

碳經濟

CARBON ECONOMY

發行人 尹啓銘
顧問 黃萬翔 吳明機
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 台北市實業路3號
台北市德惠街16-8號7樓

專題分析

氣候變遷調適公眾教育宣導及國內因應策略之探討
羅時芳、蘇嫻伊

能源需求面管理政策及其效益評估模型之探討
許志義、柏雲昌、王京明、錢玉蘭

台灣運輸部門推廣替代能源車輛之策略規劃
黃銘崇、黃新肅、劉致言

減碳目標下之我國服務業部門最適節能組合方案：
MCKINSEY減量成本曲線應用
陳俊維、陳玉嬋

研究前緣

二氧化碳捕獲、輸送與封存技術發展趨勢分析
劉家豪、葛復光

第25期

2012年5月

NO. 25 May 2012

目 錄

編者的話	1
專題分析	2
氣候變遷調適公眾教育宣導及國內因應策略之探討 /羅時芳、蘇佩伊	2
能源需求面管理政策及其效益評估模型之探討 /許志義、柏雲昌、王京明、錢玉蘭	19
台灣運輸部門推廣替代能源車輛之策略規劃 /黃銘崇、黃新薰、劉致言	39
減碳目標下之我國服務業部門最適節能組合方案： MCKINSEY 減量成本曲線應用 /陳俊維、陳玉嬋	62
研究前緣	83
二氧化碳捕獲、輸送與封存技術發展趨勢分析 /劉家豪、葛復光	83
政策動態	94
會議資訊	101
文獻新報	106

—編輯政策—

- ◇ 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、楊晴雯：

jp62001@tri.org.tw。

編者的話

為達到我國既定的節能減碳目標，營造全民節能減碳共識，在維持國民生活品質以及產業競爭力的前提下，需透過教育宣導、瞭解產業結構以及能源使用概況，增加國人對節能減碳的認識，以降低對社會及產業造成的衝擊。因此，本期從氣候變遷調適公眾教育、能源需求面管理、運輸部門推廣替代能源策略以及服務業節能方案等層面，探討我國節能減碳現況，以及因應策略。

公眾教育宣導方面，本期收錄中華經濟研究院羅時芳研究員等人著作，透過蒐集彙整各國氣候變遷調適教育宣導方法，歸納出氣候變遷調適與社經問題互動之主題，並搭配區域或國家氣候變遷調適宣導案例，與我國氣候變遷調適公眾教育宣導現況進行比較，進而提出我國在教育宣導上的努力方向與建議。

因時代環境變遷與環保意識抬頭，以及新電源開發成本日益上升之影響，使得目前國內在電廠及輸配電線路興建上乃日益困難，屢遭居民抗爭。在此情況下，反應在電業經營管理上，決策思維邏輯已從傳統的供給面規劃策略轉向需求面。有鑑於此，本期收錄中興大學資管所許志義等人著作，從能源需求面管理角度切入，探討我國適用的需求面管理工具及配套措施，將有助於我國能源效率提升。

另一方面，我國運輸部門的溫室氣體排放量，僅次於能源以及工業部門，透過大眾運輸系統建設、節能以及替代能源車輛推廣，皆有助於降低溫室氣體排放，因此在節能減碳上具潛力。故本期收錄台灣綜合研究院黃銘崇主任等人著作，針對我國運輸部門之國內旅次特性、交通環境與區域運輸文獻蒐集與評析為起始，並考量交通部權管的政策工具，研擬「經濟誘因、交通管理、運輸業管理、車輛監理與輔助設施建置」等五個推廣策略與作法，同時蒐集相關法規資料，以了解各策略做法在現行法規上的適用性與後續預期的法規修訂方向。

服務業部門方面，近年我國服務業部門之最終能源消費比重由 1989 年佔 9.2% 快速增加至 2009 年的 11.48%，該部門之年均成長幅度高達 5.54%，已超越全國成長率 4.37%。因此，本期收錄國家實驗研究院陳俊維工程師等人著作，探討服務業部門應如何以「最經濟的方式」來達成節能減碳之目標，進而建構我國服務業部門之能源消費及二氧化碳排放最適減量評估模式。

研究前緣部分，由於在聯合國氣候變化綱要公約第 17 次締約國大會（COP 17）及京都議定書第 7 次締約國大會決議中，碳捕捉、碳封存技術已正式被納入清潔發展機制（Clean Development Mechanism, CDM），為開發中國家的 CCS 計畫帶來更多的財務支援，有助於 CCS 技術擴大市場規模，加速技術達到成熟階段。故本期收錄行政院原子能委員會劉家豪研發師等人著作，探討國際碳捕捉、碳封存技術發展趨勢，做為我國未來技術發展上的參考。

能源需求面管理政策及其效益評估模型之探討¹

許志義（中興大學資管所暨應經系合聘教授）

柏雲昌（中國文化大學經濟學系教授兼系主任）

王京明（中華經濟研究院第二研究所研究員）

錢玉蘭（臺北大學自然資源與環境管理研究所助理教授）

一、前言

能源需求面管理（Energy Demand-Side Management, EDSM）係指政府、能源供應公司、及能源使用者藉由經濟誘因或技術方法，調整消費端能源需量的政策、方案或措施，來達成節能減碳，有利於整體社會永續發展之目的。能源需求面管理主要包括電力需求面管理與其他非電力能源需求面管理，由於電力係次級能源或三級能源，主要由初級能源（如煤炭、原油、天然氣、核能）或次級能源（如燃料油、柴油）轉換而得，同時電力又可經由再生能源或新能源轉換而得，具有「多種投入、單一產出」之特性，是未來因應溫室效應之最重要能源，也是目前台灣能源需求結構中佔比最高的一種能源。因此能源需求面管理之核心領域，即為電力需求面管理。

因時代環境變遷與環保意識抬頭，以及新電源開發成本日益上升之影響，使得目前國內在電廠及輸配電線路興建上乃日益困難，屢遭居民抗爭。在此情況下，反應在電業經營管理上，決策思維邏輯已從傳統的供給面規劃策略（如電源開發及輸配電系統佈建等）轉而強調需求面管理，將之視為達成電業發展整體目標的一個重要環節，得以替代或延緩電廠或供電設施興建之時程，有效降低整體供電成本。

需求面管理在現階段對節能減碳之效益具有顯著貢獻，已是國際上能源產官學界之共識；台灣應該選擇哪些需求面管理的手段和配套措施，攸關未來十年節能減碳目標的達成與否。基於上述原因，實有必要藉由參考先進國家之能源需求面管理制度與作法，同時建立評估政府政策之相關經濟與技術模型及其績效指標，以確保我國能源需求面管理政策之成效，爰為本文之研究動機。

二、能源需求面管理效益與政策評估文獻探討

由於過去電力供給面的發電、輸電、配電技術多已發展成熟，例如發電廠的自動化控制、電力網路潮流供給的最適化等均已普遍應用，相對而言，近年來隨著配電自動化以及先進國家智慧型電網之規劃，許多需求面管理相關技術發展，方興未艾。因此，就台灣之電力需求面管理而言，其重要性與發展性尤其明顯。值得注意的是，能源需求面管理需要廣泛應用資通訊科技（Information Communication Technology, ICT），此可大幅降低電力公司與電力用戶之交易成本，例如，冷凍空調設備之 ICT 直接控制裝置，以及智慧型電表等，均為能源需求面管理不可或缺之 ICT 設備，同時配合時間電價或需量反應之價格誘因，才能達到節能減碳預期效果。Aalami et al.（2010）運用彈性分析及用戶收益函數，將誘因與懲罰納入考量，建構一個反映消費者收益之可停電力模型。該模型顯示，影響可停電力實施績效的主要因素有電價、彈性、誘因以及懲罰。為了進一步評估模型的表現，該文進行了九種案例之情境分析（Scenario Analysis），在不同誘因、懲罰及彈性之條件下進行試算，得到用戶收益與誘因正相關、與懲罰負相關、以

¹ 本文改寫自國科會能源國家型科技計畫(NSC 100-3113-P-005-001)之部分研究成果，作者們感謝國科會的支持，惟一切文責由作者自負。

及與彈性呈正相關之合理結果。此外，Cappers et al. (2009) 總結評估 2008 年美國電力市場現有的需量反應計劃貢獻度，2008 年整年尖峰時段抑低量大約比 2006 年增加 10%，其中有 93% 來自於「誘因基礎 (incentive-based)」的需量反應計劃，大約為 38,000MW，而僅有 7% 來自「價格基礎 (price-based)」的需量反應計劃，大約為 3,000MW。而以提供需量反應計劃電力用戶參與者的數目來看，誘因基礎的需量反應計劃由 2006 年的 126 家上升至 2008 年的 274 家，整體上升 117%，顯示目前以誘因為基礎的需量反應計劃，無論在供給面或需求面皆日趨重要。

