



## 電力部門需求面管理

### —美國、日本及歐洲各自發展出獨特的需求面管理方式

許雅音

工業技術研究院 綠能與環境研究所

#### 摘要

需求面管理分為兩大部分，第一是大家所熟知的提高能源效率，第二則是需量反應。在美國、日本及歐洲，紛紛投入資源推動需量反應，且因為各自有不同的課題與需求，因此發展出獨特的電力部門需求面管理方式，我國應參考各家所長並且找到最適合我國需求面管理的方式，實為當務之急。

關鍵詞：需求面管理、需量反應

#### 一、前言

現今的社會，電力部門在供給面的開源上，由於環評、抗爭等種種因素已經不像過去那麼簡單與容易，因此從需求面著手進行管理，變得格外重要。

需求面管理分為兩大部分，第一是大家所熟知的提高能源效率，透過策略性節約能源或是更換電器設備等，達到降低電力需求。第二則是需量反應，分為抑低尖峰負載、拉高離峰負載，及轉移系統負載三大方式。目前需量反應措施的機制分為兩種，一種是價格型，包含季節電價與時間電價，另一種是誘因型，包含計畫性需量反應、臨時性需量反應、需量競價、空調暫停用電優惠，及儲冷空調離峰用電優惠等。

需量反應能做多種應用，應用市場分為容量市場、電能市場，及輔助服務。容量市場是指做為提供電力系統資源裕度的方案，而電能市場則是指將需量反應做為電能資源，也就是個人或整合性的消費者

在電能價格高漲時，因應系統需求而減少負載，或在電能價格偏低時增加負載。特別值得一提的是，輔助服務是指為維持電力系統的安全穩定運行或恢復系統安全，以及為保證電能供應，滿足電壓、頻率等品質要求所需要的一系列服務。

電力部門需求面管理是現今能夠以最小的成本達到電力供需平衡的模式，在美國、日本及歐洲，都因為各自有不同的課題與需求，因此發展出獨特的電力部門需求面管理方式，我國應參考各家所長並且找到最適合我國需求面管理的方式，實為當務之急。

## 二、美國需量反應的成效

美國需量反應最早始於 1970 年代，多以分散中央空調使用降低負載率與夏季尖峰負載。至 1980 年代，因整合資源計畫概念，與尖峰負載系統成本逐漸增高，開始鼓勵負載管理方案，期間電價費率設計與誘因獎勵計畫為多數電廠採行的需量反應計畫。

需量反應依其影響電力市場價格的程度分為完全整合的市場基礎型需量反應(Fully-Integrated Market-based DR)、市場反應型需量反應(Market-Reactive DR)，及非市場型的區域需量反應。完全整合的市場基礎型需量反應可直接參與市場競標，並影響市場結清價格，而該 DR 也可同時接受系統營運商的調度。市場反應型需量反應通常是依市場訊號而反應，非完全整合，而該計畫提供的服務與完全整合性的 DR 類似，也受系統營運商調度，但無法影響市場價格。至於，非市場型的區域需量反應則無法參與電力批發市場，僅是由區域電廠或營運商調度。

美國能源資訊局(U.S. Energy Information Administration, EIA)的電力部門統計涵蓋銷售、營收和需求面管理，可用來初步檢視各州電力部門需求面管理成果。2014 年美國 51 州電力部門對最終消費者的售電量為 37,647 億度(大約是臺灣最終電力消費量的 16 倍)。用電大州是德州(占 10%)、加州(7%)和佛羅里達州(6%)，其他州占全美用電

都不高於 4% [1]。

EIA 統計的需求面管理有能源效率計畫和需量反應計畫。這兩類計畫都有統計節電量和抑低尖峰容量。美國電力部門需求面管理的節電量主要來自能源效率計畫。各州用電規模差異大，因此以節電量占售電量之比例(以下簡稱節電率)檢視成果。2014 年美國 51 州平均節電率 0.74%，有 17 州的節電率達到 1% 以上，如圖 1 所示。

