

我國高占比再生能源網之因應參考策略：以日本大型改善設備系統技術分析為例

盧恆究^{1*} 陳竑廷² 黃永福³

摘 要

隨著全球經濟和電力市場的迅速發展，傳統的電力系統模式以及用戶電網的實際運行需求情況所帶來的一些問題也日益突出。目前我國90%以上的能源需求須仰賴國外進口且傳統的火力及核能電廠興建不易，因此在台電電源開發方案當中已規劃2025年將現有的核能電廠全數除役，故尋找可靠的替代能源更顯重要如再生能源的發展。然而，隨著我國再生能源於電網之占比逐漸增高時將造成電網運轉之安全性與穩定性問題。因此，借鏡他國實際經驗便顯得十分重要。若以亞洲再生能源發展大國-日本而言，日本於2011年福島核災過後，因應環保意識抬頭以及人們對於核能安全的疑慮，便積極推動再生能源的發展。然而再生能源具有間歇性發電之特性，其包含著能源的波動性、隨機性或不可控等狀況，將可能導致風力發電、太陽光電這些高占比再生能源併網時造成電力系統之衝擊，使得日本的電力公司一度發起拒絕再生能源併網的措施以保護電網安全。為降低上述大規模再生能源併網可能造成的電網運轉風險，日本於2012年陸續推動「大容量蓄電系統緊急實證事業」、「大容量蓄電系統供需平衡改善實證事業」、「促進離島地區再生能源擴大導入之儲能電池實證事業」等大型儲能示範場域建置計畫，藉由儲能系統提升系統之電力品質。本文彙整日本三個大型儲能示範計畫與所推動的五個示範場域之驗證項目與相關應用成果，這五個示範場域共由九州電力、東北電力、北海道電力、中國電力等四間電力公司主導，研究成果可供國內未來發展大型儲能系統之重要參考依據。

關鍵詞：再生能源，大型儲能系統，併網技術

1. 前 言

由於氣候環境變遷及石化燃料資源日益枯竭，世界各國為降低對石化燃料的依賴，積極推動再生能源的發展。其中日本是世界上第三大經濟體與第三大能源消費國，國內對於能源需求是極為迫切並且為了減緩溫室氣體排放量，2002開始便有「能源政策基本法」等

能源發展政策推動(エネルギー政策基本法，2002)，在基本法的第三條中即明示日本能源發展必須同步開發風力、太陽光電等非石化燃料能源避免燃料缺乏所導致之能源危機。其後受到福島核災的影響，為加速國內再生能源的開發，於2012年7月開始實施「再生能源特別措施法案」規定日本所有的電力公司有義務以固定價格收購法(Feed-in Tariff, FiT)無條件收購所

¹財團法人工業技術研究院綠能與環境研究所研究員

²工研院綠能所副研究員

³工研院綠能所經理

*通訊作者, 電話: 03-5913731, E-mail: lhj@itri.org.tw

收到日期: 2017年08月08日

修正日期: 2017年10月11日

接受日期: 2017年10月20日

有再生能源所產生的電力，進而掀起國內太陽光電發電廠的興建熱潮(電氣事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法，2012)，卻也因為過多再生能源的併入使得的電力公司無法負荷。因此日本國內以九州電力公司為首的數家電力公司以再生能源間歇性及對頻率的影響為由，於2014年9月開始不再無條件接受太陽光電併網，而是必須經過審查通過才能夠併入系統，此舉形同禁止再生能源併網。由於該拒絕併網事件造成太陽光電業者極力反彈，經由各界協商後，日本經產省修正「再生能源特別措施法案」，該法案主要為解決三個問題：

1. 太陽光電併網量過大所導致的系統問題
2. 現行太陽光電躉售費用過高，財政負擔大
3. 電力自由化改革

而在我國方面，由於超過90%以上的能源需求須仰賴國外進口。因此雖然對於再生能源的發展上起步較晚，但在政府大力支持及積極推動下，於2009年公布再生能源發展條例，並陸續於2012年推動實施「千架海陸風力機」、「陽光屋頂百萬座」等計畫，期待能藉由這些政策措施，來促進再生能源的發展而達到能源自主應用。根據「建置太陽光電技術平台2年推動計畫」所提到之最新再生能源發展目標顯示，政府規劃於2025年將再生能源裝置量至27 GW，其中又以太陽光電20 GW以及離岸風電

3 GW做為主要推廣設置目標，其時程規劃可如表1所示。

隨著我國再生能源於電網之占比逐漸提升的同時，勢必將有許多既有的規範與技術必須重新修正，例如保護電驛的設定、發電機組頻率或電壓耐受的能力、系統備轉容量的需求、以及操作準則或規範。現今我國對於大規模再生能源併網之做法，主要有兩個方向：

1. 法規面修正：透過滾動檢討之方式修訂「台灣電力股份有限公司再生能源發電系統併聯技術要點」，以確保電網運轉之穩定與安全性。
2. 強化電力網路：由台電公司研擬「再生能源10年輸配電線路規劃計畫」藉此改善我國電力基礎設施不足之問題。

而在日本因應再生能源併網問題上，除了法規面的修訂外，也提出強化電力網路以及增設高效率發電機組與儲能系統作為大規模再生能源併網衝擊之對策。其中儲能系統由於具有操作反應快速及平衡系統供需等能力。因此，經產省於2012年開始推動「大容量蓄電系統緊急實證事業」(大型蓄電システム緊急実証事業実施細則，2012)，經過五大電力公司之拒絕併網事件後更一進步推動「大容量蓄電系統供需平衡改善實證事業」(大型蓄電システムによる需給バランス改善実証事業，2014)和環境省推動的「促進離島地區再生能源擴大導入之儲能

表1 我國再生能源整體推廣目標規劃(單位：MW)

目標年	2015	2016	2020	2025
再生能源類別				
陸域風力發電	647	747	1,200	1,200
離岸風力發電	0	8	520	3,000
水力發電	2,089	2,089	2,100	2,150
太陽光電	842	1,342	6,500	20,000
地熱能	0	1	150	200
生質能	741	742	768	813
累計	4,319	4,929	11,238	27,363

資料來源：本研究整理；資料來源自經濟部能源局「2017建置太陽光電技術平台2年推動計畫(核定本)」

電池實證事業」(離島の再生可能エネルギー導入促進のための蓄電池実証事業, 2014)等建置於本島與離島之大型儲能示範場域建置計畫。上述三項儲能示範計畫中, 目前共有九州、東北、北海道、中國等四家電力公司申請並建置位於豐前、南相馬、西仙台、南早來變電站、西之島變電站在內的五座大型儲能示範場域, 進行電網級儲能併網技術的開發及驗證。本論文綜合整理上述五個大型示範場域的相關驗證項目與作法可供國內未來發展相關大型儲能技術之參考。

2. 大型儲能系統緊急實證事業之推動情況

2.1 簡介

大容量蓄電系統緊急實證事業為日本在2012年由經產省所推動的一項補助計畫, 主要目的係利用大型儲能系統改善高占比再生能源加入後的電力系統所造成的電力品質問題, 進而擴大再生能源。過去雖已有將儲能導入微電網的案例, 但由於規模普遍不大, 對於電網的輔助效果有限, 因此日本以國內具有優勢的儲能電池技術為基礎, 建置相當於水力發電廠等級的儲能電池廠於變電站當中, 在驗證儲能電

池併網技術的同時, 也針對電池的特性進行測試, 藉此累積經驗, 幫助相關產業於國際市場中保持競爭力。目前計畫執行當中共有東北電力及北海道電力兩間電力公司獲得補助作為大型儲能示範場域, 所建置的位置分別為西仙台、南早來兩座變電站內, 以下將分別針對所屬電力公司概况及大型儲能廠之驗證項目進行介紹。

2.2 東北電力公司之系統概況

東北電力公司主要負責供應青森、岩手、秋田、宮城、山形、福島、新潟等七個縣市的電力。統計至2016年, 東北電力公司下轄發電機總裝置容量為18.21 GW; 輸電線路長度為15,190公里; 配電線路長度則為585,150公里。其中太陽光電的裝置容量為3.3 GW; 風力發電為0.82 GW; 而負載需量以2015年夏季離峰時段之實際值顯示為7.61 GW。東北電力公司位於核災影響區域, 因此積極推動太陽光電、風力發電等再生能源的發展, 而大量的再生能源併網使得已關閉部分核能機組的電力系統更加脆弱, 如再生能源大規模併網可能會造成之頻率變動, 如圖1所示。