需求面管理之目的是促進用戶對能源價格的敏感度，根據先進國家參與需量反應方案與提供輔助服務 (Ancillary Services) 的經驗，用戶負載若調度得宜，則相當適合作為備轉容量。如能輔以電力公司及參與用戶的節能技術，配合各時程的電力需求，並且整合電力系統供給規劃調度等管理機制，需求面管理方案將更能發揮高可靠度的資源效益，並能作為電力系統短期間突發性供電短缺之風險控管的有效工具。準此而言，需量反應方案之規劃與設計，實至為重要。Barnes (2006) 指出需量反應計畫之成效評估，有兩項主要目的：(1) 方案改善—可協助衡量需求面管理方案之執行過程，確認是否可以達成預期成果，是否需進行調整以增加個別方案的成效；同時利用評估模型改善專案目標，讓電力用戶可從線上即時掌握電能的抑減效果，並提供誘因，以鼓勵需求面管理之節能投資。(2) 責任歸屬—可界定出利用公用資源的內部責任與外部責任，包括：會計責任、合約中承諾提供的服務、及個別用戶的參與績效。

此外，許志義、顏海倫 (2011) 探討美國加州能源需求面管理之政策、方案與成效。加州與臺灣最大的相同點即是在資通訊科技業所擁有之高度發展，奠定其能源需求面管理在科技上最厚實的根基，而其藉由電力需求「脫鉤政策 (Decoupling Policy)」達成需求面管理與節能減碳績效顯著之成果，非常值得參考與借鏡。根據加州能源委會 CEC (2008) 統計資料顯示，加州過去二十五年間 (1973~2008)，每人平均用電量幾乎維持不變，相較於美國其他 49 州每人年平均用電量增加約 50%，其中主要的原因之一即在於加州積極推動能源需求面管理政策。加州總計自 2003 至 2009 年此七年間，平均每年需求面管理相關實際支出 (州政府決算數) 成長 23%，顯見加州政府對能源需求面管理之重視。以該州能源效率 (Energy Efficiency) 方案為例，除了方案之補貼外，許多通路商家會提供額外的現金折扣，鼓勵民眾購買能源之星標章設備，甚至製造商亦主動提供折讓，因此，民眾享受的折扣通常超過補貼金額，自 2006 至 2008 年三年間，EEP 方案每年為電力用戶創造了 12 億美元的能源節約。而需量反應方案，其成本效益分析顯示，2008 年加州電力消費者之總能源節約金額高達 2 億 7400 萬美元。值得注意的是，除了政策目標完整與明確，執行內容層面廣泛之外，各方案之間並非各自獨立，譬如架設於低收入戶為主的小型太陽能 PV 系統，即與「太陽能」、「分散型發電」及「低所得」議題息息相關，因此，在政策擬定上應通盤考慮，方得配合電力調度需要，以達成節能減碳與電力系統可靠度之提升。

三、能源需求面管理政策評估之經濟與技術模型

事實上，台灣能源需求面管理也已推動多年。以台電公司為例，針對低、高、特高壓用戶，自 1979 年開始實施時間電價方案誘導用戶減少尖峰用電需求。復於 1987 年推出可停電力電價方案，於尖峰時段引導用戶減少或暫停部分負載，並給予優惠的電價折扣，鼓勵用戶移轉至離峰時段生產，實施結果績效顯著。台電公司乃積極推廣，並逐年增訂與擴大可停電力之適用範圍，以鼓勵更多用戶參與選用。迄今已有七種減少用電與需量反應方案。迨 2008 年台電公司創意推動「電費折扣獎勵節能措施」，對於住宅用戶及國中小學，依節約用電程度給予電費 5%-20% 之折扣優惠；隨後，為鼓勵持續節約用電，除擴大住宅公共設施之適用外，依持續節約用電情況，擴大給予電費 10%-30% 之折扣優惠。若連續兩年用電量零成長或負成長均適用電費折扣，且兩年節電率合計達 20% 以上者，按當期用電量成長率級距適用「擴大折扣率」給予流動電費折扣。台電公司藉由提供價格誘因之方式，引導消費者落實節約用電，促使電力用戶養成省電文化與習慣。此推行負載管理的努力，可減緩發電、輸電及配電等設備之投資。若妥善應用負

載管理措施，可降低發電成本，其主要受益者為供電業者與能源使用者；而電源節約可減少能源消耗，降低社會成本，其主要受益者為全體社會大眾；故無論是負載管理或是電源節約，若應用得當，對整體社會、電力公司、及電力用戶來說，可以達成「三贏」。

能源需求面管理政策是否能夠確實達成三贏，必須透過嚴謹的評估程序，藉以學理為依據的模型，從各個不同角度加以分析，方可判斷其是否符合成本與效益原則，是否有繼續改進的空間。以下分別說明經濟評估模型與技術評估模型之應用實例。

（一）經濟評估模型與實例

一個（或一組）電力需求面管理方案的規劃、設計及評估，必須倚賴經濟模型，以做成最佳決策。常見的經濟模型，可概分為兩類：一類是以經濟學需求與供給為基礎的供需分析模型；另一類則是以財務上成本與效益為基礎的益本分析模型。兩者切入的角度不同，分析方式有別，所獲致的結論與詮釋也各異其趣。

經濟供需分析模型是透過研判問題與設定模型之假設，解析供給與需求雙方的市場結構，描繪出能源需求與供給曲線，以虛擬或實際案例的供需函數，推估能源市場的均衡所在，其內容著重於邊際分析，亦即藉由邊際成本等於邊際收益之均衡條件，以及供需雙方在交易市場抵換（trade-offs）的關係，評估能源需求面管理方案對於經濟效率的影響，包括：該方案是否改善或提升經濟效率？該方案所產生的經濟剩餘分配是否符合公平原則？或是否增進能源用戶節能減碳及參與方案的誘因？用戶產生道德風險的機率是否能有效降低？該方案所產生的外部效果是否能夠有效解決？等相關問題之解答。例如：Chao（2010）該文以經濟供需模型，分析大多數電力公用事業所採行的需量反應計畫之傳統方法（traditional approach）。由於傳統方法相當於用戶對基線內所使用之電能，在尚未確實擁有所有權的情況下，即可於電力市場中以批發電價出售其尚未真正使用到的電能。加上基線訂定的設計不當，讓電力用戶參與需量反應計畫前後皆有操縱該基線的道德危機與逆選擇之誘因，並從中獲利。另外，此傳統方法下所產生的另一問題是，用戶可在無任何機會成本的情況下，藉由負載移轉進而獲得電力公用事業對其參與需求面管理方案之補貼，存在套利空間。

更重要的是，電價的補貼造成用戶用電的機會成本大幅上升，使得電力用戶放棄許多價值高於發電成本的能源使用，形成消費不足。以圖 1 來解釋，原先於固定且單一的零售電價下，尖峰時段出現過度的電力需求（A 點， $Q_{peak} > Q^*$ ），而在傳統方法中，由於用戶節約之部分可獲批發電價的補貼，其最適的電力消費處為 D 點，市場上消費不足，存在著龐大的無謂損失，使得該需量反應計畫之出發點雖在解決電力市場經濟效率不足之問題，其結果卻反造成更大的效率扭曲。

Chao（2010）認為需量認購（demand subscription）方案係要求電力消費者在實際用電之前，以某一固定價格承包特定數量的電力負載，而消費者可先行自由選擇認購數量，以之做為基線。在此情況下，藉由風險分攤機制，需量認購促使用戶只有在購買基線內的電力負載、取得電力所有權後，方可將其未使用的電力負載賣回電力市場。此種藉由電力需量認購反映真實邊際電價，經供需模型分析，透過模型的設立與經濟剩餘的計算，可有效解決上述傳統方法所產生的弊端，達到提升經濟效率、促進分配公平之兩大經濟目標。

需求面管理方案第二種經濟評估模型為成本效益分析模型，其主要目的是在保證 DSM 方案確實達到能源節約，以及執行方案的支出相較於投資新的硬體設備及後續營運費用更為經濟。成本效益分析可用以篩選 DSM 方案或其組合是否具可行性的工具，同時也可評量現有的 DSM 方案，以探討該方案設計潛在的改善空間。