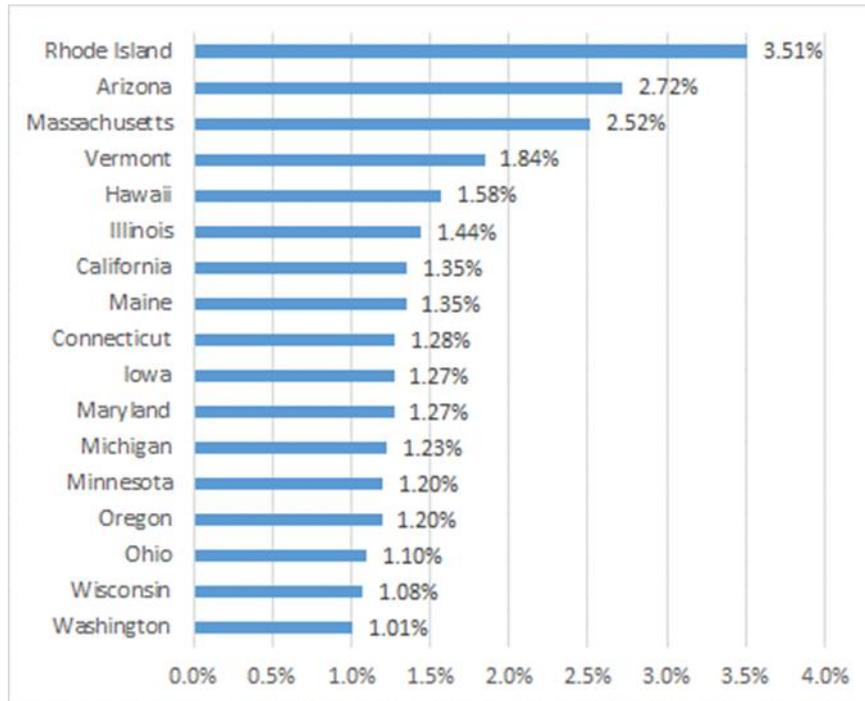


圖 1、美國電力部門需求面管理節電率 1% 以上的州[1]

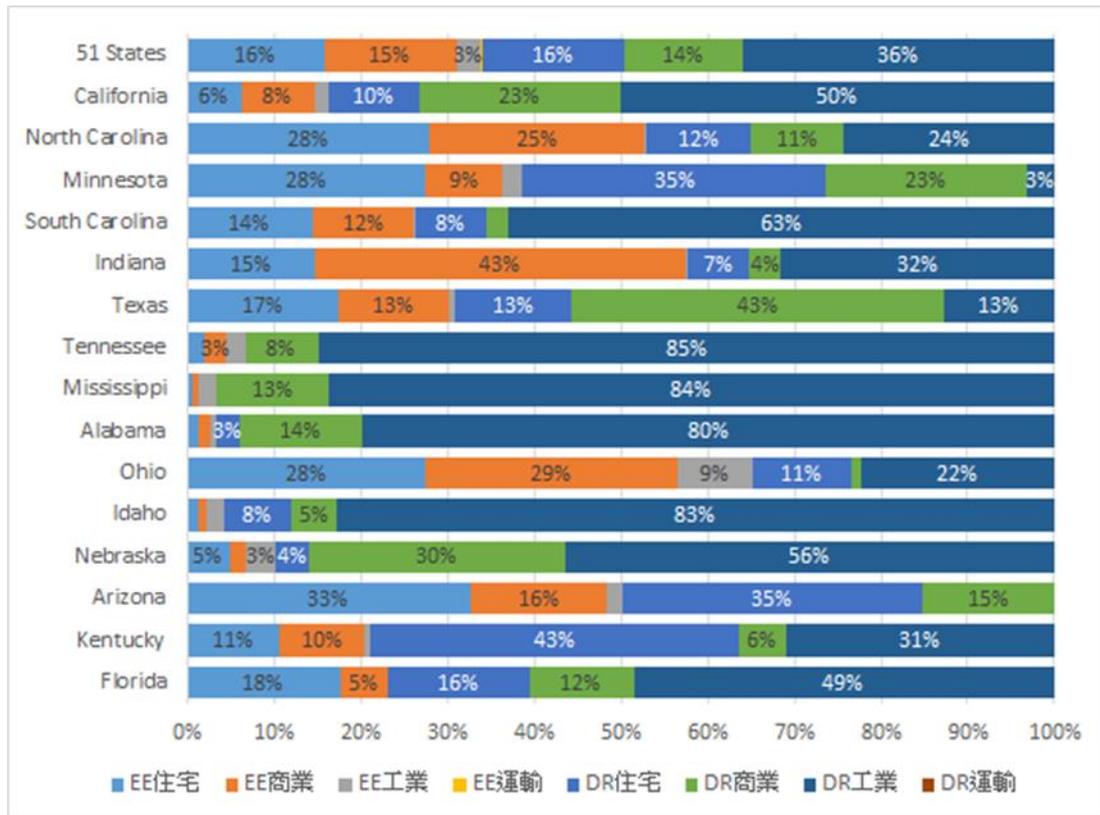
其中亞歷桑納州和華盛頓特區的需量反應節電量相當突出，與能源效率計畫節電量不相上下。亞歷桑納州的能源效率計畫和需量反應計畫節電率各是 1.57% 和 1.14%，華盛頓特區各是 0.47% 和 0.47%。

