碳、燃氣汽電共生系統之發展。因此，為兼顧經濟發展及溫室氣體減量政策，建議主管機關應積極研修相關獎勵措施，以發揮汽電共生系統節能減碳與分散電源之最大功效。

## 參考文獻

台電公司（2010），「99 台電電源開發方案」。

台灣電力公司網站，<http://www.taipower.com.tw/>。

李涵茵、林唐裕、陳玟如等（2004），外購電力成本效益分析，台灣綜合研究院，經濟部能源會專案研究計畫。

李涵茵、梁志堅、陳玟如等（2005），汽電共生效益評估及未來發展之研究，台灣綜合研究院，經濟部能源局專案研究計畫。

林唐裕、吳再益、沈文瀾等（2006~2009），合格汽電共生系統效率查驗及效益評估，台灣綜合研究院，經濟部能源局專案研究計畫。

林唐裕、梁志堅（2003），推廣汽電共生系統效益研究，台灣綜合研究院，經濟部能源委員會專案研究計畫。

許志義、張四立、陳澤義等（1988），台灣汽電共生電價之研究，中華經濟研究院，經濟部能源委員會委託研究計畫。

陳玟如、林唐裕、沈文瀾、李涵茵等（2011），汽電共生輔導設置與經濟效益分析及煤炭供需之研究，台灣綜合研究院，經濟部能源局委辦計畫。

陳玟如、林唐裕、沈文瀾等（2010），推動汽電共生系統輔導設置與經濟效益評估之研究，台灣綜合研究院，經濟部能源局專案研究計畫。

經濟部能源局（2005），「94 全國能源會議具體結論」。

經濟部能源局（2009），「98 全國能源會議具體結論」。

經濟部能源局（2011），「確保核安 穩健減核 打造綠能低碳環境 逐步邁向非核家園」，民國 100 年 11 月 3 日。

經濟部能源局（2012），「能源統計月報」。

Bureau of Energy Efficiency, 2012, Energy Managers/Auditors-Guide Book 2: Energy

Efficiency in Thermal Utilities. chapter 7. Available online:  
[http://220.156.189.23/energy\\_managers\\_auditors/documents/guide\\_books/2Ch7.pdf](http://220.156.189.23/energy_managers_auditors/documents/guide_books/2Ch7.pdf).  
IPCC, 2007, Fourth Assessment Report, chapter 4. Available online: <http://ipcc.ch/>.



## 出國參訪心得

### ARPA-E 探索能源供給的未來：

### 第三屆美國能源創新高峰會參訪心得<sup>16</sup>

朱曉萍（財團法人國家實驗研究院科技政策研究與資訊服務中心副主任）

羅良慧（財團法人國家實驗研究院科技政策研究與資訊服務中心副研究員）

林海珍（財團法人國家實驗研究院科技政策研究與資訊服務中心副研究員）

#### 一、前言

為增進對美國能源科技政策與先進潔淨能源之發展趨勢的瞭解，本研究團隊 2012 年之移地研究計畫 1 以參與美國能源部先進研究計畫署 (The Advanced Research Projects Agency – Energy, ARPA-E)舉辦之第三屆能源創新高峰會(The third annual ARPA-E Energy Innovation Summit)為主，會議地點在美國華盛頓特區(Washington, DC)，期程為 2012 年 2 月 27-29 日，計 3 天。本次高峰會匯集來自美國能源供需系統的關鍵成員，包括研究人員、技術開發者、企業家、投資者和美國政府官員等，共同分享下世代清潔能源技術之開發與部署的想法，亦成為研擬美國能源供給及潔淨技術等解決方案之重要會議。

在 3 天的議程中，第一天主要是以工作坊的形式協助研究人員、技術開發者及企業家深入了解 ARPA-E 資助計畫制度、運作管理模式及重點發展方向的工作坊，第二天至第三天則為專題演講與專家論壇，另有 ARPA-E 資助計畫的相關技術展覽加以貫穿三天的議程。

本次高峰會約有 2,100 位來自 20 個國家計 200 家研究機構與企業的人員共同參與，共舉辦約 90 場次的演講，相關重要講者包括美國能源部部長朱棣文(Steven Chu)與微軟集團總裁比爾茲(Bill Gates)等，主要內容涵蓋未來能源技術創新之尖端議題與相關政策。以下就 ARPA-E 資助計畫制度分析及本次高峰會內容摘整如後。

#### 二、ARPA-E 資助計畫制度之分析

美國為解決國家迫切的能源問題，並維持國家於技術上的領先地位及創造就業市場，於 2006 年參採美國國家科學院(National Academies)所提出之報告”Rising Above the Gathering Storm”，其中建議於美國能源部項下成立「先進研究計畫署(即 ARPA-E)」，2007 年布希總統簽署法案正式成立 ARPA-E，希望以政府高額經費支持能源技術研發，除吸引人才投入之外，並連結科學家、工程師及企業等多面向參與者，以彌補基礎研究、產業發展及創新之間的差距。在 ARPA-E 之前，美國行之餘年的國防高等研究計畫署(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)的資助計畫制度，成功研發出對國防軍事科技貢獻甚多的先進技術，包括電腦運算、反恐裝備、偵察機、生物防護裝備和太空武器等技術領域，其中影響世界深遠的網際網路技術即是從軍事用途的國防網路系統逐漸發展而來；由於 DARPA 給予資助計畫充裕的資金與自主性，因此吸引各領域頂尖的學者專家參與，

<sup>16</sup> 本文為國科會專題研究計畫「能源前瞻科技政策資訊觀測與分析」(計畫編號：NSC 100 - 2621-P-492-001)的部分成果報告。

形成開放且競爭性強的研究氛圍，ARPA-E 承襲 DARPA 的計畫管理精神，聚焦在與能源開採、儲存與使用技術相關的高風險且高回報的計畫，不僅與能源部所支持的經常性研究計畫區隔外，更期待促成顛覆性、創新性的能源技術，以接軌商轉帶動就業，達到市場與產業規模，進而落實因應氣候變遷之節能減碳政策目標。

2009 年，歐巴馬總統自美國復甦與再投資法案(American Recovery and Reinvestment Act of 2009, ARRA 2009)中，核定 4 億美元為 ARPA-E 之創始基金；同年，能源部亦自 ARRA 2009 法案的預算中，核定 1.51 億美元作為 ARPA-E 第一期資助方案計畫公告(FOA)之基金，並資助 37 項專案研究計畫(projects)。為求高額的計畫資助經費能達到高效益的計畫成果，ARPA-E 的各期資助方案計畫公告(FOA)需經歷「5E 階段」，方能正式進入計畫執行期間，此即：展望(Envision)磨合(Engage)磨評估(Evaluate)磨立案(Establish)磨執行(Execution)，FOA 形成過程如圖 1 所示。



圖 1. ARPA-E 的各期資助方案計畫公告(FOA)的形成過程

資料來源：ARPA-E Fiscal Year 2010 Annual Report, <http://arpa-e.energy.gov/About/AnnualReport.aspx>

在「展望」與「磨合」的 FOA 形成初始階段，ARPA-E 廣納產官學研各界的多元參與，並透過工作坊舉辦，針對最先進技術的研發與後續市場開發等，及過程中可能遇到的機會及挑戰，作連續且系列性的研討，之後彙集學者專家們腦力激盪的成果，設定各方案計畫(programs)與採任期制聘請方案計畫主持人(program director)。方案計畫主持人對其所負責的方案計畫，需從計畫的目標、效益、技術取向、技術成熟度及計畫管理指標等構面進行自我檢視，再經過各相關方案計畫主持人的討論(同儕審查)及修正後，向 ARPA-E 主任的報告以取得核可後，方可形成新一期 FOA 的內容，並獲得方案計畫預算及對外公開徵求專案研究計畫(projects)構想書。

在「評估」階段，ARPA-E 邀請各技術領域頂尖專家，對各研究團隊所提出的計畫構想書，進行歷程數星期的計畫構想書及計畫提案的二階段審查，並透過平台彙整審查意見。在本次高峰會的工作坊議程中，ARPA-E 亦向各研究團隊說明對受資助計畫的審查，將著重在四大面向：

