

出國報告（出國類別：實習）

液流及鈉硫電池應用於儲能系統之技術探討研習

服務機關：台灣電力公司輸變電工程處

姓名職稱：郭宗祐 電機工程師

派赴國家：日本

出國期間：114 年 8 月 31 日至 114 年 9 月 6 日

報告日期：114 年 10 月 31 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：液流及鈉硫電池應用於儲能系統之技術探討研習

頁數 21 含附件：☐是 ☒否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司/蔡晏筑/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

郭宗祐/台灣電力公司/輸變電工程處/電機工程師/(02)23227148

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：114/8/31~114/9/6

派赴國家/地區：日本

報告日期：114 年 10 月 31 日

關鍵詞：鈉硫電池、鈳液流電池、儲能系統

內容摘要：(二百至三百字)

公司自建儲能及民間儲能案場目前多為使用鋰離子電池，對鈉硫及鈳液流電池較為陌生，為了解鈉硫、鈳液流電池技術及應用於儲能系統情形，本次出國實習安排參觀兩種電池生產組裝工廠及儲能系統應用案場，行程橫跨日本愛知縣名古屋市、四國愛媛縣西條市、大阪市及北海道，藉由實際參訪並與技術人員交流，對鈉硫及鈳液流電池有更深刻了解。本篇報告將針對鈉硫、鈳液流電池原理進行簡介，接著介紹電池應用於儲能案

場服務情形，最後提出個人心得與建議。

本文電子檔已傳至公務出國報告資訊網

(<https://report.nat.gov.tw/reportwork>)

目錄

貳、實習行程.....	5
參、鈉硫電池介紹.....	8
一、 鈉硫電池原理簡介.....	8
二、 應用鈉硫電池之儲能案場介紹	11
肆、鈳液流電池介紹.....	14
一、 鈳液流電池原理簡介	14
二、 應用鈳液流電池之儲能案場介紹	15
伍、心得與建議.....	19
陸、參考資料.....	21

壹、實習目的

現行國內 MW 級儲能案場其電池材料係以鋰離子為主，採用鈉硫或液流電池之儲能案場較少，惟參考國外廠家資料，已具有相當使用實績，其優點有「壽命長，與鋰離子電池相比可達 20 年」、「適用各種氣候，不需冷氣空調」、「起火風險低」等，且此類電池其電池貨櫃可採堆疊式設計，對於台灣電力設施向來面臨用地取得不易的條件下是一大利多。

為了解鈉硫及釩液流電池技術細節以及後續應用於 MW 級儲能案場需求，爰此將「液流及鈉硫電池應用於儲能系統之技術探討研習」列為出國實習項目，藉由拜訪日本生產鈉硫電池之日本碍子公司、生產釩液流電池之住友電氣工業公司，觀摩其設備生產工廠及儲能系統應用案場，並透過技術面交流，俾利國內儲能系統採用此類電池之技術評估、建置期程、安全性檢視及規劃設計等實務上需要。

貳、實習行程

本次實習行程及內容簡述

一、114 年 8 月 31 日：往程(台北→中部國際機場→名古屋)

二、114 年 9 月 1 日：

赴日本碍子公司(NGK Insulators, Ltd.)位於愛知縣小牧市之生產工廠，
觀摩鈉硫電池各項零件之生產及組裝流程。



圖 2-1 日本碍子公司小牧市工廠參訪



圖 2-2 小牧市工廠內機櫃式鈉硫電池儲能系統

三、114 年 9 月 2 日：

赴愛媛縣西條市淨零耗能園區-「Itomachi Project」，觀摩使用鈉硫電池之儲能案場應用情形，並就技術細節進行討論。



圖 2-3 參觀淨零耗能園區並進行技術細節討論

四、114 年 9 月 3 日至 114 年 9 月 4 日：

- (一)、 拜訪住友電氣工業公司，針對鈳液流電池技術細節進行討論。
- (二)、 赴住友電氣工業公司位於大阪市生產工廠，觀摩鈳液流電池組裝流程。



圖 2-4 住友電氣工業大阪市工廠參訪

五、114 年 9 月 5 日：

赴北海道南早來變電所，觀摩使用鈳液流電池之儲能案場應用情形。



圖 2-5 參觀北海道南早來變電所

六、114 年 9 月 6 日：返程(北海道札幌→新千歲機場→台北)

參、鈉硫電池介紹

一、鈉硫電池原理簡介

鈉硫電池係利用鈉、硫兩元素間之氧化還原反應實現充、放電功能，此技術於 1960 年代由美國福特汽車公司提出，1980 年代由東京電力公司 (TEPCO) 與日本碍子公司 (NGK) 聯合研發相關電池元件，1990 年代日本碍子公司成功開發出商業化之鈉硫電池模組並於 2002 年開始生產。

