

出國報告（出國類別：實習）

儲能系統運轉維護之研習

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：高斌峰 電機工程師

派赴國家：日本

出國期間：112年8月31日至112年9月6日

報告日期：112年10月12日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：儲能系統運轉維護之研習

頁數 30 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話台灣電力公司/翁玉靜/(02)23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

高斌峰/台灣電力公司/供電處/設備專員/(02)23666583

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 開會 6 其他

出國期間：112 年 8 月 31 日至 112 年 9 月 6 日

派赴國家/地區：日本

報告日期：112 年 10 月 12 日

關鍵詞：儲能設備(Energy Storage System)、鈉硫電池(Sodium Sulfur Battery)、SPSS(Smart Power Supply Systems)、電池劣化診斷技術(Battery Degradation Technology)

內容摘要：(二百至三百字)

台灣 2050 淨零轉型目標的能源轉型策略為增加綠能、天然氣及儲能，減少燃煤的使用，透過設置儲能設備來因應再生能源間歇性發電特性對電網之衝擊。目前儲能設備的發展從鋰電池朝液流電池及鈉硫電池前進，並朝氫能邁進，而從全球建置的儲能案場屢屢發生火災意外且台灣亦曾發生之案例，透過本次出國了解國外儲能領域的發展程度以及運轉維護面的策略。

本次前往的廠家在儲能領域有豐富的經驗，一家主要整合設備並結合系統來達到預測控制之目的，並研製電池劣化診斷技術來掌握電池的健康程度，而另一家為專門製造生產鈉硫電池，工廠近 100%全自動化生產。藉由實地赴兩廠家，有助於學習儲能設備之製造面以及運轉維護面，可供本公司作為參考。

本文電子檔已傳至公務出國報告資訊網 (<https://report.nat.gov.tw/reportwork>)

儲能系統運轉維護之研習

目錄

一、	出國目的.....	1
二、	過程.....	2
	(一) 日新電機株式會社.....	2
	(二) 日本碍子株式會社	18
三、	心得與建議.....	29
四、	出國期間所遭遇的困難與特殊事項.....	30
五、	參考文獻.....	30

圖目錄

圖 1 日新電機株式會社.....	3
圖 2 日新電機株式會社聽取簡報.....	3
圖 3 日本電力歷年發電結構[4].....	4
圖 4 日本脫碳場域地點.....	4
圖 5 日新電機株式會社再生能源發展歷程.....	5
圖 6 應用於太陽能發電設備之運轉 40 年以上的實績地點.....	5
圖 7 環境友善能源解決方案(SPSS)概念.....	6
圖 8 分散式電源控制系統組成.....	7
圖 9 視覺化功能畫面.....	8
圖 10 日新電機株式會社六項戰略.....	9
圖 11 鋰電池等效電路.....	10
圖 12 電池劣化診斷比較.....	10
圖 13 內阻值比較.....	11
圖 14 電池劣化診斷裝置.....	11
圖 15 電池劣化診斷技術發表.....	12
圖 16 日清學院培訓中心.....	12
圖 17 日清學院培訓中心直流供配電系統.....	13
圖 18 隔離型雙向 DC-DC 轉換器.....	14
圖 19 半導體直流斷路器(DCCB).....	14
圖 20 日清學院培訓中心安裝之各項設備.....	15
圖 21 監控介面.....	15
圖 22 驗證項目-商用電源停電.....	16
圖 23 驗證項目-減少商用電源使用.....	16
圖 24 驗證項目-銷峰填谷.....	17
圖 25 活用太陽能多餘電力.....	17
圖 26 日本碍子株式會社總部.....	18

圖 27 日本碍子株式會社參訪	18
圖 28 日本碍子株式會社小牧工廠	19
圖 29 日本碍子株式會社小牧工廠聽取簡報	19
圖 30 鈉硫電池化學反應.....	20
圖 31 β -氧化鋁陶瓷管.....	21
圖 32 鈉硫電池芯.....	21
圖 33 電池模組容器.....	22
圖 34 機櫃型式之儲能設備.....	23
圖 35 貨櫃型式之儲能設備.....	23
圖 36 機櫃型儲能設備排風口.....	24
圖 37 貨櫃型儲能設備進風口.....	24
圖 38 鈉硫電池安全測試.....	25
圖 39 銷售實績.....	25
圖 40 規模最大的鈉硫電池案場（日本九州電力豐前火力發電廠）.....	26
圖 41 日本九州電力豐前火力發電廠之鈉硫儲能設備.....	26
圖 42 鈉硫電池火災意外之配置.....	27
圖 43 起火原因.....	28
圖 44 加強的防護措施.....	29

一、出國目的

全球氣候變遷所造成的影響已受社會、企業及在地團體高度重視，諸多國家陸續提出「2050 淨零排放」的宣示與行動，如歐盟提出「碳邊境調整機制」、英國將淨零轉型視為「綠色工業革命」、日本訂定「2050 碳中和綠色成長戰略」、韓國頒布「碳中和基本法」等。而台灣總統亦於 2021 年 4 月 22 日世界地球日宣示此目標，於 2022 年 3 月發布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明[1]」，以落實淨零轉型目標。

台灣以十二項關鍵戰略作為 2050 淨零轉型，朝風電/光電、氫能、前瞻能源、電力系統與儲能、節能、碳捕捉利用及封存、運具電動化及無碳化、資源循環零廢棄、自然碳匯、淨零綠生活、綠色金融及公正轉型方向推動。規劃離岸風電於 2030 年累計裝置容量達 13.1GW；2050 年達 40~55GW，太陽光電 2030 年累計裝置容量達 30GW；2050 年達 40~80GW。面對風光電之間歇性發電特性，將對電力系統調度造成挑戰，故規劃設置儲能設備來因應，從輸工處建置案件中(如表 1)顯示儲能設備未來將遍地開花。

表 1 輸工處建置案件

位置	儲能容量/規格		電池種類
	契約規定	實際安裝	
路園	20MW/10MWh	21.6MW/33.2MWh/12 貨櫃	LFP(磷酸鐵鋰)
金門	短效型-2MW/1MWh	短效型-2.1MW/3.2MWh/1 貨櫃	LFP(磷酸鐵鋰)
	長效型-4MW/24MWh	長效型-6.44MW/26.1MWh/9 貨櫃	
龍潭	60MW/30MWh	60MW/85MWh/25 貨櫃	NMC(鋰鎳錳鈷)
冬山	60MW/30MWh	70.818MW/85MWh/23 貨櫃	NMC(鋰鎳錳鈷)
珠山	2MW/2MWh	2MW/3.156MWh/2 貨櫃	LFP(磷酸鐵鋰)
尖山	2MW/1MWh	2MW/3.164MWh/2 貨櫃	LFP(磷酸鐵鋰)

文獻[2]蒐集全球儲能設備火災意外案例，如 2017 年起韓國累計發生 25 起、2019 年 4 月美國、2020 年 9 月英國、2021 年 4 月中國北京、2021 年 7 月澳洲，台灣於 2020 年 7 月及 2022 年 3 月亦有儲能案場之火災，皆透露出需額外注意儲能電池的安全。當儲能電池發生火災意外時，火勢往往難以撲滅，從文獻[2]表示因大部分儲能電池火災現場全部燒燬，難以確認起火原因，經歸納推測火災原因有電池保護系統欠缺、運營環境管理欠缺、安裝不慎、綜

合保護管理體系欠缺及部分電池缺陷部分，從此顯示儲能設備的製造生產及運轉維護的重要性。另從工研院對於儲能設備的未來發展[3]，儲能電池將從鋰電池朝液流電池及鈉硫電池前進，並朝氫能邁進，顯示實有需要出國持續了解儲能設備發展以及學習儲能設備的製造生產與運轉維護技術。

本次前往日本當地的日新電機株式會社及日本碍子株式會社兩家，皆有豐富的儲能領域經驗，前者自 1980 年起著手涉略綠能領域，擁有 30 年以上之儲能設備運轉經驗，並且有諸多製交之運轉案例；後者自 1984 年與東京電力公司(TEPCO)聯合研發鈉硫電池，並經近 20 年設計、實驗，於 2002 年生產銷售鈉硫電池，截至目前超過 200 件案場計劃。期望藉由這次實地前往兩大廠家實習儲能設備技術，有助日後精進儲能設備的運轉維護，有關出國期程自 112 年 8 月 31 日起至 112 年 9 月 6 日止，前後共 7 天，詳細行程如表 2 所示。

表 2 出國行程

起始日	迄止日	實習機構	實習內容
112/08/31	112/08/31		去程（台北→京都）
112/09/01	112/09/02	日新電機株式會社	研習儲能設備運轉維護
112/09/03	112/09/05	日本碍子株式會社	研習鈉硫電池製造及維護
112/09/06	112/09/06		返程（大阪→台北）

二、過程

(一)日新電機株式會社

1. 公司簡介

自 1910 年成立以電錶做為主要產品的日新工業社時代起已有百年歷史，1917 年 4 月更名為日新電機株式會社，並擴大儀器儀錶和配電盤業務，於戰後轉型朝電力設備及變電所之領域發展，研製各電壓等級之開關設備，主要從事 3 大部分，分別為電力設施環境系統方面、鍍膜半導體方面及裝置加工輔機方面。1991 年與亞力電機股份有限公司共同成立日亞電機股份有限公司，提供台灣電力設施，此外於東南亞地區及美國依當地需求駐點，設立不同的場域，如生產製造、用戶服務或研究機構。



圖 1 日新電機株式會社



圖 2 日新電機株式會社聽取簡報

日新電機株式會社於簡報分享(如圖 2)自家在再生能源領域所做的努力時，先簡要說明日本能源分布以及 2050 碳中和綠色成長戰略，2011 年 3 月的東日本大地震對日本國內之電力造成重大影響，供電能力的下降造成每天輪流停電，此外由於核安審查導致核電暫停供電，所欠缺的電力由火力電廠供電，燃料成本的增加導致電費增加。故日本政府於 2012 年透過再生能源躉購機制(固定電價機制;Feed-in Tariff, FIT)推動鼓勵設置再生能源電廠。圖 3 為日本歷年發電構成占比，2022 年化石燃料約占 71%、水利約占 8%、核能約占 5%、生質燃料約占 5%，而太陽能已成長到約 10%、風力約 1%，預估 2030 年太陽能及風力總占比將成長至 19%~21%。

