

日本進行電力需量反應動態定價之實驗

張景淳

工業技術研究院 綠能與環境研究所

摘要

日本在福島核災事件後，陷入電力供應短缺之問題，日本政府於是採取一系列的電力供需管理措施，其中在需求端進行「需量反應」之實驗，欲藉此項實驗，瞭解削減夏季與冬季用電尖峰時段電力需求之成效，緩解電力供需緊張問題。對此由日本經濟產業省主導，在日本全國四個地區(橫濱市、豐田市、關西文化學術研究都市【京都府】、北九州市)進行「新一代能源及社會體系實證」，以打造日本智慧電網及智能城市的未來型態為首要目標。

其中，北九州智能社區之動態定價策略，係根據電力供需狀況，先對家庭全面採取「分時電價」，再根據氣溫變化等，採用五級電價體系，根據第二天的電力預測，以30分鐘為單位，告知用戶具體電費；而橫濱市計畫嘗試「尖峰時間折扣」，以住宅、辦公大樓、商業店鋪等為實驗對象，在供電吃緊時段，向節電用戶支付協助金或其他折扣方式，模擬電價的變動。日本目前正極力擴大進行電力需量反應動態定價之實驗，並積極鼓勵民眾自願投入參與，雖此實驗屬初始階段，評價其效果還為期太早，但就實驗部分之電力消費量，確實有一定的節省。

一、前言

2011 年 3 月日本福島核災事件以來，日本核電廠設備利用率在 2011 年 12 月降至 15% 左右，不斷刷新歷史最低紀錄，以東日本大地震後的電力短缺為契機，面對此種現象，日本採用「需量反應」(Demand Response, DR)的趨勢日益增強，並且加快對該技術進行實

證實驗。日本政府欲藉由此項實驗，瞭解削減用電高峰時段電力需求之成效，以緩解電力供需吃緊問題。

二、 需量反應之簡介

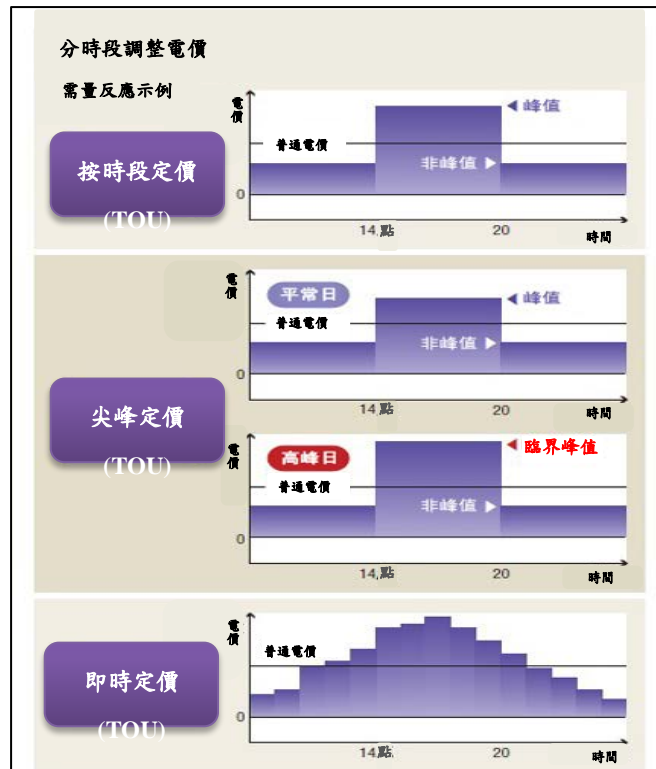
需量反應係指當電力批發市場價格升高或電力供應可靠性不足時，電力用戶接收到供電方所發出之勸導性減少用電的直接補償通知或電力價格上升之資訊後，電力用戶改變其原有之用電習慣，達到減少用電或轉移某時段用電量，進而回應電力供應之情況，保障電網穩定性，此做法為需求面管理¹(Demand Side Management, DSM)的解決方法之一。

需量反應的概念，源自於美國在進行電力市場化改革之後，針對電力需求面管理，如何在競爭市場中充分發揮作用，以維持電力系統的可靠性和提高市場之運行效率。一般來說，可以依照電力用戶不同的響應方式，將電力市場下的需量反應劃分為兩種形式，如下（各種需量反應方案列於附錄一）：