為解決上述再生能源高占比問題, 東北電力公司除了強化現有網路架構外, 也提出以大型儲能系統作為因應之對策。

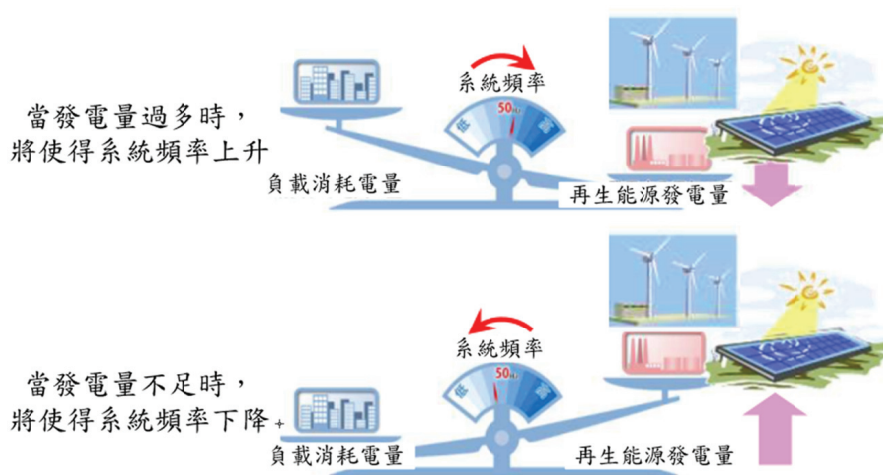


圖1 大規模再生能源併網對於頻率影響圖
資料來源：東北電力, 2017a; 本研究翻譯

2.3 西仙台大型儲能示範廠

西仙台儲能示範廠設置面積為6,000平方公尺，儲能裝置容量為20 MW/20 MWh的SCiB (Super Charge ion Battery)新型鋰離子電池，由東芝株式会社製造(橋本竜弥等，2015)。計畫執行時間為2013年至2017年為止，其中2015年為儲能電池開始運作並進行為期三年的驗證工作。西仙台大型儲能示範場域主要是針對大規模再生能源所造成的頻率變動問題進行改善。當頻率變動幅度過大時，將使得住家的照明設備閃爍頻率異常以及使得工廠設備運轉異常影響生產品質甚至導致機組故障，另外大型儲能系統也針對通訊功能及電池性能進行測試，期望可以改善上述問題，擴大再生能源併網容量，其示範場域外觀可如圖2所示(東北電力，2017a)。

2.3.1 西仙台大型儲能示範場之頻率控制技術驗證

為達成系統頻率控制，東北電力公司透過中央調度中心隨時監控再生能源的發電情況，當系統頻率變化過大時，透過負載頻率控制 (Load Frequency Control, LFC)自動送出指令，調整儲能系統與一般發電機組的出力，藉此平衡系統頻率變動，其操作流程及控制說明可如

圖3、圖4所示。

圖4為西仙台大型儲能示範系統之頻率調節控制說明，當系統頻率變化過大時，屬於長時間的頻率擾動可利用容量較大的火力機組來調節頻率；若屬於瞬間大幅度頻率變動，則利用反應快速的儲能電池進行頻率調節工作。

2.4 北海道電力公司之系統概況

北海道電力公司負責供給北海道全境(含奧尻與禮文等離島地區)，統計至2017年3月，北海道電力公司下轄發電機總裝置容量為7.957 GW；輸電線路長度為8,306公里；配電線路長度則為68,250公里。其中太陽光電的裝置容量為0.973 GW (截至2015年)；風力發電為0.36 GW (截至2016年)。北海道地區由於日照豐沛且具有良好的風場資源，屬於日本較早開發再生能源之地區，然而北海道地區位於離島，電網等級約為0.4 GW相較本島地區的電網規模較小(東日本43 GW、西日本58 GW)，因此當大規模再生能源併入電網時，將造成以下三點的影響：

1. 系統電力品質問題：再生能源出力變化大造成系統供需不平衡以及頻率變動問題，將使得工廠設備運轉異常影響生產品質甚至導致產線停工。
2. 變電站設備容量不足：再生能源瞬間出力將

