

儲能技術應用與案例分析

太原麗子

再生能源包含水力、太陽能、風力、地熱、生質能與海洋能，其中以太陽能與風力發電成長快速，根據 21 世紀再生能源政策網(REN21)發布的 Renewables 2018 Global Status Report 統計資料預期 2040 年太陽能與風力發電的總發電量將佔再生能源總發電量的 37%，僅次於水力發電。再生能源因具間歇性與位置依賴性等特性，電壓與頻率的變動使其大規模併網困難，因而引發“棄風棄光”問題。因此，若要將再生能源併入電網時，需要整合儲能系統來克服再生能源的發電特性問題，以平滑化再生能源的間歇性變動並且儲存剩餘電力，促進再生能源的利用。電池儲能系統因不受地理之故可應用於發電端、輸/配電端、用戶端等不同面向的電力調度，以改善電網輸電與配電的安全性與效率、降低電壓與頻率的變動等問題，達到確保電力供需平衡、穩定電力市場價格效益。

➤ 儲能系統在電力調度的應用

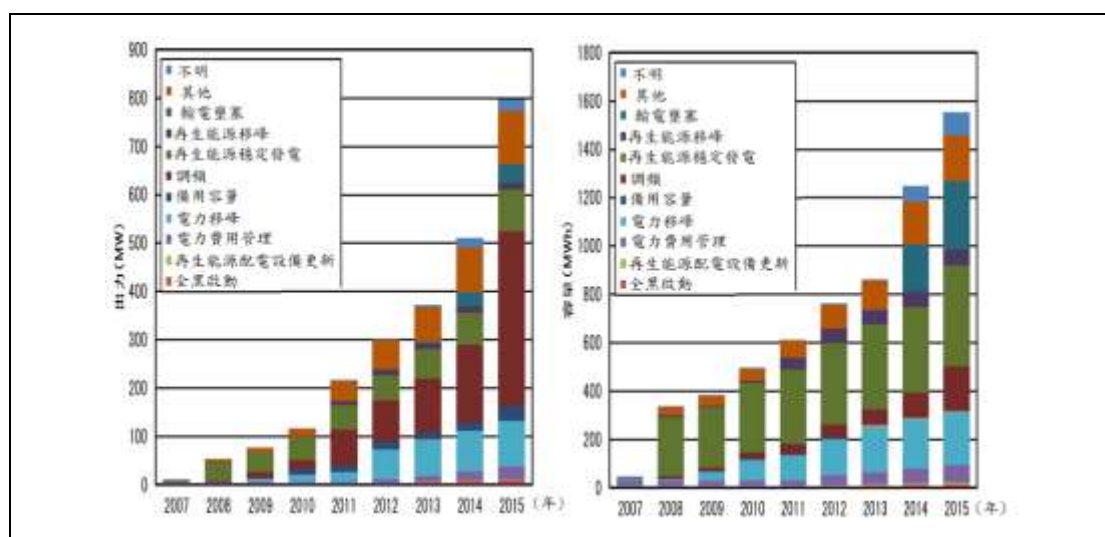
如表 1 所示發電端可藉由儲能系統進行調頻、升/降載率調整、儲存剩餘電力、加強傳統發電機組的供電調整能力。同時可搭配電力輔助服務維持發電與負載的平衡。如輔助服務中的調頻服務(AGC 自動發電控制)可在電力系統出現頻率變動的時候，自動增加或減少電力供應，讓電網頻率維持在 60 Hz 左右。輸配電方面，可作為變電站的直流電源、延緩電力設備更新以及電壓支持，並設置感測、監控設備進行自動化管理，由傳統單向電力輸送方式改為雙向式，以增加電力調度靈活性。用戶端可藉由儲能系統實現需量反應措施，以節約能源和均衡尖離峰負載。

表 1、儲能系統在電力調度的應用

分類	應 用
發電端	再生能源移峰填谷、升降載率控制、輔助機組動態運轉
輸配電端	電壓支持、緩解輸電壅塞、變電站電源
用戶端	需量反應
輔助服務	調頻、電壓支持、調峰、備用容量