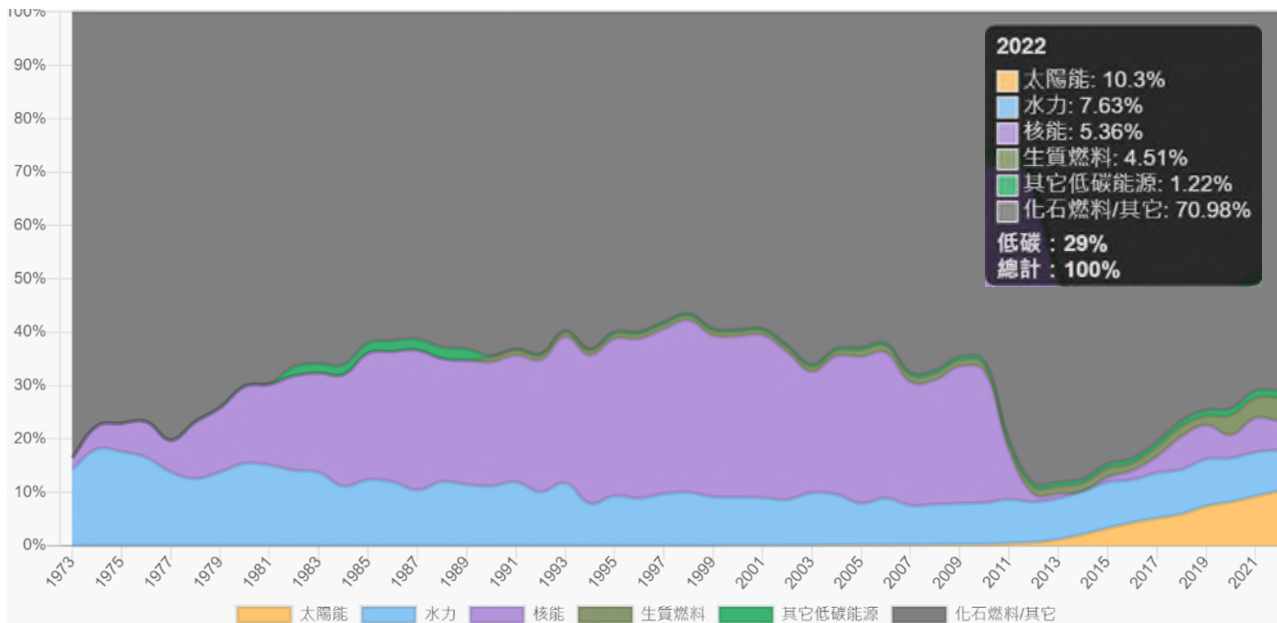


圖 3 日本電力歷年發電結構[4]

日本政府正在努力辦理區域脫碳，由地方政府、地方企業、金融機構領頭，在國家政府積極支持下，於 2018 年日本環境白皮書[3]中，根據區域特點在至少 100 個脫碳先行地區積極實施措施，將解決地區問題、提高居民生活質量的同時，朝脫碳方向邁進，預計到 2030 年這些優先導入的地區可以實現二氧化碳淨零排放，圖 4 為目前已選定 62 個優先實施脫碳的場域。

主要在有限的社區內，利用太陽能發電或生物質發電等可再生能源發電，並透過儲能電池控制電量，覆蓋社區內的電力供應，達到區域微電網，正常情況下與電力公司連接，並且在因地震或颱風等災害造成停電時，可以切換到區域網路來持續提供穩定的電力供應。

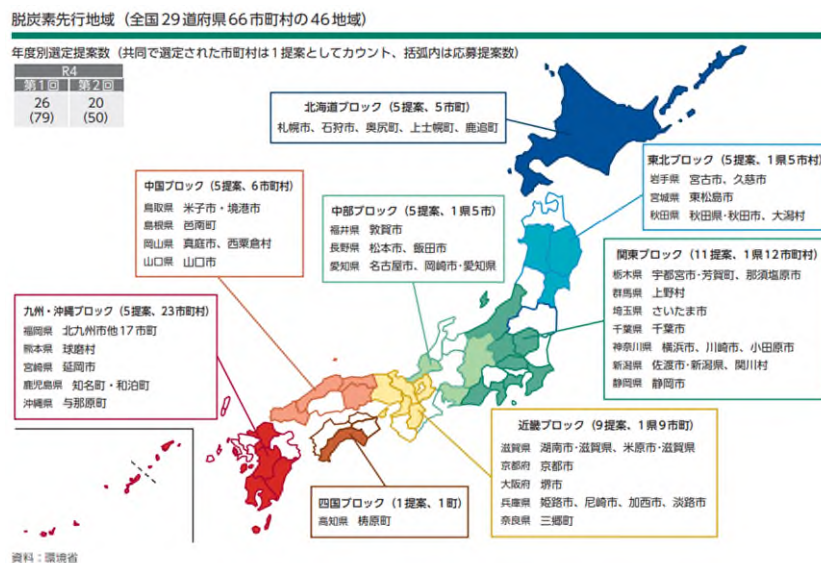


圖 4 日本脫碳場域地點

日新電機株式會社早於 1980 年就著手朝再生能源領域發展(如圖 5)，著重於電力轉換器、斷路器等設備開發，擁有運轉達 40 年以上的太陽光電運轉經驗(如圖 6)；30 年以上的儲能運轉實績且應用於不同種類的電池，如鉛酸電池、鋰電池、氧化還原液流電池、鈉硫電池或鎳氫電池，容量從 100 千瓦至數百萬瓦皆有，儲能設備有用於負載平衡、系統穩定、瞬時電壓、停電對策及獨立運轉等項目。

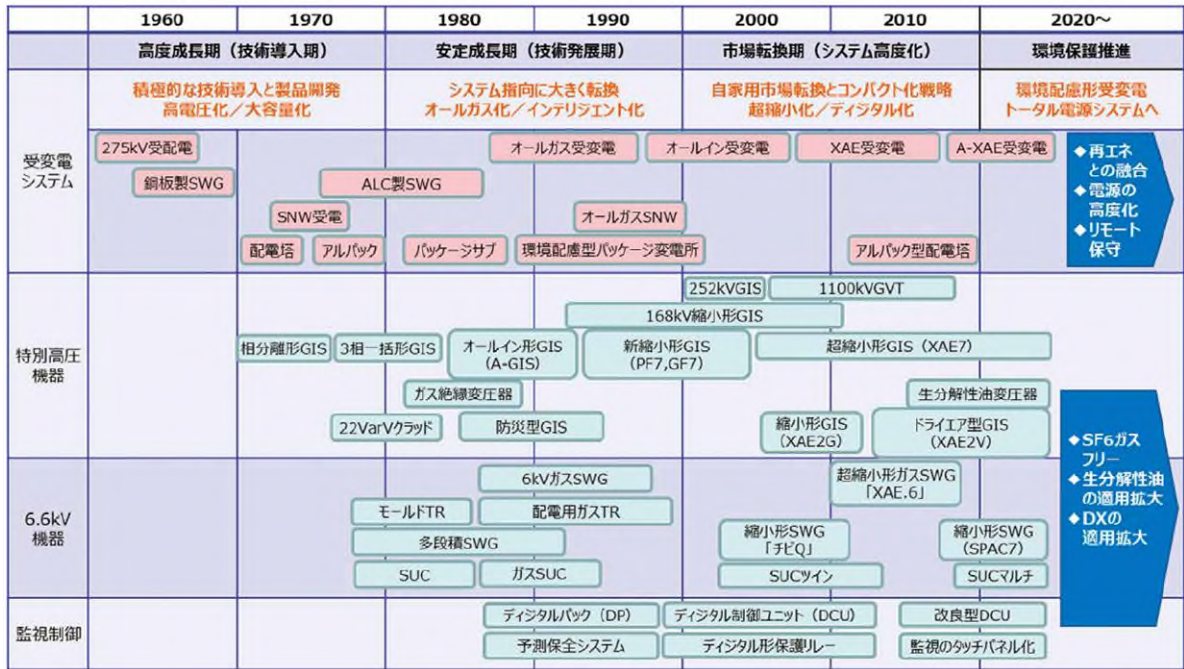


圖 5 日新電機株式會社再生能源發展歷程

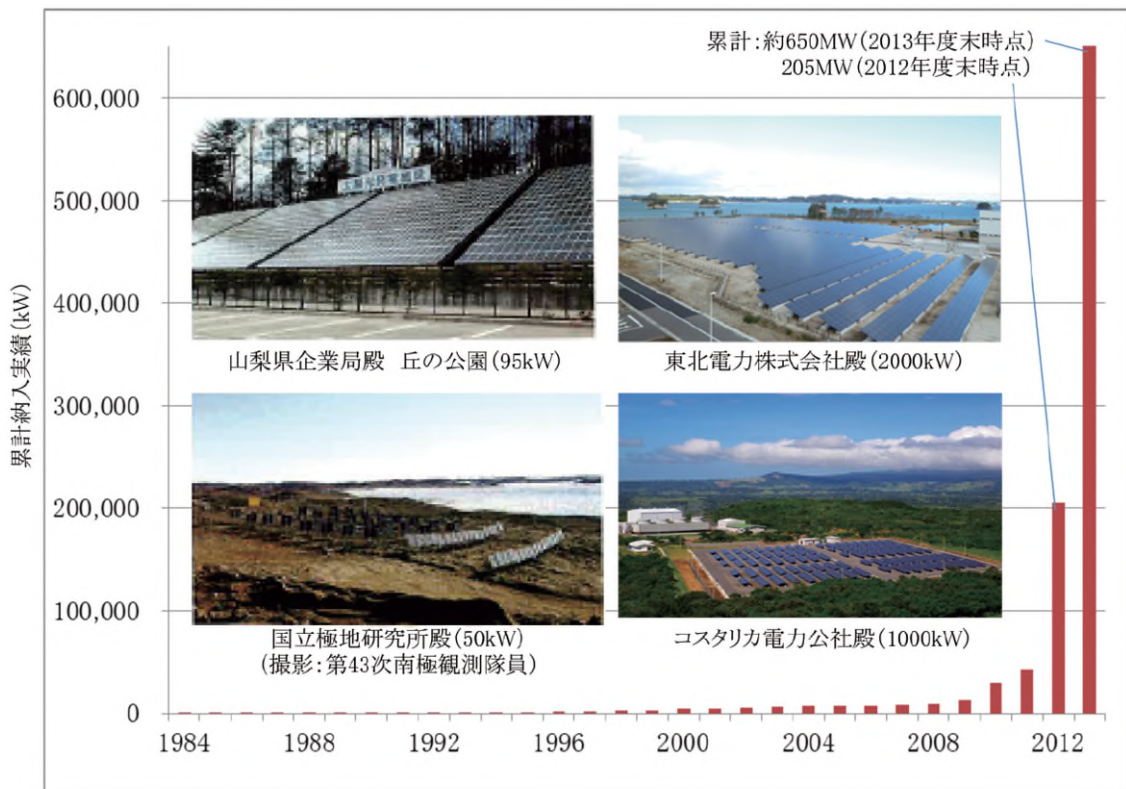


圖 6 應用於太陽能發電設備之運轉 40 年以上的實績地點

高佔比再生能源之間歇性發電特性，將對電力系統帶來衝擊，如發電設備調整出力幅度遽增、需求降低時剩餘電力的發生、發電出力變動時對於電力品質的影響等。不同的再生能源佔比，面對的議題亦不同，日新電機株式會社將再生能源佔比分成四個階段並提出將遭遇的議題及策略：

- (1) 再生能源佔比約佔 1%：對電網影響微乎其微。
- (2) 再生能源佔比約佔 10%：將降低電力調整的能力，並需要針對特定的日期制定對策。對此需要抑制再生能源的發電量並透過負載控制進行調整。
- (3) 再生能源佔比約佔 25%：將面臨短期產生的波動，並定期處理多餘電力的措施。對此除了抑制再生能源發電外，需要採取積極的負載控制，此外需使用儲能設備。
- (4) 再生能源佔比約佔 100%：電源來自發電機及儲能設備，透過再生能源與儲能設備供給電力。

2. 環境友善能源解決方案

日新電機株式會社於 2010 年啟動「智能電網發展工程」並著手研發，逐步轉型以解決穩定供電、節能、成本節約、減少 CO2 排放等問題。集結變電站系統、電力系統、設備狀態監測等技術，構建出一個系統，提出一個環境友善能源解決方案，稱為 Smart Power Supply Systems，簡稱 SPSS，其概念和組成如圖 7 所示，主要共分 4 個面向，分別為再生能源系統、電網穩定系統、環境友善變電所系統及分佈式電源控制系統。