鈉硫電池之單電池結構如圖 3.1 所示，負極管槽中填充有鈉金屬、正極管槽中填充有硫磺，正、負極間設有固體電解質層(材質為 β 氧化鋁)用於讓鈉離子通過進行氧化還原反應，並區隔正、負極液體避免混和。

鈉硫電池工作溫度為 $300\sim 340^{\circ}\text{C}$ ，運轉時藉由加熱器將電池加熱到工作溫度，放電時負極鈉金屬釋出電子形成鈉離子，電子透過外部電路到達正極與熔融狀態的硫結合形成硫離子，鈉離子則通過固體電解質層到達正極與硫離子結合形成 $\text{Na}_2\text{S}_x (3.3 \leq x \leq 5)$ ，完成放電反應過程；充電時從外部施加電壓使正極之 Na_2S_x 分解為 Na^+ 、 S 、 e^- ， Na^+ 通過固體電解質層回到負極，電子通過外部電路到達負極與鈉離子結合還原成鈉金屬完成充電反應過程，充放電反應流程如圖 3.2 所示。

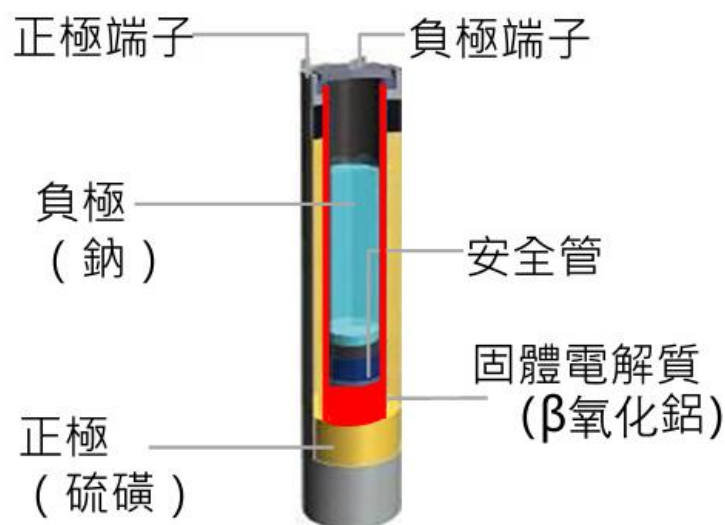


圖 3.1 鈉硫電池芯結構示意圖

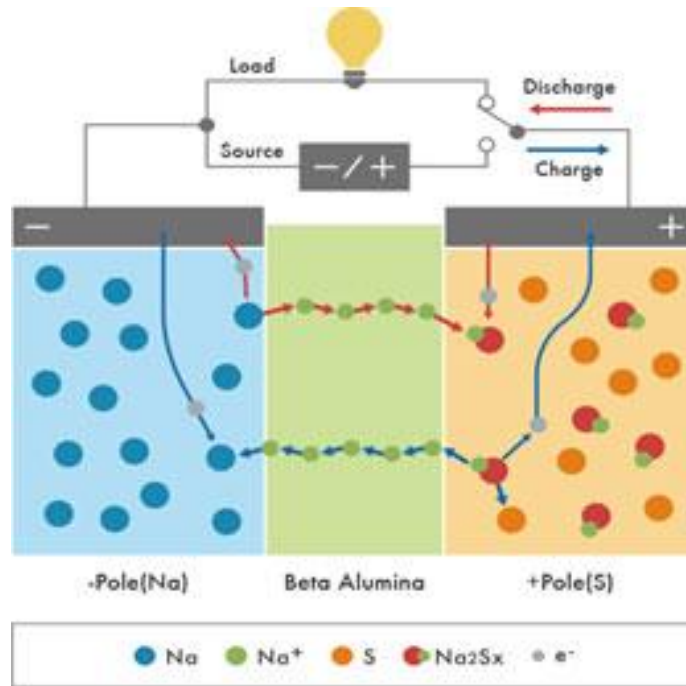


圖 3.2 鈉硫電池充放電原理

本次實習參觀日本碍子公司小牧市工廠，了解鈉硫電池生產組裝流程，其關鍵元件 β 氧化鋁管其主要成分為鎂、氧化鋁及鈉之混和粉末，首先將粉末進行乾燥形成顆粒狀，再藉由模具將顆粒擠壓塑形成 β 氧化鋁管，完成塑形後 β 氧化鋁管還需經過加熱、加壓程序，使其縮小緊實後方完成本項元件製程。

β 氧化鋁管製造完成後須進行外觀及強度檢測，首先將發光燈管插入 β 氧化鋁管內觀察是否透光，若發生透光現象則判斷為不良品淘汰，接著由機台施加壓力測試其強度，通過強度檢測後最後量測其尺寸是否符合標準，以上檢測流程皆由機台自動完成。