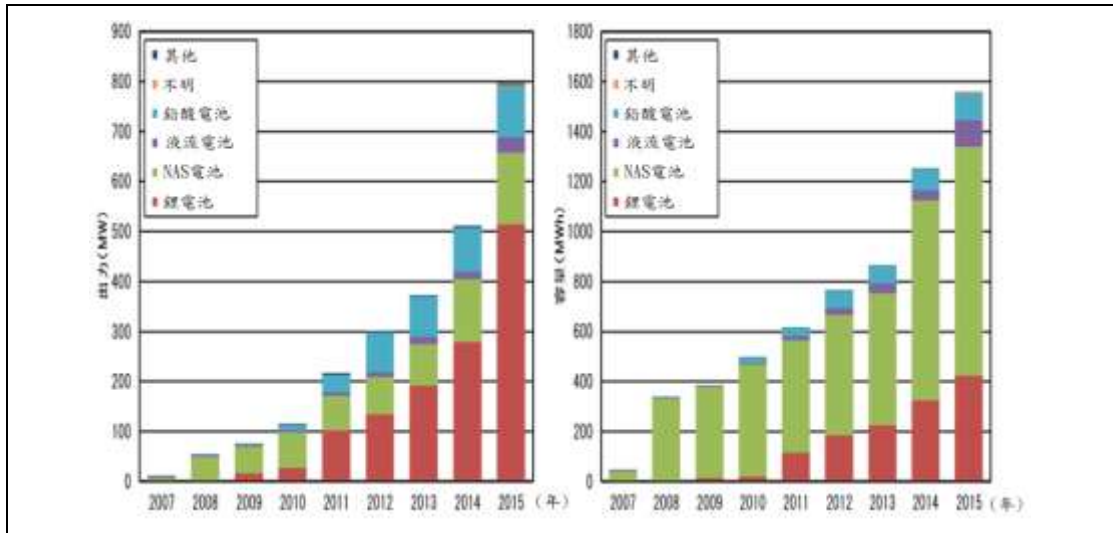
資料來源：儲能產業發展藍皮書、中國能源研究會儲能委員會編著(2019/01)

日本 NEDO 根據美國 DOE “Global Energy Storage Database” 的資料整理出 2007~2015 年全球儲能系統在電力調度應用狀況以及儲能電池系統的導入量分別如圖 1 與圖 2 所示。從發電容量 (MWh) 而言，2008 年起再生能源大量導入情境下，儲能系統於再生能源穩定發電、電力移峰的應用大幅增加，而電池儲能系統中以鈉硫電池(NaS)、鋰電池為主。2014 年以後隨著紓解輸電壅塞應用增加，NaS 電池的導入量也隨之增加。從出力功率(MW)而言，2009 年以後儲能系統在調頻應用逐漸擴大，主要以鋰電池為主。又，日本、美國、歐洲、韓國與中國等國的儲能系統的主要應用項目略有差異如表 2 所示。以下針對常見的儲能系統應用功能與應用案例進行說明。



資料來源：日本 NEDO 「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」事後評価報告書(2017/03)

圖 1、全球儲能系統在電力調度應用



資料來源：日本 NEDO「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」事後評価報告書（2017/03）

圖 2、全球儲能電池的導入狀況

表 2、各國儲能電池系統在電力調度的主要應用

	出力功率(MW) (電池種類)	發電量(MWh) (電池種類)
日本	再生能源穩定輸出、調頻、電力費用管理 (鋰電池、NaS 電池)	再生能源穩定輸出、電力費用管理 (NaS 電池)
美國	調頻、電力移峰 (鋰電池、鉛酸電池)	電力移峰、再生能源穩定輸出 (鋰電池、NaS 電池)
歐洲	調頻、紓解輸電壅塞 (鋰電池、NaS 電池)	紓解輸電壅塞、電力移峰 (NaS 電池)
中國	再生能源移峰、電力移峰 (鋰電池、液流電池)	
韓國	調頻 (鋰電池)	
	出力功率(MW) (電池種類)	發電量(MWh) (電池種類)
日本	再生能源穩定輸出、調頻、電力費用管理 (鋰電池、NaS 電池)	再生能源穩定輸出、電力費用管理 (NaS 電池)
美國	調頻、電力移峰 (鋰電池、鉛酸電池)	電力移峰、再生能源穩定輸出 (鋰電池、NaS 電池)
歐洲	調頻、紓解輸電壅塞 (鋰電池、NaS 電池)	紓解輸電壅塞、電力移峰 (NaS 電池)
中國	再生能源移峰、電力移峰 (鋰電池、液流電池)	
韓國	調頻 (鋰電池)	

資料來源：日本 NEDO「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」事後評価報告書(2017/03)