(一)基於價格：用戶根據收到的價格資訊，相應地調整電力需求。其動態定價方式，亦可分為三種：

1. 分時電價(Time of Use Pricing, TOU)：根據時段事先設定電價。例如：一度電的價格，早晨和傍晚為 10 日圓、白天為 30 日圓、夜間為 5 日圓。
2. 即時電價(Real Time Pricing, RTP)：以小時為單位，隨時調整電價。
3. 尖峰電價(Critical Peak Pricing, CPP)：把夏季下午之尖峰時段電價，提高到平常數倍以上。

¹ 需求面管理：在政府法規和政策的支持下，採取有效的激勵和引導措施以及適宜的運作方式，通過發電公司、電網公司、能源服務公司、社會中介組織、產品供應商、電力用戶等共同合作，提高終端用電效率和改變用電方式，在滿足同樣用電功能的同時減少電量消耗和電力需求，達到節約資源和保護環境，實現最低成本能源服務所進行的管理活動。



資料來源：日經能源環境網

圖 1、需量反應之動態定價方式

(二)基於獎勵：需量反應實施機構根據電力系統供需狀況，制定相對應的對策，其中包含直接負載控制(Direct Load Control, DLC)、可中斷負載(Interruptible Load, IL)、需求側競價(Demand Side Bidding, DSB)、緊急需量反應(Emergency Demand Response, EDR)、容量市場和輔助服務項目等。

在實施響應計畫之前，通常實施機構要與參與用戶提前簽訂契約，其契約的內容通常包含削減用電量及核算基準、響應持續的時間、提前通知的時間、補償或電價折扣標準、以及違約的懲罰措施等。而參與用戶獲得的獎勵方式有兩種，如下：

1. 獨立於現有電價政策的直接補償
2. 在現有電價基礎上給予折扣優惠

日本準備普及電力需量反應，即在預計會出現電力供需緊張的尖峰時段，設定動態的電力價格。此措施需在各用戶處設置智慧電表，可測量不同時段之耗電量，並告知用戶不同時段之電價，但此一措施需巨額投資設備，且需花費較長時間建設。故目前日本先在與系統電網分離之「封閉電網系統」中，採用需量反應，進行實證實驗。

三、 日本「新一代能源及社會體系實證」

由日本經濟產業省主導，在日本全國四個地區(橫濱市、豐田市、關西文化學術研究都市【京都府】、北九州市)進行「新一代能源及社會體系實證」之實驗，以打造日本智慧電網及智能城市的未來型態為首要目標。

日本311福島核災之後，太陽能、風力等再生能源之大規模利用，顯得更加重要。然而，為了大規模利用這些再生能源，就必須建構新型配送電網(智慧電網)，以提高電力使用效率，穩定電力之供需。在此背景下，日本經濟產業省於2009年11月成立內部跨部門團隊「新一代能源及社會體系協議會」，並於隔年1月公開招募智慧電網以及智能城市社會實證地區，最後確定在橫濱市、豐田市、關西文化學術研究都市【京都府】、北九州市四個地區進行實證實驗。

此四個地區的社會實證設計為2010年至2014年之五年計畫，對智慧電網及智能城市的相關技術、結構、商業模式等進行驗證，其中包含能源使用的可視化、家電與熱水器的控制、需量反應(供給方根據能源需求狀況促使消費者進行電力消費的調整)、電動汽車(EV)與家庭的結合、蓄電系統的優化設計、EV充電系統以及交通系統等。透過這些技術，以系統性的方式結合，建構區域能源管理系統(Community Energy Management System, CEMS)，以實現區域內能源整體優化使用的目標。以下就實驗項目中，與需量反應有關之北九州市與橫濱市作介紹：

(一) 北九州市

1. 計畫概要

針對區域能源管理進行規劃，以建構未來低碳社會體系。透過系統管理之「區域節電所」運作，形成供給端和需求端共同參與能源管理的社會結構。其中，能源使用的可視化將會對供給端之經營方式和需求端之生活方式造成改變。

計畫方針係針對環境設施的改善、各種新能源的利用以及實施需量反應，將夏季白天等尖峰時段之用電量減少 15%，實現二氧化碳減少 30%的目標。為此，將採取以下五種措施：