完成檢測之 β 氧化鋁管內側將配置一鋁金屬材質安全管，安全管內部填充有鈉金屬，因鈉金屬接觸空氣後將迅速與氧反應形成氧化鈉，故填充過程須於無氧環境下進行； β 氧化鋁管外側填充有硫磺，最後電池芯將裝入金屬外罩內保護(如圖 3.3 所示)。



圖 3.3 組裝完成之單電芯與陶瓷管

電池芯組裝完成後將安裝於電池模組之金屬外殼內，單一電池模組含有 192 顆電池芯，模組內各電池芯之空隙填充有消防砂，填充消防砂有固定電芯位置防止其移動、電池芯破裂時可吸收洩漏之硫化物、起火時做為防火材質阻止產生延燒等多重目的；電池模組內各電池芯串聯支路安裝有保險絲，可於發生過電流時斷開連接，電池模組結構示意如圖 3.4 所示。

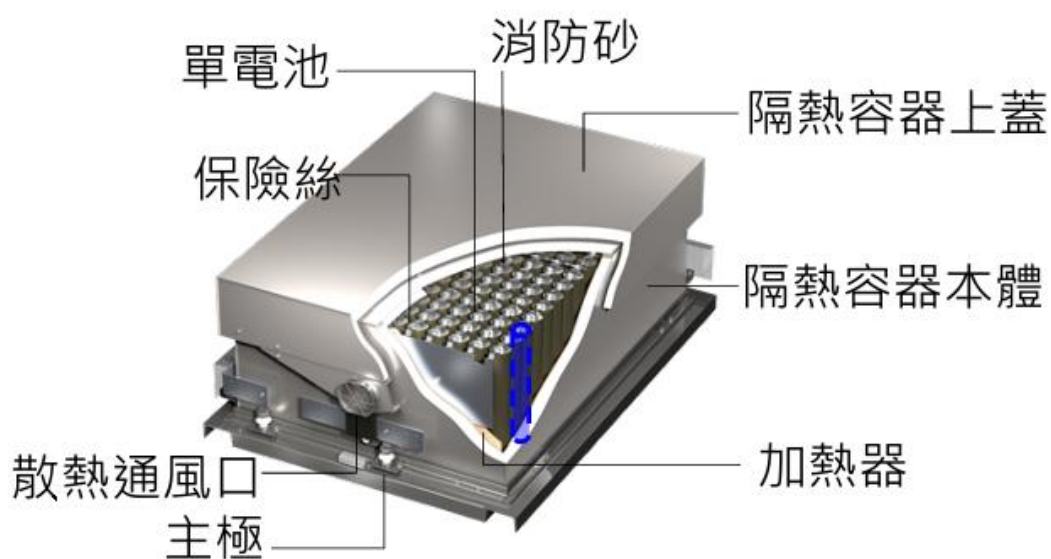


圖 3.4 鈉硫電池模組結構示意圖

鈉硫電池模組出廠前須通過充放電測試，藉由加熱器加熱至工作溫度測試其可正常充放電，通過充放電測試後電池模組將安裝於 20 呎貨櫃內，每一 20 呎貨櫃安裝有 6 個鈉硫電池模組，並設有隔間設置儲能控制器。鈉硫電池貨櫃可進行堆疊，最高可堆疊兩層、最多 4 只貨櫃串聯為一組連接至 PCS 進行交直流轉換，單電池貨櫃結構及 4 只貨櫃堆疊串聯示意如圖 3.5 所示。

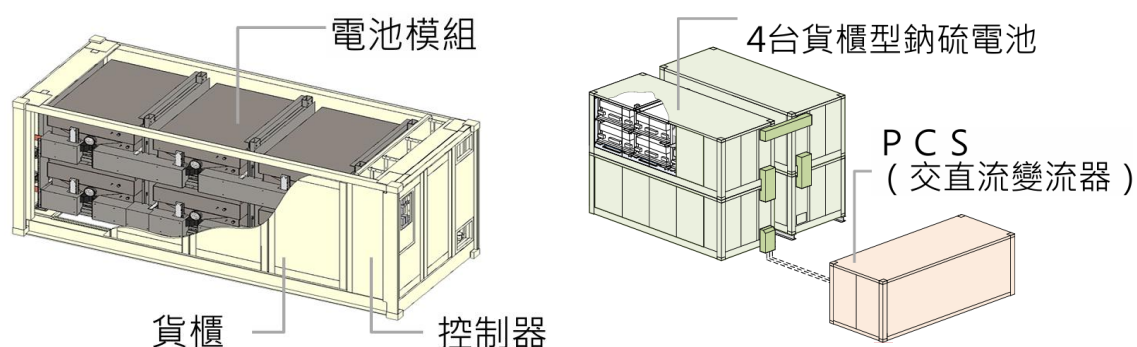


圖 3.5 鈉硫電池貨櫃及堆疊架構示意圖

二、應用鈉硫電池之儲能案場介紹

參觀鈉硫電池生產工廠後，隔日與 NGK、公益國際開發公司人員一同前往愛媛縣西條市之淨零耗能園區-「Itomachi Project」，觀摩鈉硫電池儲能系統實際應用情形。