檢視 2014 年 51 州需求面管理抑低尖峰容量的構成，工業部門需量反應計畫占 36%，住商部門需量反應計畫占 30%，住商部門能源效率計畫占 31%，如圖 2 所示。

儘管各州電力部門需求面管理的義務和規範、能效計畫成效的測量和查證方法不同，這些資訊可以讓能源政策研究者初步找出可進一步去研究的對象，例如亞歷桑納州和華盛頓特區的住商部門需量反應

計畫，加州的工業部門需量反應計畫。

並且根據前述提到的需量反應依其影響電力市場價格的程度的分類，或許能夠推測，如亞歷桑納州和華盛頓特區的需量反應節電量高的州，所實施的需量反應計畫已經到達了完全整合的市場基礎型需量反應(Fully-Integrated Market-based DR)，能夠影響市場結清價格。



備註：EE 是指能源效率計畫，DR 是指需量反應計畫。

圖 2、抑低尖峰容量前 15 大州的抑低量的部門別構成[1]

特別值得一提的是，亞歷桑納州的住商部門需量反應計畫占該州節電量 50%，有如此優異的成績，這與亞利桑那州所推動的裝設智慧電錶計畫(Salt River Project)有關係，該計畫提供的電價誘因是整體客戶滿意度最高的，透過該計畫的協助，亞利桑那州的用戶在炎熱的夏天降低了尖峰負載，而響應計畫的住商部門也得到降低電費的獲益 [2]。

亞利桑那州的住商部門有如此高效率的需量反應成效，除了裝設

智慧電錶計畫(Salt River Project)之外，事實上在推動該計畫前就針對如何釋出住商部門的潛在電力有了一定程度的了解。

### 三、住商部門需量反應的三大層次

根據 OPOWER 於 2014 年提出的探討如何促進需量反應，亦即，如何讓住商部門盡可能釋出所有的潛在電力，2007 年美國聯邦能源監管委員會(The Federal Energy Regulatory Commission, FERC)預估美國住宅部門潛在貢獻的需量反應電力，至少能夠減少 65GW 的尖峰負載，相當於 30 億美元的價值。但如何真正讓住宅部門釋出這些潛在電力呢？如圖 3 所示，分為三大層次：

1. 改變行為模式：這個階段(Behavioral Demand Response, BDR)的目的就是要讓廣大的住宅部門客戶，在初次接觸到需量反應的概念時，擁有良好的第一印象，並能夠知道需量反應的服務能夠為他們帶來什麼好處。因此，在此階段，透過客製化的 100% 客戶溝通，確立客戶用電量的深度訊息分析，接著提供客戶額外的方案鼓勵客戶，只要透過簡單的行為改變，就能投入此計畫。
2. 保持動態費率簡易化：在住宅部門的客戶漸漸地接受需量反應的概念，並願意嘗試後，接著是要讓住宅部門的客戶感覺到需量反應的計價方式的簡易性與透明性，因此在此階段(Dynamic Rates Engagement)，動態費用的推廣和教育變得格外重要。
3. 透過互動元件管理，深化與客戶之間的關係：在此階段(Thermostat Management)，住宅部門的客戶已經能夠接受行為改變、動態費率的概念，此時會建議利用商業模式的方法或是鼓勵客戶自行安裝溫控器等互動元件，以期更簡易地達到需量反應的效果，客戶透過安裝溫控器等，能夠明顯地得到加乘的實質誘因，會加深客戶與電業之間的信任感，因此此