- 將太陽能發電、燃料電池、小型風力發電等新能源的導入率提高 10%。
- 開發與區域能源管理連動的 HEMS 與 BEMS，提高家庭與大樓的節能效果。
- 綜合運用先進的能源調控、電動汽車(EV)、蓄電池等，完善「區域節電所」，實現能源流通的完整性。
- 在完善 EV 等所需充電設施的同時，建構自行車與公共交通部門相互協調的新一代交通體系。
- 透過「亞洲低碳化中心²」將在實證中所取得的技術成果，向國際推廣。

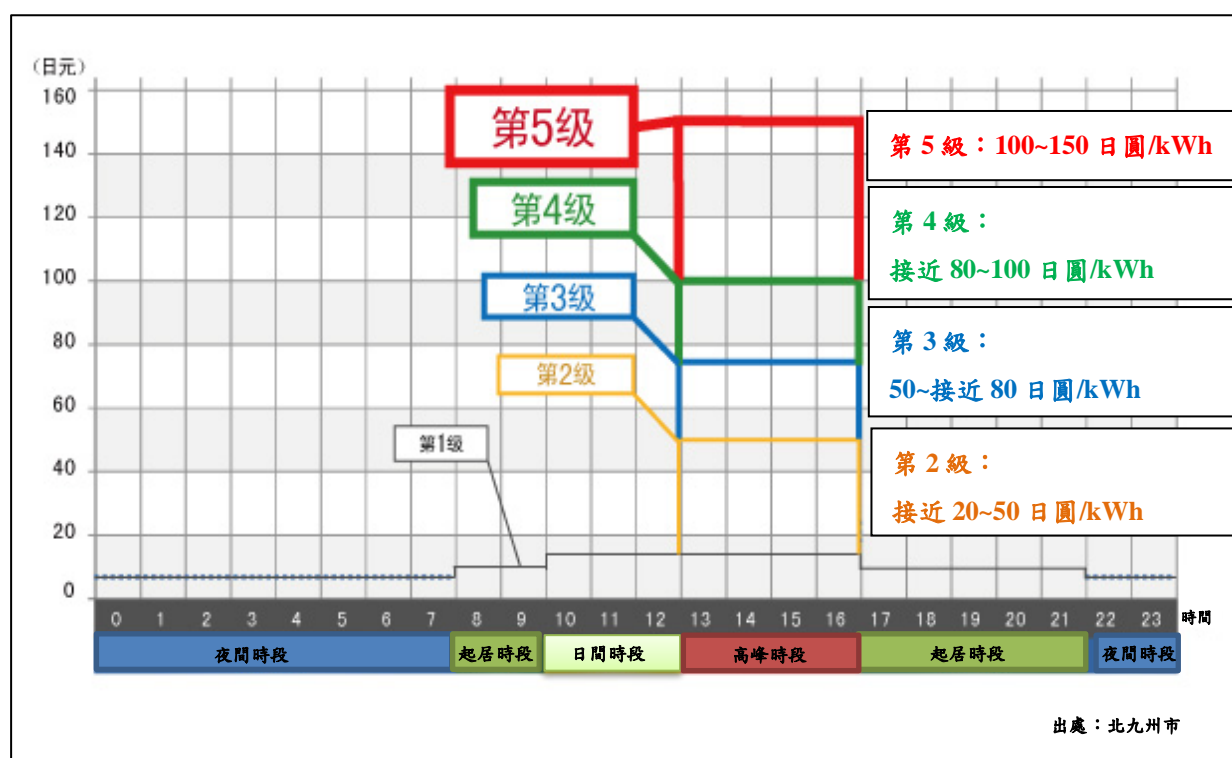
2. 實證實驗：改變電價，促進節電節能

北九州智能社區的一大特點，即是動態定價策略。將新日本製鐵公司出資建設的天然氣發電站「東田 COGENE」作為電源中心，向各用戶供電。根據電力供需狀況，設定不同的電價，促使電力消費行為的改變。從 2012 年 4 月開始，當預測會有電力供需吃緊問題時，便開始運行區域能源管理系統 (CEMS)，針對家庭用戶對電價變動，所做出的反應進行實驗。

北九州市針對此地區內的 200 戶家庭和 700 個事務所為實

² 亞洲低碳化中心：日本北九州市立志打造「全球環保首都」及「亞洲技術首都」的城市品牌，作為環保模範城市，成立「亞洲低碳化中心」，作為該活動的核心設施。

驗對象，先對家庭全面採取分時電價(TOU)，再根據氣溫變化等，採用五級電價體系。此五級電價體系是根據第二天的電力預測，以 30 分鐘為單位，告知用戶具體電費。在需求較大的時段設定較高的電費，促使消費者採取節電措施，並統計此一措施可節省多少電力。在北九州市的動態定價策略中，向一般家庭採用之五級電價體系，如圖 2 及表 1 所示，根據電力供需的緊張程度，改變電價級別。