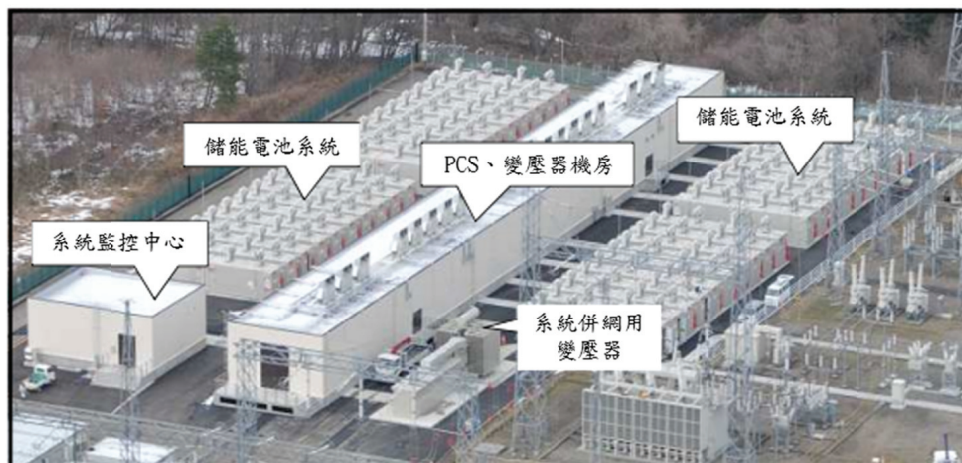


圖2 西仙台大型儲能示範場域外觀圖

資料來源：東北電力，2017a，西仙台變電所周波數變動對策蓄電池システム実証事業；本研究翻譯

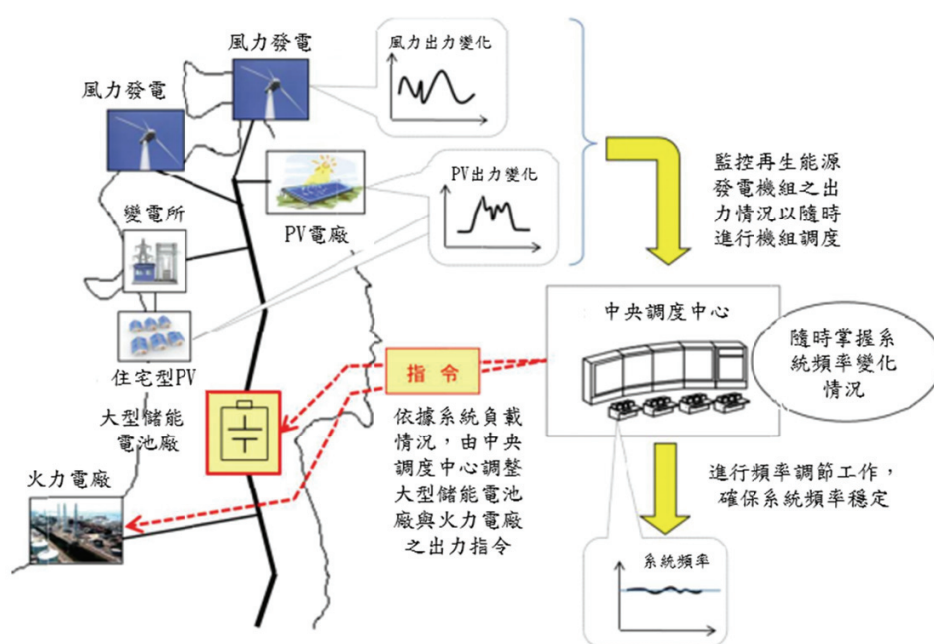


圖3 西仙台之頻率調節控制流程圖

資料來源：東北電力，2017a，西仙台變電所周波數變動對策蓄電池システム実証事業；本研究翻譯

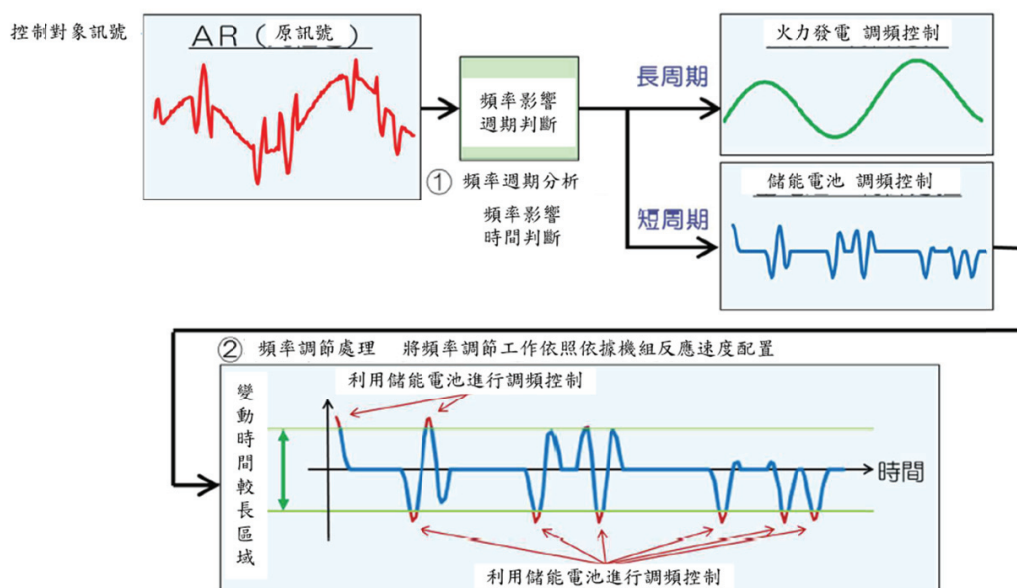


圖4 西仙台之頻率調節控制說明圖

資料來源：東北電力，2017a，西仙台變電所周波數變動對策蓄電池システム実証事業；本研究翻譯

造成部分線路壅塞(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。

3. 現有電力網路架構強度不足：北海道地區目前僅由兩條0.3 GW的傳輸線連接至本島，在

維修時則僅剩一條傳輸線可供使用，若北海道多座發電廠故障時或是再生能源的輸出銳減時將導致電力不足使得電力品質受影響。

根據上述問題，北海道電力公司提出以大型儲能系統(南早來大型儲能示範廠)來舒緩大規模再生能源併網所造成之電力品質與線路壅塞問題，幫助再生能源之併入容量擴大。

2.5 南早來大型儲能示範場域

南早來儲能示範廠設置面積為5,000平方公尺，儲能裝置容量為15 MW/60 MWh的VRB (Vanadium Redox Battery)全釩液流電池，由住友電氣工業株式會社製造。計畫執行時間為2013年至2018年為止。南早來大型儲能示範場域主要是針對大規模再生能源所造成的頻率變動以及系統供需平衡、電池性能進行技術開發與測試驗證，其示範場域外觀可如圖5所示(北海道電力，2017)。

2.5.1 南早來大型儲能示範場之頻率控制技術驗證

南早來的負載頻率控制模式與西仙台類

似，但南早來比較偏向短時間的頻率抑制，當中央調度中心偵測到系統頻率異常時，則依據比例調整水力機組與儲能電池的充放電狀態，藉此快速地平衡系統頻率變動，如圖6所示。

2.6 小結

作為日本先期大型儲能系統補助計畫，日本透過國內電力公司與電池廠商間的合作，針對大規模再生能源併網較容易發生的頻率問題進行技術開發及驗證工作，一方面解決了電網安全問題另一方面則提供電池廠商驗證電池性能的機會，可供我國先期大型儲能發展政策作為參考方向。

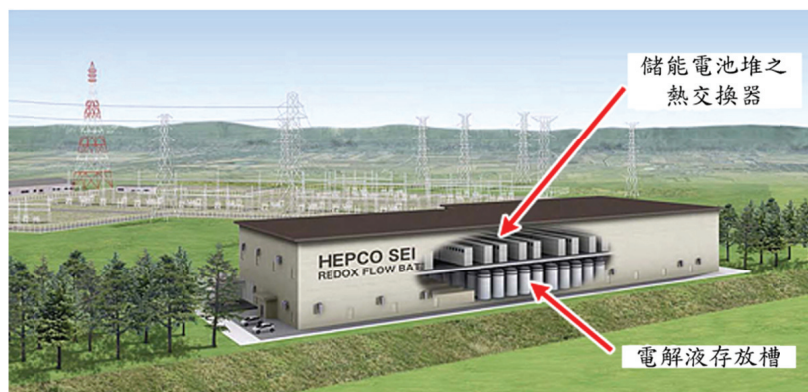


圖5 南早來大型儲能示範場域外觀圖
資料來源：北海道電力，2017；本研究翻譯

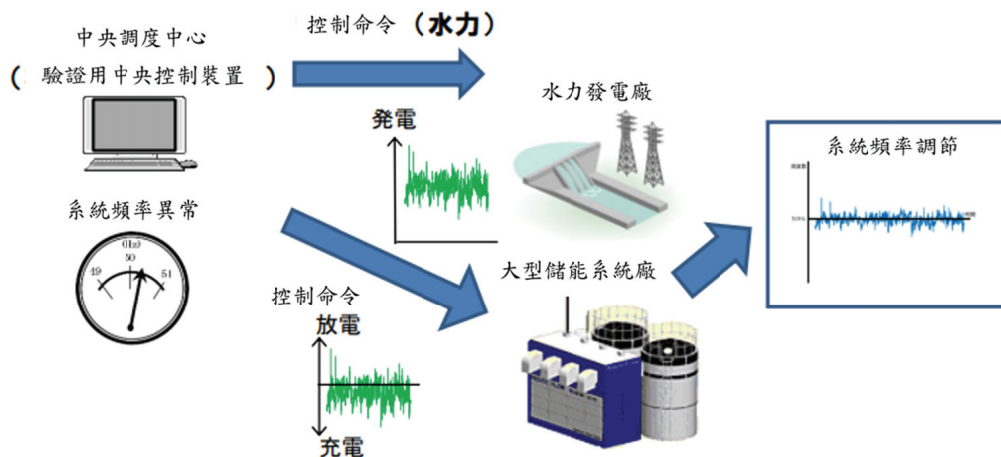


圖6 南早來之負載頻率控制說明圖
資料來源：北海道電力，2017，南早來變電所大型蓄電システム実証事業；本研究翻譯

3. 大型儲能系統供需平衡改善實證事業之推動情況

3.1 簡介

2014年，日本在「大容量蓄電系統緊急實證事業」取計畫中取得初步成果後，接續推出的大型儲能示範計畫。相較於前者主要是針對系統頻率調節以及儲能電池技術的開發與驗證；「大容量蓄電系統供需平衡改善實證事業」計畫則是將儲能系統的規格擴大，使其裝置容量能夠接近傳統調節用的水力機組，進而達到電壓調節、系統削峰填谷等能力的實現。目前共有東北電力及九州電力等兩間電力公司獲得補助作為大型儲能示範場域，所建置的位置分別為南相馬、豐前兩座變電站內，以下將分別針對所屬電力公司概况及大型儲能廠之驗證項目進行介紹。

3.2 南相馬大型儲能示範場域

南相馬儲能示範廠設置面積為8,500平方公尺，所採用的電池與西仙台相同，為東芝株式会社製造的SCiB新型鋰離子電池，其裝置容量則是40 MW/40 MWh。計畫執行時間為2015年至2017年為止，南相馬著重於利用儲能系統提供系統輔助服務，已達到削峰填谷、系統供需