後要推動任何新方案，也較能得到客戶的響應。



圖 3、住宅部門需量反應的三大層次[3]

#### 四、日本需量反應的推動

日本於2016年4月開始電力零售全面自由化的電力系統改革後，將創設負瓦特交易市場，電力用戶節省下來的電力量(負瓦特、negawatt)，可做為零售電力業者和輸配電業者進行電力供需調整的資源。日本政府曾於2015年3月30日發布一份負瓦特交易相關指引，目前正檢討交易的規則與指引的修訂，準備於2017年4月開始導入負瓦特交易制度。

然而，日本目前要推動的負瓦特交易與之前談到的需量反應有什麼差異呢？

與傳統需量反應最大的不同是，零售電力業者可利用負瓦特交易做為電力的調度方法之一。過去，大電力公司或新電力是與工廠或辦公室簽約，要求工廠或辦公室減少用電量，而大電力公司或新電力就付錢給工廠或辦公室；而現在提倡的負瓦特交易則是工廠或辦公室與負瓦特業者簽約，由負瓦特業者付錢給工廠或辦公室，而負瓦特業者將調度來的電力，依照供需原則分配給需要的電業。因此，不像過去

的需量反應，僅僅跟特定的電力公司簽約，若當時該電力公司不需要這些電力，將造成電力浪費，電力公司虧損，現在的負瓦特交易則能夠提升電業調度的自主性和自由度。另外，值得一提的是，為了讓電力供需能夠達到平衡，日本政府也將規定，若是預期的節電量(負瓦特量)不足時，該轄區內的輸配電業有義務將不足的電量補足(透過緊急調度，或自行擁有電廠等方法)。

另外，若與電費型需量反應比較，如表 1 所示，清楚地顯示了電費型需量反應和負瓦特交易的差異，電費型需量反應是藉由提高尖峰電價，促使用戶抑制電力需求，雖然簡便，但是用戶反應度不佳。

表 1、抑制電力需求的 2 種方式比較[4]

	電費型需量反應	負瓦特交易
概要	提高尖峰電價，促使用戶抑制電力需求	事先和電力公司簽約，尖峰用電時節電，電力公司依據節電量支付費用
優點	比較簡便，大多數可適用	藉由契約，效果確實
缺點	用戶偶而反應，效果不確實	比較耗時，很難適用於小用戶

日本目前推行負瓦特交易，遇到了以下幾個問題：

1. 怎麼樣的機制才能擴大日本民眾使用負瓦特交易？其最適當的誘因為何？
2. 負瓦特交易規則中最重要的一點是交易對象的節電量如何算出，也就是如何設定「基線」？每個用戶在正常狀態下每個時段的用電量。基線的電力與節電後的電力之差值合計，就是節電量。因此，最重要的就是計算出負瓦特的交易量(也就是能預估能夠節電的量)，目前日本官方是使用—High 4 of 5 的計算方式，也就是在 5 天內，取電力需求量最大的 4 天，做為平均。但是此標準有一定的誤差，也不適合每個情況，目前日本政府正在草擬相關的規定，目前提出的基線設定方法有數種，如表 2 所示。
3. 遇到負瓦特的量不足或過多時的費用計算方式與因應方案？

以上這些問題都是目前待解決的議題。日本政府預定在 2016 年 6 月中確定詳細的規則和整體的實施方針，7 月建立必要的系統，2017 年 4 月 1 日創設負瓦特交易市場，進行節電量的電力買賣。

表 2、基線的設定方法[4]