資料來源：Japan Smart City, 2012

圖 2、日本北九州市之五級電價體系

表 1、日本北九州市之五級電價

五級電價	第一級	第二級	第三級	第四級	第五級
電價級別	早晨和傍晚 10 日圓/kWh	接近 20~50 日圓/kWh	50~接近 80 日圓/kWh	接近 80~100 日圓/kWh	100~150 日圓/kWh
	白天 15 日圓/kWh				
	夜間 6 日圓/kWh				

資料來源：Japan Smart City, 2012

動態定價策略，適用於夏季(六至九月)的 13 時至 17 時，以及冬季(十二月至三月)的 8 時至 10 時和 18 時至 20 時。當夏季平日預測氣溫最高達到 30°C 以上，或者冬季平日的預測氣溫最低達到 5°C 以下時，電價設定為第 2 級至第 5 級中的某一級別。所有電價級別，會在前一日以及當日早晨，透過智慧電表通知用戶端，用戶端可以透過無線網路與智慧電表相連接的平板終端(室內顯示螢幕)來確認電價。

(三)橫濱市

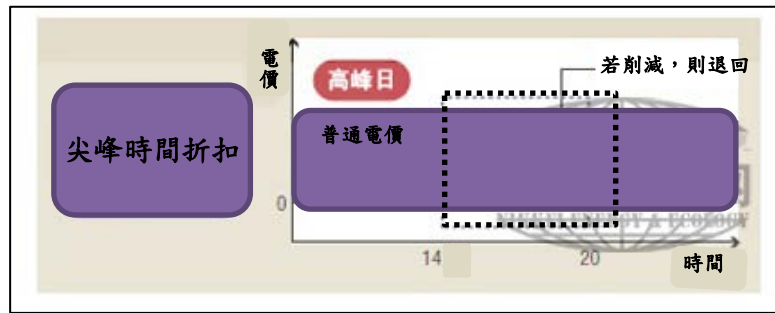
1. 計畫概要

將能源管理系統(EMS)按層次進行組合，在各 EMS 的能源管理功能基礎上，從整體的方向，進行需求方的能源管理。EMS 係根據環境，實現能源的可視化，其中又可分為家庭能源管理系統(HEMS)、大樓能源管理系統(BEMS)與工廠能源管理系統(FEMS)，根據電力供需狀況，抑制尖峰電力。同時，進行大規模需量反應實證，藉由向需求方發送帶有獎勵措施的電力使用限制請求，促使電力需求下降，以較低的社會成本實現溫室氣體減量。

2. 實證實驗

(1)「尖峰時間折扣(PTR)」之需量反應實驗

北九州市在接近實際運作環境下進行電價調整的實驗，但此一作法在有電力公司的參與下，具有困難之處。因為橫濱市隸屬於東京電力公司，無法更改其電價體系，因此橫濱市計劃進行「尖峰時間折扣(PTR)」實驗(如圖 3)，以該市 4000 戶居民為實驗對象，實驗地區包含住宅、辦公大樓、商業店舖等，在供電吃緊時段，向節電用戶支付協助金或其他折扣方式，模擬電價變動。