- (1) 效益(Impact)：需對 ARPA-E 宗旨的任務產生高度效益，對於計畫執行成果進入市場提供可行的途徑，並具有顯著的商業應用性。

- (2) 轉化(Transform)：對於有可能實現的技術進行挑戰，希望能突破現有的學習曲線並且超越現有科技。
- (3) 橋接(Bridge)：連結基礎科學與應用科技，在沒有多處分散進行研究或另有資助經費的情況下，將催化新的研發構想與吸引企業投資的加入。
- (4) 團隊(Team)：藉由招募最佳的研究人才，進而整合跨領域的技能並且促使為研究之轉譯導向。

因此，在 ARPA-E 決定該期的資助計畫核定清單前，提案的研究團隊得依審查意見，提供相關補充資料加以回覆說明，或是依需求邀集其他人員加入團隊共同合作研究，之後需將計畫內容修正的結果回覆 ARPA-E 的審查委員以爭取通過計畫審查。

接續在「立案」的階段，ARPA-E 主任依各方案計畫主持人提報的審查結果向能源部長進行總體報告，各方案項下以符合高效益、具技術突破且高附加價值創造，並為該領域最佳的目標導向型計畫方能列入候選名單，進而獲得能源部同意後即成為受資助的專案研究計畫。最後，當完成計畫審查進入「執行」階段時，方案計畫主持人需定期檢視各專案研究計畫的執行績效，如有績效不如預期者，需考慮加強推動或終止該項計畫，並可將經費調撥至其他計畫以維持整體方案計畫執行的績效。此外，ARPA-E 主任亦可直接檢視各方案計畫執行績效，並可要求方案計畫主持人負計畫管理之責，以確保高投資的計畫資助經費有高回報的計畫績效。

至 2010 年，ARPA-E 已進行三期 FOA 公告，共提出 12 類方案計畫，合計資助 121 項專案研究計畫，12 類方案計畫分別為：太陽能智能電力轉換、綠色電網整合、能源關鍵技術之稀土替代物、電網規模之間歇調度儲存、先進熱儲存、石油替代之電廠工程、利用熱裝置之建築能源效率、智慧電力傳輸技術、用於碳捕捉之創新材料、運輸用之電池、燃料電池，以及開放型方案計畫(open funding opportunity announcement and other projects)等。2012 年 3 月 2 日，ARPA-E 第四期 FOA 公告，經費約 1.5 億美元，並包括歐巴馬總統於 2012 年 2 月底宣佈之車用甲烷(Methane Opportunities for Vehicular Energy, MOVE)研究主題，經費約 3 千萬美元。另外，ARPA-E 在完成該期的 FOA 公告與計畫立案核定程序後，為免遺珠之憾，擬邀請該期 FOA 未入選專案研究計畫的提案團隊，參加在形成次期 FOA 之前的工作坊，共同討論設定未來具有高度影響力的研究領域，進而凝聚共識形成次期 FOA 的各項方案計畫，由此可看出 ARPA-E 在鼓勵創新之餘，亦期逐漸聚焦在重點研究領域持續深耕。

### 三、能源創新高峰會主題內容介紹

依循 ARPA-E 前三期 FOA 公告所提出 12 類方案計畫，含括太陽能智能電力轉換、綠色電網整合、能源關鍵技術之稀土替代物等，以及近來宣布的車用甲烷等，本次高峰會議彙整 6 項研究主題，分別為：低碳科技、電力管理、電力儲存、生質能、熱能及能源相關材料，與前述 12 類方案計畫相互呼應連結，並透過本次高峰會的舉辦，ARPA-E 不但系統性地將這些方案挑選為重點方向的緣由告知大眾理解，亦期能在已擬定的研究重點領域持續深化，提升各技術的發電效率，以滿足美國對於能源供給安全的需求，此外，藉由與產業界的互動，促成各新穎技術能逐步市場化，且跨越商轉門檻進而形成產業規模，帶動市場需求提高就業人數，使計畫的執行可達到技術與經濟的雙重目標及創造雙贏的效益。關於前述 6 項研究主題內容、研發方向與計畫目標等，茲分述如後。

#### (一) 零碳電力(Zero Carbon Power)

依美國能源資訊行政局(US Energy Information Administration, EIA)的 International Energy Outlook (2011)資料指出，全球發電量至 2010 年後，非 OECD 國家的電力生產量會超越 OECD 國家，預估到 2035 年，非 OECD 國家的電力產生量便會達到約 21 兆千瓦小時，OECD 國家則接近 15 兆千瓦小時，此時全球各國的電力產生將有 37%會是來自煤炭、天然氣約佔 24%、再生能源則佔約 23%、核能為 14%，而液態燃料為 2%。也就是說，直到 2035 年，美國與全球大部份的國家，仍無法在電力生產上排除使用煤炭，在面臨減少碳排放量的共識下，因此如何能更潔淨地使用煤炭即成為重要的議題。

在此，ARPA-E 對此研究主題所訂定的計畫目標，係希望以低成本的方式達到碳中性(carbon neutral)。若以現有發電技術的電力成本數據加以評估，要降低因發電造成碳排放量至碳中性，可能有三種作法：一為將傳統能源除碳化，如煤炭加上碳捕捉封存或是天然氣複循環發電加上碳捕捉封存；第二種為提升再生能源的使用，如生質能、風能與太陽能等；第三種則是提升核能的使用。不過 ARPA-E 資助核能相關的研究僅以核能作為尖峰電力使用的計畫為主，但在 ARPA-E 的第 1 期 FOA 中，即資助 5 件碳捕捉封存計畫，以及 4 件再生能源相關計畫。

## (二) 電力管理(Electrical Power Management)

本研究主題的主要目標為刺激帶動美國在電網傳輸的硬體與軟體之進步，進而改善電力傳輸的效率和可靠性，增加再生能源利用電力網格的比例，並為能源供應商和消費者提供較佳的電力供給管理，以因應尖峰電力區段的需求及成本所需。因美國現有的電網由超過 30 萬哩的輸電線路組成，約超過 30%的電網輸電線路、變壓器和其他硬體設備已達使用年限，且生產的電力約 10%在傳輸過程中損耗，加上美國東部電網線路擁擠等因素，若發生電力中斷，依資料顯示將可能造成商業、工業與家戶等損失的總年度成本約達 790 億美元。

在此，ARPA-E 希望此研究主題可帶來的預期影響為：

- (1) 提高電力傳輸的安全性，當遭遇故障等潛在傳輸中斷時，將具有更有彈性的因應作法，亦可避免企業因突然停電造成生產中斷，營運服務停止等風險；
- (2) 在降低對環境的負面影響上，如藉由電網能有效整合再生能源的發電量，亦可大幅減少 CO<sub>2</sub> 的排放量；
- (3) 在社會面向上，透過電網硬體與軟體的發展，亦可能帶動如工程和資訊技術相關等新的產業，進而增加新的工作就業機會。

## (三) 能源儲存(Electric Storage)

就運輸領域而言，能源儲存技術的主要關鍵因素含括：能源密度、成本、生命週期與穩定性；而在電網領域，能源儲存技術的關鍵因素為成本、電容量、持久性與可信賴性。但不論是運輸或是電網的能源儲存，皆需要控制系統作為輔助，此系統需要具備感測、模式與控制功能。

在運輸領域期藉由能源儲存技術改進現有的電動車電池性能，整體計畫目標期能與傳統車輛的成本競爭，並降低製造成本為現行的 1/3，以及提高 2~5 倍之能源儲存，且為 3~5 倍的電池使用年限與行車範圍。藉由電動車的普及使用，方能解決運輸部門對石油的依賴，進而降低美國對石油的需求量。

在電網領域部分，各項與電力儲存之耐久性相關因素中，ARPA-E 最重視的是與電力產生相關之再生能源併網的部分，在電網規模之間歇調度儲存，其中最大的挑戰在於平衡並加強再生能源生產在電網的高滲透率(>20%)。本主題的研究目標為能源儲藏成本等於或低於每千瓦小時為 100 美金。目前雖有可達成此目標者，如採地底壓縮氣體(等溫壓縮法)，但都只能在特定地點進行。