「Itomachi Project」淨零耗能園區由飯店-Itomachi Hotel 0、當地物產販賣商場、餐廳、鈉硫電池儲能系統、瓦斯發電機、EDMS 能源需求管理系統組成，強調對電網零能耗、使用當地物產、環境友善等永續理念。飯店、販賣商場之屋頂安裝有太陽能板，總裝置容量達約 440 kW，搭配 1200 kW/7200 kWh 之鈉硫電池儲能系統，可滿足飯店、商場、餐廳一天用電量所需(若發電量不足時由系統供應)。

鈉硫電池儲能系統平日主要執行能量轉移服務，白天電池充電將多

餘的太陽光電儲存起來，晚上太陽能發電歸零後儲能電池放電供應園區用電需求；另此套儲能系統之 PCS 具備 Grid-Forming 能力，可於電網發生全黑時執行全黑啟動功能供電給園區所內用電及相關必要設施，使太陽能、瓦斯發電機(200 kW 做為緊急電源)可重新搭接回園區之微電網進行發電。「Itomachi Project」園區除可於電網全黑時自給自足外，另設計有睦鄰供電功能，可於發生停電時獨立供電給附近住戶，使鄰近居民也能受惠於此園區發電設施，睦鄰供電示意詳圖 3.8 所示。



圖 3.6 Itomachi 飯店(左)及販賣商場(右)



圖 3.7 鈉硫電池儲能系統(左)及瓦斯發電機(右)