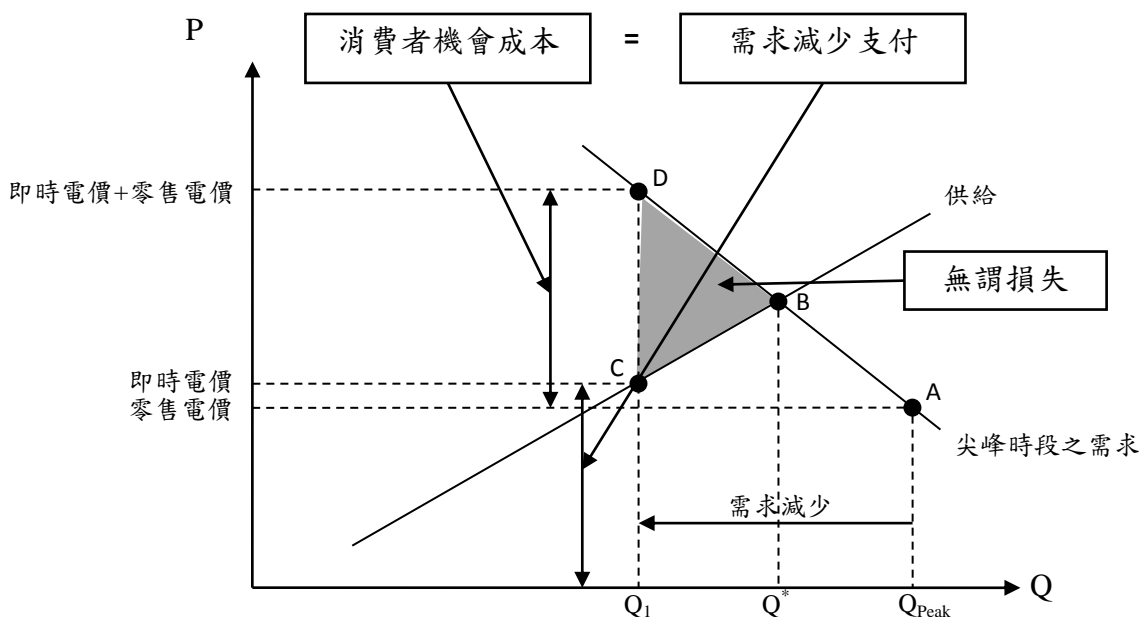


圖 1. 供需分析模型案例：需量反應計畫之傳統方法導致經濟無效率

DSM 方案的成本效益分析可分別針對參與者、電力用戶、公用事業、社會整體等不同的觀點加以評估，因此可分為以下四種檢定，包括：參與者檢定 (Participant 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)、以及公用事業成本檢定 (Utility Cost Test, UCT) 等四種檢定模式。每種檢定各自代表著不同的觀點，各個觀點其結果也能有不同的解釋，但相同的是，這些檢定都必須要估算該需求面管理方案於整個影響生命週期的現值，包括總成本現值與總效益現值。由於 TRC 成本分析之考量層面頗為廣泛，較能真實反映利害關係人及整體社會之成本與效益，故獲得各界普遍認同。

在每一種不同的檢定觀點中，各利害關係人的成本與效益皆有所不同。例如：RIM 檢定乃從單一消費者觀點衡量；TRC 檢定則從整體社會觀點出發；而社會成本檢定 (Societal Cost Test, SCT) 更將非能源相關的社會與環境效益同時加以考慮，屬於一種進一步衍生的 TRC 檢定，亦廣為先進國家衡量需求面管理方案成效時所採用。值得注意的，所有的檢定方法都有其優點與限制，故在評估 DSM 政策方案實施績效時，大多會同時考慮兩種以上不同的評估方法。例如：北美地區許多電力市場監督管制機關在評量 DSM 方案的成本效益時，大多以 TRC 作為主要 (但非唯一) 的檢定依據，同時搭配 PCT、RIM、UCT、SCT 作為輔助參考之用。

TRC 檢定的缺點是無法衡量目標為長期能源節約之相關方案，例如教育或體認 (awareness) 方案，因為這些方案的預期能源節約效益，很難認定是與 DSM 方案有直接關連性，導致教育或體認方案未能通過評估檢定，造成該方案推動不足之結果。為了解決此一問題，部分電力市場的監督管制機關要求將此類電力用戶教育方案，與能源節約方案併案處理。此外，將成本效益之分析層級提高至整體 DSM 方案組合，而非單一方案本身，亦可供此類教育或體認方案有更多的提案空間與付諸實施的可能性。

有些先進國家之電力市場管制機關要求部分地區之公用事業，必須採用 SCT 檢定做為 DSM 方案評估的重要檢定之一，但受限於社會及環境外部性的影響效果不易透過貨幣化精確估算之前提下，某些電力市場管制機關要求採用的檢定方法為「修正型 SCT 檢定」，其作法是將 DSM 方案中，TRC 成本的某一固定比例，累加至該方案收益項，亦即以「加成 (adder)」的方式來計算非能源的社會效益。

實務上，加拿大安大略省在進行 DSM 方案評估時，其研究結果發現以 TRC 檢定作為主要評估工具，有以下幾個主要問題：

- (1) TRC 檢定不利於地區配電公司提出較小型或客製化的 DSM 方案。
- (2) TRC 檢定通常不利於實驗性措施或創新型的 DSM 方案。
- (3) 電力市場管制機關所規定的 TRC 迴避成本項，從結構上看，雖有利於某些需求反應方案抑低尖峰需量（尤其是夏季尖峰需量），但卻不利於策略性節約（指全面降低系統負載）方案的推廣。
- (4) 搭便車比率 (free ridership rate) 之設算，不應將所有方案採用同一標準或數值，亦不應固定不變。

加拿大安大略省以 TRC 檢定作為 DSM 方案評估工具所浮現之上述問題，皆可做為台灣 DSM 方案成本效益評估時的借鏡。

在國內文獻方面，許志義、黃國暉（2010）除了說明四種成本效益檢定模型之不同觀點及應用公式，包括：參與者檢定、總資源成本檢定、電力用戶影響檢定、以及公用事業成本檢定，並進行國內案例實證分析，藉以探討相關方案是否達成資源配置效率。經由國內某大學學生宿舍熱水供應由柴油系統改採熱泵系統之用戶觀點（參與者檢定），顯示在該系統 20 年經濟壽年與基準放款利率 4.756% 做為折現率等諸多假設下，此熱泵方案的益本比為 2.02。透過敏感度分析，假設每年電價漲幅 3%、每年柴油價格漲幅 4% 情況下，該方案的益本比為 2.47。此外，藉由一般供需模型，模擬台電現行「用戶計畫性減少用電措施（三）」，其結果顯示，不同用戶的電力需求價格彈性將決定其參與該項措施的意願，同時整體社會亦因此措施而產生經濟效率上的無謂損失。雖然總社會剩餘減少，但作者認為不可因而遽下結論認為該措施不符成本效益，而必須由更高層次的方案 (program)、方案組合 (portfolio) 角度檢視之，考量整體長期效益、成本等諸多議題，以決定該措施的取捨去留。

謝嘉豪（2011）針對台電公司現行需求面管理之「用戶計畫性減少用電措施」四種方案進行研析。以經濟剩餘模型，進行邊際分析，探討台電公司提供優惠之折扣比例及電力的價格需求彈性為何，以及參與用戶抑低容量之多寡，對於消費者剩餘及生產者剩餘分配之影響效果。分析結果顯示：

- (1) 「計畫性（二）」抑低用戶負載容量最高，且參與用戶之消費者剩餘最多；「計畫性（一）」抑低用戶負載容量最低，且參與用戶之消費者剩餘最少。
- (2) 若從電力公司之視角觀之，「計畫性（二）」之生產者剩餘最低，而「計畫性（一）」之生產者剩餘最高。

謝嘉豪（2011）同時以成本效益分析模型，分別從參與用戶之角度進行參與者檢定 (Participant Cost Test, PCT) 以及從電力公司之角度進行公用事業成本檢定 (Utility Cost Test, UCT)，檢視不同方案在不同觀點下之績效表現，結果顯示：在 PCT 檢定下，參與用戶之益本比最高為「計畫性（四）」，最低者為「計畫性（二）」；而在 UCT 檢定下，電力公司益本比

最高者為「計劃性（一）」，最低者為「計劃性（四）」。公用事業 UCT 檢定之益本比結果顯示：四種方案均介乎 2.37~3.19，具顯著效益。至於參與者 PCT 檢定之益本比，則需視參與用戶的邊際缺電成本之高低而定。最後，以敏感度分析檢視關鍵變數變動對不同方案間成本效益值的影響；研究結果顯示：若電力公司為吸引用戶而提高誘因，增加各方案給予用戶優惠折扣之比例，以參與用戶角度而言，「計劃性（四）」參與者檢定之益本比提高幅度最大；以電力公司角度而言，「計劃性（四）」公用事業成本檢定之益本比降低幅度最大。若電力公司提高參與用戶每次抑低用電負載之時數，以參與用戶角度而言，「計劃性（四）」參與者檢定之益本比降低幅度最大；以電力公司角度而言，「計劃性（四）」之公用事業成本檢定益本比提高幅度最大。