#### (四) 生質能(Bioenergy)

生質燃料此一研究主題的推動瓶頸在於成本上之競爭力，若換算為每桶原油的製造成本來看，中東地區原油的製造成本最低，每桶原油當量(BOE)價格在 40 美元以下，但是蔗糖生產酒精以及玉米生產酒精分別要價 60~100 美元或是 110~160 美元左右，比其他很多替代方案都昂貴許多，如委內瑞拉的重油也低於 60 美元，深海原油約從 10~80 美元不等；而其他位在蔗糖酒精與玉米酒精的成本帶之間，尚有油砂(oil sands)、油頁岩、天然氣液化(GTL)與煤液化(CTL)等成本具競爭力的替代方案。導致生質燃料成本較高的原因是目前所使用的這些生質植物，其本身從太陽能轉化為液態燃料的能源效率不高所致。

為克服此瓶頸，目前有許多新材料與新技術正在開發中，如開發以大型藻為材料，量產異丁醇原料的方法；或進行經濟上可行的藻類系統燃料開發技術，從最初生物催化劑的開發到智慧型流式光生物反應器，最終作為噴射機燃料的上中下游合作計畫（智慧型流式光生物反應器，主要是利用可以塗覆之人工生物葉片排列形成高密度的生物反應器）。此外，透過植物生技等技術，促使玉米製造休眠的酵素，使其在收成後此酵素才會被活化，並主動將細胞壁分解，以降低生質前處理的成本；或開發專供能源使用之生質作物品種，因而可以提高氮使用之效率，並且已在美國四州進行田間試驗中。

整體來說，ARPA-E 對於目前生質燃料製造上之低效率化，尋求新的生質燃料方案，包括兩類途徑，一類為利用光合成途徑，不管是傳統生質或是最近發現的藻類，利用其生產出酒精、先進生質燃料，或是產生熱分解油、或生質柴油等。另一類為利用電子或是具有還原能力的類似物質，經由化學催化作用，產出合成氣、甲醇或是先進燃料；或是經由新一代電燃料途徑，利用太陽能經過微生物的生物催化作用將水加以分解，產生氫氣，再將氫氣轉化為先進燃料，此種電燃料亦已成為 ARPA-E 的資助方案之一。另，除傳統生質原料、藻類與電燃料形成替代燃料之方案外，另有一方案聚焦在開發改良生質作物，期以光合成的最佳化與代謝途徑的工程改良，產生具有遺傳性狀的生質作物，使之成為新一代的高產量、低成本之替代燃料。

#### (五) 熱能系統(Thermal Energy Systems)

本研究主題聚焦在二個領域：一為具成本效益的高溫太陽熱能的儲能與電力，以配合核電廠用電量尖峰的需求；二為利用熱能儲存改善電動汽車(EVS)的可行駛範圍，亦改善汽車引擎的熱能管理。

美國目前的核能電力多作為基載電力之用，無法滿足尖峰用電，因此透過熱能儲存技術，將可協助太陽能電廠原本受限於僅能白天發電的模式，改變成 24 小時不間斷地發電，預計可使原僅達 25%的發電承載量，提升至 60-75%，將可有效協助分攤尖峰用電量需求。

另，關於運輸部門的燃料使用需求，亦是造成美國對進口石油的依賴及溫室氣體排放的主要來源。如能廣泛使用電動車，可提升美國的能源供給自性及降低環境的危害。在汽車燃料使用上，目前低效率的能源使用型態，僅 30%使用在引擎上，卻達 40%消耗在排



放廢氣上；而電動車的加熱與冷卻系統效率不佳，亦限制電動車的電池可行駛範圍，如何有效地延長電動車的電池可行駛範圍，提升加熱和冷卻系統效率，將是關注的技術重點。

#### （六）能源相關材料(Energy Related Materials)

ARPA-E 以能源創新的重要平台技術形容能源相關材料技術之開發，並將能源使用之材料種類分為三大類，包含關鍵材料、致能材料與智慧材料。在材料科學創新的部分，藉由鑑別與研究其結構、性質、製程、效能等，來達到系統性影響效益。針對終端使用技術，從一開始的材料萃取到加工、元件，以及可循環性與再利用性，思考這些使用材料在供應鏈上之風險性以及對於達成潔淨能源的重要性，挑選出關鍵的材料，特別是屬於同時供應風險高與達成潔淨能源重要性高者，針對這些材料進行的研究，以可在供應上之替代材料或是應用上之替代材料為主；推展在終端使用面上，則是含括車輛、風機、照明、太陽光電、燃料電池、提煉與燃氣輪機等。

ARPA-E 提供的資助方案包含目的為尋找在關鍵技術中稀土元素之替代品，如在  $>100\text{kW}$  的電動車輛馬達或是  $>5\text{MW}$  的風力發電機，便利用研發不含稀土元素的磁性材料或是低稀土元素含量，但高臨界電流密度( $J_c$ )的超導體材料加以替代。另，在致能的材料方面，主要用於能源之儲存與能源的生產，如利用結構與性質之改良，使在燃料電池減低對白金的使用；或是藉由製程的改良，降低太陽光電晶圓生產過程中對於材料的浪費，因而可以使單位材料對能源生產之效益提高。最後，在智慧材料方面，利用智慧材料做成液態鏡片，可以改變形狀特性達到聚焦而不需利用馬達驅動集中式太陽能板對焦的功能，或是利用低成本的電致變色材料，創造顯著的建築節能。

### 四、ARPA-E 造成的影響

在國家能源政策目標之下，ARPA-E 以政府高額經費，聚焦支持關於能源供給、儲存及使用效率等技術，吸引人才投入，以彌補基礎研究與產業發展及創新之間的差距，在此就技術研發、社會經濟與永續發展三大構面之觀察，分述如後。

#### （一）在技術研發構面

為改變美國能源供給高度依賴石油等化石燃料之現況，因此在新型態能源技術的開發上，如生質能、太陽能及低碳能源科技等，成為近期 ARPA-E 資助計畫的重點項目，其中又以生質能研發的推展十分積極，整體而言，ARPA-E 對於新的生質燃料方案，可概分兩類途徑，一類為提升光化學反應效率，如電燃料；另一類為採生物技術開發改良生質作物。

因此，就整體生質燃料研發所面臨的挑戰而言，包含提高轉換效率、減少碳足跡，以及對土地及水的需求等三項，第一項挑戰隨著技術發展雖已有突破點，但對環境的影響，除以碳足跡評估其對碳減排的實質貢獻待評估外，其生物技術的安全性，對土地及水資源的競爭需求，是否會形成生態系統的衝擊？前述的各種挑戰或問題，不僅在推動普及生質燃料技術之際需考量外，對政府在研擬加強重點技術項目研發為主的相關能源政策內容時，亦會面臨類似的決策考量，因此，若能確實加強客觀數據分析或與生態環境之間的影響評估，並納入決策的參考因素，再配合全面性且系統性的政策設計及影響評估的規劃過程，將可在達成技術領先的政策目標之際，亦能維護決策的品質，並降低對環境的衝擊。

#### （二）在社會經濟構面

自全球金融風暴以來，美國復甦與再投資法案為增進能源效率、振興經濟及提供就業機會，其法案的預算不僅作為 ARPA-E 之 4 億美元創始基金，亦挹注 ARPA-E 第一期 FOA 之 1.51 億美元的計畫預算經費；此外，整體估算 2009~2010 年間前三期 FOA 的總預算，合計約達 3.65 億美元，共資助 12 類方案計畫項下 121 項專案研究計畫。因此，對符合提案申請資格之各類型研究單位，如國家實驗室、大學、企業及非營利組織而言，是具有相當的經濟誘因，可有效地鼓勵各單位從經濟刺激方案或資助計畫預算中獲得充裕的計畫經費，以推動研究工作及維持組織營運。