基線	反應時間與持續時間較長的 DR <sup>1</sup>					短的 DR <sup>2</sup>
	標準基線	替代基線	替代基線	替代基線	替代基線	標準基線
方式	High 4 of 5 有當日調整	High 4 of 5 無當日調整	同等日採用法	事前測定	發電機等測定 <sup>4</sup>	事前與事後測定
基線計算單位	電力用戶	電力用戶	電力用戶	電力用戶	發電機或蓄電池	電力用戶
基線計算方法	最近 5 天中，需求較多 4 天的平均 <sup>3</sup>	最近 5 天中，需求較多 4 天的平均 <sup>3</sup>	DR 啟動以外的時間帶，從過去 30 日的電力需求數據中，選取與啟動日相差最小的 3 天(同等日)非啟動日的平均	DR 啟動時間的前 4 小時至前 1 小時的平均	利用發電機或蓄電池等專用儀錶量測(基線一般為零)	預告 DR 啟動前一段時間的需求平均
有無當日調整	有	無	無	無	無	無

註 1：假設零售電力業者與統包服務商(agggregator)進行電力交易的情況。

註 2：假設輸配電業者在即時市場進行預備電力或調整電力交易的情況。

註 3：「High 4 of 5」為平日啟動 DR 時的作法，週末假日及國定假日啟動 DR 時的作法為「High 2 of 3」。

註 4：「發電機等測定」的基線是針對平時不使用，且其單體發電(放電)電量可以測定的發電機或蓄電池所設立的，其適用條件為「買方與賣方相互合意」。因此，若是使用平常就有在使用的自有發電機或隨時有電力流通的蓄電池來進行負瓦特交易，就要使用標準基線或其他替代基線。

## 五、歐洲：當需量反應遇到工業 4.0

Restore 在 2015 年提出需量反應與工業 4.0 並行的概念，首先想應用在歐洲的電力市場。由於歐洲市場的再生能源占比日益增加，而再生能源大多為變動式能源，因此需量反應的應用就更為重要。關於需量反應和工業 4.0，主要是由工業端的需量反應做起，以下分為三個要點詳細說明。

### (一) 歐洲市場的電力大轉移

以工業而言，供給需求的概念為預測電力供給端的供電量的時間分布，並且針對電力需求端進行工業生產時間、工業生產用電量的追蹤，如圖 3 所示。

若是預測得當，供需兩端將會達到平衡。但由於再生能源的大量導入，許多需求端的角色不但是電力消費者，而且因為擁有再生能源電廠的緣故，因此也同時兼任電力供給者，若用過去的預測，供需兩端無法順利地達到平衡，因此過去的供給需求的概念需要進行調整。如圖 4 所示，在再生能源大量導入之下，打破原本的電力供需結構，因此不但需要預測「整體」電力供給端的電力，也需要追蹤「整體」的電力負載量，而且在電力消費端不但要追蹤工業的生產時間和生產用電量，也要預測工業的電廠的電力發電量、除了自用之外還能提供多少的電量等。這樣供需電力才能盡可能達到平衡。

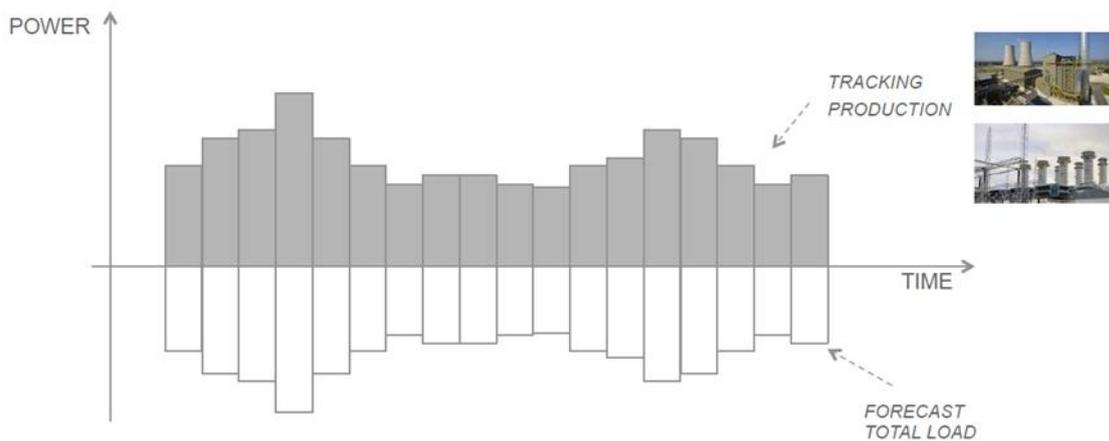


圖 4、過去電力系統的供給需求預測方式[5]