朱圃漢、許志義（2011）考量台灣氣候類型及居住型態，評估熱泵熱水系統的適用性及成本效益分析，將台灣劃分為 12 個地區，並且以電能、LPG 桶裝瓦斯、NG 管線瓦斯三種現有之住宅用熱水系統作為可供替代之選項，利用迴避成本（Avoided Cost）推估台灣各地區住宅部門改採熱泵熱水系統之成本效益。此外，參考歐美先進國家熱泵系統補助政策，以及台灣現有「太陽能熱水系統推廣獎勵措施」之政府政策補助方案，設定各相關參數，俾模擬政府補貼方案情境下之成本效益分析。由「參與者檢定」之結果顯示，所有替代方案之益本比均大於 1.1；折現回收期最長達 11.3 年，最短僅 3.2 年。若模擬政府補助 18,000 名用戶採用熱泵系統，則「總資源成本檢定」之結果中，所有替代方案之益本比介乎 1 至 1.73 之間；折現回收期最長達 14.9 年，最短僅 5.4 年；住宅部門以熱泵替代現有電能、LPG 瓦斯、NG 瓦斯熱水系統至少可降低碳排放量每年 2,707 公噸。

林俊吉（2009）以某學校為案例，探討其最佳契約容量及模擬選用可停電力所能達到降低電費與節能效果。研究發現，利用半間距搜尋法以及循序搜尋法，在試算其最佳契約容量後及選用二段式時間電價與可停電力之減少用電措施優惠電價方案後，可節省電費約 3.85%。若再依學校統計之冷氣可卸負載量計算而得之最佳契約容量及減少用電優惠電價，則所減少之電費更高達 12.9%。

謝智宸、張建隆等（2009）對於需量反應計劃之可行性進行研究。首先蒐集國外電業推動需量反應計畫之情形，並且檢視國內的推動狀況。而為了解台灣地區需量反應措施之市場接受度，該文獻以問卷調查之方式來分析影響用戶參與需量反應措施之主要因素。經統計檢定後，發現顯著影響用戶配合降載的因素包含：生產模式、淡旺季、用電型態、中斷製程的可行性、降載可行性等因素，接著進一步分析影響參與容量之因子，以可配合降載幅度、降載通知時間以及降載持續期間為主要變數。而經由實施效益與實施成本計算益本比後，得出需量反應措施之績效與電力系統緊急程度存在正相關，亦即需量反應措施的實施對系統穩定貢獻度若為多餘，一則實施之效益並不存在，二則電力公司收益減少，進而降低了需量反應計劃的益本比。

（二）技術評估模型與實例

生命週期評估（Life Cycle Assessment; LCA）係研究產品從原料取得或開採、加工製造與組裝、運輸銷售、消費使用、回收再利用至棄置等各階段²對環境造成的影響與衝擊，尤其是資源消耗、人類生活品質與健康水準、生態環境變遷、社會福利等，是評估產品綠化程度的主要技術工具。由於不同的生命週期製成階段產生的產品、副產品、廢棄物等對環境造成的影響皆不相同，因此在比較產品是否符合環境保護時，不能只用單一製造過程來衡量，必須從產品全程來評估，故 LCA 成為現在產業發展決策的重要工具。

² 此亦稱為從搖籃至墳墓（Cradle-to-Grave）。

江玄政等人 (2001) 認為在使用生命週期評估模型上仍有其限制：(1) 所做的決策與假設可能是主觀的 (例如：系統界限設定、數據來源與衝擊類別之選擇)。(2) 現階段 LCA 模型易受其假設所限制，且並非所有的潛在衝擊或應用都有相對應之模型可用。(3) 全球性或區域性議題之結果，不見得適用於地區性應用。(4) LCA 的準確性，可能被數據之可取得性或存在性、或數據品質所限制。(5) 盤查數據使用於衝擊評估時，會由於缺乏空間性與時間性數據，而導致衝擊結果之不確定性。以上均屬應用 LCA 模型時必須特別注意之處。

Rodríguez (2003) 係以「乙醇柴油混合燃料 (E-diesel)」與「純柴油」之節能減碳效益比較作為主題，亦即利用生命週期評估模型比較「卡車行駛於高速公路」與「巴士行駛於都市」時，分別使用乙醇柴油混合燃料與純柴油所產生的空氣污染物之排放量差異，進而分析使用乙醇柴油混合燃料代替純柴油是否可以有效減少空氣污染，緩和溫室效應，達到節能減碳的效果。

在所有排放廢氣來源中，交通運輸佔最大宗。表 1 為使用乙醇柴油混合燃料可減少之排放量百分比比較。大致而言，汽車引擎燃燒所排放的廢氣比整體生命週期評估來的少，這是因為整體生命週期評估不只計算汽車引擎燃燒的部分，尚需考量原油取得 (如探勘、鑽鑿、抽取)、原油運輸 (如陸運、水運、管線輸送)、柴油提煉、乙醇製造、乙醇加工輸送等皆會消耗能源與排放二氧化碳等氣體的部分，所有因素考量進去以後，其排放量就會比單純在汽車引擎燃燒所排放的量多。因此，經由生命週期評估之結果，就整體而言，使用乙醇柴油混合燃料並不能明顯改善空氣品質。

實務上，作為汽車燃料者不只柴油，還有汽油，後者比前者使用上更為普遍。柴油與汽油截然不同，汽車使用柴油與汽油造成的空氣污染也不大相同。柴油與汽油再添加乙醇後成為乙醇柴油混合燃料與乙醇汽油混合燃料，兩者也不同，且隨乙醇添加在汽油或柴油的混合比例不同，對空氣污染的程度也各有差異。不只是乙醇柴油混合燃料，也有生質柴油³、電力、壓縮天然氣 (CNG)、液態石油氣 (LPG) 等作為燃料者，故文獻上只探討純柴油與乙醇柴油混合燃料 (固定混合比例：乙醇佔 10% 與 15%) 對空氣污染的影響而忽略汽油與生質柴油或其他的部分，在實務上若要全面性之比較似乎仍不夠完整。

表 1. 使用乙醇柴油混合燃料可減少之排放量比較

排放量差異 (%)	卡車		公車			
	E-10 vs. 純柴油		E-10 vs. 純柴油		E-15 vs. 純柴油	
	交通工具觀點	LCA 模型觀點	交通工具觀點	LCA 模型觀點	交通工具觀點	LCA 模型觀點
二氧化碳	-8	-3	-14	-8	-19	-11
一氧化碳	-8	-3	-20	-17	-27	-23
氮氧化物	-2	<1	-4	<1	-5	<1
二氧化硫	-12	4	-8	-3	-11	-6
碳氫化合物	16	-5	-	-4	-	-6
粒子	-18	-1	-	-	-	-

資料來源：Rodríguez (2003)。

³ 生質柴油 (Biodiesel)，是用未加工的或使用過的植物油以及動物脂肪經過轉酯化反應 (trans-esterification)、中和、水洗及蒸餾之後所生產出來的生質燃料，其排放的廢氣可被分解且無毒，故具有環保性。

事實上，「使用乙醇柴油混合燃料所排放之溫室氣體相較使用傳統柴油的排放量只有些微減少」的結論，主要原因在於生質燃料生產技術水準在該研究文獻 2003 年時期，仍屬相對落後，故其節能減碳效益相對不高。然而今日技術已不同以往，在全球節能減碳之風潮下，生質能源之技術如雨後春筍日益蓬勃發展。故以今日之技術水準，對於溫室氣體減排效應之評估，值得再次進行類似之研究，以便加以比對，確認其節能減碳之潛力。

此外，Rey et al. (2010) 使用生命週期評估軟體 SimaPro 7.1 比較半間接陶瓷蒸發冷卻器 (semi-indirect ceramic evaporative cooler, SIEC) 和熱泵兩者的環保特性，主要對環境的衝擊在於非生物資源，其次是人體健康。該文獻指出熱泵系統生命週期中，電是主要的環境負擔，其次是熱泵組件，包括壓縮機、外接電池、外部風扇等具有最高的影響。半間接陶瓷蒸發冷卻器在內陸乾旱地區比熱泵具環保與經濟上的效益，因此熱泵比較適合氣候潮濕的城市。