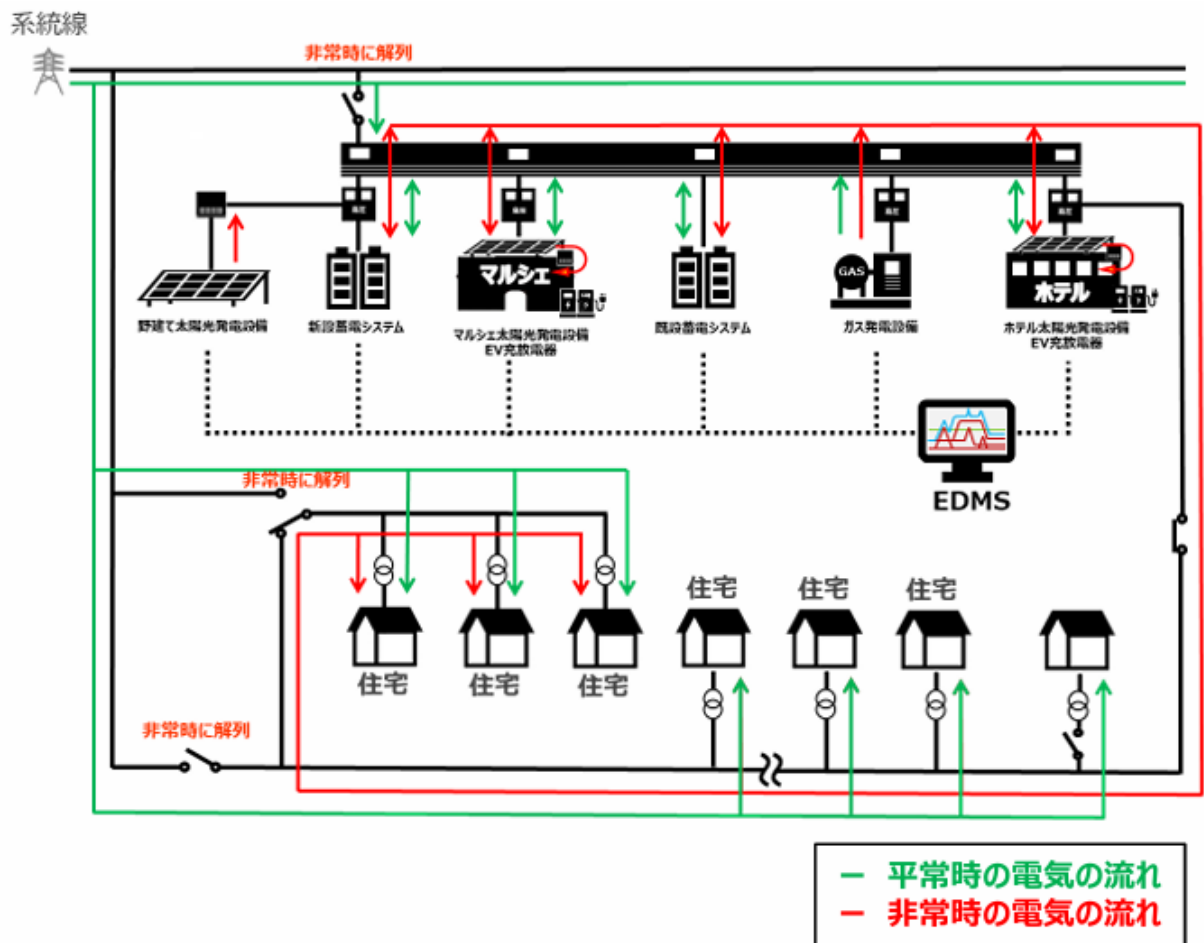


圖 3.8 Itomachi Project 園區平時及電網全黑時供電示意圖

肆、釩液流電池介紹

一、釩液流電池原理簡介

釩液流電池係使用含有釩離子之液態電解液，正極電解液組成為 V^{4+}/V^{5+} 氧化還原對；負極電解液組成為 V^{2+}/V^{3+} 氧化還原，利用釩離子在不同氧化態之間的氧化還原反應來儲存和釋放電能。

釩液流電池放電時，負極進行氧化反應 V^{2+} 失去電子變為 V^{3+} ，電子從負極經由外部電路到達正極進行還原反應與 V^{5+} 結合形成 V^{4+} ；電池充電時，正極進行氧化反應 V^{4+} 失去電子變為 V^{5+} ，電子從正極經由外部電路到達負極進行還原反應與 V^{3+} 結合形成 V^{2+} ，由於反應過程僅涉及電解質價態變化，不會使其變質，因此電解質可以半永久性地使用，有關釩液流電池充放電原理說明如圖 4.1 所示。

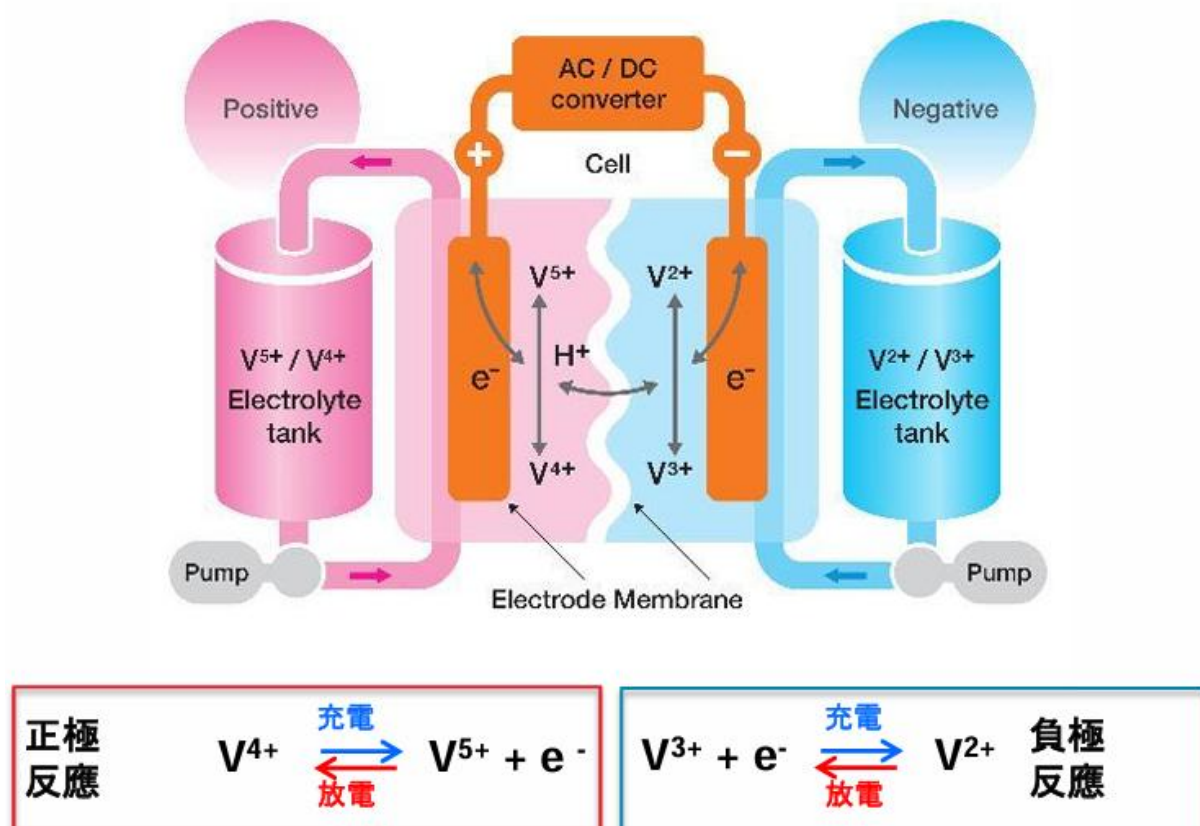


圖 4.1 釩液流電池充放電原理

釩液流電池其正、負極電解液分別儲存於各自桶槽中，充放電時藉由泵浦系統自儲存桶槽輸送至電堆進行反應，完成反應後再沿著輸送管路循環回桶槽，電解液循環途中設有熱交換器，可調節電解液之溫度，使釩液流電池在安全穩定狀態下運行，因電堆及電解液桶槽可獨立設置緣故，設計時可以依據需求單獨調整功率(增加電堆串聯數量)及電量(增加電解液桶槽容量)，有關釩液流電池架構如圖 4.2 所示。