➤ 輔助機組動態運轉

政府以 2025 年達成 20-30-50 潔淨能源發電結構為目標，燃煤發電占比將從 2016 年的 45%，逐步降低到 2025 年的 30% 之外，再生能源發電占比增加為 20%、天然氣發電占比增加為 50%。由此可見，未來維持電力供需平衡主要仍以燃氣機組根據電力調度要求進行輸出調整(動態運轉)。但是大量再生能源導入後，再生能源電力優先調度情境下，導致傳統機組因此解聯或降載，造成機組的容量因素降低的可能性增加。又，因應鴨子曲線及提供系統足夠的轉動慣量與輔助服務，許多機組在太陽光電發電量大時仍不可解聯，須以最低載發電而降低效率。燃氣機組雖然啟動與升載快速，但從最低轉速升到最高最快也仍要數分鐘的時間。輔助動態運轉應用係指儲能系統與機組共同按照電力調度要求調整電力輸出。藉由響應速度快的儲能系統進行輔助動態運轉可減小機組的輸出波動範圍以提升機組效率之外，可避免動態運轉對機組壽命的影響，減少設備維修與更換費用。

美國 GE 與南加州愛迪生(Southern California Edison, SCE)公司在加州的「亞里索峽谷能源危機」背景下，2017 年合作開發了電池/燃氣輪機混合發電系統(如圖 3)，設置在加州的諾沃克市。該機組結合 50 MW 的燃氣機與 10 MW/4 MWh 的鋰電池儲能系統，具有快速啟動與快速升載功能。在不需要進行調峰時，由電池提供電力使燃氣輪機從最小負荷變為旋轉備轉容量(spinning reserve)。當需要調峰時，通過先進的控制系統，快速將燃氣輪機從旋轉備轉容量轉為最小負荷，可以立即向電網輸送電力。為 SCE 解決再生能源帶來的電網波動問題與提升調峰能力，進而在加州電網上增加再生能源導入。



資料來源：電池與燃氣輪機混合發電系統運行成功，
<https://kknews.cc/finance/y8x59gb.html>

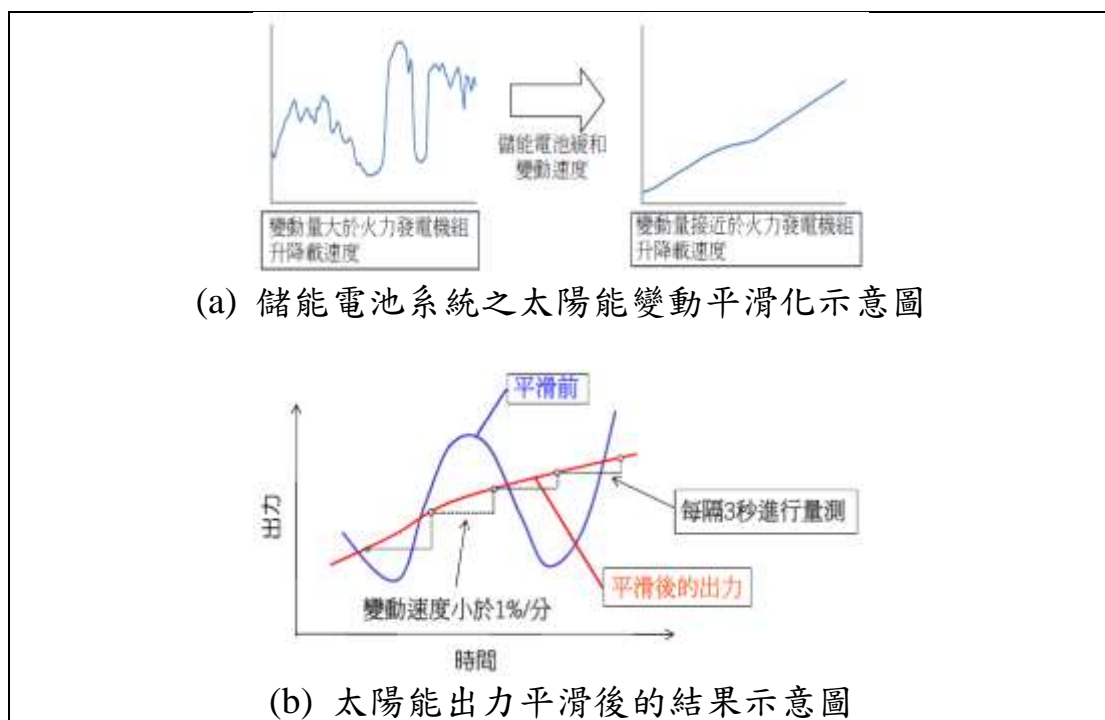
圖 3、電池/燃氣輪機混合發電系統

➤ 調頻

電力系統的頻率穩定性取決於其能量供需平衡關係。在傳統電力系統結構中，短時能量平衡主要由傳統機組通過響應 AGC 信號來進行調節。隨著再生能源併接電網比例逐步提高，電力系統等效負荷短期變動加劇，電網調頻需求劇增。電池儲能技術作為一種優質的調頻資源，可有效輔助調頻，顯著提高電力系統的調節能力和運行靈活性。