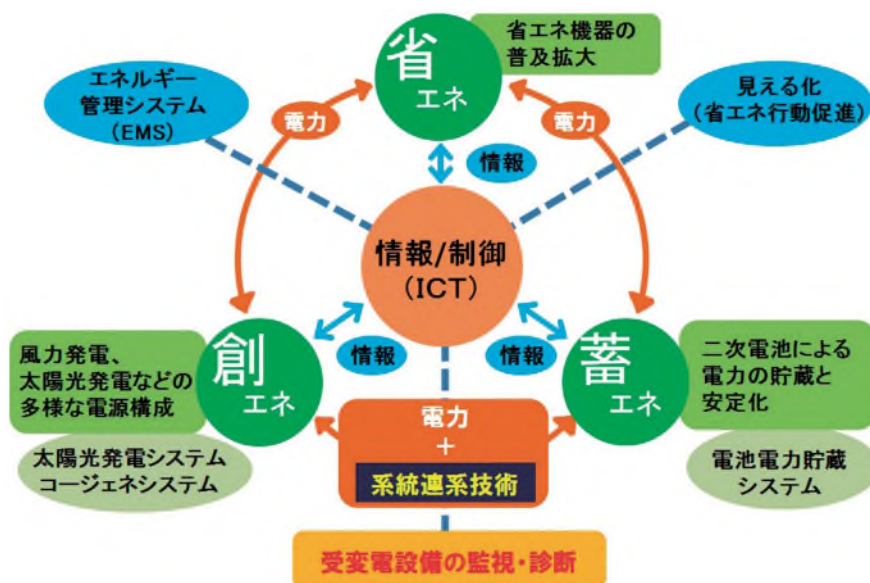


圖 7 環境友善能源解決方案 (SPSS) 概念

主要整合開關設備、再生能源及儲能電池轉換技術、電力電子技術及通信系統部分，開發一能源管理系統(EMS)稱為 ENERGMATE 作為 SPSS 核心功能的產品，負責處理需求預測、最佳運轉計畫、太陽能發電預測及最佳運轉控制四個部分(如圖 8)，以達到減少 CO2 排放並實現各種效果，如降低電力損失和減少停電期間的風險。

ENERGMATE 將以每 10 分鐘蒐集各數據(氣溫、日照、歷年運轉數據、運轉日期)來對負載需求及太陽能發電量進行演算，每 10 分鐘對未來 48 小時負載需求及太陽能發電量進行預測，依太陽能發電量及負載需求的預測，來制定分布式電源的運轉計畫，在考慮各能源成本、設備特性及電力需求等條件下，計算出最小的能源成本之控制命令計畫。當太陽能發電量或負載需求突然波動導致偏離計畫時，可進行校正調整。

此外可以對於計畫設定電力上下限，以有效利用剩餘電力，電力上限的設定通常作為計算最佳計畫的參數，以最小化能源成本；電力下限的設定是為了輔助計算最低能源成本的最佳計畫，防止太陽能發電等剩餘電力的產生。

ENERGMATE 有「最佳運轉計畫」、「需求控制」、「時間表控制」及「剩餘電力有效利用控制」四種控制模式，且可獨立運轉，故即使其中一個控制器停止運轉也可以繼續操作。

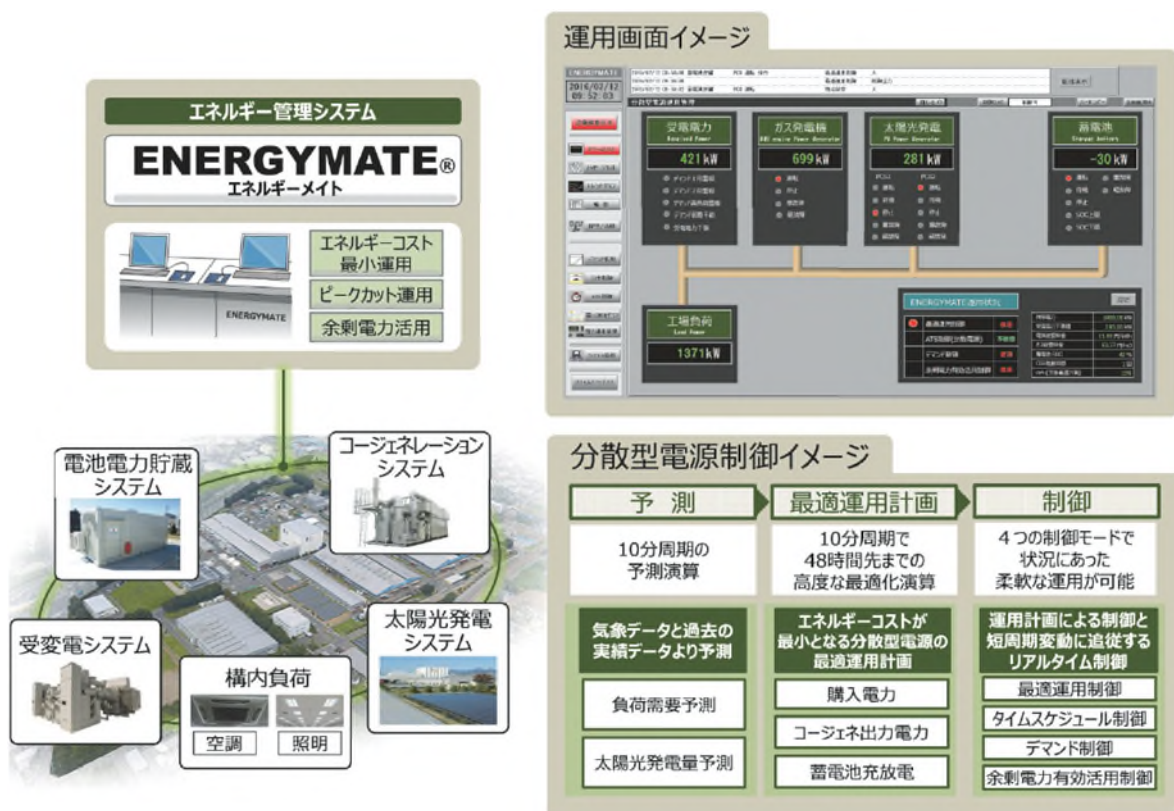


圖 8 分散式電源控制系統組成

ENERGYMATE 系統採用視覺化介面(如圖 9)，可直觀了解能源使用狀況和設施的運轉狀況，分析並提出各種改善對策，各頁面簡述如下：

- 監視畫面：除了預測需求外，還可以顯示過去實際需求的圖表以及各線路的需求，再進一步詳細分析。
- 分析支撐圖：透過各圖表分析有效達到中長期的節能措施。
- PV 發電量：顯示發電量及發電推移圖。
- GIS 劣化診斷：透過 3D 圖表，以趨勢方式顯示 GIS 氣體壓力、GIS/變壓器部分放電、溫度等訊息圖表，直觀掌握劣化診斷狀態，達到 CBM 機制。

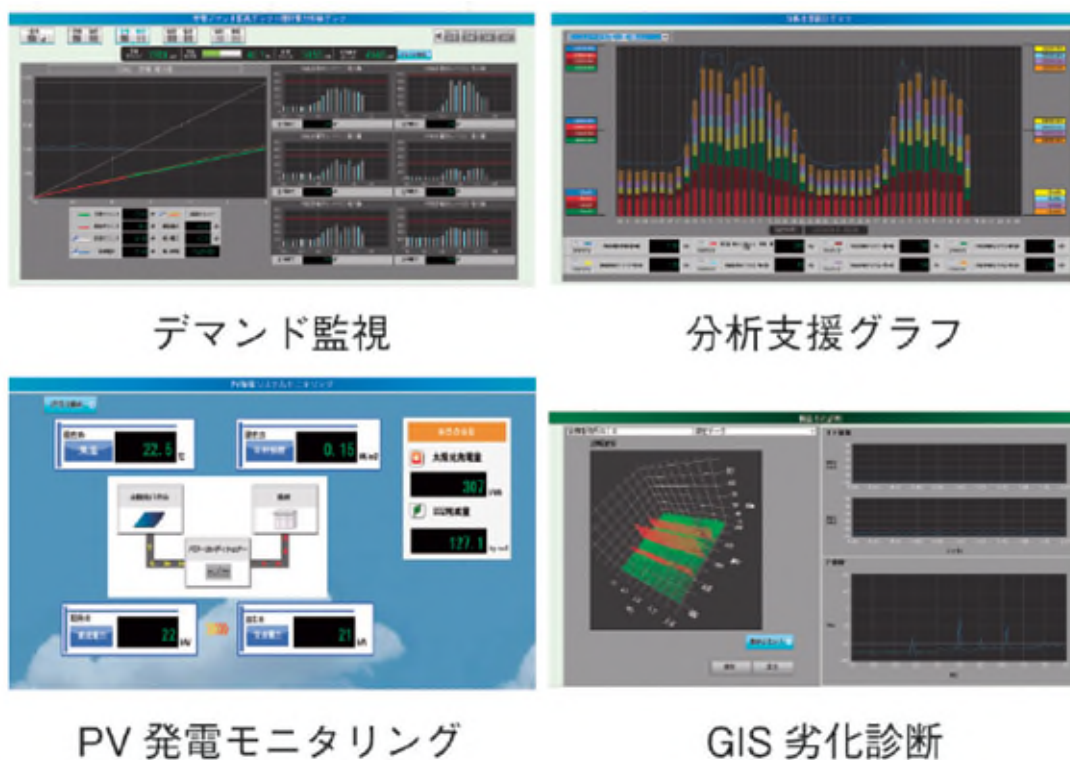


圖 9 視覺化功能畫面

3. 電池劣化診斷技術

有關診斷鋰電池的劣化狀態，已經嘗試了許多方法，高精度判斷電池劣化狀態最常用的方法是暫停電池的運轉，直接測量電池特性，有一種方法是測量 100%DOD 完成放電時的放電容量，稱為容量確認試驗方法。另外有時採用交流阻抗法，改變頻率的同时將交流電疊加在電池上，並對等效電路的參數進行模擬分析。但此測試方法需要長時間停止 BESS 運轉並頻繁的測試，雖然交流阻抗法是一種非破壞性且高精度診斷電池的好方法，但需要昂貴的儀器，如產生高頻交流電源和頻率特性分析儀(FRA)，在實務上是有困難的。

日新電機株式會社積極處理脫碳及全球環境問題，以 2025 年為願景目標透過六項戰略來貢獻社會，針對電力環境系統分佈式能源部分，於儲能設備開發電池診斷技術評估技術，並將其納入 SPSS 的一部分(如圖 10)。

持続的に成長を続けるための6つの成長戦略



圖 10 日新電機株式會社六項戰略

日新電機株式會社與國家研究開發機構新能源產業技術綜合開發機構(NEDO)合作研究，以「利用瞬態現象的大型蓄電池系統的非破壞性劣化診斷技術的開發」為重點，對瞬態現象進行了研究，並與同志社大學共同研究開發基於特性的電池劣化診斷技術。主要利用鋰電池運轉時充電及放電時的電流電壓，計算出其電阻值，並使用等效電路(如圖 11)進行瞬態響應分析，而該電阻值與電池容量有正相關。對於開發的電池診斷技術，具有以下的特點，可於定期檢查前，透過簡單的裝置確認其狀況，降低發生火災的風險，並可與電池管理系統(BMS)診斷結果相互確認。