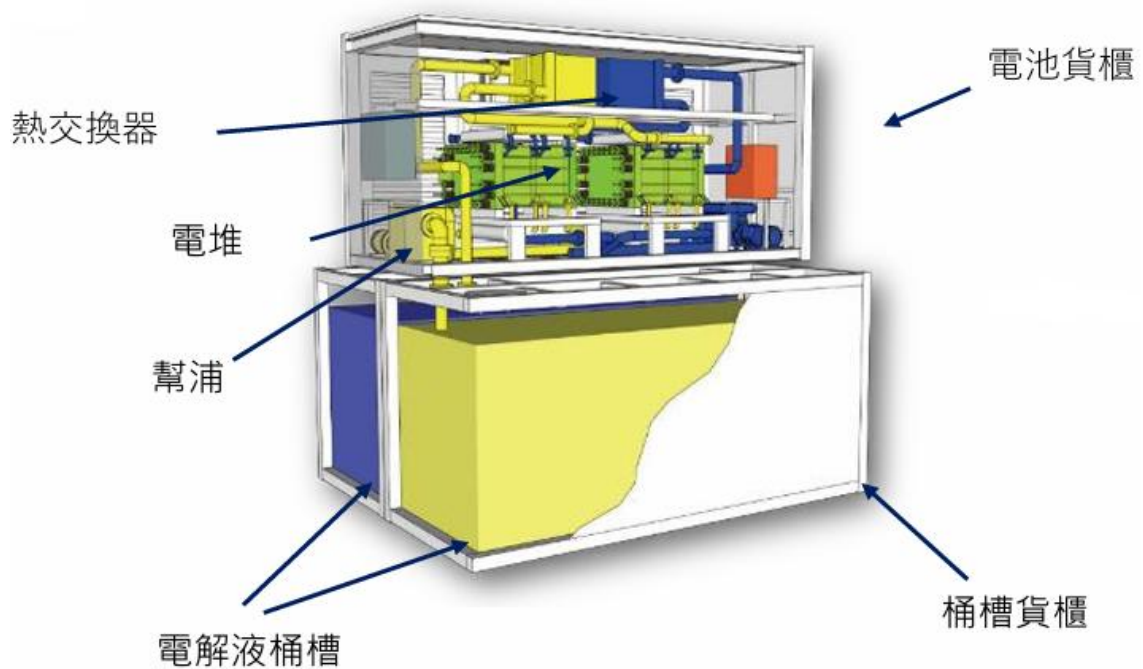


圖 4.2 釩液流電池系統內視圖

釩液流電池除了有電量不容易衰減、使用壽命長優點外，因其液態電解液本身即為不燃物，也無內短路自燃問題，運轉時幾乎無起火風險；另外釩液流電池儲能系統除役後電解液可運至其它案場繼續使用，剩餘電池組件九成也可回收再利用，處理程序相對容易。

二、應用釩液流電池之儲能案場介紹

參觀完釩液流電池位於大阪市生產工廠後，隔日與住友電氣工業、台灣住友商事相關人員搭乘日本國內線飛機赴北海道南早來變電所參觀釩

液流電池應用案場。

南早來變電所為北海道電力公司所有，為因應北海道太陽能、風力發電裝置容量逐漸增加，在變電所內設置兩套釩液流電池儲能系統用於抑制再生能源發電間歇性，主要應用為針對短週期頻率擾動進行調頻以及針對長週期發電量變化進行排程調度。其中一套 15MW/60MWh 儲能系統位於建築物內，電解液儲存桶槽為直立式置於建築物一樓，電堆及熱交換器置於建築物二樓，整體配置如圖 4.3 所示。



圖 4.3 15MW/60MWh 釩液流電池儲能系統配置示意圖

電池充放電時電解液藉由泵浦系統輸送至二樓電堆進行反應，完成反應後電解液先經由熱交換器散熱後再循環回一樓桶槽，直立式桶槽周圍設有防液堤，可於桶槽發生電解液洩漏時將漏液限制於堤防內，直立式桶槽、泵浦系統及防液堤如圖 4.4 所示。

