

能源部門減碳旗艦行動計畫 社會溝通會議

「科技儲能」

提出者: 許志義教授

台灣能源數位轉型產學技術聯盟 聯盟主持人
國立台北商業大學榮譽講座/中華大學特聘教授

2025年6月9日

摘要/Takeaway

- 「能源轉型2.0」科技儲能扮演「穩供」關鍵角色，是虛擬電廠VPP最核心元件，能提供虛擬慣量Virtual Inertia，強韌電網，也是在地on-site「能源主權」(系統慣量System Inertia = 轉動慣量 Rotating Inertia + 虛擬慣量 Virtual Inertia)
- 表後分散式科技儲能興起，涉及眾多利益關係人，無法只靠行政指令，必須搭配市場機制提供合理誘因，逐步落實即時電價Real Time Price、區域電價Zonal Price、節點電價Nodal Price。
- 台灣「北東電網」可作為科技儲能旗艦行動計畫的「監理沙盒」測試場域，將社會溝通會議各界建言逐一盤點，選定合適者，在恰當時機及點位，逐步落實推廣。
- 台電公司允宜將用戶側資源正式納入電源開發計畫，落實IRP。(警惕：台灣目前整體電力裝置容量68GW，超過加州！全台灣尖峰負載42GW/用電量2800億度；約等於加州(全球第四大經濟體)。背後原因，未提供用戶側資源合理誘因，反映用電時間價值，造成極端不正常尖載！)

台電公司累計虧損4,200多億元。在此情況下，用戶端表後儲能系統虛擬電廠的運作，其對應的「發電迴避成本」原已被壓低，因此應該要適度地「加碼」，以反映真實的「社會迴避成本(avoided cost)」。

前言

儲能系統(包括電動車儲能至電網(V1G/V2G)是電力倉儲的「載具」，充電/放電必有耗損(熱力學第二定律))，若無其他創能/節能搭配成為虛擬電廠，顯無效益；換言之，儲能設備之核心能力所創造的效益，係來自於其物理及化學特性搭配電力市場各種不同商品(如DR或各類輔助服務)後，方能充分反映出電力商品的市場價值，至少包括(但不限於)：

- 「時間商品價差」(如削峰填谷、避免逾越契約容量等)
- 「空間商品價差」(如手機移動電源、電網壅塞紓解等)
- 「緊急情境商品價差」(如UPS不斷電或維生系統等)
- 「充放電雙向彈性的商品價差」(如快速調頻、穩定電壓、虛擬慣量、精準頻率調節、全黑啟動等)
- 「無電網替代方案(Non-wires alternative, NWA)」(如V2H、V2L等)

儲能系統可創造的多元多功之電力商品市場價值，是虛擬電廠(Virtual Power Plant, VPP)最重要的核心單元。這種獨特優勢，在當前RE100趨勢下，尤為凸顯！

(參見美國能源部2023年5月發表之類白皮書Pathways to Commercial Liftoff: Long Duration Energy Storage)

科技儲能政策建言(1/5)

一、伊比利半島的借鑑(1/2)

事件說明

- 2025/4/28事發當時中午12:33，西班牙**再生能源滲透率高逾70%**，太陽能占比61%、風力12%；葡萄牙再生能源發電占比則為45%。
- 西班牙電力系統慣量(inertia)「過度依賴」大電網另一端遠距離的大規模系統慣量(法國基載核能汽力機組)，相對**缺乏適足的(adequate)饋線型或區域型「虛擬慣量」或電網形成(Grid forming)資源來穩定本地的電網。**
- 在此情況下，西班牙南部的**兩個主要變電站連續發生故障**，供電瞬間短缺**2.2GW**，導致電網頻率迅速下降，進而引發連鎖反應，整個**瞬間損失15GW發電容量**，約占系統負載**60%**，造成**大停電**。

建言一 (1/2)

- **Grid forming**目前在小規模且獨立的系統中，如**微電網(Microgrid)或孤島運行(Islanded operation)**已成功應用。**政府應獎勵饋線型GFM逆變器**，能有效維持電壓/頻率，強化供電品質及韌性。
- **Grid forming**在大型電網的穩定性問題較為複雜，仍需要深入研究和驗證，尤其是在面對大規模擾動時的暫態響應，涉及複雜的控制與協調；**需從技術面、成本面、法規面加以考量其發展模式**，台電應加速進行。
- 目前**台電系統已有的AFC/dReg、E-dReg屬成熟電網追隨(Grid following)技術**，透過更快的即時響應，亦可提供虛擬慣量，是大型電網普遍採用可行的方式，如澳洲電網、英國電網。

科技儲能政策建言(2/5)

一、伊比利半島的借鑑(2/2)

建言一 (2/2)