平衡之目的。其示範場域外觀可如圖7所示(東北電力，2017b)。

3.2.1 南相馬大型儲能示範場之系統供需平衡技術驗證

東北電力公司針對再生能源造成的調度問題提出以儲能電池之解決對策。首先選擇一日24小時資料，接著於再生能源發電量較少時，將儲能電池內部的電能釋放；而中午再生能源發電量滿載時，則利用儲能電池將多餘的電能進行儲存，達到系統供需平衡之目的，其判斷流程說明及供需平衡示意可如圖8、9所示。

3.2.2 南相馬大型儲能示範場之系統電壓控制技術驗證

東北電力公司針對電壓變動問題提出利用儲能電池之無效功率調節系統電壓，其操作步驟為透過調度中心之電壓偵測結果向儲能電池下達吸收或是釋放無效功率之指令，藉此平滑系統電壓變動，如圖10所示。

3.3 九州電力公司之系統概況

九州電力公司主要負責供應福岡、長崎、大分、佐賀、宮崎、鹿兒島、熊本等七個縣市的電力。統計至2016年，九州電力公司下轄發電機總裝置容量為28.03 GW；輸電線路長度為



圖7 南相馬大型儲能示範場域外觀圖

資料來源：東北電力，2017b，南相馬變電所需給バランス改善蓄電池システム実証事業；本研究翻譯

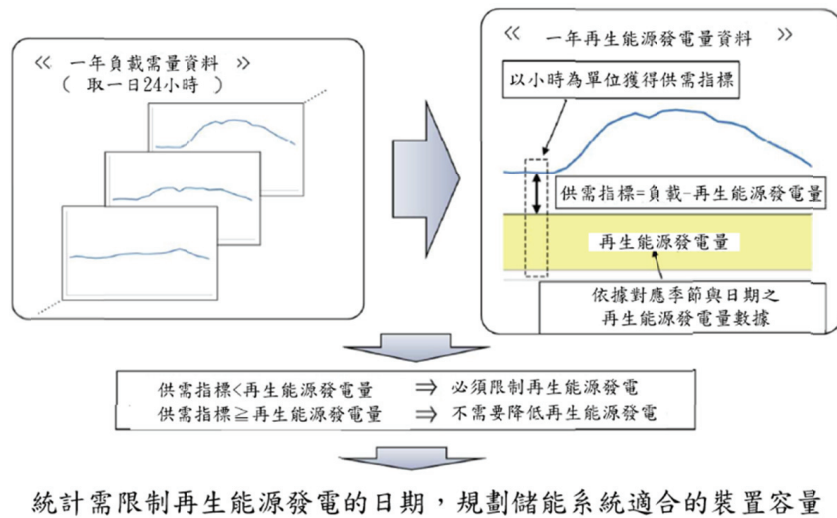


圖8 大規模太陽光電併網之影響圖

資料來源：東北電力，2017b，南相馬變電所需給バランス改善蓄電池システム実証事業；本研究翻譯

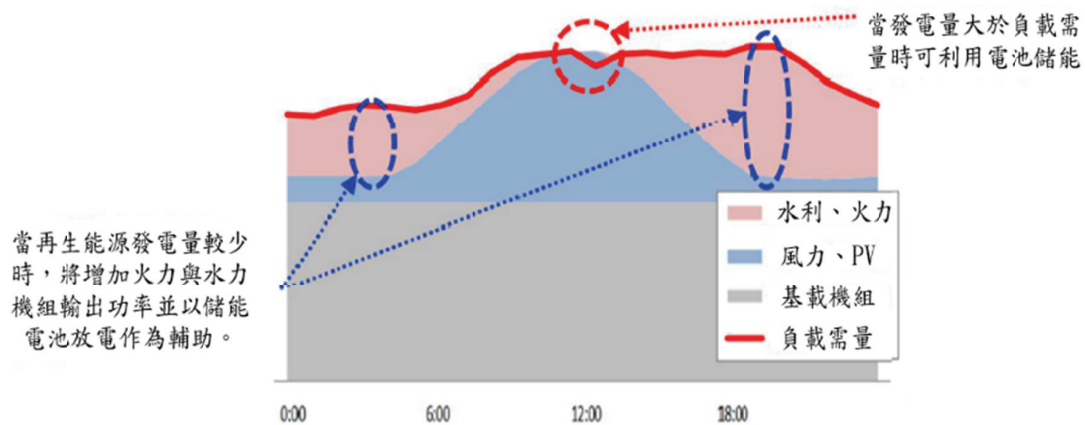


圖9 南相馬之供需平衡示意圖

資料來源：東北電力，2017b，南相馬變電所需給バランス改善蓄電池システム実証事業；本研究翻譯

南相馬變電站66kV匯流排電壓

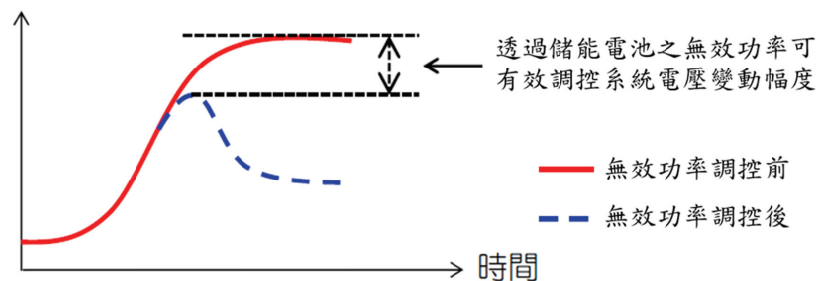


圖10 南相馬之電壓調節效果圖

資料來源：東北電力，2017b，南相馬變電所需給バランス改善蓄電池システム実証事業；本研究翻譯

10,773公里；配電線路長度則為140,352公里。依據2014年新能源委員會的太陽光電核定併網容量接達到8.17 GW。為確保系統安全及穩定

性，因此九州電力公司針對上述問題，導入大型儲能系統於豐前變電所當中。

3.4 豐前大型儲能示範場域

豐前儲能示範廠設置面積為14,000平方公尺，採用日本礙子株式會社製造的鈉硫電池(Sodium Sulfur，又稱NAS電池)，其裝置容量則是50 MW/300 MWh。計畫執行時間為2015年至2018年為止，其中2016年為儲能電池開始運作並進行為期兩年的驗證工作。豐前儲能示範廠主要是針對九州地區大規模地再生能源併網進行預防性的措施，驗證項目可分為供需平衡技術、系統電壓控制技術、頻率控制技術、儲能電池損失最佳化等相關技術開發；此外為確保計畫可順利執行，九州電力也依據任務排定相關負責單位，如中央調度中心負責系統供需平衡控制、北九州綜合控制中心負責系統電壓控制、綜合研究所負責規劃儲能計畫相關驗證項目及實施、豐前火力發電廠則進行場地評估後，提供合適廠址作為儲能示範廠的興建用途，其相關配置可如圖11所示(九州電力，2017)。

3.4.1 豐前大型儲能示範場之系統供需平衡技術驗證

九州電力公司在本次實驗項目中構想將儲

能的裝置容量擴大，使其可達到小型水力發電機組之規模，藉此驗證當負載端若因再生能源發電量不足及過多時，如何藉由加入儲能電池來輔助水力機組維持系統的最佳化平衡工作。在未加入儲能系統前，九州電力多仰賴水力發電機組來調節負載尖峰及離峰用電，如白天時段透過太陽光電溢發的電力來啟動抽水幫浦，將下游的水抽至上游，形同儲存的動作；晚間太陽下山的時刻，則進行放水的工作，平衡負載需求，如圖12所示。

基於上述調度方式，九州電力公司於豐前大型儲能的驗證中，將占比最高的風力、太陽光電等透過預測的方式整合並視為主要的再生能源來源，並以六種情境，依序是儲能電池裝置容量為50 MW、500 MW、1,000 MW、1,500 MW、2,000 MW、2,500 MW等不同容量之情況，搭配現有的水力發電機組進行系統供需平衡最佳化的工作，以2016年5月4日實際模擬的結果顯示，儲能電池容量為300 MWh時(50 MW × 6小時)，對於午間太陽光電滿載時之電量吸收可提供總量的2%，而水力機組可貢獻98%，證明其已初具供需平衡之能力，如圖13所示。