- (1)無須拆卸電池或停止運轉。
- (2)診斷裝置機板大小約 A5 紙張。
- (3)自動更新診斷結果。
- (4)可檢測電池測量值異常，與電池管理系統(BMS)的數據雙重監控。
- (5)診斷結果通報。

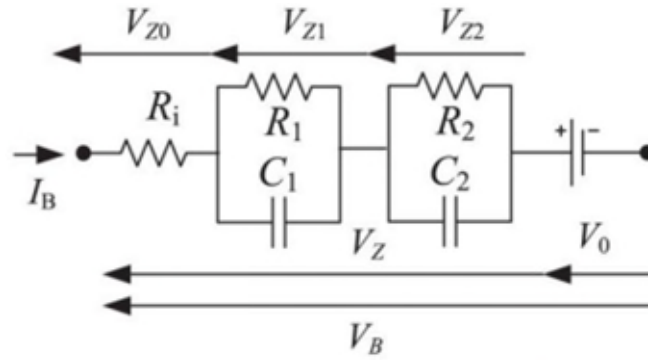


圖 11 鋰電池等效電路

上述方法與其他診斷方法相互比較，瞬態響應分析方法具有優越性(如圖 12)，且此方法係唯一可在儲能設備運轉情況下進行診斷。主要蒐集充/放電轉態時的電壓、電流及溫度，計算電阻值並等效成常溫下(25 度)的大小，若結果偏離容許誤差範圍，將視為異常值，不被進一步診斷，原因在於通常電池的劣化是隨著時間，內阻值會增加，故針對短時間內的異常值將被忽略，最後與電池廠家提供的數據資料，換算 SOH。

診斷技術	診斷精度	診斷時間	リアルタイム性	コスト
過渡応答解析法	○	◎	◎	○
容量確認試験法	◎	△	△	○
交流インピーダンス法	◎	△	×	×
充放電曲線解析法	○	△	△	△
容量積算法	×	◎	◎	○

圖 12 電池劣化診斷比較

日新電機株式會社取樣不同劣化程度同類型鋰電池的參數，並以相同的模擬條件採用瞬態響應分析以及交流阻抗法進行計算，分別求得內阻值 R_i 及 R ，將兩常數之比值繪製成圖 13。從圖中可證實鋰電池的內阻隨著劣化而增加，雖應用的等效電路、分析時間、間隔等因素不同，導致內阻值並不完全相同，但對劣化的依賴性是相同的，顯示電池劣化與內阻值之正比關係，驗證可以透過瞬態響應分析法診斷鋰電池的劣化。

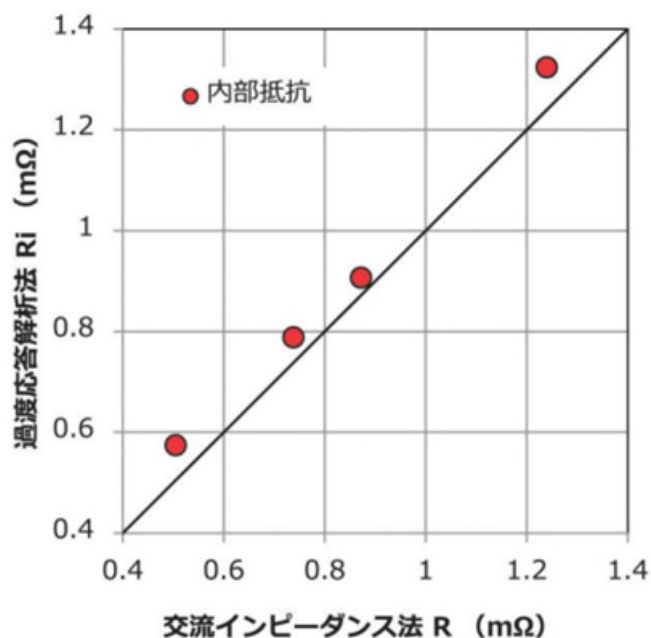


圖 13 內阻值比較

目前日新電機株式會社將這項新技術研製成模組化的診斷裝置，並安裝於日清學院培訓中心持續進行演示測試(如圖 14)，目前已經確認可以計算出穩定的內阻值，且了解內阻值與 SOH 間的依賴性。而這項新開發的電池劣化診斷技術於 2023 年 5 月 30 日正式發布新聞(如圖 15)，將與有興趣將這項技術實用化的外部製造商和儲能設備用戶進行合作演示驗證。

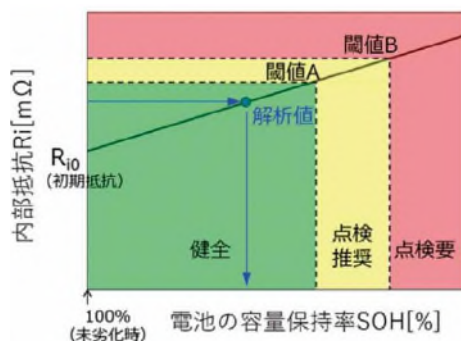
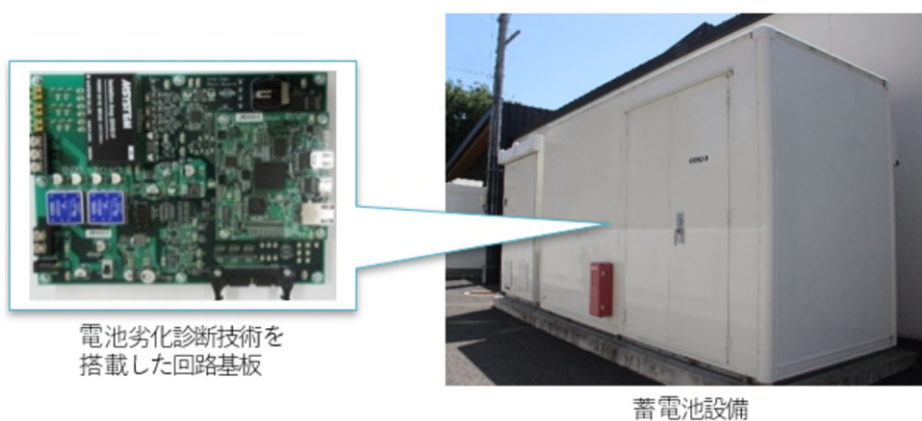


圖 14 電池劣化診斷裝置

2023.05.30

リチウムイオン電池の劣化診断技術を開発 ～オンサイト・リアルタイムで高精度な解析を実現～

日新電機株式会社（本社：京都市右京区、社長：松下芳弘）は、分散型エネルギーの拡大に際して、定置用蓄電池システム（以下 BESS）に適用されるリチウムイオン電池の健全性を判定する電池劣化診断技術を開発しました。オンサイト・リアルタイムで高精度な劣化診断技術を実現し、日新アカデミー研修センター（本社東隣）での実証試験も良好です。本技術の活用により蓄電池を運用するお客様の課題を解決し、安全・安心の提供を目指します。

当社グループは中長期計画「VISION2025」において、6つの成長戦略に取り組んでいます。本件は「再生可能エネルギー対応」「分散型エネルギー対応」に寄与する事業活動の一つです。

圖 15 電池劣化診断技術発表

4. 日清學院培訓中心

培訓中心為公司創立 100 週年紀念的項目之一，中心內分成研修棟及實習棟並有以下宗旨：

- 建立配備各種培訓設備的培訓大樓，培養下一代人才並傳承技術和技能。
- 設立安全體驗培訓室以確保員工明白安全第一。
- 設立多功能室以開展促進人員成長活動。
- 設立面相庭院的大堂，作為自由思考和對話的空間。



圖 16 日清學院培訓中心

日新電機株式會社將自家研發的設備安裝於日清學院培訓中心內，作為一試運轉場域，中心內設有太陽能板、儲能電池、直流轉換設備及充電樁。經估算年度數據，太陽能發電占該中心 37.2%，並成功減少 27.1 噸二氧化碳/年，此外將太陽能多餘的電力透過廠內饋線供給工廠用，另於 2021 年將新開發的直流斷路器 DCCB 裝設於中心內進行運轉測試，並採用直流配電系統之運轉架構，直流配電系統具有以下特點：

- 再生能源與儲能電池直接互聯。
- 降低轉換次數來減少功率損耗。
- 減少電線數量使設備能更加緊湊和高性能。
- 不受交流電壓驟降或停電影響。
- 遇災害時可自足自給。

中心內的直流供配電系統採 DC 600V、DC 1500V，架構如圖 17，並使用自主研發的隔離型雙向 DC-DC 轉換器及具有啟斷短路電流的半導體直流斷路器(DCCB)，目前 DC 380V(含)以上直流供電系統為一個尚未開發的市場，日新電機株式會社正在進行大容量、長距離的示範試驗中，以下簡略介紹新開發的直流設備：

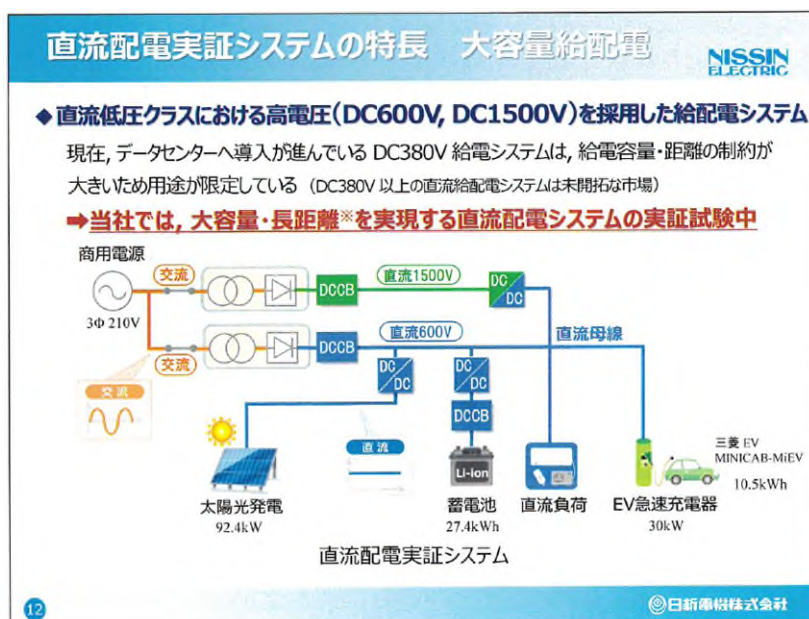


圖 17 日清學院培訓中心直流供配電系統

隔離型雙向 DC-DC 轉換器由 SiC 及高頻變壓器來實現直流電路的隔離變壓器功能，防止接地故障等事故以確保安全，此外能無縫雙向電源互換，讓儲能電池達到充放電控制。轉換器體積及質量與 Si-IGBT 相比，分別縮減了 85%及 65%，此外相同容量的高頻變壓器與商用 60Hz 變壓器相比，體積及重量減少到 1/10 以下。