至於國內文獻方面，劉書宏 (2010) 以生命週期評估模型探討建築物地源熱泵系統，以現實建築物之能源使用統計資料為參考值，針對其所需之空調及熱水能力進行換算，分析七種情境。其中包括標的使用中央空調和鍋爐之原始統計資料，和其他假設情境，評估結果為全部空調皆替換為地源熱泵空調在能源投入、CO₂ 減少排放量及使用階段能源費用等項目表現最佳，而所需的熱水量由 GSHP 空調系統提供再與原來中央空調以一定比例搭配，這樣的情況則在各假設情境中表現最差，但相對使用中央空調和鍋爐於而言，在 CO₂ 減少排放量、能源投入及使用階段能源費用等亦有相當程度之優勢。與原始統計資料相比較，使用階段之能源投入之減少量約在 69,747~123,082GJ 之間；使用階段之 CO₂ 減少排放量則在 2,429~ 11,662Mt 之間；地源熱泵空調機組之能源償付期分別為 0.10~0.16 年；排放償付期則為 0.10~ 0.12 年。

高志宇 (2009) 以溫水游泳池的應用為例，分析太陽能集熱面板結合熱泵熱水器與傳統鍋爐的多熱源系統。藉由比較不同組合系統之生命週期總成本，評估最佳的組合模式。研究結果在外氣比例為 0.27 和太陽能集熱板片數為 150 片，以及儲水桶容量與太陽能集熱板總面積比值為 100 時，系統運轉 10 年最符合經濟效益。

宋炎明 (2005) 應用成本效益方法評估室內溫水游泳池的熱能回收系統，以五種不同功率的壓縮機 (CaseA~CaseE) 組合而成的熱泵系統應用於溫水游泳池的節能效果，比較不同機組運作的生命週期總成本，做為經濟效益之參考。研究結果顯示以十年生命週期成本比較分析，CaseE (功率最大) 為最符合經濟效益之方案，而初始成本則以 CaseA (功率最小) 最為經濟。

四、各模型之比較

有關能源需求面管理經濟與技術評估模型之建立，就學理觀之，舉凡能夠從事或進行比較靜態分析之各種模型，原則上均可作為能源需求面管理方案「實施前」規劃設計與「實施後」績效評估的工具。惟實務上，有鑑於能源公用事業係屬世界各國接受政府管制，且與社會民生福祉息息相關之關鍵性產業。再加上具有自然獨佔 (natural monopoly) 或寡佔特質，因此幾乎任何能源公用事業相關之投資方案 (包括需求面管理)，通常均須符合最低成本取向 (least-cost approach)，並經由審慎評估 (prudent review)，確定其所有相關成本項目皆符合確實支出且具成本有效性 (used and useful)。因此，有關能源需求面管理方案之評估模型與檢定方法，在政府管制與眾所矚目下，於先進國家早已衍生出一套具獨特性、一致性、實用性的經濟與技術評估模型，有別於一般個體或總體經濟學所慣用的傳統模型。從另一角度觀之，先進國家這些能源需求面管理相關模型，也可說是經濟學傳統模型的變型。無論如何，本文所蒐集先進國家各類模型，均屬現階段適用於台灣能源節約與需求面管理政策及其方案的有效評估工具。

茲將本研究彙整之能源需求面管理各類經濟與技術評估模型統整於表 2 至表 5。

五、先進國家需求面管理政策意涵之探討

由於台灣電力市場尚未如先進國家已開放自由化（目前僅允許民營電廠與汽電共生系統發電售予台電公司），因此過去台灣電力需求面管理的重心主要是透過兩段式、三段式時間電價與季節電價以及七種可停電力方案加以推動，雖然亦具成效，惟其影響範圍與涉及之層次仍屬有限。考諸先進國家需求面管理政策方案之推動經驗，有需多值得借鏡之處。茲將其需求面管理政策意涵，歸納出以下五個面向：

1. 需求面管理強調供需整合資源規劃

先進國家能源需求面管理之核心理念，在於強調供給與需求面之資源整合。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對價給付，此即為迴避成本（avoided cost）之觀念。

表 2. 經濟評估模型（五種）與技術評估模型（一種）之比較

模型名稱	經濟評估模型				技術評估模型	
	一般供需模型	成本效益分析模型			生命週期評估模型 (LCA)	
		參與者檢定 (PCT)	電力用戶影響檢定 (RIM)	總資源成本檢定 (TRC)		公用事業成本檢定 (UCT)
觀點	衡量 DSM 方案是否具經濟效率性	衡量電力用戶在參與方案前或方案後的「可計數」效益與成本	衡量採行 DSM 方案，公用事業營收與運轉成本所產生之變化，對電力用戶一般電費支出影響的淨效果	衡量電力用戶 DSM 參與者與公用事業 DSM 方案兩者之總成本與總效益，對社會整體影響之淨效果	衡量 DSM 方案執行者的淨效果（包括給予的獎勵誘因）	衡量能源需求面管理方案相關產品或燃料從原料取得或開採、加工製造與組裝、運輸銷售、消費使用、回收再利用至棄置等各階段對環境造成的影響與衝擊
資料來源	初級或次級資料					
收益項	<ul style="list-style-type: none"> ■ 消費者願付價值 (willingness to pay) 之總和 ■ 生產者 (公用事業) 之電費總收入 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 用戶電費帳單金額的減少 ■ 方案執行部門所給予的獎勵 ■ 各級政府所給予的租稅減免 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 採行 DSM 方案迴避成本 (avoided costs) 所帶來之節省 (savings) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 負載抑低 (load reduction) 時所減少之供電成本，亦即反映發電、輸電、配電之邊際成本及容量成本 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 能源需求面管理方案替代產品或燃料 (如生質柴油) 減少溫室氣體排放之效益 	
成本項	<ul style="list-style-type: none"> ■ 消費者所支付之電費總支出 ■ 生產者之供電總成本 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 電力用戶因參與 DSM 方案所引發的支出 ■ 用戶電費支出的增額 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 公用事業 DSM 方案成本 ■ DSM 方案帶給其他事業 (如 ESCO) 的行政成本 ■ 給予參與者的獎勵誘因 ■ 尖峰減載時段所造成公用事業收益的減少 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 公用事業與 DSM 參與者所付出的成本 ■ 負載提升時段所增加的供電成本 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 執行者之行政成本 ■ 給予 DSM 參與者的獎勵誘因 ■ 負載提升時所增加的供電成本 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 需求面管理方案替代產品或燃料所需增加之各階段成本支出總和

			<ul style="list-style-type: none"> 其他時段負載提升的發電、輸電、配電成本及容量成本 			
分析方式	<ul style="list-style-type: none"> 社會總剩餘 消費者剩餘 生產者剩餘 	<ul style="list-style-type: none"> 總方案淨現值 (NPV) 平均每位參與者 (per average participant) 的淨現值 益本比 (benefit-cost ratio, BCR) 折現回收期 (discounted payback) 	<ul style="list-style-type: none"> 每位用戶或每度電 (或瓩) DSM 方案生命週期收益影響淨效果 (LRIRIM) 每位用戶或每度電 (或瓩) 的年度收益影響淨效果 (ARIRIM) 益本比 淨現值 	<ul style="list-style-type: none"> 淨現值 益本比 均化成本 (levelized cost) 	<ul style="list-style-type: none"> 淨現值 益本比 均化成本 (levelized cost) 	<ul style="list-style-type: none"> 可減輕固態、液態、氣態、輻射物環境污染量或百分比
模型指標衡量基準	<ul style="list-style-type: none"> 實施 DSM 方案後社會總剩餘大於實施 DSM 方案前社會總剩餘 	<ul style="list-style-type: none"> NPV>0 BCR>1 回收期介於方案參與者主觀可接受年數內 	<ul style="list-style-type: none"> LRIRIM<0 ARIRIM<0 NPV>0 BCR>1 	<ul style="list-style-type: none"> NPV>0 BCR>1 	<ul style="list-style-type: none"> NPV>0 BCR>1 	<ul style="list-style-type: none"> 採行 LCA 後與未採行 LCA 前兩者比較是否達到環保效益。
優點	<ul style="list-style-type: none"> 清楚表達 DSM 方案是否具配置效率 	<ul style="list-style-type: none"> 將參與 DSM 方案能獲得的初次收割有利條件訊息傳達給電力用戶，利於 DSM 方案之宣傳 	<ul style="list-style-type: none"> 可用來反映方案相關成本、效益、收入變化的檢定方法 廣泛適用於眾多方案類型 可以顧及其他非方案參與者之權益 	<ul style="list-style-type: none"> 廣大的利益與成本涵蓋範圍，並可藉由將外部性納入考量，轉為社會成本檢定 (SCT) 預期平均費率變動之不確定性不會影響檢定結果，去除了不確定因素 	<ul style="list-style-type: none"> 預期平均費率變動之不確定性不會影響檢定結果，去除了不確定因素 成本項定義為電力供給者導向 	<ul style="list-style-type: none"> 從產品取得與使用成本層面 (產品取得與使用模型) 與整體生命週期 (全球或全世界角度) 來分析是否符合環境保護，是評估產品綠化程度的主要技術評估模型，而非從用戶之角度來評估
缺點及	<ul style="list-style-type: none"> 為簡化模型，需針對眾多情況進行假設 	<ul style="list-style-type: none"> 無法完整、精確地捕捉到電力消費者在整個決策過 	<ul style="list-style-type: none"> 倚賴長期費率與邊際成本的預測差額，不確定性大 	<ul style="list-style-type: none"> 視電費支出之變化與獎勵誘因為移轉性支付 (transfer 	<ul style="list-style-type: none"> 視電費支出之變化與獎勵誘因為移轉性支付 (transfer payment)，致 	<ul style="list-style-type: none"> 決策可能過於主觀的 非所有潛在衝擊都可在模型中加以評估