此外，九州電力公司也考量未來擴大儲能之情境進行分析，模擬結果顯示以九州地區未

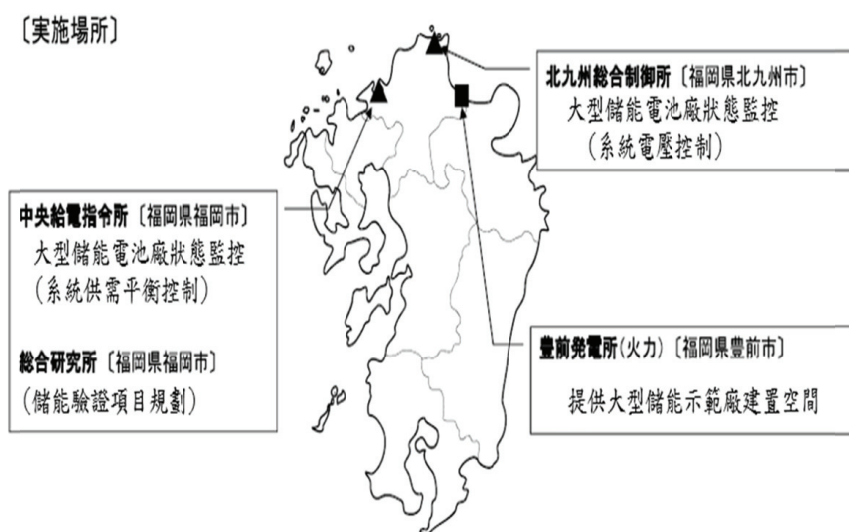


圖11 豐前大型儲能計畫之任務配置圖

資料來源：九州電力，2017，豐前蓄電池變電所における大型蓄電システムによる需給バランス改善実証事業；本研究翻譯

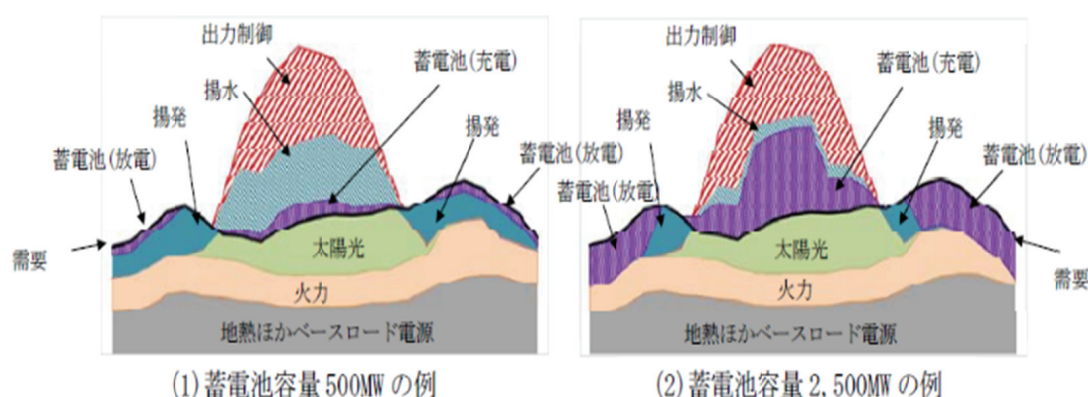


圖14 不同儲能電池容量對於系統供需平衡比較圖

資料來源：九州電力，2017，豐前蓄電池變電所における大型蓄電システムによる需給バランス改善実証事業

再加入大規模再生能源如太陽光電至電網時，由於電力調節器(Power Conditioning System, PCS)會依據當下天氣及需求情況調整太陽光電之輸出功率，因此系統電壓變動將會十分頻繁，為減緩上述問題對於系統之電壓變動衝擊，九州電力公司於豐前大型儲能廠之試驗中，將利用儲能電池可以吸收及提供虛功的特性，驗證其對於舒緩系統電壓變動之效果。

對於系統電壓控制的驗證當中，主要在豐前變電站進行，該變電站之電壓等級為220 kV/66 kV，其中儲能電池則是位於下轄的6 kV等級並以此進行系統電壓的調控測試，其系統架構可如圖15所示。

以下以儲能系統最大虛功輸出25 Mvar的情境而言，北九州綜合控制中心發送虛功率控制指令時，可成功調控蓄電池的出力情況，使得66 kV之系統電壓從65.8 kV左右提升至最高66.6 kV；可提升約0.8 kV左右的電壓等級，其儲能電池及66 kV母線系統之實際變化情況，可如圖16所示。

3.4.3 豐前大型儲能示範場之負載頻率控制技術驗證

為因應大規模再生能源併網後造成之系統頻率變動問題，九州電力公司以儲能電池反應快速之特性，針對九州地區(負載規模約10,000

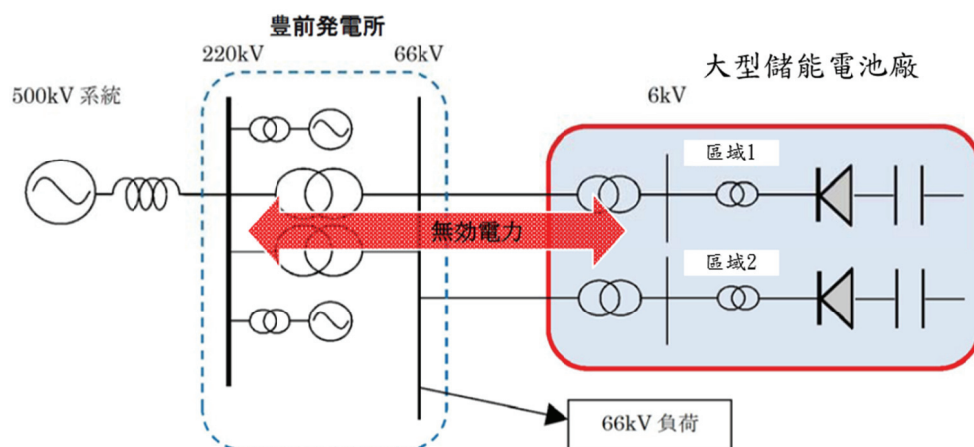


圖15 豐前大型儲能廠之無效功率調控系統圖

資料來源：九州電力，2017，豐前蓄電池變電所における大型蓄電システムによる需給バランス改善実証事業；本研究翻譯

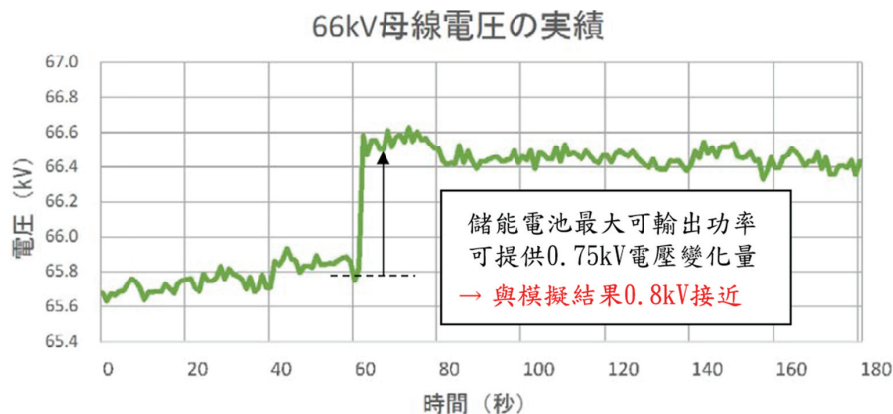


圖16 豐前變電站66kV母線之系統電壓變化圖

資料來源：九州電力，2017，豐前蓄電池變電所における大型蓄電システムによる需給バランス改善実証事業；本研究翻譯

MW)進行負載頻率調節的技術驗證。在此驗證項目當中，主要流程為透過中央調度中心計算出各機組應提供之有效功率量，接著發送控制指令給儲能示範廠之控制設備，調整儲能電池之充放電量。

在該項目的驗證中，同西仙台、南早來等大型儲能示範廠皆是以負載頻率控制的調控為主，依據九州電力公司現有頻率控制訊號需要於每5秒更新一次以匹配負頻率。因此從中央調度中心發送訊號至北九州綜合控制中心的負載頻率控制設備以及到儲能電池端實際動作最慢不能超過3秒後才完成，其負載頻率控制流程可