直流配電実証システム 主要機器
絶縁型双方向DC-DCコンバータ NISSIN ELECTRIC

◆絶縁型双方向DC-DCコンバータの特性

- 回路絶縁による地絡等の事故波及防止
→ 安全性の確保
- シームレスな双方向電力融通
→ 蓄電池の充放電制御
- 大容量、高効率、コンパクト

◆当社開発器の特長

DC-DCコンバータ内蔵
小型高周波変圧器
(200kVA, 20kHz)

205×332×201mm

既存のモールド変圧器(商用60Hz 三相200kVA)
と比べて、体積・重量を 1/10 以下に低減

高周波リアクトル
高周波トランス
高周波大電流 SiC
低インダクタンスコンデンサ

プラグ1 プラグ2

体積 85%減
質量 65%減

《当社 Si-IGBTタイプ比》

直流回路用 絶縁変圧機能を『SiCデバイス』と『高周波変圧器』でコンパクトに実現

15 日新電機株式会社

圖 18 隔離型雙向 DC-DC 轉換器

半導體直流斷路器(DCCB)具備無電流零點高速啟斷直流短路或接地的故障電流，與電力系統傳統開關設備如真空斷路器或氣動斷路器相比，啟斷時不會有電弧，且啟斷速度約 0.01 毫秒至數毫秒，提高了啟斷速度及擁有較小的尺寸及更輕的重量。

直流配電実証システム 主要機器
半導體直流斷路器 (DCCB) NISSIN ELECTRIC

◆直流斷路器に求められる性能

- 電流ゼロ点の無い直流短絡・地絡事故電流を高速で遮断
→ 安全性の確保・向上

◆当社開発器の特長 (半導体式のメリット)

【仕様】
外形：W290×H380×D200mm
設置場所：屋内
定格電圧/定格電流：750V/135A
1500V/135A

	半導体式	機械式 (氣中式・VCB方式)
動作	アークレスで電流を遮断	アーク/振動電流で電流遮断
遮断時間	● 0.01ms ~ 数ms	遅い ✕ 数ms ~ 100ms

高速遮断 0.015ms (15μs)
安全性・信頼性の向上と小型・軽量化を実現

当社 半導体DCCB
● 半導体式
➢ 定格電圧：DC750V
➢ 定格電流：135A
➢ 定格容量：100kW

事故電流の大電流遮断
巨大な消弧室
VCB方式
電鉄用

定格電流
4kA
1kA
150A

遮断時間
0.01ms 0.1ms 1ms 10ms 100ms

16 日新電機株式会社

圖 19 半導體直流斷路器(DCCB)

各項設備安裝於該中心各處(如圖 20)，充電樁為一 44kW 的急速充電器，作為大功率的直流負載，主要藉以驗證負載調峰，並以中心內新業務實驗室作為一監測中心，觀察系統運轉情形(如圖 21)。



圖 20 日清學院培訓中心安裝之各項設備

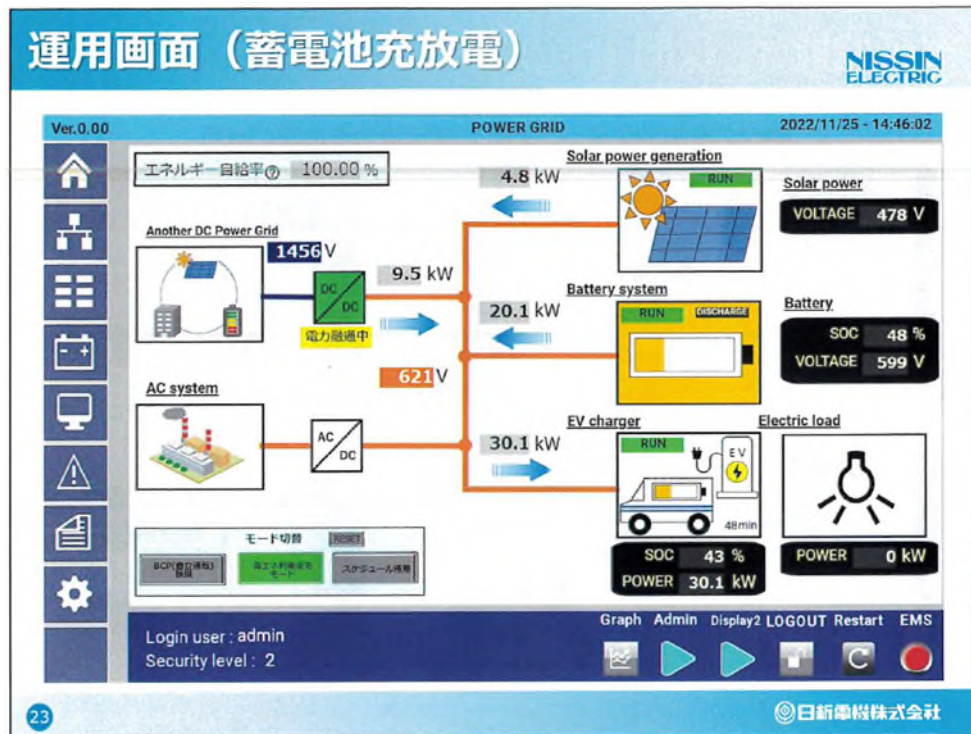


圖 21 監控介面

透過中心內各項設備所構建的配電系統來模擬不同的運轉情境，參訪時分別演示在正常運轉下、發生停電、太陽能與電池及充電樁使用下之系統運轉情形。

在正常運轉下，電源由外部電源、太陽光發電供給電池及負載，當發生停電時(即外部電源無法供電)，則所需電力將由太陽能及電池供應(如圖 22)。

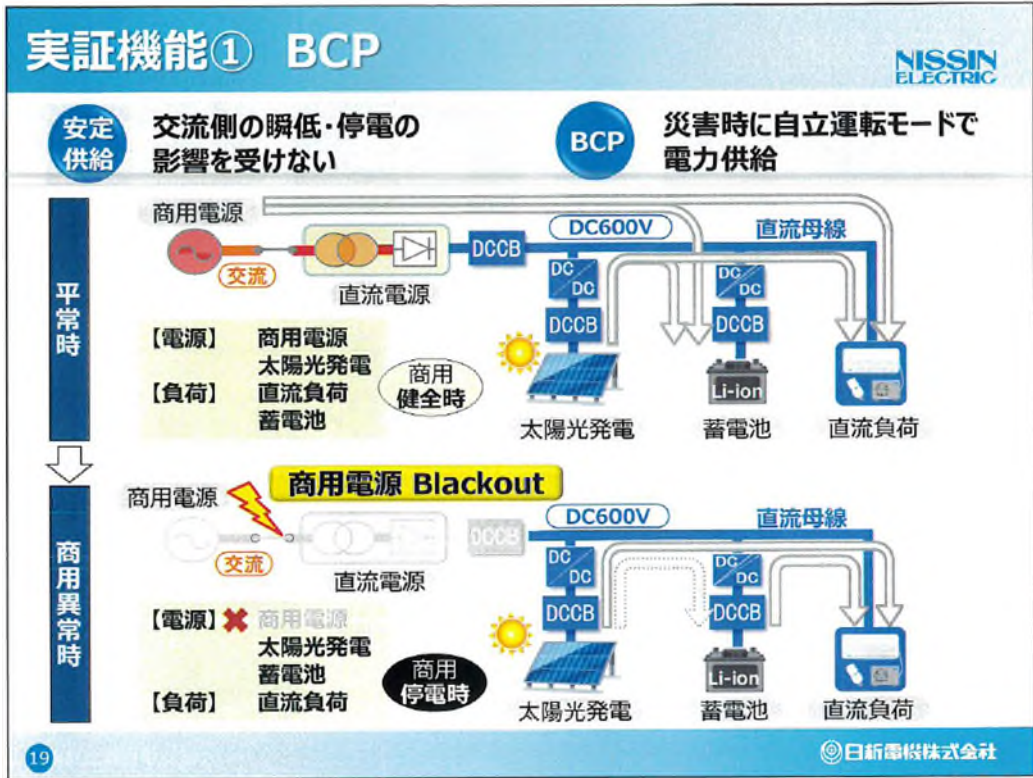


圖 22 驗證項目-商用電源停電

當日照充足時，不需使用商用電源，透過太陽能發電對電池充電，而若電動車有充電需求時，則可由太陽能及電池來供應(如圖 23)。

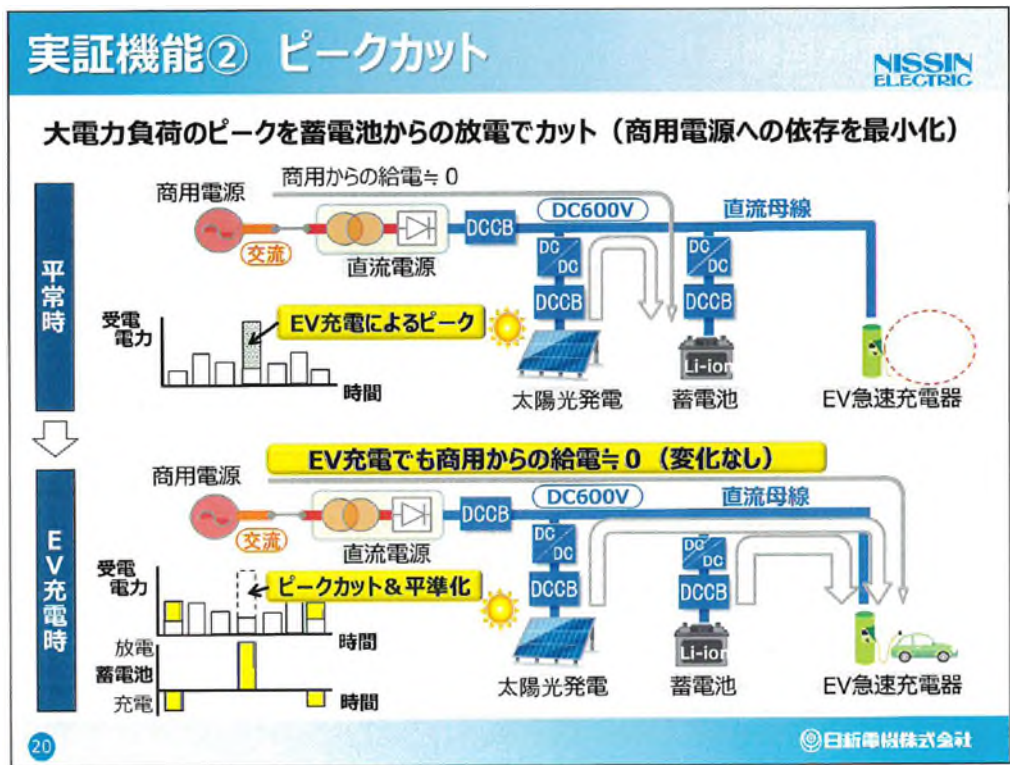


圖 23 驗證項目-減少商用電源使用

白天透過太陽能對電池充電及供給直流電載，夜間時由電池提供電力給直流負載 (如圖 24)，成功將太陽能於白天多餘的電力於夜間使用，達到削峰填谷的功效(如圖 25)。