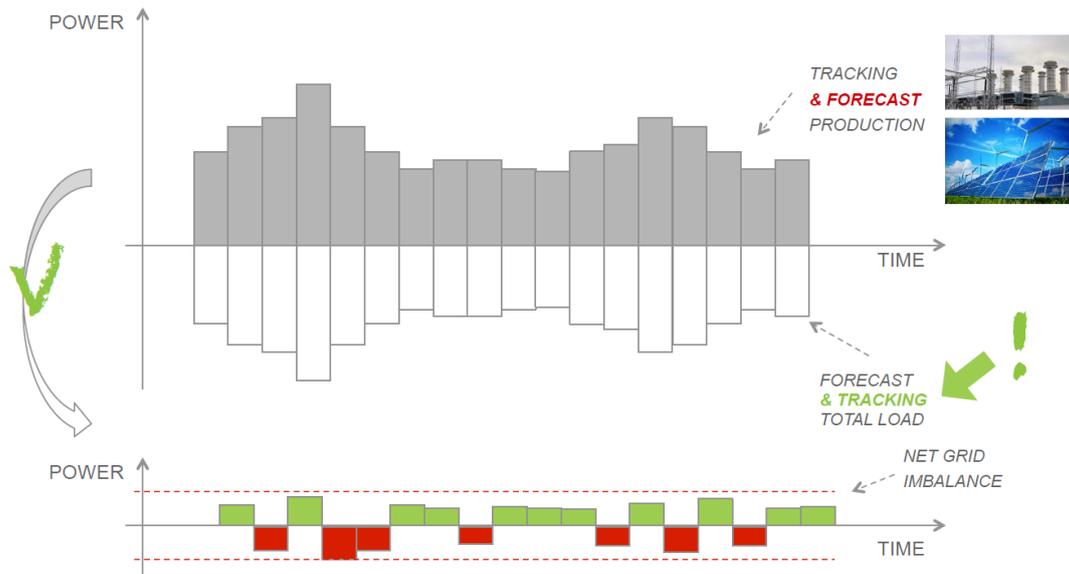


圖 5、修正後的電力供給需求結構[5]

## (二) 工業的電力調度性：談機會與挑戰

為了能夠盡可能使用所有的潛在可調度的電力，使得電網維持穩定性，目前還有三大課題待解決：

1. 如何定義可調度電力：要調度的是住宅電力還是工業電力？哪個負載才是主要的標的？如何判別哪些電力可以調度哪些電力不能？
2. 如何模擬可調度電力：多少電力可以被使用？何時可以被使用？如何使用才不會影響到終端使用者？
3. 如何利用可調度電力：如何使用大量的可調度電力，且達到最佳化，並且能夠維持電網的穩定度、盡可能保持低成本？如何促進再生能源？

## (三) 大數據的應用

那如何將需量反應應用到工業 4.0 呢？驅動可調度電力的因子，在於工業有足夠的電力提供給電網，那如何讓工業有足夠的電力呢？此時工業 4.0 就派上用場了！簡單的來說，工業 4.0 就是透過相同的產線，進行生產模式的改變，達到最佳化的產值。大數據在此扮演著一個工具的角色。舉個例子而言，若是

造紙業目前有兩台機器，一是絞碎木頭的碎木機，二是將木頭打成漿的打漿機，平常兩台機器各司其職，不會有任何的關聯性，但是透過工業 4.0 以及大數據應用的概念，若是我們知道目前倉儲裡紙漿的數量充實，那麼倉儲系統就能發出一個訊號告知碎木機可以暫時停工一陣子，此時碎木機停工的訊號以及此造紙業能釋出的電量，即時傳輸到電網，讓電網知道該造紙業能夠在某時間進行需量反應，這就是工業 4.0 和需量反應結合的概念。