如圖17所示。

依據實驗結果可以得知，儲能系統進行有效功率及無效功率的控制皆可在2秒內完成，且對照其他兩組機組(傳統火力機組、複循環機組)的反應時間，證明儲能具備的快速調節能力，其對照結果可如圖18所示。

3.5 小結

當大規模再生能源併網後，將造成系統調度難度增加，因此當頻率變動問題獲得改善後，日本進一步利用儲能系統作為供需平衡改善作法。根據東北電力公司的驗證報告指出，

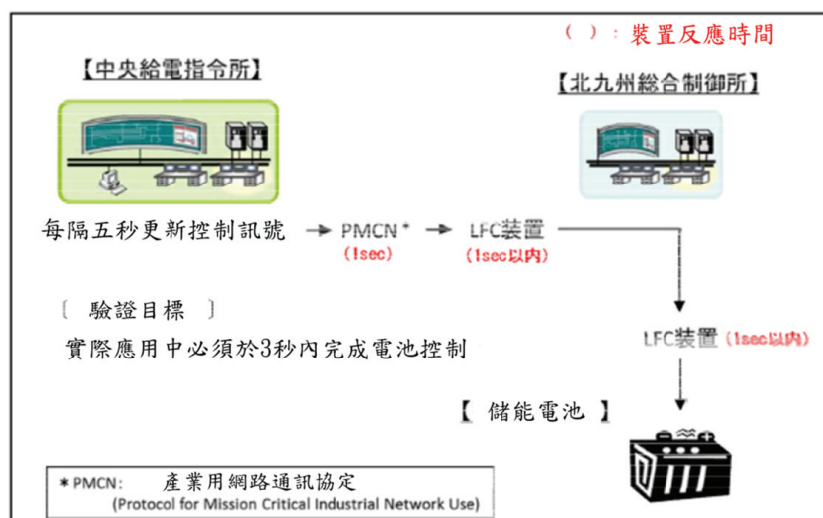


圖17 豐前大型儲能廠之負載頻率控制流程圖

資料來源：九州電力，2017，豐前蓄電池變電所における大型蓄電システムによる需給バランス改善実証事業；本研究翻譯



圖18 豐前大型儲能廠之各機組功率調節比較圖

資料來源：九州電力，2017，豐前蓄電池變電所における大型蓄電システムによる需給バランス改善実証事業；本研究翻譯

改善系統供需平衡可擴大再生能源使用效率幫助降低太陽光電溢發電量的損失進而提高機組使用效率，並且降低對傳統石化燃料機組的依賴，使得機組運作時所產生的二氧化碳排放能夠大幅減少，與我國政府願景的低碳家園發展方向一致。

4. 促進離島地區再生能源擴大導入之儲能電池實證事業推動情況

4.1 簡介

離島地區較為偏遠使得線路建置不易，因

此過去多仰賴柴油發電機等傳統式機組。使得日本政府必須負擔昂貴的燃料成本以及發電過程中所帶來的空氣汙染等影響，因此在再生能源大量建置的時期，離島地區也裝設為數眾多的再生能源機組，而太陽光電、風力發電等機組之間歇性特性，造成線路結構原已脆弱的離島地遭受衝擊，尤其是頻率過大所造成的電力品質問題，因此環境省於2014年推動為改善大規模再生能源併入所造成的影響而導入儲能電池的驗證計畫，期望藉由儲能電池改善再生能源之電力品質問題，進而擴大離島地區的再生能源併網量以及減少對溫室氣體的排放量，目前該項計畫主要由日本的中國電力公司主導隱岐群島之混合式儲能電池示範廠。

4.2 中國電力公司之系統概況

中國電力公司主要負責供應鳥取、島根、岡山、廣島、山口等五個縣市以及兵庫、香川、愛媛縣部分地區的電力。統計至2017年3月，中國電力公司下轄發電機總裝置容量為11.53 GW；輸電線路長度為8,520公里；配電線路長度則為83,539公里。本計畫所選定的隱岐群島位於日本島根縣，由島前(西之島、知夫里島、中之島)、島後與180多個小島所組成。群島主要依賴黑木、西鄉兩座火力發電廠(約32.7 MW)以及風力(1.8 MW)與水力(0.8 MW)來提供全島約24.1 MW的用電量。

目前隱岐群島所遭遇的問題為該島每季的用電需求變動較大，如春、秋兩季的最低負載量僅10 MW左右，如圖19所示。再生能源機組則會產生逆送電力，將無法擴大再生能源之裝置容量且會造成系統頻率變動幅度過大等問題。中國電力公司期望透過儲能電池的加入改善上述問題，因此選擇以島前的西之島變電站建置儲能示範場域。

4.3 隱岐群島混合式儲能示範場域

隱岐群島混合式儲能示範廠位於西之島變電站內，總設置面積為2,400平方公尺，三菱電機株式會社應用其EMS系統控制NAS電池以及鋰離子電池，總裝置容量則是6.2 MW/25.900

表2 隱岐群島混合式儲能示範廠相關數據

變電所名稱	西之島變電站
電壓等級	22 kV
變壓器規格	7.5 MVA, 22 kV/6 kV
NAS電池	4.2 MW / 25.2 MWh
鋰離子電池	2 MW / 0.7 MWh
電力調節器	1.8 MW × 1、1.2 MW × 2 (NAS電池用) 0.5 MW × 4 (鋰離子電池用)

資料來源：中國電力，2016，隱岐諸島におけるハイブリッド蓄電池システム実証事業の概要；本研究整理

MWh，其系統相關參數可如表2所示。

該計畫執行時間為2014年至2018年為止，其中2015年為儲能電池開始運作並進行為期三年的驗證工作。隱岐群島混合式儲能示範廠主要是針對離島地區可能會遭遇的頻率變動問題進行預防性的措施，驗證項目可分為短、長期的頻率控制技術以及再生能源併網量擴大驗證，其相關配置可如圖20所示。

4.3.1 隱岐群島儲能示範場域之負載頻率控制技術驗證

中國電力公司針對隱岐群島輕重載時之負載量需求，提出短期與長期兩種不同情況下的因應對策：

1. 短期頻率變動：利用鋰離子電池快速輸出之特性來解決系統瞬時變化，如雲層遮蔽；若

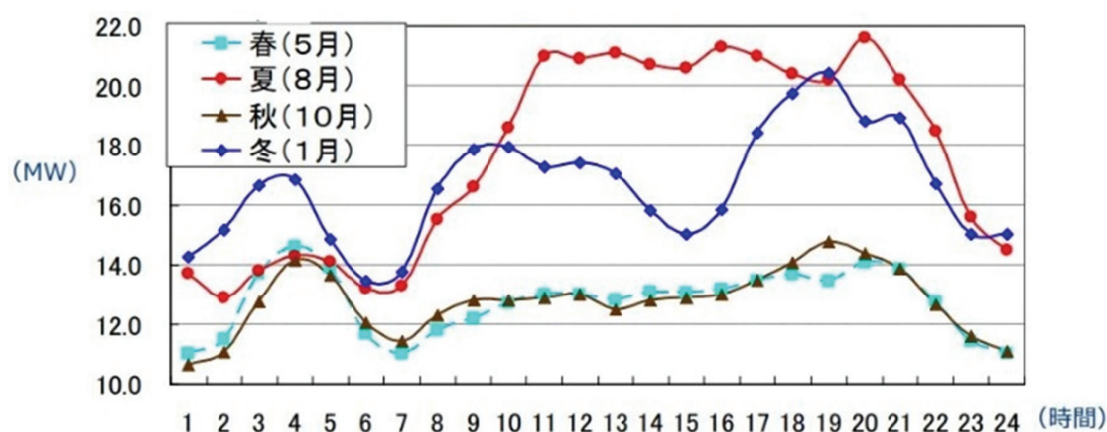


圖19 隱岐群島一日用電量變化圖(四季)