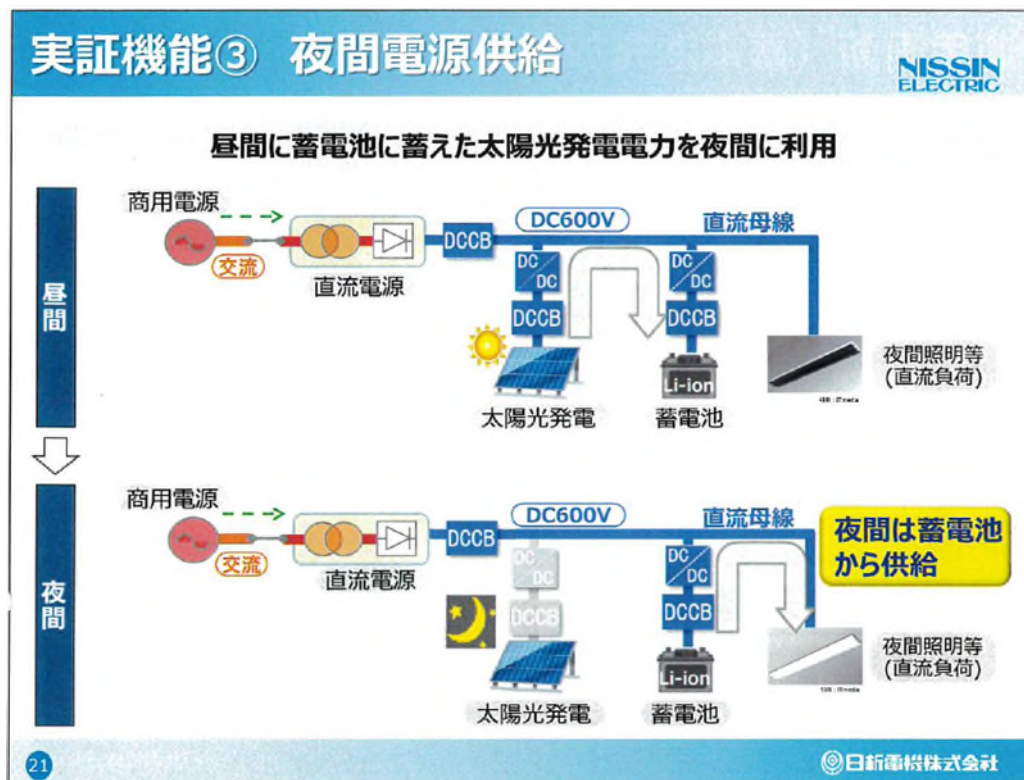


圖 24 驗證項目-銷峰填谷



圖 25 活用太陽能多餘電力

(二)日本碍子株式會社

1. 公司簡介

日本碍子株式會社於 1919 年在日本名古屋成立(如圖 26)，為日本國內第一家陶瓷絕緣子製造商，日本碍子株式會社以其陶瓷材料和製造技術為基礎，發展多元事業體，包含電力事業、陶瓷事業、電子事業及製造科技事業，主要產品包含絕緣礙子、柴油顆粒濾網、半導體製造設備以及本次參訪的鈉硫電池(如圖 27)。自 1967 年福特發現鈉硫發電原理，續日本、美國、歐洲共同研發，日本碍子株式會社於 1984 年與東京電力公司(TEPCO)聯合研發鈉硫電池(以下稱鈉硫電池)，歷經 20 年的研究、設計、測試、示範，於 2002 年開始生產。



圖 26 日本碍子株式會社總部



圖 27 日本碍子株式會社參訪

日本碍子株式會社所生產的鈉硫電池可以提供大功率、大容量的能量儲存技術，此外因能量密度較大可節省用地面積，擁有 20 年的使用壽命、6 小時的長放電時間、低運維成本以及適用各種氣候之優點。鈉硫電池可用於再生能源、電網解決方案、用戶端、微電網、智慧電網或需量反應使用，可達到穩定再生能源、系統穩定、緊急電源供應、預防瞬時電壓驟降、區域/微電網使用、增加電網可靠度、交互式負載調整等效果。

本次前往日本碍子株式會社參訪的地點為位於日本愛知縣小牧市，為一製造生產鈉硫電池的工廠(如圖 28)，整個製造過程從電池芯內部組件檢查、組裝到成品已近 100%全自動生產，僅有少數幾個步驟採用人工處理，大幅降低人為之製造瑕疵。



圖 28 日本碍子株式會社小牧工廠



圖 29 日本碍子株式會社小牧工廠聽取簡報

2. 鈉硫電池

(1)原理

鈉硫電池無使用稀有化學元素，以鈉(Na)作為負極，硫(S)為正極，並使用固體電解質 β -氧化鋁陶瓷管作為電解質，電池正常運轉時，兩個電極的活性材料在工作溫度呈現液態，電解質呈固態，其工作原理與鋰電池相似，都是依靠離子在正極及負極間移動來達到充放電。

主要透過鈉(Na)分解成 Na 離子及電子，當 Na 離子通過固態電解質並與正極發生反應，透過釋放到外部電路的電子轉移來產生電力，隨著放電的過程中，正極中生成多硫化鈉，負極中的鈉被消耗、還原。而在充電過程中，多硫化鈉分裂成 Na 離子、硫和電子，Na 離子通過固態電解質移動到負極側，在負極 Na 離子接收電子還原為 Na，而因為鈉硫電池在充放電時會有硫化物的產生且溫度需於 270 °C 以上時為液態，故鈉流電池需運轉於 300 °C 以確保硫化物呈液態型態。

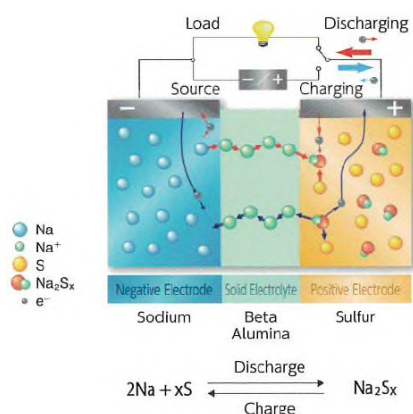


圖 30 鈉硫電池化學反應

(2)電池芯

由於 β -氧化鋁陶瓷管為日本碍子株式會社最關鍵的技術，故無法參訪其製造過程，但主要的成分為鎂、氧化鋁及鈉的陶瓷粉末的混合物，由氧化鋁的平行薄層組成的晶體，這些薄層彼此間被平面隔開，所有的鈉離子都被限制在其中(如圖 31)。先將原料乾燥變成成形的顆粒狀，再使用橡膠材質的模具去塑型出 β -氧化鋁陶瓷管，每一個 β -氧化鋁陶瓷管皆於表面處刻印編號，最後將其加熱及壓實成固體材料塊。對於加熱前後的 β -氧化鋁陶瓷管聲音有明顯的差異且大小約縮小 20%，此外加熱的溫度及諸多因素需精準控制，其收縮的結構的燒製精度極高，最終品幾乎無須切割即可與電池芯的金屬部件組裝在一起(如圖 32)。

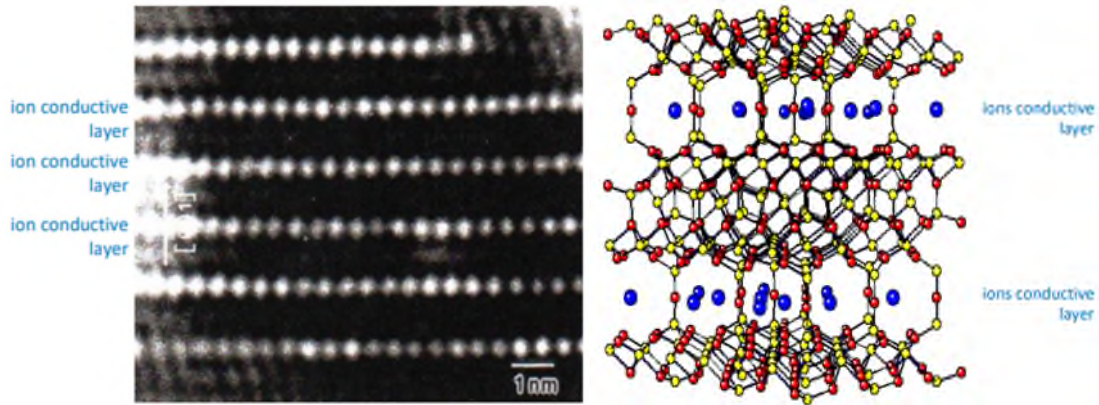


圖 31 β -氧化鋁陶瓷管



圖 32 鈉硫電池芯

本次參訪工廠電池芯及電池模組製造及組裝的過程，先將加熱過後的 β -氧化鋁陶瓷管裝箱送進自動化工廠，首先先進行外觀檢查，檢查 β -氧化鋁陶瓷管的厚度及尺寸，厚度檢查是運用燈光的亮度，將燈管放入 β -氧化鋁陶瓷管中，由電腦藉由透光率來確認製造有無瑕疵，自動將有瑕疵的 β -氧化鋁陶瓷管移除，續由機器採下壓方式對 β -氧化鋁陶瓷管施加壓力，進行強度測試，接著進行全尺寸量測。

將導電組件及安全管依序安裝於 β -氧化鋁陶瓷管中，安全管主要將鈉及硫實體隔開作為保護，於安全管與 β -氧化鋁陶瓷管之間放入鈉，此外因鈉與氧會產生化學反應，故須在無氧的環境下放入鈉，最後裝入於金屬外罩以防止變形，金屬外罩與 β -氧化鋁陶瓷管間放入硫，並於金屬外罩包覆 4 層防護層，2 層為絕緣層作為隔熱用，1 層為碳纖維層作為防火延燒，1 層為雲母層作為電器絕緣，具備 UL1973 安全認證及 UL9540A 安全測試。

(3)電池模組

製造組裝完成的電池芯會放入一個四周及底部皆有加熱處理裝置的電池模組內，電池模組有 14X16 或 12X16 兩種配置，前面的數字為電池芯並聯的數量，後面的為電池芯串聯的數量，將電池芯彼此焊接串並聯，並人工安裝保險絲，若電流超過觸發值時保險絲將熔斷保護。

將電池模組內填充相同顆粒大小的消防砂，目的為當電池芯發生意外破損時，能夠吸收外洩的硫化物並且防止電池芯之間的延燒，此為鈉硫電池最有效之消防設計，另也因其比熱較小，能使電池模組內部溫度維持在良好運轉範圍，同時消防砂緊密的填充也可以固定電池芯的位置。最後透過容器表面的抽真空孔(圖 33)將外殼的內部抽真空，其目的最主要作為隔熱作用，電池模組內部溫度雖高達 300 度，但表面溫度僅約 50 度。