限制	<ul style="list-style-type: none"> ■ 電力需求函數與供給函數不易估計 	<p>程中的複雜性與差異性</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 僅能做為節約型與負載管理型方案評價時的輔助工具 ■ 不適合用以評估負載增建型方案 ■ 無法反映對其他非 DSM 方案參與者之影響 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 對方案成本的融資假設具敏感性 	<p>payment)，致無法評估費率變動之影響</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 不適合用以評估負載增建型方案 (load building programs) 	<p>無法評估費率影響</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 不適合用以評估負載增建型方案 (load building programs) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 全球性議題之結果，不見得適用於地區性應用 ■ LCA 的準確性受限於數據之取得性或存在性或品質 ■ 缺乏空間性與時間性數據，使衝擊結果之評估產生不確定性
適用時機與注意事項	<p>適於探討 DSM 方案經濟效率與公平的相關議題</p>	<p>為節約型與負載管理型方案評價時的輔助工具，在解讀時，應多加考慮用戶的態度與行為</p>	<p>屬於「分配面」的檢定，探討方案成本效益的分配關係，適合用來評估方案的「公平」問題</p>	<p>適用於節約型、負載管理型以及燃料替代型方案</p>	<p>適合公用事業內部長、短期規劃方案之用</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 適用於節能減碳替代技術應用於需求面管理評估方案 ■ 適用於全球或整體社會效益角度之決策 ■ 環境績效相關指標
案例	<p>Chao (2010)、謝嘉豪 (2011)</p>	<p>加拿大 (不列顛哥倫比亞省、安大略省)、美國 (加州、紐約州、夏威夷州) 等 朱圍漢與許志義 (2011)、謝嘉豪 (2011)</p>				<p>Rodríguez (2003)、宋炎明 (2005)、高志宇 (2009)、Rey et al. (2010)、劉書宏 (2010)</p>

表 3. 國與國間、產業間之經濟模型

	能源密集度指數	能源效率實質拆解
觀點	分析長期以來各產業的能源自我比較使用效益變化情形	實質拆解出各層級之能源效率貢獻，以期探討上層能源效率變動之來源
模型所需資料與來源		次級資料
分析方式	<ul style="list-style-type: none"> ■ 能源密集度等於能源消耗量除以產出 ($I=E/A$) ■ 能源密集度指數定義為基期能源密集度除以計算期能源密集度 (I_0/I_t)，以方便閱讀及製圖 	利用基期年計算各年度之能源效率指數，進而拆解出各部門（各產業）對能源效率之實質貢獻
基準數值	當能源密集度指數大於 100，代表計算年的終端面能源效率較基期年高，即能源密集度較低，相對有效益；當能源密集度指數小於 100，代表計算年的終端面能源密集度指數較基期年低，也就是相對無效益	以基期年零為基準點。大於零表示產業對當年能源效率有正向貢獻；小於零表示產業對當年能源效率有負向落差
優點	<ul style="list-style-type: none"> ■ 可針對各年度之能源密集度進行比較，分析各年度能源使用效益 ■ 比較橫斷面產業間能源密集度，找出能源使用效益不佳之產業，以利後續自我能源效益改善 	可垂直拆解出各產業的實質貢獻，分析上下層產業之關連性。針對每一年的能源效率拆解，找出關鍵性導致能源效率差的產業，以利政府從事需求面能源效率管理
缺點及限制	<ul style="list-style-type: none"> ■ 基期年的能源密集度會影響指數數值的高低 ■ 無法拆解出下層產業對上層產業之能源效率貢獻與落差 ■ 易受物價指數波動的影響 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 細層產業拆解時，受到能源和國內生產毛額資料產業項目的限制 ■ 經濟面能源效率指數比較易受物價指數波動的影響
適用時機與注意事項	針對各產業之能源效率進行自我縱向分析及跨產業橫斷面分析，比較各年度能源使用效率	利用能源效率指數向下拆解剖析，找出關鍵性產業，再透過能源工程診斷程序，可實質有效改善生產線的能源效率不佳問題
案例	在 2008 年的台灣地區能源密集度指數為 91.96，也就是相對於 2006 年，有 -8.04% 的能源密集度是呈現無效益	台灣地區 2008 年部門別能源效率實質貢獻（相對於基期年），農業部門占 0.10%，工業部門占 -10.19%，服務業部門 2.05%。可以確定台灣能源效率衰退的主要落差來自工業部門，且呈現負貢獻 10.19% 之多（即 -10.19%）

表 4. 需求面管理四種模型之比較

	輔助服務	負載管理	能源節約	環境保護
觀點	衡量電力系統在用戶參與方案後的「可計數」利益與成本	衡量因為方案的執行，公用事業營收與運轉成本產生變化，而造成電力用戶帳單與費率上的影響以及電力公司供電成本的變化	根據參與者與公用事業的能源節約方案，衡量方案的淨成本	衡量環保方案行政者的淨成本（包括給予的獎勵誘因）
資料來源	初級或次級資料			
收益項	<ul style="list-style-type: none"> ■ 用戶電費帳單金額的減少 ■ 方案執行部門所給予的獎勵 ■ 電力系統可靠度的增加 ■ 社會缺電成本降低 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 避免供電成本所帶來的節約（savings from avoided supply costs） ■ 用戶電費支出減少 ■ 電力系統運轉成本降低 ■ 污染減少之社會效益 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 負載減少時所避免之供給成本，即以邊際成本計算的發、輸、配及容量成本 ■ 用戶因節約用電所導致的電費支出減少 ■ 負載減少所導致的污染排放減少 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 負載減少時所避免之供給成本，即以邊際成本計算的發、輸、配及容量成本 ■ 替代發電所導致的污染排放減量 ■ 消費者環保意識與購電自主權的提升
成本項	<ul style="list-style-type: none"> ■ 因參與方案所引發的支出 ■ 用戶帳單金額的增額 ■ 電力公司購買服務之支出 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 公用事業的方案成本 ■ 方案帶來其他事業體（例如服務公司）的行政成本 ■ 給予參與者的獎勵誘因 ■ 減量時段所造成的收益減少 ■ 負載增加時段的發、輸、配、容量成本的增加 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 公用事業所付出的成本 ■ 公用事業因負載減少所帶來的營收減少 ■ 公用事業因負載減少所導致的成本增加 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 執行成本 ■ 給予客戶的獎勵誘因 ■ 饋網電價所增加的供給成本 ■ 電力系統更新為智慧電網與電表的成本
分析方式	<ul style="list-style-type: none"> ■ 總方案的淨現值 ■ 平均每位參與者（per average participant）的淨現值 ■ 益本比（BCR） 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 每位用戶或每度電（或呎）DSM 方案生命週期收益影響淨效果（LRIRIM） ■ 每位用戶或每度電（每呎）的年度收益影響淨效果（ARIRIM） ■ 益本比（BCR） ■ 淨現值法 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 淨現值 ■ 益本比（BCR） ■ 成本均化法（levelized cost）。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 淨現值 ■ 益本比（BCR） ■ 成本均化法（levelized cost）
優點	<ul style="list-style-type: none"> ■ 將參加方案能獲得的初次收割有利條件訊息清楚傳達給電力用戶 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 可用來反映方案相關成本、效益、收入變化的檢定方法 ■ 廣泛適用於眾多方案類型 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 廣大的利益與成本涵蓋範圍，並可藉由將外部性納入考量，轉為社會成本檢定 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 與低碳永續社會的發展道路相輔相成 ■ 消費者購電選擇增加提升消