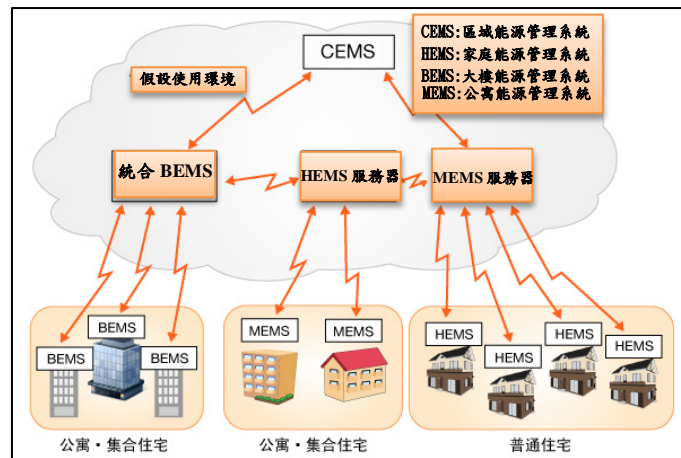
資料來源：日經能源環境網

圖3、日本橫濱市之尖峰時間折扣

(2) HEMS實證

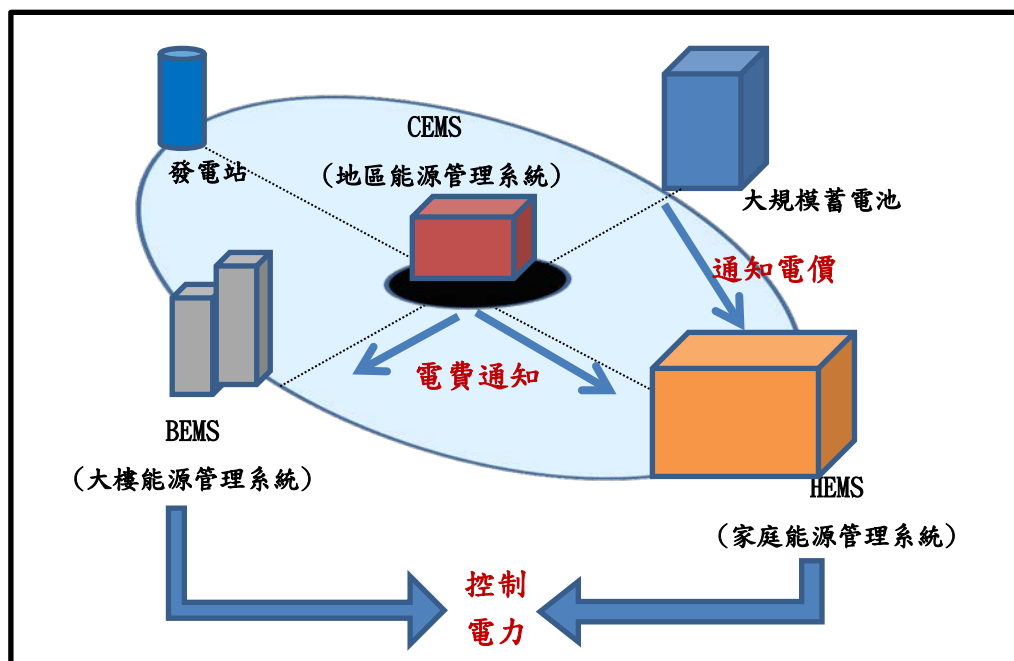
日本橫濱市將建構對普通家庭、公寓和辦公大樓、商業設施、工廠等進行一元化管理之區域能源管理系統(CEMS)。橫濱市不僅號召企業參與「橫濱智能城市計畫」，亦期望市民能夠積極參與，探究以HEMS為核心之未來家庭能源使用形態。為此於2011年度招募562戶自願參加之家庭，導入以戶為單位之能源使用可視化，顯現其節能效果。

CEMS對住宅及辦公大樓等各種EMS進行分級，實現整體優化公寓/集合住宅之目標。具體來說，藉由BEMS和HEMS與CEMS之連接，達到減少電力需求之成效(如圖4與圖5)。其中，HEMS著重導入家庭智慧電表、太陽能發電系統、定置式蓄電系統、燃料電池、空調、照明設備與熱水器等；而MEMS(公寓管理系統)則是增加大廳和電梯等管理部分；至於BEMS則是著重節能照明控制、能夠實現需量反應最大化之蓄電池、蓄電設備，以進行優化控制。



資料來源：Japan Smart City, 2012

圖4、CEMS能源管理系統關係圖



資料來源：能源經濟網、本研究整理。

圖5、CEMS能源管理系統流程圖

四、日本動態電價之實施成效


在一般的需量反應實證中，電價變動後的電力消費，完全取決於電力用戶本身，故分析認為，動態定價在夏季電力供需吃緊時段之電價，具有促進節電行動的效果。北九州市之五級電價體系，充分利用電力供需預測之資訊，更精準地改變電價。

以北九州市 2012 年 7 月 5 日之動態電價實驗為例，針對家庭設定尖峰時段 13 到 17 時的電價，從 15 日圓提高到 50 日圓，在尖峰時段，實施電價改變的家庭之平均用電量為 1.3 度(kWh)，相對減少 12.1%的用電量，其節電效果如表 2 所示。