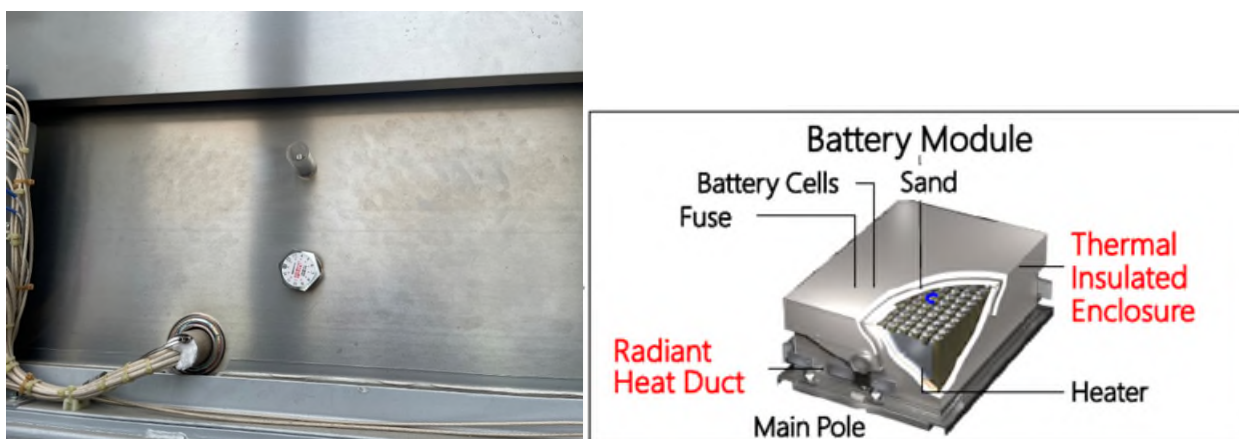


圖 33 電池模組容器

每個電池模組在出廠前均須完成充放電測試，先花三天時間將電池模組加熱至 300°C，測試時每十個電池模組串聯進行 100%充放電測試，測試通過後需花三周時間待電池模組冷卻，最後再將電池模組安裝於電池架中。

(4)機櫃型及貨櫃型之儲能設備

機櫃型式儲能設備(如圖 34)採用 14X16 電池模組，可放入 40 個電池模組，而為了銷售海外，考量海運以及現地安裝時間，於 2012 年著手研發貨櫃型儲能設備，並於 2016 年生產銷售，採用 20 呎型式的貨櫃(圖 35)，其電池模組配置為 12X16，可放入 6 個電池模組，對於貨櫃放妥於現場後，僅需安裝排風罩及貨櫃箱體彼此的連接的配線，大幅降低安裝時間。



圖 34 機櫃型式之儲能設備



圖 35 貨櫃型式之儲能設備

機櫃型式及貨櫃型箱體外殼具備防鏽防塵能力，等級達 IP54，內部採用自然進氣，透過電池模組上的風扇及熱對流的方式使櫃體內部形成熱對流，能有效控制櫃內溫度。經分析熱對流機櫃型(圖 36)以下方作為進氣口，側邊作為出氣口，並進氣口處安裝濾網，作為過濾空氣用；而貨櫃型(如圖 37)同樣以下方作為進氣口，出氣孔則設計於電池模組的後方。對於其維護僅需每年清洗進氣口的濾網即可，如同家中冷氣的濾網，針對場域臨近海邊或當地鹽害處所，額外加裝防鹽濾網。內部則安裝 SO₂ 感測器及貨櫃室溫感測器，若因意外造成硫與空氣化學反應生成 SO₂ 時，感測器將觸發自動關閉進氣及出氣孔閘門，避免化學氣體或任何有害物質洩漏到外面。



圖 36 機櫃型儲能設備排風口

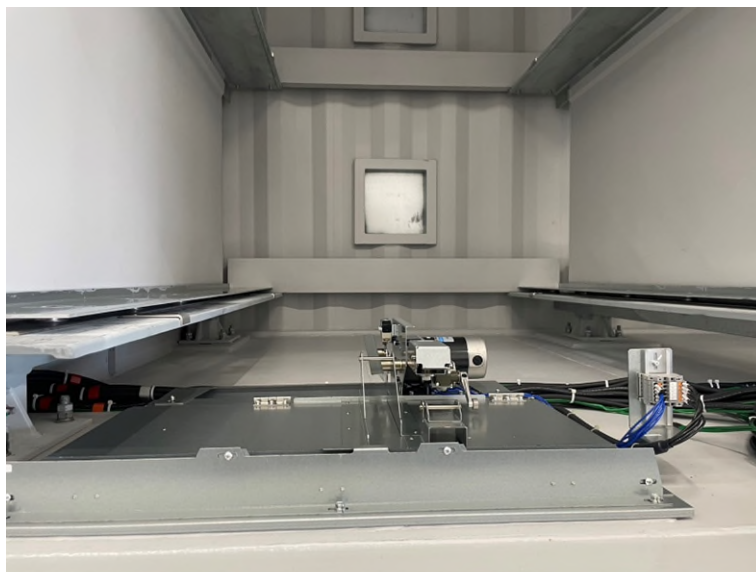


圖 37 貨櫃型儲能設備進風口

(5)安全測試

對於各種不同化學能的電池，安全往往是運轉中最關切的議題，而鈉硫電池在研究開發時歷經多項嚴苛的測試(如圖 38)，測試結果電池模組內的電池芯均無異常、無危險物質洩漏，各項測試簡述如下：

- 火燒測試：將電池模組置於火焰上方 20 公分處燃燒 30 分鐘。
- 水淹沒測試：將電池模組置於水槽內並注水置一公尺高，浸置 24 小時。
- 墜落測試：將電池模組於 3.1 公尺處往下跌落。
- 短路測試：強制發生短路以確認內部保險絲是否熔斷。
- 自滅火測試：強制點燃電池模組中的一根電池電芯，確認周圍電池電芯無異常亦無危險物質洩漏，未發生延燒狀況。

Safety of NAS[®] battery



- Anti-fire sheet to every cell prevents fire expansion even in worst case of cell fire.

- Japanese Fire and Disaster Management Agency (FDMA) defines fire safety requirements for Sodium Sulfur batteries.
- Japanese Hazardous Materials Safety Techniques Association (HMSTA) witnessed the test and validated the testing methods and results

Cell ignition test

No damage to the surrounding cells

[Examples of Safety Test]

Short circuit

Fire Exposure

Submerge

Drop

After the Test

圖 38 鈉硫電池安全測試

此外於研發貨櫃型儲能設備時，因所安裝的方式為推疊放置，即將 2 個儲能電池貨櫃垂直放置，為確認貨櫃型墜落時電池的狀況，於開發時實際將貨櫃型儲能設備從 6.2 米處墜落，經檢視除內部電池架因墜落變形，造成電池模組東倒西歪外，電池芯部分仍無異狀。另運輸鈉硫電池亦符合 UN3292 的規範，從此顯示日本碍子株式會社對於儲能設備安全議題十分謹慎。

3. 運轉經驗

目前全球各處皆有安裝實績，台灣則位於金門案場，截至目前鈉硫電池發展超過 25 年，處理超過 200 件案場計畫(如圖 39)，銷售容量累積達 580MW/4GWh。日本九州電力豐前火力發電廠內的 50MW/300MWh 為目前規模最大的案場(如圖 40)，啟用於 2016 年 3 月，其主要用於吸收白天過剩的太陽光電並於夜間尖峰時段放電，大型規模案場能有效強化電網調度彈性並提升再生能源使用效率(如圖 41)。



圖 39 銷售實績



圖 40 規模最大的鈉硫電池案場（日本九州電力豐前火力發電廠）

Scheduled Supply of Wind Power (Rokkasho Japan)

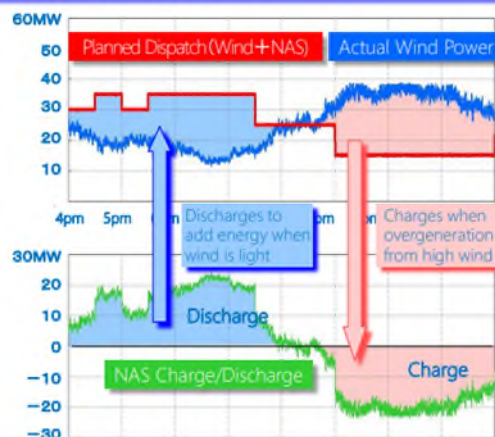


- Huge introduction of wind power causes imbalance of supply and demand for 24h
- Energy Type Battery makes the wind power stable & schedulable, more environmental friendly by load following and energy shift.

Wind Generating Station
(e.g. Rokkasho Wind Farm, Japan, 100MW)



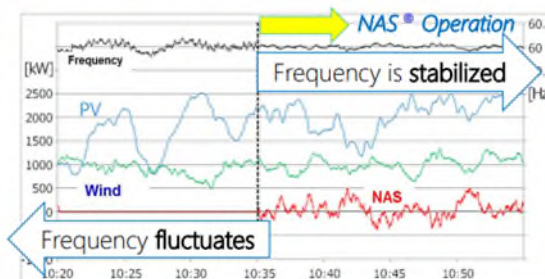
Battery Station
(e.g. NAS Battery, 56MW/370MWh)



Ancillary Service (Frequency Control in Japan)



- NAS[®] stabilize frequency in remote island.(Miyakojima Island)
- NAS[®] also shift energy and absorbs surplus of PV output during daytime.



<http://www.okiden.co.jp/environment/report2014/sec7/sec74.html>

Size of Miyakojima 159KM²
Location 290KM Southwest from Okinawa(Naha)
Population 52,000people



圖 41 日本九州電力豐前火力發電廠之鈉硫儲能設備

4. 運轉維護

鈉硫電池的設計運轉壽命為 20 年(7300 次充放電循環次數)，且 20 年後剩餘容量(MWh)仍超過建置容量(MWh)之 80%。因此於運轉壽命期間內不需置換電池系統，若電池監測系統(BESS)偵測到電池模組中有電池芯有異常時，將以電池模組為單位做更換，不會單獨更換電池芯。

無人管理的案場採每月辦理巡視作業，目視現地有無積水情形以及貨櫃的外觀檢查，若案場有駐守人員原則上不需特別辦理巡視作業，點檢維護方式採每 2、4、8 之倍數執行不同的定期保養內容，8 年的周期為鈉硫電池的大保養，有關維護更換的部分，主要為更換消耗性材料及消防安全有關的項目，如空氣濾網、電池模組風扇或貨櫃內部之 SO₂ 感測器等，除了電池模組以外的如周邊設備及消耗性材料需更換外，電池元件本體在使用壽命期間內不需更換或保養。

5. 鈉硫電池火災意外

曾於 2011 年 9 月 21 日在日本茨城縣的案場發生火災事故，當下因受到颱風風勢助長火勢，導致增加滅火的難度，而該起意外自發現火勢至完全滅火共約花了 2 周的時間，所幸並無任何人員受傷。自意外發生後，日本碍子株式會社立即暫停鈉硫電池的生產，並委由第三方外部單位著手調查事發原因。於 2012 年 6 月 7 日總結火災原因和因應對策，作為製造廠商，日本碍子株式會社自願免費負責協助客戶加強改造已安裝的鈉硫電池，以確保所有運轉中的案場能有更佳的安全性。