	<ul style="list-style-type: none"> ■ 能有效降低缺電機率與缺電成本 ■ 能有效增加公用事業的經營效率 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 可提供用戶更多的選擇權與價格決定權 ■ 使用戶能有效因應價格的變化增加需求的價格彈性 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 養成用戶節約能源的習慣與知覺提升 ■ 與低碳永續社會的發展道路相輔相成 	<p>費者環保意識</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 有助於新能源與再生能源產業的發展
缺點及限制	<ul style="list-style-type: none"> ■ 需電力系統操作者能提供精確的參數與所需的負載水準 ■ 電力用戶需能配合即時降低負載 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 倚賴長期費率與邊際成本的預測差額，不確定性最大 ■ 尖離峰價差難於準確定訂，易造成電力公司虧損或用戶無意願參加 ■ 離峰發電量的增加或會增加污染排放的社會成本 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 無法有效提升電力系統的效率 ■ 不適合用在離峰時系統負載需有必須運轉機組出力供電時 ■ 需掌握電力系統供需吃緊的時間與地區 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 饋網電價費率水準訂定不當，易導致成為對特定產業的移轉性支付 ■ 饋網電價費率訂定不當或無法轉嫁給消費者時，公用事業易造成嚴重虧損
適用時機與注意事項	為系統關鍵尖峰用電緊急時或系統安全與可靠度有威脅時啓用，在應用時，應多加考慮用戶的負載條件與技術配合	為電力系統負載尖離峰差距過大，或負載變化率過快時；應用此方案需注意電力公司的損益與社會成本變化，以及電力用戶的參與誘因與行為	適用於電力系統供不應求的時間與地區，同時需考量公用事業營收短少所導致的盈餘虧損程度	適用於大規模之電力系統或有智慧電網之電力系統；政府需注意方案補貼之財源與電價調整移轉機制
案例	如可停電力方案、需量反應	如時間電價、季節電價	如省電折扣優惠	如再生能源認購、綠電方案

表 5. 實證分析電力用戶對各項電力服務與節能行為之偏好的計量經濟模型

	聯合分析法 (Conjoint analysis, CA)	假設市場條件法 (Contingent valuation method, CVM)
觀點	由電力用戶觀點出發，探討其對各種電力服務與節能行為之偏好，同時推估電價結構改變時是否可改變電力用戶之用電行為	
模型所需資料與來源	透過問卷調查取得初級資料	
收益項	<ul style="list-style-type: none"> ■ 受訪者採行節能行為後，可有效節省其每月電費支出 ■ 一旦受訪者願意採行節能措施，供電系統則可增進需求面負載管理之效率 	
成本項	<ul style="list-style-type: none"> ■ 受訪者對有些節能行為需負擔安裝成本 ■ 政府推行之各項節能政策有其成本 	
分析方式	<ul style="list-style-type: none"> ■ 透過部分因子法產生直交的結果，設計不同節能措施方案組合，請消費者針對不同方案組合進行排序 ■ 以效用方式表達其偏好狀況，推估受訪者面對各項節能措施中的偏好順序 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 詢問受訪者願意接受各種假設性節能行為的最低節省電費門檻金額 (marginal willingness to accept) ■ 推估受訪者對各項節能措施的偏好 ■ 推估在不同電價組合下可能節省的負載量
優點	<ul style="list-style-type: none"> ■ 清楚得知用戶在空調、視聽、加熱、照明等家用電器類之電力服務的偏好順序 ■ 各方案之間的效用差異可以量化比較 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 清楚得知用戶在空調、視聽、加熱、照明等家用電器類之電力服務的偏好順序與邊際願受價格 ■ 可以得知會影響用戶節能行為的主要因素 ■ 由採行比例來看，愈是隨手可做或是成本低的行為，採行比例較高
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 可推估受訪者所重視的節能項目。 ■ 在收集資料上相當具有彈性，可依時間與經費限制，而選擇不同之問卷調查方式。 ■ 應用的範圍十分廣泛，舉凡行銷或景觀規畫等領域皆適用。 	
缺點及限制	<ul style="list-style-type: none"> ■ 即使以部分因子法呈現，如果方案組合過多，仍可能造成受訪者資訊負擔過重 ■ 問卷調查的成本高訪問對象為住宅用戶中的個體，是否足以代表其整個家庭，值得商榷 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 對於各假設情形，受訪者有時難以想像，故受訪而得之價格可能有偏誤 ■ 訪問對象為住宅用戶中的個體，是否足以代表其整個家庭，值得商榷
案例	本文之實證研究案例為住宅電力用戶	

2. 需求面管理及分散型發電系統之整合

日本發生 311 核能災變後，再生能源發展與能源需求面管理之重要性，在全球節能減碳議題中，更備受重視。事實上，廣義的能源需求面管理政策，亦包括發展分散式發電（Distributed Generation）系統，例如：用戶端（customer-based）、電錶後（behind the meter）、小型再生能源發電設施，藉以調節用戶端之電力負載需求。分散式發電的概念，並非要完全取代傳統中央發電式的供電型態，而是對於負載中心這種特定的尖峰用電需求，提供一種有效，且符合經濟的供電方式。尤其在都市化愈明顯的地區，大樓不斷增建，高樓用電在尖峰時段非常集中，而配電及變電設施卻因居民的反對而無法擴充，造成即使有發電容量也無法傳送電力的區域限電問題。在臺灣，這種現象已屢見不鮮，且情況愈來愈嚴重，此將使得分散型發電或儲能設施，搭配需求面管理方案，有很大的發展空間。

3. 需求面管理與分散型發電系統之環保優勢

需求面管理對於環保有正向的作用，除了提升發電端與輸配電系統效率以減少有效能源之損耗外，需求面管理若能有效節約一度電，等同於全球為了提供這一度電（由上述化石能源開採、運輸、轉換為發輸配電至最終需求端），至少省下五度電的供給量。分散型供電或是儲能設施在環保方面也具有市場利基。依據行政院環境保護署公告之標準，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。因為利用再生能源的分散型發電系統，可以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（如：懸浮微粒、硫氧化物、氮氧化物、核廢料等）產生，其動能之取得成本甚低（如：太陽能、風力等），相較於傳統的集中式發電而言，對於環境的衝擊較小，可減緩全球暖化的趨勢。另外，技術面以燃料電池（Fuel Cell）而言，其發電效率高及多元燃料之特性，藉由化學反應將化學能直接轉換為電能，為一直接的能源轉換裝置；具有高能量密度、質輕及較二次電池續航力更高的優勢，且具備低污染低噪音之特性，亦是近年備受重視的新一代能源供應技術，為整體能源需求面管理不可忽視的一環。

4. 資通訊科技與能源需求面管理之整合

由於資通訊科技成本大幅且迅速下降，但氣候變遷造成的外部成本卻急速上升。因此，透過資通訊科技之應用進行節能減碳措施，與過去相較，其經濟效益日愈顯現。而資通訊科技不斷的推陳出新，藉由物聯網（The Internet of Things, IOT）與數位化組織，加速跨學科創新與應用，更有助於能源需求面管理之整合應用。所謂物聯網係指透過資訊傳感設備與網際網路的連結，從而賦予物體「智能」，實現人與物體，或物體與物體之間的溝通和對話網路。惟物聯網大部分相關設備之運作皆需仰賴電力系統，因此當缺乏穩定的電力供應來源時，即有賴電力儲存系統（如電池）提供備用電力，以為支應。現階段各行各業中，以電業在物聯網的應用上最為廣泛。蓋電業本身即為電力供應者，其面臨電力來源供應不穩定之問題，較其他行業有相對優勢。目前由於物聯網無線通訊標準尚未統一，仍為各相關廠商所面臨之最大難題，也帶來電業變革及相關產業發展新的挑戰與機會。

事實上，資通訊科技帶給電力產業 21 世紀的最大挑戰與機會就是智慧電網的實現。此不僅意謂輸配電網路具有雙向互動與自我療癒的智慧，更意謂數位匯流（Digital Convergence）浪潮下所突顯的新世代網路（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、鄉鎮在正常情況下自給自足，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 的國家數位化政策。由此可見，資訊科技與能源需求面管理之整合，有其關鍵性。

5. 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。這種觀念將使電業不再只是提供使用者單一產品，而是提供不同品質（供電可靠度）的電力給不同的用戶，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，依據不同時段、不同供電可靠度、不同電壓、不同供電數量以及不同的電價來分解成各種不同的電力商品組合，提供各變電所的不同區域使用者選擇，以滿足各種用戶差異化的需求，進而促成電力市場的分級電價（Priority Service）之實現（Chao and Wilson, 1987）。