從政府治理觀點而言，短期湧現大量資金的經濟刺激方案並非理想的政策工具，除了組織管理部門所面臨的挑戰，如資源配置的妥適性及經費使用的正當性等問題外，其管理制度的行政成本及人為濫用的可能性亦會增加。因此，如何兼顧 ARPA-E 高投資帶來高回報的計畫立案概念，且又能緩解上述營運管理所面對的風險呢？理想的治理觀點應是在考量現有規模基礎下，配合行政程序，逐步填補資金缺口的策略為宜，但 ARPA-E 採用更積極的作為，在計畫立案之始，即要求進行潛在市場影響評估，以商業的角度來檢視各項專案研究計畫，並賦予方案計畫主持人絕對的計畫管理權責，以及 ARPA-E 主任的定期檢視與督導，期能有效地進行計畫風險管理與保障計畫的預期產出，進而推動與業界的技轉合作，形成產業以創造就業機會，讓資助研發計畫的成果與效益，可對社會經濟層面造成長期性的正面影響。

### （三）在永續發展構面

若是將 ARPA-E 尋求美國能源供給自主的技術及創造就業機會視為短中期目標，發展潔淨能源技術以減少碳排放量，實現經濟與環境雙贏的永續發展，應是 ARPA-E 的中長期目標。長久以來，科技結合工業的快速發展，促使各國面臨過度開發、能源耗竭與環境污染等問題，因此，「綠色競爭力」近來漸為各國科技政策的思考方向，希望藉由環境保護帶動新產業的發展，並在有限的資源之內，使得高耗能、高污染產業得以在科學技術的進步之下，轉型為更具環保思維與永續特性的科技產業型態，從「保護環境不受商業過度利用」，轉變為「利用商業模式以保護環境」的思維，而政策思維與內涵的轉變，亦須逐步落實於制度與法案之上，以達成永續發展的政策目標。

綜整觀之，ARPA-E 擔負美國能源部賦予的改變未來能源供給樣態的任務，在持續推動項下各大型方案計畫之際，期能廣納產官學研各界對能源供給及潔淨能源等主題之研發概念與政策建言，以適時地檢視與修正政策的目標與內容，為達成前述目的，本次高峰會可為落實 ARPA-E 資助計畫制度的一個重要平台活動。因此，本次移地研究的執行不僅瞭解美國對重大 R&D 研究計畫的資助管理制度，亦可吸收能源重點領域之研究新知，並藉由參加會議與展覽，廣泛進行研究相關資料蒐集分析，瞭解美國在能源相關產業與技術發展之經驗與趨勢，相信可深化本團隊研究計畫成果，亦可作為我國低碳能源產業發展策略規劃與研究之借鏡與參考。

### 相關參考資料：

#### 1. 第三屆能源創新高峰會簡報資料

- Zero Carbon Power

Mark Hartney, ARPA-E, Program Director

Karma Sawyer, ARPA-E, Assistant Program Director

- Electrical Power Management

Rajeev Ram, ARPA-E, Program Director

Timothy Heidel, ARPA-E, Fellow

- Electric Storage

Dane Boysen, ARPA-E, Program Director

Mark Johnson, ARPA-E, Program Director

- Bioenergy

Eric Toone, ARPA-E, Deputy Director for Technology

Jonathan Burbaum, ARPA-E, Program Director

- Thermal Energy Systems

Ravi Prasher, ARPA-E, Program Director

Ilan Gur, ARPA-E, Senior Advisor for Commercialization

Karma Sawyer, ARPA-E, Assistant Program Director

- Energy Related Materials

Mark Johnson, ARPA-E, Program Director

Amul Tevar, ARPA-E, Fellow

## 2. ARPA-E 官方網站(<http://arpa-e.energy.gov/Home.aspx>)

- 年報(ARPA-E's Fiscal Year 2010 Annual Report)
- 各方案計畫簡介(<http://arpa-e.energy.gov/ProgramsProjects/Programs.aspx>)\_\_

## 政策動態

### ✚ 兩岸再生能源搭橋，成功切入大陸市場

經濟部「兩岸搭橋」活動推動兩岸再生能源產業合作再往前邁進一步！經濟部能源局局長歐嘉瑞表示，2011 年兩岸太陽電池產量分居全球前二位，市占率達 60% 以上，對全球產業的影響力之大不可言喻，因此，未來兩岸合作議題將愈加重要。在「兩岸新能源產業工作執行小組」的持續努力下，臺灣與中國大陸在「2012 兩岸再生能源產業合作及交流會議」中具體簽署了 8 項合作協議及意向書。

臺灣的太陽光電廠商已取得海南省金太陽工程項目 50 MW，未來並將擴大於海南省之新能源項目合作，以及與中國大陸標準認證機構建立兩岸太陽電池片基準電池共通標準平台，而臺灣的風電廠商也將與中國大陸風電業者進行風力機運轉維護與設備技術改良及先進葉片開發之合作。

「2012 年兩岸再生能源產業合作及交流會議」於 8 月 30~31 日假中國大陸河北省保定市舉行，國內廠商共有超過 50 人赴中國大陸與會，中國大陸廠商則有 150 人出席。會中太陽光電部分由上海神舟電力、北京鑒衡認證中心、臺灣海峽科技、臺灣大電力中心等公司，共同簽署「海南航太光伏示範專案暨新能源實證基地兩岸合作項目啟動承諾書」，並由北京鑒衡認證中心、光焱科技、中國計量科研院、臺灣太陽光電產業協會等，共同簽署「兩岸標準光伏電池製作和標定技術研究合作意向書」，臺灣綠能科技與中國大陸英利集團簽署「矽材料戰略合作協議」，臺灣福聚太陽能與中國大陸中材華國際簽署「建置太陽能電廠合作意向書」，以及臺灣台達電子與中國大陸江蘇鼎晟簽署了「光伏項目戰略合作備忘錄」。

兩岸太陽光電產業歷經 3 年多的兩岸搭橋互動下，業已建立兩岸供應鏈合作、合資與併購、產品標準化及中國大陸市場合作等方面的產業交流與合作成果。今年的「2012 年兩岸再生能源產業合作及交流會議」中，兩岸就太陽光電產業合作共簽署 5 項合作意向書，顯見兩岸太陽光電產業交流之活絡。

風力發電部分則由臺灣益泰公司與湘電集團簽署「兩岸風力發電機運轉維護與設備改良技術合作意向書」、上緯企業則與中材科技簽署「葉片開發戰略合作意向書」以及臺灣綠建科技與中國大陸國電聯合動力技術公司簽署「關於臺灣沿海區域離岸風電項目開發的戰略合作協議」。雙方將共同將以離岸風電產業合作為兩岸可共同推動之重要項目，並朝抗颱風技術與標準、風場開發方向進行。

經濟部能源局局長歐嘉瑞表示，經濟部於 2008 年起進行「搭橋專案」，建立一產業一平台，從個別產業開始，舉辦兩岸產業交流會議的方式搭建雙方交流橋樑。兩岸太陽光電及風力發電產業已建立合作機制及交流平台，目前已進展至實質合作之收成階段，未來更期望透過已成立之「兩岸新能源工作執行小組」，擴大創造兩岸合作商機，並攜手進拓展全球市場。

資料來源：經濟部能源局

### ✚ 「能源開發及使用評估」將有助於提升業者能源使用效率

「能源開發及使用評估準則」是依據 98 年 7 月修正之「能源管理法」第 15-1 條訂定，未來，「大型投資生產計畫」於新設或擴建時應製作能源使用說明書，經濟部將對業者提出之能源使用「數量」、「種類」、「效率」及「區位」等事項進行檢視，以協助業

者提升能源使用效率，提高產業競爭力。

能源局表示，有關媒體報導「能源開發及使用評估準則」將限制重大投資案設廠區位一節，在規劃納管的製造業或石油煉製業，因其屬於電力使用計畫，且考量產業間之群聚效應，在「區位」上，並未分成北、中、南三區，故業者可以依其投資案特性選擇適當的設廠區位，並無限制重大投資案設廠區位。