資料來源：中國電力，2016，隱岐諸島におけるハイブリッド蓄電池システム実証事業の概要

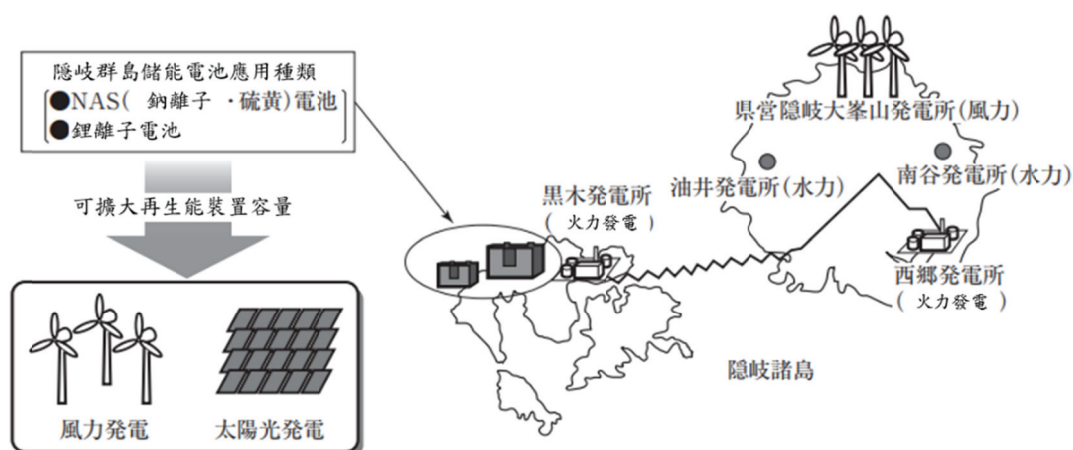


圖20 隱岐群島混合式儲能示範系統概況圖

資料來源：中國電力，2016，隱岐諸島におけるハイブリッド蓄電池システム実証事業の概要；本研究翻譯

頻率擾動的時間較久如夜間太陽光電無發電之時刻，則使用裝置容量較大的NAS電池輔助解決，混合兩種不同的儲能電池特性達到頻率穩定之最佳化目標，如圖21所示。

2. 長期頻率變動:針對不同季節用電需求的差異，利用氣象資料與歷史數據進行再生能源及負載需量的預測並依據結果來調度儲能電池與火力發電機組，若觀察2016年4月26日儲能電池實際加入調度情況，證明儲能系統對於頻率變動穩定確實具有幫助，如圖22所示。

4.3.2 隱岐群島儲能示範場域之再生能源併網擴大驗證

隱岐群島目前共有再生能源總裝置容量為2.9 MW (含風力發電、水力發電以及住家型太陽光電)，為測試加入儲能電池對於擴大再生能源併網容量之效果，因此本項驗證將增設太陽光電5.5 MW以及風力發電2 MW，含現有機組合計約10.4 MW，約為島上離峰負載量之標準，如圖23所示。

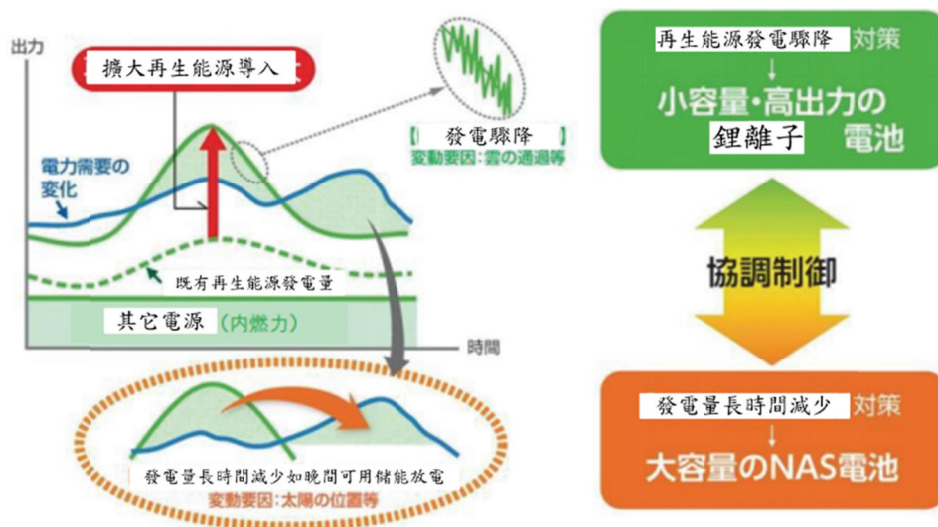


圖21 隱岐群島儲能示範場之頻率調節策略

資料來源：中國電力，2016，隱岐諸島におけるハイブリッド蓄電池システム実証事業の概要；本研究翻譯

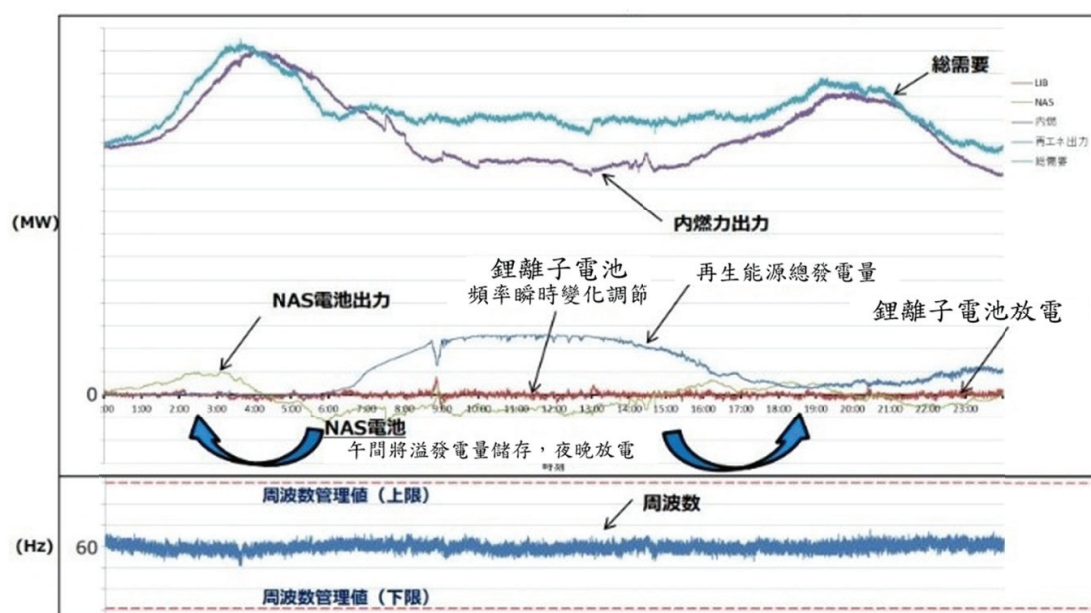


圖22 隱岐群島儲能示範場之再生能源併網量擴大驗證

資料來源：中國電力，2016，隱岐諸島におけるハイブリッド蓄電池システム実証事業の概要；本研究翻譯



圖23 隱岐群島儲能示範場之擴大再生能源併網配置

資料來源：中國電力，2016，隱岐諸島におけるハイブリッド蓄電池システム実証事業の概要；本研究翻譯

4.4 小結

由於地理環境限制使得離島地區存在著電力網路結構較為脆弱的問題，儲能系統的加入可配合當地的用電型態特性進行排程工作，如日本於隱岐多座島嶼間的微電網應用，降低

了當地對於柴油、石化機組的依賴，並強化電網結構以及減少相關燃料的成本；在臺灣，相關微電網應用已有一些案例正在進行中，特別是離島地區更是該項計畫的核心，然而對於再生能源的儲能調度方面，仍有許多待克服的部分，因此對於日本相關離島儲能應用發展經驗

或可作為參考之方向。

5. 討論與結論

5.1 討論

為降低對石化燃料之依賴，國際間無不大力推動各式再生能源，其中又以太陽光電發展最為迅速，為解決再生能源高占比所帶來的問題(如第2-4章)，日本提出興建輸電線路、增設發電機組與變電站、興建大型儲能系統等作為因應對策，然而輸電線路與發電機組的增建皆需要較長之興建時程與環境保護評估使得投入之時間成本較高。如日本在過去10年間陸續推動多項大型儲能計畫，透過電力公司與儲能相關廠商進行合作之方式，針對電池的性能與併網相關技術進行開發與驗證，並且根據現有的成果報告顯示儲能電池確實具備效果。