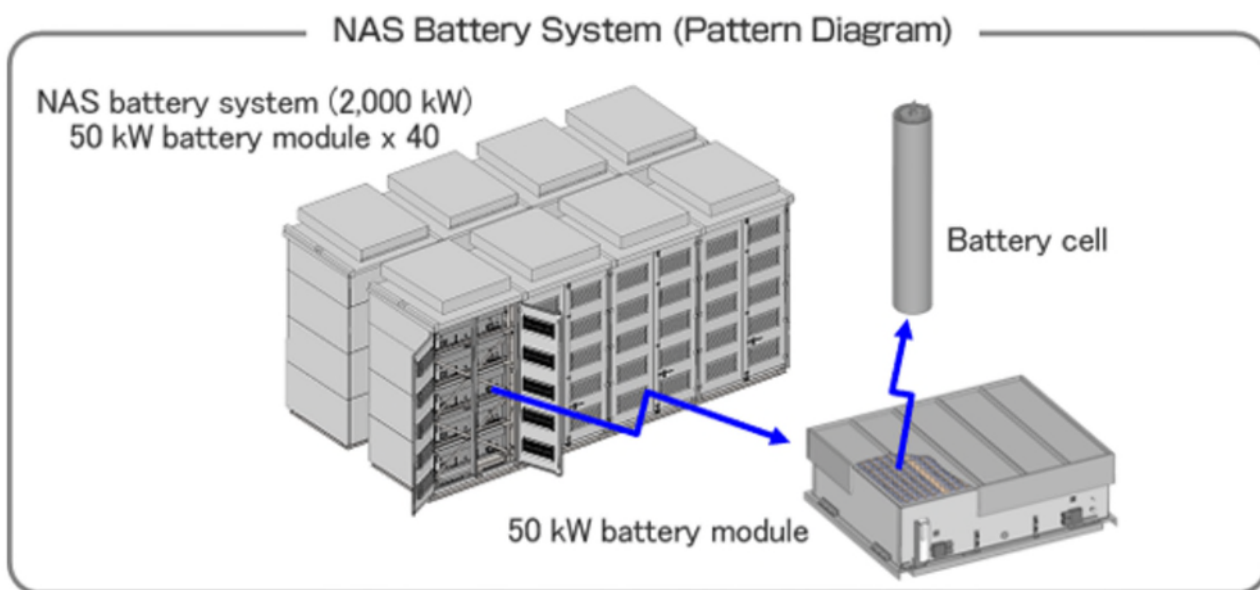


圖 42 鈉硫電池火災意外之配置

根據事故調查結果報告，因現場鈉硫電池已全部燒毀，僅能從發生前的監測數據推測發生肇因，經分析推論係由於單個電池電芯的間隙故障，發生局部高溫導致該電池電芯破裂，導致電池模組內部發生短路，多個電芯破裂，最後整個電池模組起火，研判係電池芯製造不良或早期零件缺陷(如圖 43)。

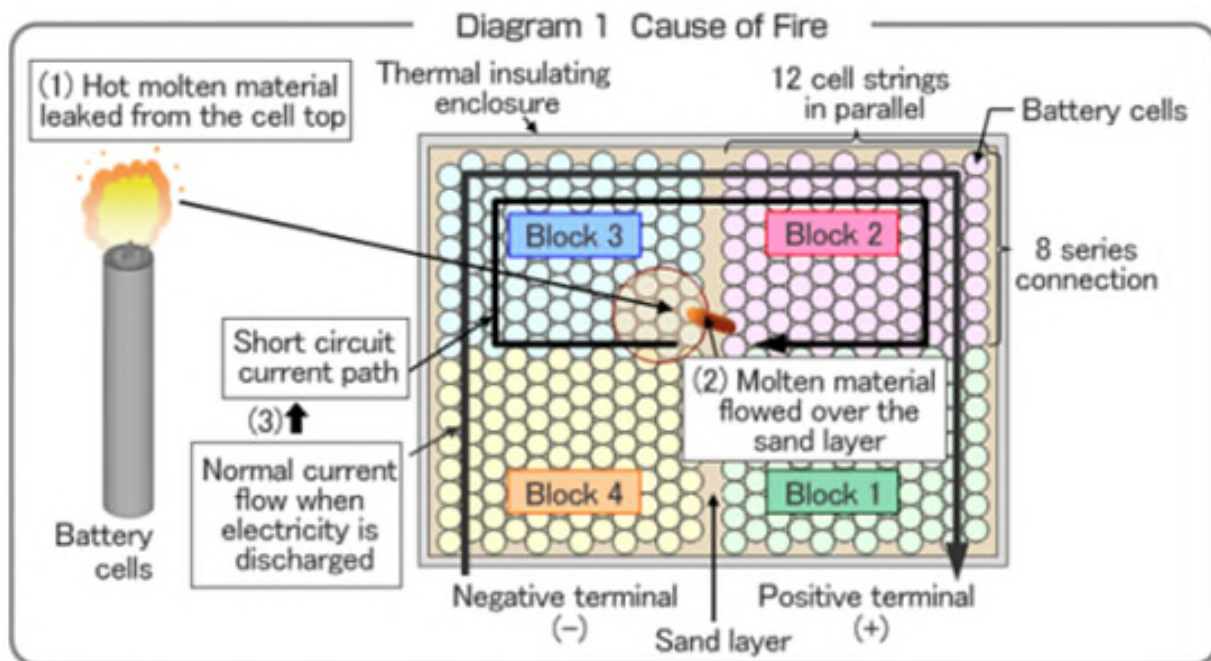


圖 43 起火原因

日本碍子株式會社根據事故原因除了加強製造工序之管理外，提出預防電池模組火災蔓延之預防措施(如圖 44)，新增下列安全設計：

- ✓ 在電池模組內部增加保險絲數量，以避免短路電流發生。
- ✓ 在電池模組內部新增絕緣板材以區隔電池區塊，可以防止電池內部熔融材料外洩。
- ✓ 在電池模組之間新增防火板材，以避免火勢延燒。

而針對後續研發的貨櫃型鈉硫電池設備中，加強了下列防延燒設計：

- ✓ 電池電芯部分增加耐熱雲母材料及防火材料。
- ✓ 改變電池模組內部電芯排列方式，可以形成線性電流迴路防止大電壓差，同時安裝額外保險絲以防止短路電流，並填充更多消防砂於電池模組內部以加強防延燒性能。
- ✓ 電池模組上下皆有隔熱及防火材料，內部填滿消防砂，能有效隔絕熱能。

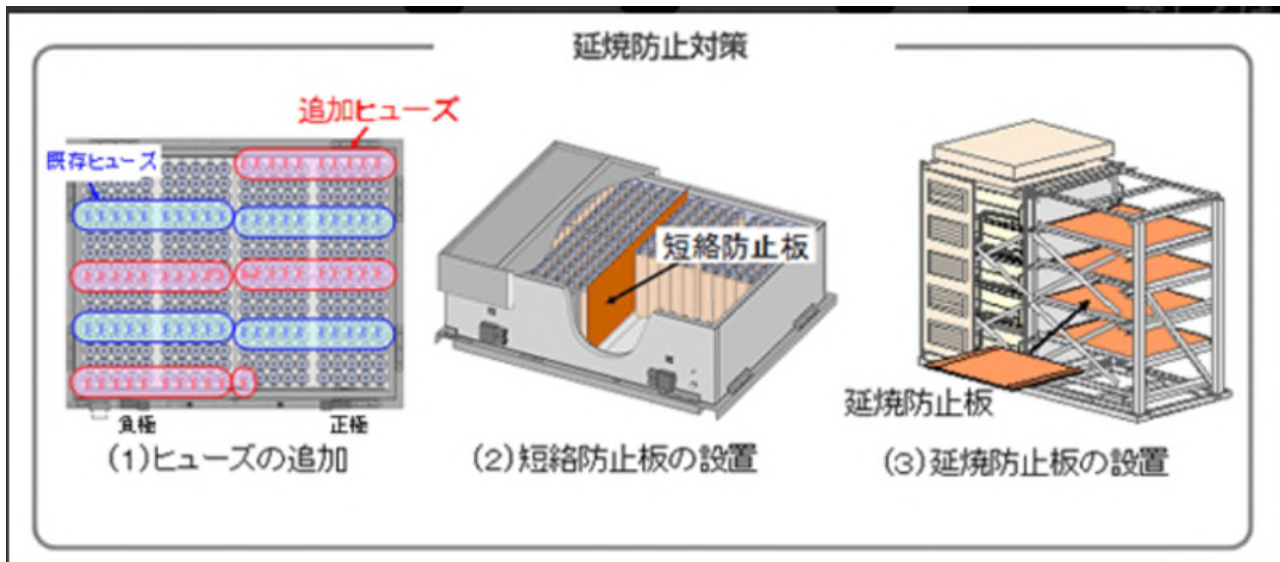


圖 44 加強的防護措施

日本碍子株式會社除了加強現存電池的防護措施，積極發展新版本鈉硫電池，並且設計整機型主動防火設計。在安全認證方面，鈉硫電池也取得 UL1973 Cell Level 和 Module Level 安全認證，以及完成 UL9540a Cell Level、Module Level 和 Installation Level 等防火延燒測試。由此可知，日本碍子株式會社目標從原廠設計防止火災發生，並經國際安全認證，自 2011 年事故發生後，超過十年期間不曾發生任何火災事故。

三、心得與建議

經本次日本實習之過程，對於國外廠家在儲能設備領域的發展已非常成熟並持續在精進，日新電機株式會社不僅在設備端已有諸多運轉的實務經驗，並朝直流之絕緣型雙向 DC-DC 轉換器、直流斷路器研發邁進外，於軟體端研發預測控制系統以及電池劣化診斷系統裝置；日本碍子株式會社著重於鈉硫電池的製造及維護，整個製造過程趨近 100% 自動化製造，對於電池的安全經多項測試確認並取得國際認證，如開發貨櫃型儲能設備時，將裝載電池的貨櫃實際吊高至 6.2 米處墜落，模擬實際若發生墜落時是否會有安全疑慮，顯示非常重視電池的安全，對於維護面訂定週期並僅需更換周邊耗材，大幅降低維護的困難度，就這次的實習所得資料及心得提出建議如下：

- (一) 目前台灣再生能源的大量併網增加電力系統調度運轉的困難度，建議可仿照日新電機株式會社模式，再生能源業者須將再生能源結合儲能設備一併建置，從再生能源業者端規劃訂定固定發電量，不僅可讓業者持續發電，更可舒緩調度的困難，達到穩定供

電的目的。

- (二)儲能電池雖有電池管理系統掌握電池健康程度，惟從儲能火災意外顯示尚有精進之處，建議可引進如日新電機株式會社研製的電池劣化診斷裝置，於電池運轉時能多一層監測來雙重確認電池的狀況。
- (三)台灣發電電廠建置不易，如需鄰近海邊、地方政府的阻礙、周圍居民的抗爭等，建議可引進大容量、長時間放電的鈉硫電池作為小型電廠，儲存再生能源多餘的發電量並於再生能源發電不足時作為基載放電，不僅可達到削峰填谷的功效，降低調度運轉的困難外，儲能設備建置時間快速，場地未有諸多限制，此外維護方面僅需更換消耗性材料，與傳統發電廠維護相比，難易度較低。
- (四)台灣 2050 淨零排放目標僅剩 20 多年，而目前國內儲能設備廠商還未擁有深厚的運轉實務經驗，建議可仿照國產化設備採技術合作模式，建立國產化合格廠家名單，不僅提供與廠家溝通的管道，更可達到台灣能源設備自足自給的目的。

四、出國期間所遭遇的困難與特殊事項

本次因單獨前往兩家廠家，所有事情與溝通皆須獨力完成，於赴廠家時的交流過程中，雖然有事先蒐集閱讀相關資料，但當下面對廠家說明時，大量的資訊量無法一時全盤接收，理解其內容的精隨，導致討論、回應上有所不足，若有其他同仁一同前往，應能互相協助，使討論更加豐富。此外若能與其他單位同仁組成團隊一同前往，相信能從不同的角度與廠家互相交流，提升討論內容的質與量。

五、參考文獻

- [1] 臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明，2022 年 3 月。
- [2] 建築儲能系統防火安全要求初探，2020 年 12 月。
- [3] 環境白皮書，日本環境省，2018 年 11 月。
- [4] LowCarbonPower，<https://lowcarbonpower.org/zht/>。