對於媒體報導中，重大投資案未來將再增加能源審查程序部分，能源局亦表示，未來實際運作制度之設計，將朝向簡化、透明之方式進行，並以協助業者提升能源使用效率，以降低生產成本提高業者競爭力為目標，同時，為不影響業者投資計畫之作業時程，業者送件可與其他單位之審查並行(如環評審查)，且為加速業者製作審查文件的時程，將採事前及審查過程中輔導申設業者編撰「能源使用說明書」方式，以加速協助業者投資案之進行。

製造業之重大投資案需提出「能源使用說明書」已明訂於「能源管理法」，未來經濟部將盡最大努力，務實執行本項法規，協助業者達成能源合理使用，提升能源使用效率，在符合國家總體能源供需均衡先期管理下，順利推動投資計畫，以確保臺灣經濟永續發展。

資料來源：經濟部能源局

## 經濟部積極推動太陽光電設置並簡化申設流程

針對媒體報導「推動太陽能光電法令綁手投資冷了」一事，經濟部能源局回應表示，本年度(2012)設置目標為 100MW，廠商反應熱烈，至目前已達成 92%，本年底預計可達成 100%，為國內太陽光電市場創造至少百億元商機。

能源局表示，今年競標總容量上限原訂為 70MW，因參與競標者眾多，第 5 期 7 月 11 日開標後僅剩餘 11MW，能源局與設置者積極溝通，於 8 月 1 日修正「經濟部 101 年太陽光電發電設備競標作業要點」總容量上限提高為 83MW，經過第 6 期 8 月 8 日開標後，剩餘容量僅餘不到 1MW。另能源局表示雖然剩餘容量很小，仍有大量案件投入第 7 期競標，顯示競標作業非常踴躍，國內太陽光電設置情形反應熱烈。

能源局進一步表示，太陽光電之申設法規，已朝鬆綁與簡化文書流程進行，在建築物管理部分，會同內政部修正「設置再生能源發電設施免請領雜項執照標準」，擬將免請領雜項執照高度由 2 公尺放寬至 3 公尺；同時修正「再生能源發電設備設置管理辦法」簡化設置計畫書並刪除同一場址申請人以 1 人為限之規定，以大幅提高設置意願。

太陽光電申請流程包含併聯審查、同意備案、簽約與併聯試運轉、設備登記等 4 大步驟，能源局除加速內部作業程序外，並協調台電公司簡化流程，整體申請流程合計縮短 17 天。

為降低民眾初期設置資金負擔，能源局已與銀行及保險業者進行溝通交流，目前已有 7 家銀行辦理太陽光電設置融資業務。銀行參與太陽光電設置融資市場後，預期將有助降低融資門檻，促進民眾設置太陽光電融資需求者取得較低利息之貸款，進一步帶動我國太陽光電產業發展。

資料來源：經濟部能源局



## ✠ 經濟部規劃「能源發展綱領(草案)」

為實現永續臺灣，經濟部業依據「能源管理法」授權訂定「能源發展綱領」，揭示「安全穩定、效率運用、潔淨環境」的發展願景，期能因應全球能源嚴峻情勢，逐步減輕長期受國際能源政經環境左右之衝擊。

經濟部表示，英、德、日等先進國家，或是能源消費快速增加的開發中國家，這幾年來紛紛揭櫫國家能源發展綱領，以確保可靠、民眾與產業可以負擔、環境衝擊較低的能源供應與消費體系，這也是全球 21 世紀所面臨的最大挑戰之一。本次在「能源管理法」的規範下，經濟部推出法律授權的「能源發展綱領」，將作為各部會擬定發展策略與計畫之能源上位指導方針，涵蓋層面更為周延且完整，並要求全面導入低碳施政。

經濟部指出，我國能源 99% 以上依賴進口，能源發展所面臨挑戰相較其它國家更為嚴峻。在考量成本效益、環境衝擊與未來發展潛力等面向後，確立以天然氣與再生能源為臺灣未來低碳能源發展重點，在未來能源供給結構中占比將逐步增加。此外，將推動替代石油之能源技術發展與應用，逐步降低對石油的依賴，核能比重在既有核電廠陸續除役後，將逐漸降低，而煤炭將視國內能源需求狀況及淨煤減碳技術的發展進度彈性調整。

經濟部長施顏祥表示，所研擬的「能源發展綱領」，將以「安全、效率、潔淨」3 核心思維，作為政策擬定原則，並以能源鏈的 3 個面向(供給端、系統端、需求端)研提「多元自主來源」及「優化能源結構」、「均衡供需規畫」與「促進整體效能」、「分期總量管理」及「提升能源效率」等 6 政策方針，以及「應變機制與風險管理」與「低碳施政與法制配套」2 配套機制，期在能源發展綱領全面政策方針下，確保臺灣能源供應穩定、維持合理能源價格，並打造成為低碳能源島。

在上述「優化能源結構」之推動下，對未來能源供應的成本與價格勢必有所影響，但在多方且長遠考量下，這是臺灣目前選擇的最適能源發展路徑。能源發展綱領特別強調多元自主來源(如獎勵業者參與海內外能源探採、投資、併購、改變採購方式或透過國際合作取得能源等)，以及積極擴張新及再生能源、節能減碳等相關能源科技研發能量，預期將帶動國內綠能產業之發展，增加國內就業機會。

在能源需求方面，將著重能源總量管制的分期分區先期管理，以因應臺灣有限的能源供給能力。在逐步抑低能源需求及尖峰負載成長的各項措施下，經濟部將以合理需求來訂定電力供給總量，但囿於目前北部興建電廠不易，多依賴南電北送等問題造成各區電力供給能力不同，因此未來大型投資生產計畫都須經事先審查，如超過區域供給總量上限，原則將不同意開發。因此，臺灣各區域未來之發展，能源的供應將成為除了土地、水資源等之外，另一項須考量的條件，因此除中央政府積極促進區域能源供需的均衡外，地方政府在面對興建電廠等具鄰避效應之能源開發計畫之立場亦需有所調整，此攸關地方產業的發展空間。

在需求面的另一項特點，將強化對器具、設備、車輛、建築物與場所之能源效率基準與能源使用方式的全面管理，並逐步規範浪費能源之行為與活動。透過針對最終能源使用形態的管理，雖細瑣但也是最根本的節約能源方式，我國 2008 年~2010 年能源密集度平均每年-2.72%，相較澳洲(-2.4%)、美國(-1.44%)、日本(-0.45%)、德國(-0.16)、法國(0.31%)、英國(0.35%)、南韓(0.7%)等國下降幅度最高(即能源使用效率提升最高)，惟仍有提升空間。此部分將透過完善市場誘因機制及運用多元之獎勵、輔導、管制、租稅、融資等配套措施，逐步擴大引導及規範產業與民眾節能。

經濟部強調，「能源發展綱領」所列 3 項政策原則、3 個面向、6 大政策方針與 2 項機制配套之各項政策規畫，其背後隱含政府及民間需待努力方向，後續相關具體政策措施將融入政府部門之各項施政，期透過綱領確立國家整體能源發展方向，引領政府各部門及各業各界，共同朝國家永續能源發展之路邁進。

另經濟部能源局已於 101 年 8 月 23 日至 29 日，分別於台北、台中、高雄及花蓮召開「能源發展綱領(草案)」分區說明會。除向各界說明綱領(草案)之定位及內容架構外，

並邀集各地區之產業、官方、學者、研究單位、NGO 團體、民意代表等各界與會，經由雙向溝通使我國能源政策擬定更加完備。

資料來源：經濟部能源局

## ✧ APEC 未來 3 年將降低環境友善產品之關稅

2012 年 4 月 2 日，聯合國秘書長潘基文於聯合國紐約總部舉行的「幸福與福祉：界定一個新的經濟模式」會議上指出，國民生產總值(Gross National Product, GNP)長期以來一直作為衡量經濟和政治家作為的標杆，但它未能考慮社會與環境為了這種所謂的進步而付出的代價。因此，潘基文呼籲未來世界的幸福與福祉，必須依賴一種能夠將經濟、社會及環境統籌考慮、平衡發展的新經濟模式。