表 2、北九州市節電成效

2012/07/05	電價改變的家庭	電價不變的家庭
戶數	74 戶	42 戶
平均用電量 (13~17 時)	1.31 kWh	1.49 kWh

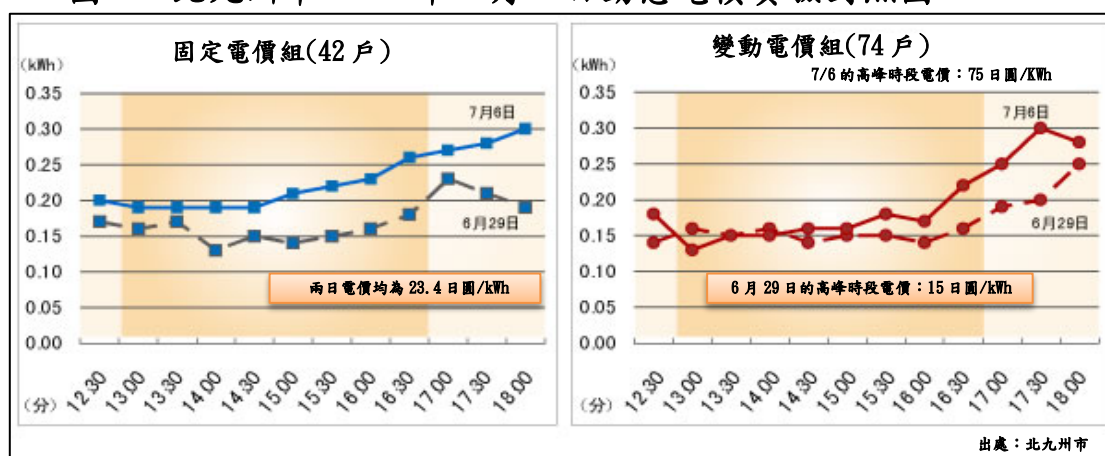
減少 12.1%



資料來源：日經能源環境網

另外觀察 2012 年 7 月 6 日之用電量，北九州市預測當天最高氣溫將達到 30℃ 以上，並通知電價改變的家庭將實行第 3 級電價(75 日圓/kWh)，與 2012 年 6 月 29 日(氣溫：29.1℃，電價：第 1 級 15 日圓/kWh)相比，當日氣溫為 30.6℃，節電效果如圖 6 所示。電價不變的家庭平均用電量增加 0.44 kWh(35.5%)，而電價改變的家庭只增加了 0.11 kWh(9.1%)，節電效果達 26.4%。

圖 6、北九州市 2012 年 7 月 6 日動態電價實驗對照圖



資料來源：日經能源環境網

對此結果，北九州市智能社區分管課長柴田泰平表示，雖此實驗屬初始階段，評價其效果還為期太早，但電力消費量確實有一定的節省。

五、 結論與我國可參考借鏡之處

日本進行電力需量反應動態定價之實驗，仍持續擴大進行中，然政府之所以可鼓勵民眾自願投入參與電力動態定價之實證，一部分原因乃係甫經歷福島核災事件，一般民眾對於國家能源安全具有危機意識。且在2012年日本夏季節電實績報告中，對住宅部門調查實施省電的理由，以北海道、關西、九州與四國地區之家庭做為調查對象，有三成三的民眾認為「因2011年的東京電力的計畫性停電，而認為事態嚴重」(表3)，再次說明，一般的需量反應實證中，電價變動後的電力消費，取決於電力用戶本身。

表3、節電相關問卷調查(住宅部門)

回答占比	實施省電的理由
71.25%	認為省電可以節約電價
55%	看見政府或電力公司的宣傳或報紙，認為必須要有家庭的協助
36.25%	省電一事已成習慣
33.25%	因去年東京電力的計畫性停電，而認為事態嚴重
24.25%	認為省電的話就不需要核能發電廠
17.5%	在職場等有呼籲在自己家中也要省電
備註：	
1. 在北海道、關西、四國與九州電力管轄內對各1000戶家庭實施問卷調查。	
2. 北海道(897戶)、關西(854戶)、九州(906戶)、四國(876戶)。	