再生能源大量導入日本北海道電力系統後，造成了電力系統運轉及調度的影響。日本北海道電力公司為了增加太陽能併網能力，於 2016 年公告 2 MW 以上的太陽能申請併網時，太陽能業者須增設儲能電池設備以平滑太陽能發電的短時間變動量，否則須抑制太陽能發電量。主要原因為太陽能發電的短時間變動量遠超過火力發電廠所能跟隨的頻率升降速度，因此，採用儲能電池系統將太陽能電力輸出每分鐘的變動量降低到 1% 以下，平滑太陽能短時間變動量以達到火力發電廠的負載頻率調整性能，如圖

4(a)與(b)。在北海道苫小牧市的新千歲機場南側建置了發電容量 25 MW 的儲能電池併設太陽能發電廠，其中儲能電池系統採用 20 MW/10 MWh 鋰離子電池，已於 2018 年 7 月開始運轉。



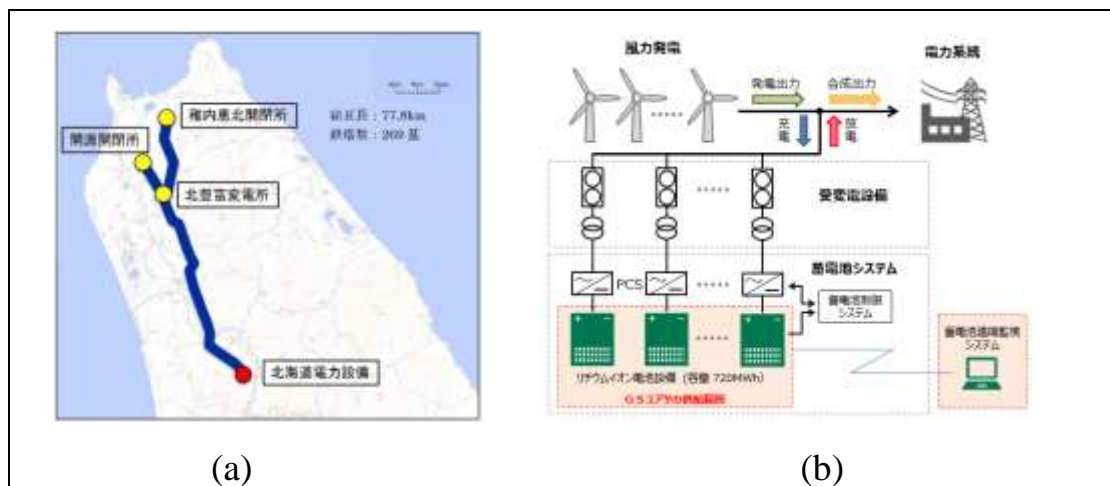
資料來源：太陽光發電設備の出力変動緩和対策に関する技術要件，北海道電力株式會社(2016/4)。

圖 4、苫小牧太陽能電廠之頻率調節控制

➤ 紓解輸電壅塞

再生能源瞬間出力使線路負載超過線路容量時會引起線路壅塞(特別是負載需求較少的地區，本身變壓器容量也較小)。若超出限制送電的話，將造成變壓器損失進而導致停電，而新設輸電線則必須考量成本與環評、建置時間長等問題。藉由電池儲能系統充電將線路不能輸送的電力儲存，當負載低於線路容量時再向線路放電，以強化電力系統可靠度、舒緩輸配電壅塞、延緩新設輸變電投資。

日本北海道北部(道北)地區風況良好，非常適合發展風力發電，2013年經產省指定為「特定風力集中整備地區」，並規劃進行建構總長 77.8km 的風力發電送電網的實證計畫，如圖 5(a)。因此，因應風力發電併網時出力變動平滑化需求，預計 2020 年在北海道天塩町の北豐富變電所設置 240 MW/720 MWh 鋰離子儲能電池(GS 湯淺公司提供)，進行運轉驗證以穩定風力電力品質以及提升風力發電的利用率，如圖 5(b)。此規模的鋰離子儲能電池相當於 4.5 萬台電動汽車容量，已成為世界上最大的儲能系統(2018 年 10 月止的數據)。預計將於 2023 年 3 月開始實證運轉。