新經濟模式承認永續發展的三個層面(社會、經濟及環境)是同等重要且不可分割，它們共同界定了全球的幸福，稱為國民幸福總值(Gross National Happiness, GNH)。

潘基文強調，社會、經濟及環境福祉是無形的，但它們卻界定了全球的幸福總值。永續發展所考量之經濟、社會及環境並非為相互競爭的目標，相反的，是一種相互關聯、具全面性及加乘效益的整體目標。

不丹在 70 年代初期已將國民幸福總值的概念納入 GNP 的應用上，政府所有之施政措施都按照所帶來的「幸福程度」衡量，而非「經濟收益」。目前此一思維已開始逐漸在其它地區獲得認同。以英國為例，英國國家統計部正在嘗試進行國民福祉的計算；此外，歐盟委員會也開始研擬國內生產總值(Gross Domestic Product, GDP)中更多參數項目之制定，並著重於衡量福祉的項目制定。

聯合國期許世界各國之政府部門和民間機構共同努力改變經濟發展之模式，將社會發展置於更公正及平等的基礎上，以保護人類未來賴以生存的資源和生態系統。

資料來源：產業永續發展整合資訊網

## ✧ 聯合國環境規劃署公布全球「效率照明」新政策藍圖

En.Lighten 之「效率照明(Efficient Lighting)」計畫主要是以 2030 年提高 1 倍能源效率為目標，淘汰低效率照明設備，並協助國家引進創新方案與技術支援。Rio+20 也分析對消費者與工業轉換效率低之發光燈，會對環境與經濟帶來影響之關鍵項目如下：

1. 用於照明的電力約佔全球 20%的電力，且佔全球 6%的碳排放量，而國際能源署(International Energy Agency, IEA)指出 3%的石油量用於照明，若高效率的照明不夠普及，2030 年全球消耗的電量將比現在高出 60%。
2. 經濟合作與發展組織(Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD)中阿根廷、巴西、中國、哥倫比亞、墨西哥、越南等發展中國家正規劃淘汰白熾燈泡的工作。若巴西政府擴大實施燈泡淘汰工作，則可節省 40 億美元與減少碳排放量，其相當於 40 萬台車的排放量。若非洲各地全部改用高效率照明，其節省的電力足以供 400 萬家庭通電。
3. 白熾燈泡發光時間 1000 小時遠低於節能燈泡(Compact Fluorescent Lamps, CFLs)能使用之時間 1.2 萬小時。使用 CFLs 之國家應制定相關法律並採取永續性

的銷毀白熾燈泡方案。此外，一些國家以直接將白熾燈泡照明轉為 LED(Light emitting diodes)照明，其不含汞成分，且具有長壽命且低熱能等優勢。

4. 根據報導指出，淘汰白熾燈泡可節省資金與減緩氣候暖化，每年節省的電量相當於 250 個以上大型燃煤場的發電量、減少 210 億美元的投資成本與 4.9 億噸的二氧化碳排放量。

資料來源：產業永續發展整合資訊網

## 英國政府碳揭露法案預計明年實行

英國政府將制定碳揭露法案，針對在英國證交所上市的公司，每年必須揭露二氧化碳排放資訊，且於明年財政年度開始，各公司就必須揭露其溫室氣體排放的資訊。英國政府會在今年聯合國永續發展大會 Rio+20 會議中提出，並搭配今年 Rio+20 綠色經濟主題，帶領各國政府一同推動碳揭露資訊法規。

第一階段被要求揭露碳排放資訊的公司，主要以在倫敦證券交易所上市的公司為主，不包括私人公司或其他投資市場上的公司。預計於 2015 年重新檢視此碳揭露法案，並於 2016 年擴大要求範圍至所有大型企業。

環保團體認為英國政府訂定此法案，能協助企業了解能源使用情形，因而提升公司生產效率；因投資人可以參考公開的碳排放資訊，了解企業的經營績效，並選擇良好地投資標的，迫使企業之間不斷地改善執行效率，提升企業獲利能力。

雖然大多數企業認為永續發展概念能使企業了解未來將遇到的風險，並提出改善方案使企業提升效率，但環保團體依舊擔心企業會對英國政府施壓，迫使英國政府在此法案做出讓步；而英國環境部門堅稱會持續推動碳揭露法案，並說明目前法案進度落後的原因是在考慮如何降低企業地衝擊。

資料來源：產業永續發展整合資訊網

## 丹麥的再生能源政策將引領歐洲的綠色發展

丹麥氣候、能源與建築部(Danish Ministry of Climate, Energy and Building)公布丹麥 2050 年能源政策及兩階段性目標：在 2020 年達成減少使用石化燃料 33%的目標，並於 2050 年完全停止使用碳氫化合物之石化燃料。

丹麥目前為歐洲各國中經濟及財政較為健全的國家，且該國氣候、能源與建築部部長認為未來的石化燃料價格仍將持續攀升；雖然目前投資提升能源效率及再生能源的費用仍相當昂貴，但丹麥政府必須承擔這投資再生能源的經濟責任，以避免該國經濟因為石化燃料價格提升而影響未來的發展。

丹麥未來將增加風力發電的使用，除了傳統風力發電外，還將採用數種新式的發電系統，其中包含最新的離岸風力發電系統，預期在 2020 年再生能源可提供丹麥 40%的電力供應。

深陷歐債風暴的西班牙及目前財政狀況良好的瑞典，其能源政策同樣為降低石化燃料依存度，但瑞典卻全力發展核能發電；而西班牙則是將核能發電與再生能源列為共同發展的目標。

反觀在 2011 年福島核災過後，德國第一個宣布將關閉該國境內 19 個正在使用的核電廠，並承諾將減少使用石化燃料；日本在 2012 年 7 月更新 2010 年的綠色增長計畫，其中將增加風力發電的補貼，並希望未來修正日本能源結構，將原先規劃核能依存度從 30%降至 25%，改為停止使用核能發電。



丹麥與瑞典緊鄰且均保持良好的財政狀況，但在能源策略上卻不相同；雖然短時間內核能發電的能源策略看似相對有利，但長期而言風力發電所產生的環境影響會遠較核能發電來的小，因此丹麥的再生能源政策未來將引領歐洲的綠色發展。

資料來源：產業永續發展整合資訊網

## 歐盟將拯救低迷的碳交易價格

歐盟於 2005 年提出二氧化碳排放減量計畫，規劃歐盟會員國以 1990 年的碳排放為基準，於 2020 年減少 20% 的二氧化碳排放量，其中關鍵性運作工具為歐盟碳交易市場；歐盟希望以規範企業碳排放量及運用碳交易模式，促使企業減少二氧化碳排放。

歐洲碳交易市場於 4 月份時，每噸碳排放交易價格只剩下 5.99 歐元，這價格為碳交易市場從 2003 年成立以來之最低價格，雖然目前已回升至每噸 7 歐元左右的价格；但一般分析師認為，每噸碳排放交易價格應維持在 20 至 50 歐元之間，始有助於刺激再生能源及綠色經濟的發展。

有鑑於碳交易價格持續低迷的原因，在於歐盟給予企業過度的二氧化碳排放配額，使企業無須在碳交易市場上購買所需的碳排放權，因此歐盟將研提減少企業免稅的二氧化碳排放配額之方案。

目前歐盟提出三種方案，分別為凍結 4 億噸、9 億噸碳排放配額，或者大規模凍結 14 億噸碳排放配額；預期實施凍結 14 億噸碳排放配額，將迫使企業於歐洲碳交易市場購買更多的碳權，進而推升每噸碳排放交易價格來到 14 至 15 歐元。

波蘭對於碳排放配額減量草案內容抱持著強烈反對立場，因該國高度依賴碳排放量大的燃煤發電，若碳交易價格提升，將促使該國電價將會跟著調漲；歐洲第一大經濟體德國，其經濟部表示即使受到國內重工業者的施壓及歐洲經濟蕭條等因素影響，但該國仍認為沒必要干預該法案的執行。因此預期此法案通過的機率相當的高，未來碳交易價格將有機會回升。