- 台電應落實「**供電義務Obligation to Serve**」**最後一道防線**：「**緊急可靠型自動卸載需量反應輔助服務Load Resources under Frequency Relay, LRuFR**」。
- 這是美國各個ISO/RTO電網調度中心(如ERCOT/PJM)都必須採用，專門針對突發意外事件(如互連的電源線跳脫或發電機/IBR電源大量消失)**與少數中大型具彈性的電力用戶(Flexumers)簽約，有儲能系統者具相對優勢，屬於「事前」註冊資源(registered resources)**。
- **簽約內容**包含：**1. 回應條件**(如頻率門檻59.5Hz、延遲時間)；**2. 可卸載容量(MW)**；**3. 是否一次性或可重複動作**；**4. 補償費率**(固定費率或市場機制)；**5. 測試與驗證要求**。
- 以ERCOT為例，自動在頻率跌至59.70 Hz時卸載；PJM則分批在不同頻率按%卸載。這被視為ISO/RTO最後一道防線(**Last-Resort Frequency Response**)。
- 在台灣，有鑒於《電業法》已立法院三讀通過，確定**台電公司不分拆**，維持垂直綜合**電力公用事業(Public Utility)**，其使命在於謀求整體社會福祉(如通貨膨脹的「消波塊」)，不同於一般IPPs獨立發電業的非公用事業(Non-Utility)。**既已肩付「供電義務」，應捍衛公共利益，落實LRuFR責無旁貸。**

科技儲能政策建言(3/5)

二、輔助服務商品vs電能服務商品(1/2)

1.調頻輔助服務(dReg)

- 現行電力交易平台之dReg容量為820.6MW(截至五月底)，屬於「表前(Front-of-the-meter)」資源；以台灣現階段VRE尚未逾30%而言，總量已屬「供過於求」(事實上目前儲能提供電力輔助服務之「效能費」約打六折)。
- 目前電力交易平台dReg採購容量為500MW，亦即電力交易平台僅使用約2/3的dReg容量，出現資源閒置狀況，應考慮夜間尖峰電能批發市場(Energy wholesale market)之各類電力商品。

2.電能移轉複合動態調節輔助服務(E-dReg)

- 相對而言，E-dReg雖可提供長達兩小時電能，這已等同於電能批發市場，但現行E-dReg固定為放電2元/度、充電0.5元/度，未能提供合理誘因，反應其對電力系統充放電的實時價值。
- E-dReg全球獨步，短期固然解決供過於求的問題以及夜尖峰電能調度的需求，但不符合全球電力市場的核心設計邏輯：電能批發市場以價格機制配置稀缺資源，解決「私有財」性質的電力商品交易問題；而電力輔助服務市場則處理如頻率穩定、電壓控制、備轉容量等具「公共財」性質的系統外部性問題。透過兩個市場的「共同優化(Co-Optimization)」，以確保電力系統的經濟效率與可靠運轉。

問題說明

科技儲能政策建言(4/5)

二、輔助服務商品vs電能服務商品(2/2)

建言二

- 增加新的電力輔助服務商品，反映儲能系統(包含V1G/V2G)之獨特市場價值，如有關供電品質之虛功補償電壓控制(含靜態虛功/動態虛功)、全黑啟動、LRuFR、具Grid forming之儲能設備等，有助提升「額外」電網韌性者，允宜提供合理「誘因加碼」。
- 為提升市場效率，允宜開發儲能設施新的電力商品，如電能批發市場，可提供投資儲能設備的經濟誘因，並解決儲能設備供過於求的問題。同時也讓台電系統真正落實電力資源供需規劃(Integrated Resource Planning, IRP)。
- 「電力交易平台」應提出以節點為基礎的即時電價(nodal based real-time pricing)商品，一方面落實《電業法》明文規定的「經濟調度」，提升電力市場資源配置效率；一方面提供正確價格訊號，作為合理誘因，並解決區域電網壅塞問題。

科技儲能政策建言(5/5)

三、表後儲能系統應用

功能說明

- 主要用於用戶削峰填谷、降低電費支出、避免用戶超約用電罰款、用戶緊急備援系統等。
- 具備Grid forming能力的儲能系統或電動車充電站儲能設備，將成為再生能源高滲透率時，維持電網穩定的關鍵。傳統電網靠同步機提供慣量；而儲能系統則透過先進控制器提供虛擬慣量，並主動建立電網的電壓與頻率參考點，這是Grid forming的功能。

建言三

- 配電系統上愈來愈多的太陽能發電併網，造成饋線容量不足之現象普遍發生。若同一條饋線上「同步尖峰需求(incidental peaking demand)」的虛擬電廠(VPP)能增加綠電(或夜間灰電)容量，應給予「誘因加碼」，亦即包括「發電+電網」之雙重迴避成本。
- 因應24/7的RE100綠電需求，配電系統成為電網穩定的核心，儲能系統將扮演關鍵角色：當分散式資源比例越高，配電系統的功能定位必須從傳統「被動」，轉向「主動」協調，甚至調度成千上萬條的饋線雙向電力潮流，避免「電流大戰」，亦即以虛擬電廠創造直流電與交流電互不相容的兩種電流「雙贏」價值——極大化綠能與強化電網韌性。
- 低壓用戶儲能設備補助政策：一、從電池化學觀點，儲能設備或電動車適合低壓表後應用，相對較安全且衰減時間較有利。二、歐美日澳等先進國家之屋頂型光電系統皆面臨20年躉購電價到期後，電力公用事業不再高價收購、拆除又需額外費用之處境。有鑒於電網韌性及棄光電不利於2050淨零等前提，先進國家皆以政策補貼「低壓表後儲能」設備，成為「光+儲」微電網替代模式。其中以日本於2024年補助70億日圓為最，且配套措施為受補助的儲能設備必須參與聚合商(agggregator)的需量反應方案，不能挑肥撿瘦(cherry picking)只參加假日或離峰的輔助服務賺取「待命費」，而不在尖峰或氣候異常的時段進場待命，此有助於落實電網韌性。

感謝您的聆聽，敬請不吝指教!