資料來源：道北地区における風力発電のための送電網整備実証事業，北海道北部風力送電株式會社(2017/5)。

圖 5、道北的輸電網路(a)與儲能系統架構(b)

➤ 輔助服務

美國紐約電力調度中心(NYISO)或加州電力調度中心(CAISO)皆以提高調頻備轉予以因應電網需求，由於調頻備轉需求量顯著增加，更具調度彈性的電力系統如儲能電池系統的需求也與日俱增。輔助服務在國外已逐漸成為一種新興的商業市場。輔助服務必須配置各類的備轉容量以即時進行負載追隨，確保電力供需平衡。以德國為例，備轉容量可分為：第一級備轉容量(Primary Control Reserve)、第二級備轉容量(Secondary Control Reserve)及第三級備轉容量(Tertiary Control Reserve)。第一級備轉容量，是指在最短的時間內，例如發電機組突然故障，導致出現頻率偏差時，第一級備轉容量機組須在 30 秒內透過自動控制系統快速升載，緊急供應 15 分鐘的電力容量；爾後第二級備轉容量須在接收到調度中心指令後的 30 秒內升載，持續提供 15 分鐘的電力；第三級備轉容量須在故障發生後 15 分鐘內開始接續饋入電力，並維持 1~4 小時餽網時間。目前台電提供四項輔助服務：調頻服務、即時備轉、補充備轉以及全黑啟動，各項目內容如表 3 所示。由此可知，在新興的電力輔助服務商業市場中快速啟動、反應時間短與升降載速度快為配置機組的主要功能性要求。除了發電機組之外，儲能電池系統具有快速充放電的能力，在輔助服務市場之調頻定位上具有極大發展潛力與商機。

表 3、輔助服務項目內容

項目	內容
調頻備轉容量	自系統頻率開始升/降，3 分鐘內可迅速增/減之熱機備轉容量，其容量以使系統運轉中最大發電量跳機時，不致動作用戶低頻電驛為原則，提供調頻備轉容量機組需具備 AGC 能力。
即時備轉容量	接到調度中心指令，30 分鐘內可以增加之熱機、冷機備轉容量，其容量以使重新調整備轉佈署指令時，能快速補充調頻備轉容量之不足，30 分鐘內應使調頻備轉容量恢復正常值為原則。
補充備轉容量	接到調度中心指令，60 分鐘內可以增加之熱機、冷機備轉容量，其容量以使以重新調整備轉佈署指令時，補充第一、二級備轉容量之不足。
全黑起動	係指系統全停電時，發電機組自行起動並向外加壓送電至系統，系統逐漸擴大恢復範圍，最終使整個系統恢復正常。
無效功率與電壓調整服務	係指為使電網調度維持供電電壓在目標範圍內，可由發電設備提供(或吸收)無效功率或以其它方式進行電壓調整之服務。

資料來源：電力調度原則綱要，中華民國一百零七年一月二十六日經濟部經能字第 10604606850 號令。

結 論

再生能源電力發展過程中，電池儲能系統可將變動性再生能源轉換成穩定、可調度運用的電力，已成為有效利用再生能源的核心關鍵。在電力系統中維持“發電-輸配電-用電”之間的供需平衡，可藉由儲能系統在時間上隔離電力產生與使用，使電力系統變得更加彈性，能夠使發電側、輸電側與用戶側進行雙向互動協調，進而改變傳統集中式之單向流動電力系統。儲能系統在發電端可藉由儲能系統達到削峰填谷、補足尖峰用電、提高傳統機組效率等功能之外，快充快放的特性可解決用電尖峰時的電力昇載不及問題。在輸配電端儲能系統可穩定電壓與頻率並管理電力品質，以提高併網穩定性，實現再生能源平滑化。在用戶端可作為不間斷電源之外，亦可作為自發自用的發電儲能設備，達到減少併網以及優惠使用電價的功效。因此，儲能系統已經成為提升電力系統可靠度，以及未來建構智慧電網不可或缺的重要關鍵。目前經濟部已投入區域性儲能示範驗證開發，以降低大規模再生能源設置對電力系統影響為主要目標。一方面建立區域儲能系統實績，另一方面投入儲能技術開發，吸引更多廠商投入儲能產業。

又，建構「沙崙智慧綠能科學城」整合節能、創能、儲能、智慧電網等四大區塊，提供國內外綠能研發技術和產業測試、驗證及媒合的場域，以期能夠帶動綠能產業鏈群聚效益。