資料來源：產業永續發展整合資訊網

## 會議資訊

### 國內會議：

#### 廚餘生質能源化再利用國際研討會

主辦單位：臺中市政府

時間：101 年 8 月 28 日～29 日

地點：臺中福華大飯店 3M 國際宴會廳

資訊：<http://www.iwkwbb.org.tw/cht/index.html>

會議主題：1. 低碳臺中 2. 廚餘生質能源化國際應用趨勢 3. 廚餘厭氣醱酵處理技術  
4. 廚餘厭氣醱酵生質能利用技術 5. 廚餘醱酵殘留物再利用技術

#### 2012 台日科技高峰論壇「後東日本大震災的復興計畫與台日合作」

主辦單位：中華經濟研究院

時間：101 年 9 月 3 日

地點：台北晶華酒店 宴會廳（台北市中山北路 2 段 41 號 3 樓）

資訊：<http://www.tnst.org.tw/front/bin/ptdetail.phtml?Part=3-098&Rcg=100003>

會議主題：1. 能源政策走向 2. 震災復興與防災概念最前線 3. 日本產業復興計畫、能源政策走向與台日合作之展望

#### 2012 綠色採購國際論壇

主辦單位：行政院環保署

時間：101 年 9 月 5 日

地點：台大醫院國際會議中心 4 樓 401 會議室

資訊：<http://www.ftis.org.tw/isgb/agenda.htm>

會議主題：1. 機關綠色採購 2. 民間綠色採購 3. 環保標章

#### 2012 國際潔淨化石能源研討會

主辦單位：經濟部

時間：101 年 9 月 6 日

地點：台大醫院國際會議中心 401 會議廳（台北市中正區徐州路 2 號 4 樓）

資訊：[http://www.digitimes.com.tw/seminar/itri\\_20120906.htm](http://www.digitimes.com.tw/seminar/itri_20120906.htm)

會議主題：1. 國際化石能源潔淨化使用的發展 2. 我國相關的因應策略



 全球能源競逐對我國的影響與因應策略

主辦單位：台灣經濟研究院

時間：101 年 9 月 21 日

地點：公務人力發展中心福華國際文教會館 14F 貴賓廳

資訊：<http://www.tier.org.tw/>

會議主題：1. 能源日益稀少下之全球能源競逐 2. 南海與東海危機對我國能源利益之影響與因應 3. 伊朗危機對我國能源利益之影響與因應 4. 全球能源競逐下我國因應策略

 2012 年兩岸環境與能源研討會暨第一屆全球華人環境與能源研討會

主辦單位：臺灣環境資源永續發展協會、中國科學院上海應用物理研究所

時間：101 年 10 月 11 日～12 日

地點：國立中央大學(中壢市)

資訊：<http://tasder.org.tw/index.html>

會議主題：1. 環境資源之調配、利用、管理等方法與應用 2. 環境災害評估與控制方法與應用 3. 污染預防、污染防治(制)與整治等方法與應用 4. 廢棄物資源(材)化等方法與應用 5. 環境毒性及污染分析方法與應用 6. 相關議題綠色科技及產業與交通、綠色能源等方法與應用 7. 溫室氣體減量、節能減碳等方法與應用

 101 年度農業工程研討會

主辦單位：社團法人台灣農業工程學會

時間：101 年 10 月 12 日

地點：台中逢甲大學

資訊：<http://www.twaes.org.tw/news/1010510-台灣農業工程學會徵文海報.jpg>

會議主題：1. 地下水資源永續利用 2. 水文 3. 地下水 4. 農村環境再造

 2012 建構綠能科技與智慧節能產學園區研討會暨計畫成果觀摩展

主辦單位：聖約翰科技大學

時間：101 年 11 月 14 日

地點：聖約翰科技大學電資大樓 E503 演講廳

資訊：[http://www.ee.sju.edu.tw/AEET\\_conference/index.htm](http://www.ee.sju.edu.tw/AEET_conference/index.htm)

會議主題：1. 綠色能源發電技術 2. 電源轉換及調節技術 3. 分散式發電系統 4. 電力電子控制 5. 電池技術 6. 先進照明技術 7. 電力電子與功率半導體元件 8. 功率積體電路 9. 綠能船舶 10. 電能管理系統 11. 馬達節能技術 12. 智慧電網 13. 微型電網 14. 先進讀錶系統 15. 智慧網路儀表 16. 節能模組與系統 17. 節能減碳技術 18. 電動車 19. 綠建築技術 20. 其他綠能科技與智慧節能技術相關主題 21. 綠色貿易產業 22. 智慧安全城市

 **2012 臺灣災害管理研討會**

主辦單位：社團法人臺灣災害管理學會

時間：101 年 11 月 16 日

地點：大坪林聯合開發大樓 15 樓（新北市新店區北新路三段 200 號 15 樓）

資訊：[http://www.dmst.org.tw/seminar/index\\_1.html](http://www.dmst.org.tw/seminar/index_1.html)

會議主題：1.災害的社會衝擊與經濟損失評估 2.防災調適策略與國土規劃 3.氣候與環境變遷之災害衝擊與風險評估 4.災害風險管理與科技應用 5.害管理經驗學習 6.臺灣災害管理面臨的新興課題

 **節能減碳之技術創新與產業發展研討會**

時間：101 年 11 月 21 日～22 日

地點：清華大學科技管理學院（新竹市光復路二段 101 號）

資訊：<http://www.ev.nctu.edu.tw/app/news.php?Sn=569>

會議主題：1.新興能源科技的發展趨勢、成本效益與市場潛力 2.發展能源科技產業與技術的法規、策略與政策 3.能源科技產業化的內涵及其驅動力、競爭力 4.能源科技產業與技術的優選評估方法 5.技術創新的驅動力、投資決策模式與誘發政策 6.綠能科技產業發展與技術創新的成本效益分析 7.能源科技發展與創新對 3E+C+D+S 的影響評估

**國際會議：**

 **Energy from Waste**

主辦單位：SMi Group

時間：101 年 9 月 17～18 日

地點：London, United Kingdom

資訊：<http://www.smi-online.co.uk/energy/uk/energy-from-waste>

 **2012 2nd International Conference on Energy and Environmental Science**

主辦單位：IACSIT

時間：101 年 9 月 28～29 日

地點：Phnom Penh, Cambodia

資訊：<http://www.icees.org/>

 **2012 International Conference on Engineering and Innovative Materials**

主辦單位：JEST

時間：101 年 9 月 28～29 日

地點：Phnom Penh, Cambodia

資訊：<http://www.iceim.org/cfp.htm>

 **3rd Energy Crisis Communications**

主辦單位：Marcus evans

時間：101 年 10 月 3～4 日

地點：Houston, United States

資訊：[http://www.marcusevansch.com/ECC\\_conalerts](http://www.marcusevansch.com/ECC_conalerts)

 **Infocast's 5th Annual Utility Scale Solar Summit**

主辦單位：Information Forecast Inc.

時間：101 年 10 月 9～12 日

地點：Del Mar, United States

資訊：<http://utm.to/34r>

 **2nd Annual LNG Technology Global Summit**

主辦單位：Fleming Gulf Conferences

時間：101 年 10 月 17～18 日

地點：Doha, Qatar

資訊：<http://www.fleminggulf.com/home>

 **EMART Asia 2012**

主辦單位：Clarion Events

時間：101 年 10 月 23～24 日

地點：Singapore, Singapore

資訊：<http://www.emart-asia.com/>

 **2012 2nd International Conference on Petroleum and Sustainable Development(ICPSD 2012)**

主辦單位：CBEES

時間：101 年 10 月 27～28 日

地點：Hong Kong, China

資訊：<http://www.icpsd.org/>

 **2012 8th International Conference on MEMS NANO, and Smart Systems**

主辦單位：IACSIT

時間：101 年 11 月 3～4 日

地點：Shenzhen, China

資訊：<http://www.icmens.org/>

 **WATER 2012**

主辦單位：Marketforce Business Media

時間：101 年 11 月 5～6 日

地點：London, United Kingdom

資訊：<http://marketforce.eu.com/>

 **Smart Metering Forum 2012**

主辦單位：Marketforce Business Media

時間：101 年 11 月 7～8 日

地點：London, United Kingdom

資訊：<http://marketforce.eu.com/>

 **5th Annual Risk Management in Energy Trading**

主辦單位：Marcus evan

時間：101 年 11 月 8～9 日

地點：Houston, United States

資訊：[http://www.marcusevansch.com/ETRM2012\\_ELS](http://www.marcusevansch.com/ETRM2012_ELS)