六、結論

根據先進國家能源需求面管理政策評估之實施經驗，美國與加拿大許多州（省）之政府相關監管單位通常要求 DSM 方案之規劃設計，至少應以一種檢定方法為主，並搭配其他檢定方法為輔。先進國家較常見的做法是採用社會整體為觀點的 TRC（或其變型 SCT）為主要檢定方法。若社會、環境外部效益不易估算，則以「加成」方式考量之。而 TRC 檢定最大的問題是無法衡量教育或體認方案，通常以拉高評估層級、衡量整體 DSM 方案組合的方式處理，以給予此類方案更多的提案空間與付諸實施的可能性。

由表 2 至表 5 可歸納出本文所探討的各類模型。綜觀上述各種模型，可由三個不同面向與評估角度加以闡述如下，分別是：（一）從國家與產業別之層面；（二）從各種不同 DSM 方案之層面；（三）從各個不同 DSM 方案用戶選擇之層面。以下即加以說明。

（一）國家與產業別層面：其評估觀點係出於國與國之間或各產業別之間，能源密集度或能源使用效率指標之比較，採用資料通常為由上而下（top-down）研究導向之時間序列次級統計資料。適用於探討各國或各產業能源使用效率改善（或惡化）之主要來源，以凸顯出關鍵性產業。當能源密集度指數大於 100 時，表示目標年的需求面能源使用效率較基期年為佳，不但可針對各年度之能源密集度進行比較，亦可針對橫斷面各產業間的能源密集度加以評比排序，界定出能源密集度惡化的重點產業，以利進一步探索該產業能源使用效率不佳之背後原因。然而，此一偏向整體國家社會與產業 EDISM 方案是否具成效評估模型，卻無法適用於基層各 DSM 方案之成效評估，有「見林不見樹」之侷限性。

（二）從各種不同之 DSM 方案層面：一般供需模型乃衡量 DSM 方案是否具經濟效率性，藉由消費者剩餘與生產者剩餘所代表的社會總剩餘做為方案的評估基準點，以追求潛在的柏瑞圖效率。其所採用的資料可同時包括初級資料（如透過市場問卷調查）或次級資料（如電力公司實施 DSM 方案相關歷史成本支出項目）。至於另一類 DSM 方案評估模型，乃財務面向之益本分析模型，主要包括四種不同觀點的檢定，亦即 PCT、RIM、TRC、UCT。這四種檢定方法的收益項與成本項主要因各不同觀點而略有出入，例如 TRC 將電費變化與獎勵誘因界定為移轉性支付，而 PCT、RIM 則僅著重於個別 DSM 方案之成效評估。至於技術評估模型（LCA）則是從 DSM 方案相關產品或燃料自其原料取得或開採、

加工製造與組裝、運輸銷售、消費使用、回收再利用至棄置等各階段對環境造成的影響與衝擊為其評估之出發點，其特色為考慮生命週期（綠色供應鏈）來分析 DSM 方案是否達成節能減碳的正面環境效益。惟此模型較適用於環境污染物之量化評估與比較，不易轉換為「可計數」之金額標準。同時相對缺乏特定地域性與時間性之數據，可能影響評估結果之精確度。LCA 僅能評估環境衝擊，並非所有潛在衝擊均可含納於模型中，且不易將之貨幣化。原因在於各類環境污染物（如空污、水污、固態廢棄物、輻射物等）之社會成本，因時因地而易，充滿不確定性，甚至容易受到操弄。

（三）從各個 DSM 方案用戶之層面：CA 與 CVM，乃由下而上（bottom-up）之研究取向，必須透過市場消費者問卷調查取得初級資料。由電力消費者觀點，探討其各種用電行為之偏好，同時推估電價結構改變時，是否可改變電力用戶之用電行為。同時也適用於各產業各類不同用戶（包括公部門或私部門）之個體行為研究，有助於電力公司對於某一類或某一個別用戶之用電行為偏好加以評估，但卻無法評估個別 DSM 方案之成效或個別產業之 DSM 方案成效，有「見樹不見林」之侷限性。由於社會資源具有相對的稀少性，有必要留意整體 DSM 方案或方案組合（portfolio）所耗費之社會資源分配效率，方能實現社會整體福利最大化的柏瑞圖最適（Pareto Optimum）。由於世界各國電力市場逐漸自由化，發電批發市場（Generation Wholesale Market）的競標制度已成爲常態，各種可能的發電方式，皆有均等機會參與公平競爭。而分散型發電系統往往較接近負載中心，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。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，制定引導上述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。展望未來，新世代的智慧電網，如何能有效地將需求面管理方案與中央發電系統及分散型發電系統密切整合？同時結合儲能系統降低再生能源供電不穩定的風險？確保電力系統運轉的可靠度，並維持合理電價？均是未來電力政策重要議題與新的挑戰。這些課題都是未來值得進一步努力探討的研究對象。

參考文獻

- 朱圃漢、許志義（2011）。「台灣住宅部門熱泵系統之成本效益分析」，發表於《應用經濟學術研討會》。
- 宋炎明（2005）。「熱泵系統應用於溫室內游泳池之節能分析」。碩士論文，台北科技大學冷凍空調工程學系。
- 林俊吉（2009）。「電力負載管理經濟效益之研究－以校園用電爲例」。碩士論文，彰化師範大學電機工程學系。
- 高志宇（2009）。「太陽能結合熱泵應用於溫水游泳池之佳化分析」。碩士論文，國立台北科技大學冷凍與低溫科技研究所。
- 許志義、黃國暉（2010）。「台灣能源需求面管理成本效益分析之應用」，發表於《第五屆應用經濟學術研討會》。
- 許志義、顏海倫（2011）。「美國能源需求面管理政策探討」，發表於《第四屆海峽兩岸能源經濟學術研討會》。

- 江玄政、黃國恭、黃雪娟 (2001)。ISO 14000 系列：生命週期評估技術與應用手冊。台北：財團法人台灣產服務基金會/財團法人中技社。
- 劉書宏 (2010)。「建築物地源熱泵系統之生命週期評估」。碩士論文，臺北大學公共事務學院自然資源與環境管理研究所。
- 謝智宸、林素真、張建隆、彭佳玲、紀宜穎 (2009)。「可停電力電價改善方案之研究」，*台電工程月刊*，第 730 期，47-70。
- 謝嘉豪 (2011)。「台電需求面管理之經濟分析--用戶計劃性減少用電措施案例」。碩士論文，政治大學經濟學系。
- Aalami, H. A., M. P. Moghaddam, and G.R. Yousefi (2010). "Demand Response Modeling Considering Interruptible / Curtailable Loads and Capacity Market Programs." *Journal Applied Energy*. 87(1): 243-250.
- Barnes, H. and G. Jordan (2006). *EERE Guide for Managing General Program Evaluation Studies*. US Department of Energy.
- California Energy Commission (2008). *Energy Efficiency: The First and Most Profitable Way to Delay Climate Change*. United State: Pacific Energy Center.
- Cappers, P., C. Goldman, and D. Kathan (2009). *Demand Response in U.S. Electricity Markets: Empirical Evidence*. United States: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Chao, H. P. (2010). "Price-Responsive Demand Management for a Smart Grid World." *The Electricity Journal*. 23(1): 7-20.
- Chao, H. P. (2009). "An Economic Framework of Demand Response in Restructured Electricity Markets." ISO New England, Holyoke, MA.
- Chao, H. P. and R. Wilson (1987). "Priority Service: Pricing, Investment, and Market Organization." *American Economic Review*. 77(5): 899-916.
- Rey, F.J., J. M. Gil, E. Velasco, D. Perez, F. Varela, J.M. Palomar, and M.P. Dorado (2004). "Life Cycle Assessment and External Environmental Cost Analysis of Heat Pumps." *Environmental Engineering Science*. 21(5): 591-605.
- Rey, F.J., E. V. Gomez, C. M. Garcia, J.F. S. Requena, L.M. N. Garcia, S. H. Navarro, A. C. Guimaraes, and J. M. Gil (2010). "Life Cycle Assessment of a Semi-indirect Ceramic Evaporative Cooler vs. a Heat Pump in two Climate Areas of Spain." *Applied Energy*. 88(3): 914-921.
- Rodríguez, J.C. (2003). "Life Cycle Assessment of Wood-Based Ethanol-Diesel Blends (E-Diesel)." International MSc in Environmentally Sustainable Process Technology, Chalmers University of Technology, Master of Science Thesis.