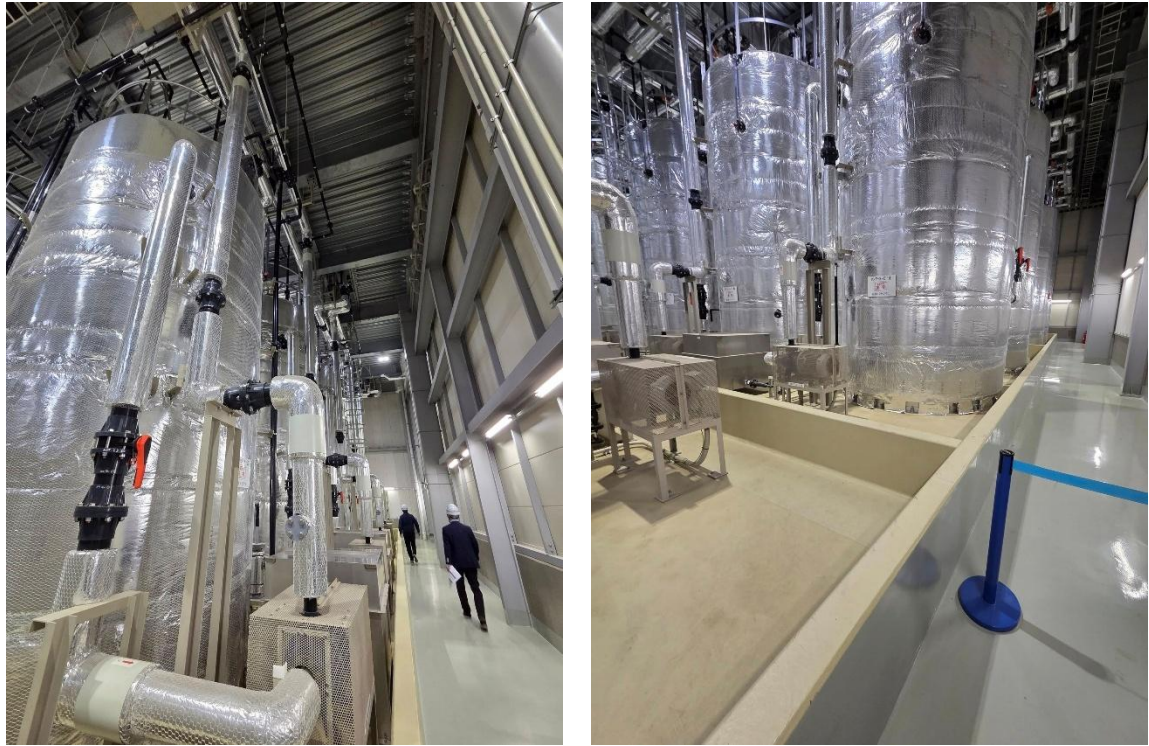


圖 4.4 鈎液流電池直立式桶槽及泵浦系統(左)防液堤(右)

另一套 17MW/51MWh 鈎液流電池儲能系統為貨櫃型式位於室外，貨櫃型式由桶槽貨櫃及電池貨櫃組成，桶槽貨櫃一組兩櫃分別存放正、負極電解液；電堆、熱交換器、泵浦置於電池貨櫃內，電池貨櫃置於桶槽貨櫃上方藉由輸送管路進行連接，上層貨櫃周圍設有護欄保護作業人員安全，桶槽貨櫃及 PCS 下方基礎依照北海道當地洪水水位設置水泥墩座進行墊高，儲能案場實拍照片如圖 4.5 所示。



圖 4.5 釩液流電池儲能系統貨櫃型式(左)及 PCS(右)

上述兩套儲能系統其電池貨櫃直流電壓約為 690 V，經由儲能升壓變壓器升至 6.6 kV，再藉由 66 kV/6.6 kV 變壓器併網，系統架構如圖 4.6 所示。另本次參訪有進入南早來變電所控制室進行觀摩，因北海道電力公司不允許通訊網路與外網連接，住友電氣工業公司僅能於控制室 SCADA 畫面前方架設錄影機對儲能系統進行監視，此規定與本公司相同。