 **2012 International Conference on Power and Energy Systems (ICPES 2012)**

主辦單位：IACSIT

時間：101 年 11 月 17～18 日

地點：Pune, India

資訊：<http://www.icpes.org/>

 **2012 People in Energy**

主辦單位：Talent Management Alliance

時間：101 年 11 月 26～28 日

地點：Houston, United States

資訊：<http://the-tma.org/oilandenergy/>

 **11th Annual Oil Sands Symposium**

主辦單位：CI Energy Group

時間：101 年 11 月 28～29 日

地點：Calgary, Canada

資訊：<http://www.OilSandsSymposium.com>

## 文獻新報

### 一、中文

丘媚萍(2012),「臺灣氣候變遷與農業災損關聯性及救助之探討」,政府審計季刊,第32卷,第4期,頁50-64。

李正文,王議德(2012),「對綠色產品生態購買行為之研究:以兩岸大學生為例」,先進工程學刊,第7卷,第3期,頁125-134。

李建興,徐士賢,蕭舜文(2012),「節能技術--漁船配電系統改善的節能效益分析」,臺灣水產,第7卷,第3期,頁18-28。

李陳國,管書緯(2012),「政府主導綠色經濟促進機制之研究」,臺灣銀行季刊,第63卷,第2期,頁88-107。

林常平,陳貽評(2012),「智慧型電表基礎建設之技術發展與產業契機」,工程,第85卷,第3期,頁62-74。

林蔡承(2012),「永續發展原則作為能源稅課徵之指導原則」,月旦財經法雜誌,第29期,頁117-139。

洪克銘(2012),「綠色能源工程--生質柴油(Biodiesel)發展之回顧」,工程,第85卷,第4期,頁88-98。

胡斯遠(2012),「全球離岸風力發電市場發展現況與未來趨勢」,工程,第85卷,第4期,頁69-87。

孫文玲(2012),「綠不綠有關係?!--論綠色資料中心及其相關能源效率法制政策」,科技法律透析,第24卷,第7期,頁41-61。

張永瑞,李奕德(2012),「核能研究所微型電網技術發展現況」,電機月刊,第22卷,第8期,頁168-183。

張思靜(2012),「方法·視野·文化脈絡:中國文學批評史上的《論再生緣》」,中國文化研究所學報,第55期,頁231-249。

張祖恩;盧幸成(2012),「廢棄物與永續資源管理之國際趨勢」,永續產業發展,第59期,頁15-23。

曹賜卿(2012),「我國與國際永續發展推動現況及未來展望」,政府審計季刊,第32(卷),第4期,頁3-13。

許國榮,湯奕華(2012),「產品生態化設計標準的發展與因應建議」,永續產業發展,第59期,頁47-54。



- 郭博文(2012),「環保審計與永續發展」,政府審計季刊,第32期,第4卷,頁80-83。
- 陳志平,周菁慧(2012),「有機太陽電池簡介及應用展望」,工業材料,第307期,頁94-102。
- 游千慧(2012),「我國實施都市更新制度之檢討與修法方向研析」,土地問題研究季刊,第11卷,第2期,頁23-30。
- 黃鈴如(2012),「ISO/DIS 14067產品碳足跡--量化與溝通之要求及指引介紹」,標準與檢驗,第163期,頁1-12。
- 歐嘉瑞(2012),「政府機關及學校四省專案計畫執行成效暨後續推動作法」,臺灣經濟研究月刊,第35卷,第6期,頁110-118。
- 蔡孟諺,劉陽光,張鈺炯(2012),「綠建築節能管理簡介」,電機月刊,第22卷,第5期,頁84-95。
- 鄭如翔,鄭賀名,黃炳照,楊紹經,陳宏義(2012),「國內外儲能技術發展現況與未來方向」,工程,第85卷,第4期,頁130-147。
- 蕭代基(2012),「氣候變遷調適策略」,臺灣經濟論衡,第10卷,第7期,頁51-55。
- 魏遠揚,林延益(2012),「ISO 50001能源管理系統(EnMS)與QMS/EMS之比較」,標準與檢驗,163期,頁13-19。

## 二、外文

- Al-mulali, Usama; Binti Che Sab, Che Normee (2012) "The impact of energy consumption and CO2 emission on the economic and financial development in 19 selected countries" *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, Iss. 7, pg. 4365-4369.
- Bowen, Alex; Cochrane, Sarah; Fankhauser, Samuel (2012) "Climate change, adaptation and economic growth. Detail Only Available" *Climatic Change*, Vol. 113, Iss. 2, pg. 95-106. 12p.
- Chu, Hsiao-Ping; Chang, Tsangyao (2012) "Nuclear energy consumption, oil consumption and economic growth in G-6 countries: Bootstrap panel causality test" *Energy Policy*, Vol. 48, pg. 762-769. 8p.
- Connolly, D.; Lund, H.; Mathiesen, B.V.; Pican, E.; Leahy, M. (2012) "The technical and economic implications of integrating fluctuating renewable energy using energy storage" *Renewable Energy*, Vol. 43, pg. 47-60.
- Grave, Katharina; Paulus, Moritz; Lindenberger, Dietmar (2012) "A method for estimating security of electricity supply from intermittent sources: Scenarios for Germany until 2030" *Energy Policy*, Vol. 46, pg. 193-202.

- Grundmann, Philipp; Ehlers, Melf-Hinrich; Uckert, Götz (2012) “Responses of agricultural bioenergy sectors in Brandenburg (Germany) to climate, economic and legal changes: An application of Holling's adaptive cycle” *Energy Policy*, Vol. 48, pg. 118-129.
- Hong, Lixuan; Möller, Bernd (2012) “An economic assessment of tropical cyclone risk on offshore wind farms” *Renewable Energy*, Vol. 44, pg. 180-192.
- Jakob, Michael; Luderer, Gunnar; Steckel, Jan; Tavoni, Massimo; Monjon, Stephanie (2012) “Time to act now? Assessing the costs of delaying climate measures and benefits of early action” *Climatic Change*, Vol. 114, Iss. 1, pg. 79-99.
- Jänicke, Martin (2012) “Green growth: From a growing eco-industry to economic sustainability” *Energy Policy*, Vol. 48, pg. 13-21.
- Nigel J. Martin, John L. Rice (2012) “Developing renewable energy supply in Queensland, Australia: A study of the barriers, targets, policies and actions” *Renewable Energy*, Vol. 44, pg. 119-127.
- Rosebud Jasmine Lambert, Patrícia Pereira Silva (2012) “The challenges of determining the employment effects of renewable energy ” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, Iss. 7, pg. 4667-4674.
- Selahattin Murat Sirin, Aylin Ege (2012) “Overcoming problems in Turkey's renewable energy policy: How can EU contribute?” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, Iss. 7, pg. 4917-4926.
- Sheinbaum-Pardo, Claudia; Ruiz-Mendoza, Belizza Janet; Rodríguez-Padilla, Víctor (2012) “Mexican energy policy and sustainability indicators” *Energy Policy*. Vol. 46, pg. 278-283.
- Sternäng, Li; Lundholm, Cecilia (2012) “Climate change and costs: investigating students' reasoning on nature and economic development” *Environmental Education Research*, Vol. 18, Iss. 3, pg. 417-436.
- Vasco Correa, Carlos Andrés (2012) “Economic evaluation of current conditions of competition and efficiency of automotive and rail systems in Colombia” *Energy Policy*, Vol. 46, pg. 78-87.
- Zaccai, Edwin; Adams, William.(2012) “How far are biodiversity loss and climate change similar as policy issues?” *Environment, Development & Sustainability*. Vol. 14, Iss. 4, pg. 557-571.