資料來源：日本電力供需驗證委員會，第七回，2012。

此外，電力需求的價格彈性，一般認知中偏小，短期彈性更小。對動態電價之實驗來說，電價調漲資訊的告知，可以兩種現象討論之：

- 提前一年通知：民眾可以提前替換節能、高效率產品，亦或對企業來說，可視其電價調漲幅度安排其生產順序。
- 提前一天或幾個小時通知：改善家庭之照明時間、空調溫度，可以改變之行為有限。

日本之動態電價調整實驗為初始階段，對其效果進行評價言之過早，但對住宅部門之電力消費量進行實驗，確實有其數量上一定的變化。不過，長期來說，若欲進一步由家庭擴大到工業界，如促使工業縮小生產範圍之節電措施，則必得將電力價格拉升至各大廠區一開工生產，即有虧損之區域，否則很難達成；借鏡日本之作法，台灣民眾沒有日本如此強烈之危機意識，對於民眾自願參與實驗之誘因，得另行評估。

另外，以我國為例，目前需量反應分為兩種，第一種為系統尖峰時間用戶配合減少用電優惠電價，此計畫又分為七種，其中四種屬於計畫型，其餘三種是屬於臨時型；與日本的計畫性、隨時性調整契約相似。我國第二種為需量反應，完全屬於臨時型。上述兩種的差別在

於，需量反應有相對應的罰則，而另一種沒有，所以台灣在需量反應的參與上，甚少廠商願意選擇；亦因台灣近幾年不缺電，所以台灣電力公司較不會推行這樣的措施。最後，我國企業參與需量反應之意願低落的另一項原因，尚因目前台灣的製造業為應付急單，所以對於台灣電力公司臨時調度的接受度不高，亦因為我國目前對於需量反應之誘因不夠高，未達到企業願意放棄急單，來賺取台電的價差之水平。以下本研究列出我國實施需量反應措施所面臨之瓶頸：

- 產業用戶參與面：我國在傳統產業市場逐漸飽和，而新興產業則受限於其用電特性。
- 一般用戶參與面：在一般用戶方面，其可移轉的負載有限，且選用時間電價利益有限。
- 環境制度面：我國目前偏低的電價不易帶來需量反應的效益，且夏季空調負載成長，易抵銷抑低尖載成效。

對此，我國若要進行需量反應，未來仍需努力方向並借鏡日本之處，本研究列出以下幾點：

1. 反應供電成本及研議具節電誘因之電價制度

我國在實施需量反應面對之挑戰，即偏低之電價不易呈現需量反應帶來之效益，故未來反應合理的供電成本，為必要條件；另外，我國企業為應付急單，故參與需量反應之願意低落。對此，日本之作法，係與企業簽訂契約，以前一天告知電價為原則，在電價改變之時段，採取「1-3係數」之作法，即尖峰時段之電力價格，相當於電力單價乘上係數(1、2、3)。然而，我國尚需評估與企業簽訂計畫性契約之潛力，以及需要多大誘因，方可鼓勵企業參與。