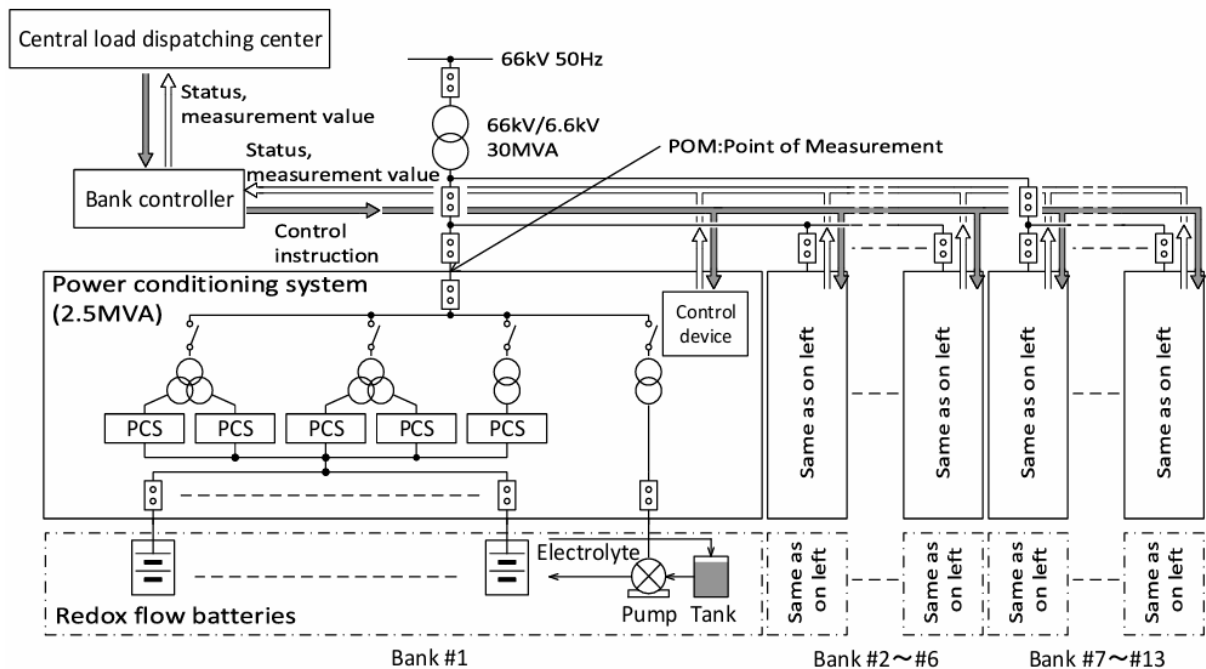


圖 4.6 釩液流電池系統架構圖

伍、心得與建議

- 一、台電公司建置儲能系統可使用之電池有鋰離子電池、鈉硫電池、鈎液流電池三種，目前公司自建 MW 級儲能案場：路園、龍潭、冬山、台南鹽田光電站、金門古寧、馬祖珠山、澎湖尖山等皆使用鋰離子電池，已累積相當實務經驗。惟鈉硫電池、鈎液流電池國內使用經驗甚少，公司亦僅有金門夏興能量型儲能使用鈉硫電池、綜合研究所樹林所區設置鈎液流電池儲能一套，藉由本次實習經驗，對前述兩種電池有更進一步了解。
- 二、鈉硫電池固定設計為可放電 6 小時之儲能系統；鈎液流電池因其功率與電量可分開設計，可根據需求調整功率(電堆數量)及電量大小(電解液多寡)，主要設計為 3~8 小時放電之儲能系統。前述兩種電池主要評估應用於長時間之能量轉移，本次實際赴日本觀摩使用鈉硫及鈎液流電池之儲能案場，發現除應用於能量轉移外，亦規劃調頻 AFC、孤島運轉、RoCoF 等複合應用，其反應時間可達毫秒等級，與鋰離子電池相比性能幾無差異。考量國內短時間 AFC 應用之儲能系統建置量已達相當規模，未來更需要長時間、複合功能之儲能系統投入電網，使用鈉硫、鈎液流電池具相當潛力。
- 三、對於儲能系統現地安全測試部分，經濟部標檢局針對鋰離子電池儲能系統已公告 CNS 62933-5-2 規範及 VPC 認證辦法，公司已納入鋰離子電池技術規範內做為現地安全認證標準；惟針對鈉硫、鈎液流電池儲能系統尚未有相關國家安全標準做為依據，考量未來應用情境增加，擬於標檢局召開之相關會議中提出需求，期盼能將鈉硫、鈎液流電池國家安全標準列入未來期程，目前公司採購亦將 IEC 62984(鈉硫電池)與 IEC 62932-2-2(鈎液流電池)納入相關技術規範內。
- 四、感謝公司今年指派我赴日本研習鈉硫及鈎液流電池技術，藉由參觀電

池生產工廠及儲能應用案場，見證兩種電池在電網(北海道南早來變電所)及表後儲能(愛媛縣西條市 Itomachi Project 園區)之成熟應用，尤其 Itomachi Project 園區規劃鈉硫電池具備全黑啟動功能以及後續搭配太陽能發電提供睦鄰供電服務，可於電網全黑時供電給附近住戶令我印象深刻，回國後將利用本次實習經驗投入技術規範撰寫及辦理儲能系統建置，也感謝公益國際開發公司、日本碍子公司、台灣住友商事公司、住友電氣工業公司相關人員陪同協助，使本次國外實習圓滿結束。

陸、參考資料

- 一、 <https://www.ngk-insulators.com/en/product/nas-about.html>
- 二、 公益國際開發公司：NGK NAS 鈉硫電池儲能系統簡介及建置經驗分享。
- 三、 <https://ito-pj.co.jp/about/>
- 四、 <https://sumitomoelectric.com/jp/>
- 五、 台灣住友商事/太平洋電纜：鈮液流電池系統介紹及北海道案場實績。
- 六、 住友電氣工業：Vanadium Flow Battery Systems installed in Minamihyakita S/S of Hokkaido Electric Power Network。