我國與日本環境相當，同樣為資源虧乏之島國。為推廣再生能源利用，增進能源多元化，改善環境品質，帶動相關產業及增進國家永續發展，政府於2009制訂了「再生能源發展條例」，其中規定每兩年就必須以滾動式方式進行目標設定與調整，因此近年來積極地推動再生能源的發展，如「千架風機、百萬屋頂」以及太陽光電兩年短期計畫等大規模風力與太陽光電開發計畫，目標在2025年達到再生能源佔系統總發電比例之百分之二十，未來勢必也將隨著規模的增加而遇到與日本相同的問題。對於再生能源高占比之因應對策上，除了透過長期的電源開發方案進行輸電線路的興建與高效率機組的增設外，儲能系統的使用也能夠列入考量方法內；綜觀日本對於大型儲能的應用上，依序可分為二大執行項目：

1. 儲能電池對於頻率調節方面：過去傳統水力機組反應速度較慢且大型抽蓄水力廠尋址較為困難，因此面對間歇性變化劇烈之再生能源機組將造成相關調度困難，而儲能電池具有反應速度快及充/放電轉換自由等優勢，

當再生能源間歇性造成系統瞬間頻率變動大時，儲能電池可以配合抽蓄水力機組提供短期的頻率調節服務也是日本目前多數儲能示範場主要驗證之項目。

2. 儲能電池對於系統供需平衡改善方面：再生能源輸出功率易受氣候因素影響，水力機組雖具備充(蓄水)、放(放水)電功能，但仍有其最小出力量的限制，且無法快速切換充放電狀態。而儲能電池為化學發電形式，因此可隨需求快速轉換狀態，能夠有效地抑制系統之供需平衡問題。

儲能電池雖經由上述眾多實證計畫中，證明已具備電網級調節能力，但是在日本的幾項大型儲能驗證項目中卻也發現到，目前儲能電池成本仍過於昂貴，因此在上述的驗證裡，多半是利用儲能系統反應快速之特性，作為大型抽蓄水力機組調頻之輔助用，如九州電力之豐前大型儲能示範廠。且在該案例中也顯示，過多的儲能系統可能會壓縮到現有水力機組的使用容量而無法達到最佳的使用效率；此外在削峰填谷等系統供需平衡等問題上，日本的電力公司考量儲能所裝設容量過小，因此也僅是驗證儲能具備此功能，對於實際系統的調度協助上目前尚無明顯之幫助，如東北電力之南相馬大型儲能示範場域及北海道電力之南早來大型儲能示範場域所呈現結果一般。最後現有的儲能系統雖然安全性較過去已有明顯之改善，但在電池的種類使用選擇方面仍無一種較理想的應用參考，如上述示範場域中共使用了鋰離子、鈑液流、鈉硫等數種電池，每種電池的使用特性皆不相同，但共同點則是使用壽命仍過短，無法與抽蓄水力等可使用數十年的儲能方式相比。

5.2 結論

綜觀我國目前之情況，未來若要參考日本實例經驗導入大型儲能作為解決再生能源高占比之方法，仍有以下幾點關鍵問題尚待克服：

1. 經濟性挑戰問題：儲能成本居高不下，影響

儲能大規模發展。目前國內多為示範性質的儲能系統安裝工程，且為離島示範場域，若未來安裝於國內本島時，恐會出現推廣困難之經濟問題，其關鍵材料與能量轉化效率也是各種技術面臨的共同挑戰。

2. 應用性挑戰問題：儲能系統產品整套規模生產前之定型週期較長。儲能系統則於電力系統之應用時間短，目前尚無於電網系統中之大規模應用，而國內之抽蓄系統未來也不足應用於併入高占比之再生能源。然而，電力產業對於產品可靠性要求較高，傳統上至少需要數年以上之可靠性測試與試用才可通過電力用戶的最低標準。
3. 政策性挑戰問題：目前尚未出現主導應用層面環節，將可能導致業者與政府推動時利益分配不平衡之現象。

因此綜合上述所言，我國初期能夠以較小規模儲能系統建置(如數MW等級)為主，並針對特定功能之驗證，如系統瞬間頻率調節與電網連接之通訊功能驗證等並同步發展儲能電池製程技術以強化相關應用經驗也可降低儲能建置成本，藉此觀察導入儲能系統對於改善我國再生能源高占比情況之適切性及成效，做為後續相關電力網路強化政策之參考依據。

參考文獻

- 九州電力(2017)，「豊前蓄電池変電所における大型蓄電システムによる需給バランス改善実証事業」，http://nepc.or.jp/topics/pdf/170331/170331_4.pdf。
- 大型蓄電システム緊急実証事業実施細則(2012)，<http://www.nepc.or.jp/topics/2017/0308.html>。
- 大型蓄電システムによる需給バランス改善実証事業(2014)，バーチャルパワープラント構築事業費補助金交付規程，http://www.nepc.or.jp/topics/2016/0408_1.html。
- 中國電力(2016)，「隱岐諸島におけるハイブリッド蓄電池システム実証事業の概要」，<http://www.nedo.go.jp/content/100788814.pdf>。
- 北海道電力(2017)，「南早来変電所大型蓄電システム実証事業」，http://nepc.or.jp/topics/pdf/170524/170524_2.pdf。
- 東北電力(2017a)，「西仙台変電所周波数変動対策蓄電池システム実証事業」，http://nepc.or.jp/topics/pdf/170524/170524_1.pdf。
- 東北電力(2017b)，「南相馬変電所需給バランス改善蓄電池システム実証事業」，http://nepc.or.jp/topics/pdf/170331/170331_2.pdf。
- 電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法(2012)，平成二十三年八月三十日法律第百八号，<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H23/H23HO108.html>。
- 橋本竜弥、川俣智幸、島田和義(2015)，「東北電力(株)西仙台変電所 大型蓄電池システムの運転開始」，東芝レビュー，Vol.70 No.9，45-48。
- 離島の再生可能エネルギー導入促進のための蓄電池実証事業(2014)，<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=17782>。
- エネルギー政策基本法(2002)，平成十四年六月十四日法律第七十一号，<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H14/H14HO071.html>。

Strategy for the High-penetration Renewable Energy Grid-connected in Taiwan : An Example of Analysis of Technology for Large-scale Improved Equipment System in Japan

Heng-Jiu Lu^{1*} Hong-Ting Chen² Yung-Fu Huang³

ABSTRACT

With the rapid development of the global economy and electricity market and enhancement of people's awareness of environmental protection besides the great support of the national policy. Taiwan is relies heavily on imported energy over 90%. However developing self- independent renewable energy resources will be the primary focus for Taiwan. Therefore, the Taipower development program which has been planned in 2025 that will decommission the existing nuclear power plant. It is more important than the search for reliable alternative energy. In the future, with gradual increase in the proportion of renewable energy in Taiwan, the safety and stability of grid-connected operation will be caused. Therefore, it is very important to refer form actual experience of other advanced courting. Japan had a nuclear disaster at Fukushima in 2011, due to the rise of environmental awareness and people for nuclear safety concerns, and actively promote the development of renewable energy. It had promoted large-scale energy storage system demonstration site construction project 2012, though the energy storage system to enhance the system of power quality. This paper summarized the three large-scale energy storage demonstration projects in japan, including Kyushu Electricity Power Company, Tohoku Electricity Power Company, Hokkaido Electricity Power Company, and Chugoku Electricity Power Company. Research results will develop the large-scale energy storage system for the important reference in Taiwan.

Keywords: Renewable energy, large-scale energy storage system, grid-connected technology

¹ Researcher, Green Energy and Environment Research Laboratories, Industrial Technology Research Institute.

² Associate Researcher, GEL, ITRI.

³ Manager, GEL, ITRI.

*Corresponding Author, Phone: +886-03-5913731, E-mail: lhj@itri.org.tw

Received Date: August 8, 2017

Revised Date: October 11, 2017

Accepted Date: October 20, 2017