2. 配合智慧型電表基礎建設以及能源管理系統建置，提供用戶用電資料，以利節電

仿照日本「新一代能源及社會體系實證」，可導入家庭能源管理系統(HEMS)和大樓能源管理系統(BEMS)，全面

推動家用電器之電力能見化，讓一般民眾可查詢電力消費情形，以獲取電費資訊，讓節電目標量化，以便隨時檢驗自宅節電成效。

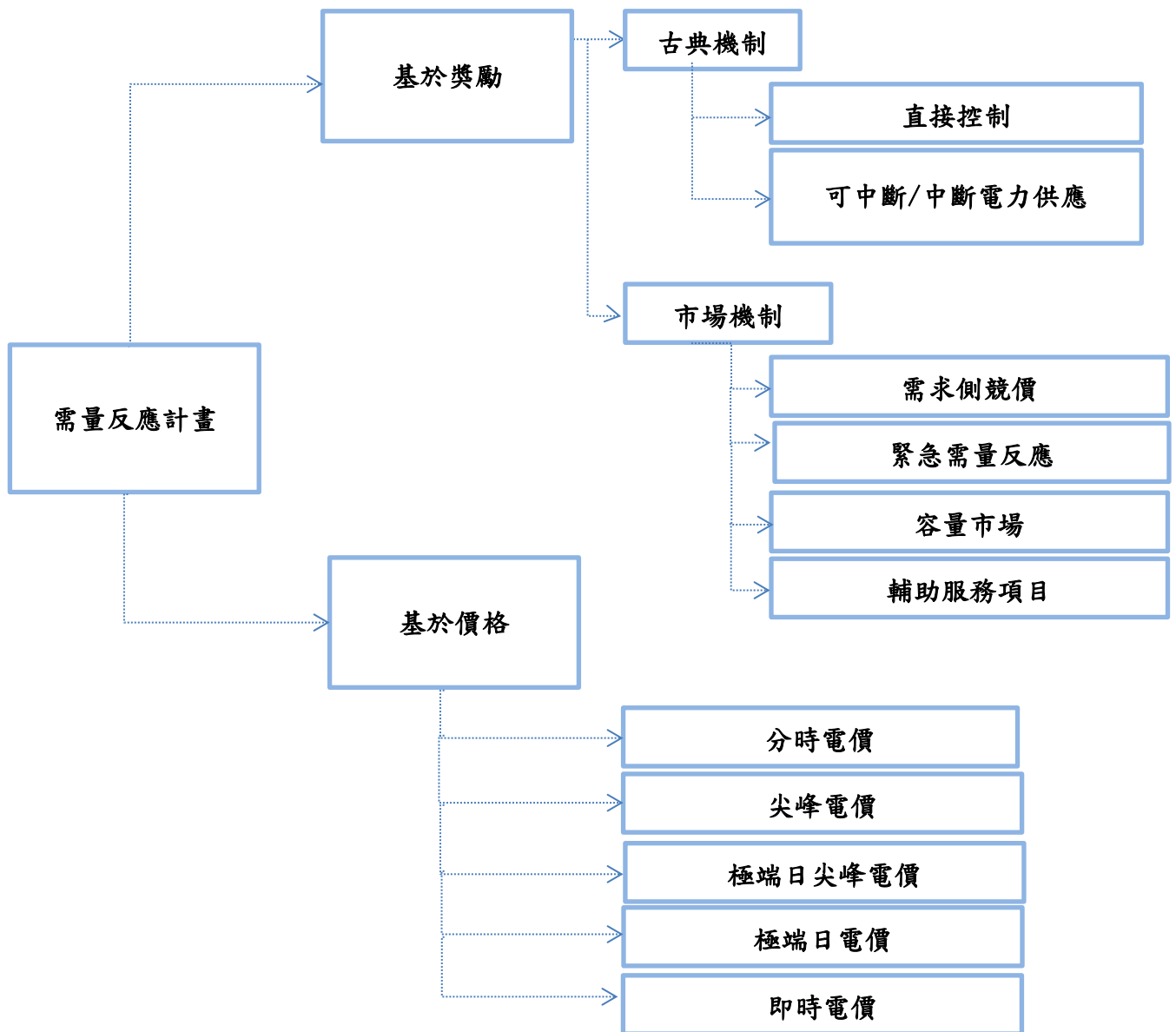
3. 配合相關法規之修訂及電力交易環境之建立，修改我國現行需量反應措施

我國相關法規之修訂，涉及經濟、民生與環境等多面向，政府應以審慎態度處理之；對此，必須衡量對社會經濟衝擊與物價之影響，兼顧社會大眾之接受度；日本「新一代能源及社會體系實證」之推行，並非強制家庭住宅部門參與，而是先以實驗性手法，鼓勵民眾自由響應；我國在推行宣導措施的部分，尚需提高民眾自願參與之誘因及提高需量反應之資訊能見度，方能帶動產業面與一般用戶的參與。

參考資料

1. Albadi, M. H. & El-Saadany, E. F. (2007), "Demand Response in Electricity Markets: An Overview," *Power Engineering Society General Meeting, IEEE*, pp.1-5.
2. IEK 產業情報網 <http://ieknet.iek.org.tw/>
3. Japan Smart City 網站 <http://jscp.nepc.or.jp/cn/index.html>
4. 日本經濟產業省網站 http://www.meti.go.jp/committee/gizi_8/6.html
5. 日經能源環境網 <http://big5.nikkeibp.com.cn/eco/>
6. 日本電力供需驗證委員會會議資料，第七回，2012。
7. 台灣電力公司業務處(2012)，各情境下我國電力缺口—需量反應因應策略。
8. 鄭婉真(2012)，「BEMS 系統發展趨勢」，IEK 產業情報網。

附件一、各種電力需量反應計畫



資料來源：Albadi, M. H. & El-Saadany, E. F.(2007), IEEE.