## 六、我國台灣電力公司的需量反應措施

我國的電力的需量反應分為四種，分別是計畫性減少用電措施、臨時性減少用電措施、需量競價措施，以及空調暫停用電措施。

計畫性減少用電措施，也就是跟日本傳統的需量反應機制一樣，是與電力公司簽約，約定節電的量。目前我國的計畫性需量反應計畫有月減 8 日型、日減 6 時型、日減 2 時型。適用範圍也都是侷限於 100 瓩以上的(特)高壓用戶，適用時段是在夏月的尖峰時段。

臨時性減少用電措施是指在電力公司預估電力不足時，於限制用電前一日前、或 2~4 個小時前通知用戶，若是用戶願意配合，則能夠得到電費扣減的優惠。目前我國的臨時性需量反應計畫有限電回饋型、緊急通知型。適用範圍也都是侷限於 1000 瓩以上的生產用戶，適用時段是分為全年與夏月皆有。

需量競價措施是指尖載時期，開放用戶把節省下來的電賣回給台電，並由用戶出價競標，台電則採愈低報價者先得標方式決定得標者，若得標者於抑低用電期間確實減少用電量，則可獲得電費扣減。與日本的負瓦特交易市場有相似之處，但是日本的負瓦特交易市場預計納入一般住宅作為電力調度的電量，而我國的需量競價措施適用範圍則是高壓以上的用戶。

空調暫停用電措施則是夏月尖峰時段，提出空調機的停用申請，



用戶會有一定的電費扣減，主要適用於中央空調系統主機 20 馬力以上或箱型空調機容量 10 冷凍噸以上的用戶。

## 七、我國可借鏡之處

綜觀我國的需量反應，幾乎都著重要於工業等電力大用戶的需求端管理，而日本、歐美等國重視的住宅部門、低壓部門則沒有相對應的方案。目前台電於今(2016)年 4 月提出的導入低壓多元時間電價概念，思考為何需要我國住商部門的電量也成為需量反應的主力來源，這是由於我國新電源開發不易，在面臨核能逐步除役之下，我國更需要需求端管理，尤其是我國低壓用戶用的電占尖峰負載的 51.63% [8]，而台電提出的低壓多元時間電價的概念是不是能夠滲透入用戶端，是不是能達到成效，則有賴機制的設計，也建議參考上述 OPOWER 所提出的住商部門需量反應的三大層次，以深入落實需量反應的概念。

另外，雖然我國針對工業方面提出多元的需量反應，但是實際成效不彰，未來有很大的轉型空間。由於目前我國正積極推廣工業 4.0 的概念，以及大數據的實際應用，相應的措施可以搭配未來我國進行電力自由化後的需量反應規劃，可斟酌工業部門，發展出各具特色且符合我國國情的需量反應系統，過程中，建議參考美國、日本、歐洲的機制，透過適合臺灣的機制的設置，可以讓電力流通更多元性。

## 八、參考資料

- [1] U.S. Energy Information Administration, Electric power sales, revenue, and energy efficiency Form EIA-861 detailed data files. <https://www.eia.gov/electricity/data/eia861/>
- [2] Smart Thermostat Programs Roll on in Texas, Arizona and Maryland, 2014/12/19. <https://www.greentechmedia.com/articles/read/Smart-Thermostat-Programs-Roll-on>
- [3] Transform Every Customer into a Demand Response Resource, 2014.



<http://fuelrfuture.com/business/TurnEveryCustomerIntoADemandResponseResource.pdf>

- [4] 「ネガワット取引」が2017年4月に始まる、節電した電力を100kW単位で，2016/4/19。

<http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1604/05/news042.html>

- [5] Demand Response Meets Industrie 4.0

[http://www.engerati.com/sites/engerati/files/eventpres/EUW15\\_Day2\\_1625\\_Jan-Willem%20Rombouts.compressed.pdf](http://www.engerati.com/sites/engerati/files/eventpres/EUW15_Day2_1625_Jan-Willem%20Rombouts.compressed.pdf)

- [6] 需量競價措施，台灣電力公司，2015/04/30。

- [7] 需量競價措施研討會，台灣電力公司，2015/04/22。

