

出國報告（出國類別：實習）

低碳發電與儲電技術研習

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：張書維 化學研究專員

派赴國家：日本

出國期間：103年2月24日至3月1日

報告日期：103年4月30日

出國報告審核表

出國報告名稱：低碳發電與儲電技術研習		
出國人姓名(2人以上,以1人為代表)	職稱	服務單位
張書維	化學研究專員	台灣電力公司 綜合研究所
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 其他_____ (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)	
出國期間：103年2月24日至103年3月1日		報告繳交日期：103年4月30日
出國計畫主辦機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input type="checkbox"/> 2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」) <input type="checkbox"/> 3.無抄襲相關出國報告 <input type="checkbox"/> 4.內容充實完備. <input type="checkbox"/> 5.建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 6.送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 7.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 8.退回補正,原因: <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 9..本報告除上傳至出國報告資訊網外,將採行之公開發表: <input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會(說明會),與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 其他_____	
	<input type="checkbox"/> 10.其他處理意見及方式:	

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

報 告 人		審 核 人			
			單位 主管	主管處 主 管	總 經 理 副總經理

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：低碳發電與儲電技術研習

頁數 33 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台電 人資處/陳德隆/ (02) 2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

張書維/台灣電力公司/綜合研究所/化學研究專員/ (02) 8078-2252

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：103 年 2 月 24 日至 3 月 1 日

出國地區：日本

報告日期：103 年 4 月 30 日

分類號/目

關鍵詞：低碳發電、儲電技術、液流電池、燃料電池、智慧電網

內容摘要：(二百至三百字)

本次任務乃針對低碳發電與儲電技術，對現行各國先進相關技術進行收集、歸納與評估，派員赴日本住友電氣工業株式會社橫濱工廠研習大型發電儲能項目，以了解低碳發電與儲電技術於微型電網與分散型能源之應用現況，並在住友電氣安排下，赴日本東京有明國際展覽中心研習低碳發電與儲電技術最新發展，了解現今再生能源電力儲存、氫能與燃料電池發電所涉及材料與化學問題，以提升研發能力與技術。住友電工利用本身廠區的位置同時達到再生能源優化、備用電源以及技術驗證等功效，其作法值得本所參考。日本國際智慧能源展整合包括電池、燃料電池、太陽能、風力發電、綠能屋以及智慧電網等主題，已成亞洲區相關主題的年度盛會，除可了解相關主題的最新資訊與產品外，也藉此機會了解台灣本土廠商的技術能力，諸如 kW 級 PEMFC 的備用電源、太陽能模組以及微電網系統等相關產品，其日後發展值得持續關注。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://open.nat.gov.tw/reportwork>)

目 錄

出國報告書審核表-----	1
出國報告提要-----	2
目錄-----	3
第一章 前言-----	4
1.1 任務之起源-----	4
1.2 任務之目標-----	4
1.3 行程與內容-----	5
第二章 心得報告-----	6
2.1 研習橫濱工廠大型發電儲能項目-----	6
2.1.1 全鈇液流電池技術-----	6
2.1.2 住友電工儲能驗證計畫-----	8
2.1.3 住友橫濱工廠大型儲能驗證計畫-----	10
2.2 研習低碳發電與儲電技術最新發展-----	16
2.2.1 國際智慧能源展概述-----	16
2.2.2 燃料電池發電技術調查-----	19
2.2.3 燃料電池性能評估技術-----	24
2.2.4 太陽能發電技術調查-----	27
2.2.5 儲能與智慧電網技術調查-----	29
第三章 感想與建議-----	32

第一章 前言

1.1 任務之起源

經濟的永續發展需要穩定且安全的能源供應，能源多元化、擴大自有能源比例、提升能源使用效率、發展節能減碳技術、降低溫室氣體排放等皆為目前能源相關科技的重要課題，隨著時代與科技的變遷，全世界皆面臨能源需求的與日俱增和環境污染的挑戰，也造就現今再生能源與綠能產業相關產業的蓬勃發展，而由於太陽能和風力等低碳發電技術具不穩定供電性質，而使低碳發電與電技術的結合成為近年來發展的重要課題。

本次任務乃依 103 年度「低碳發電與儲電技術研習」出國計畫內容，派員赴歐洲、美國或日本等國家，擬針對低碳發電與儲電技術，對現行各國先進相關技術進行收集、歸納與評估，掌握研究領域的發展趨勢與實況，並與其他研究人員交流吸收經驗將有利於相關研究計劃的推行與完成。

1.2 任務之目標

本次出國任務目標為(1) 赴日本住友電氣工業株式會社橫濱工廠研習大型發電儲能項目，以了解低碳發電與儲電技術於微型電網與分散型能源之應用現況以及資料彙整，其研習內容可做為未來技術引進之參考。(2)在住友電氣工業株式會社安排下，赴日本東京有明國際展覽中心研習低碳發電與儲電技術最新發展，在最新資訊輔助觀摩下，利用低碳能源、氫能及先進儲能技術觀念，加速完成相關技術方案的規劃與執行，並透過與廠商的資訊以及技術交流過程，了解現今再生

能源電力儲存、氫能與燃料電池發電所涉及材料與化學問題，以提升研發能力與技術，也進一步尋求潛在的合作夥伴。

1.3 行程與內容

日期	前往機構	詳細工作內容
02/24	台北→東京→橫濱	路程
02/25	住友電氣工業株式會社	研習橫濱工廠大型發電儲能項目
02/26- 02/28	住友電氣工業株式會社 (日本東京有明國際展覽中心)	研習低碳發電與儲電技術最新發展
03/01	東京→台北	路程

第二章 心得報告

2.1 研習橫濱工廠大型發電儲能項目

住友電氣工業株式會社創立於 1897 年，總公司位於大阪，並持續擴展國際化事業活動，在 30 多個國家發展業務，全世界的相關公司有 350 多家，集團員工總數超過 20 萬人，經營範圍包括汽車相關事業、資訊通信相關事業、電子相關事業、環境能源、產業材料相關事業等。此次研習的地點橫濱工廠(橫濱製作所)位於離湘南地區很近的橫濱市南端，其占地面積居各分公司之首占地面積(400,000m²)，最初是作為本公司在關東地區的通訊電纜基地開設的，目前則在進行電纜、光纜等各種纜線、光及通訊設備等的製造，同時還在進行光電子技術等方面的研究開發[1]，此行研習的大型發電儲能技術為全鈮液流電池技術。

2.2.1 全鈮液流電池技術

全鈮液流電池全名為全鈮氧化還原液流電池(Vanadium Redox Battery，縮寫為 VRB)，是氧化還原液流電池(Redox Flow Battery，縮寫為 RFB)的一種，特點為將電能貯在具有不同價態鈮離子硫酸電解液中，充電時正極電解液中的 V^{+4} 氧化成 V^{+5} ，負極電解液中的 V^{+3} 還原成 V^{+2} ，放電時為逆反應。利用外接泵分別把電解液抽離或壓入電池堆體內，使其在不同的儲液罐和半電池的封閉回路中循環流動，正負極之間以質子交換膜作為電池組的隔膜，經由帶電荷的 H^+ 的傳遞形成迴路，電解液則平行流過電極表面並發生電化學反應，通過集電板收集和傳導電流，從而使得儲存在溶液中的電能與化學能進行轉

換，可逆的反應過程使鈳電池順利完成充電、放電和再充電[2]，其工作原理示意如圖 1[3]，電池本體的架構示意則如圖 2 所示。

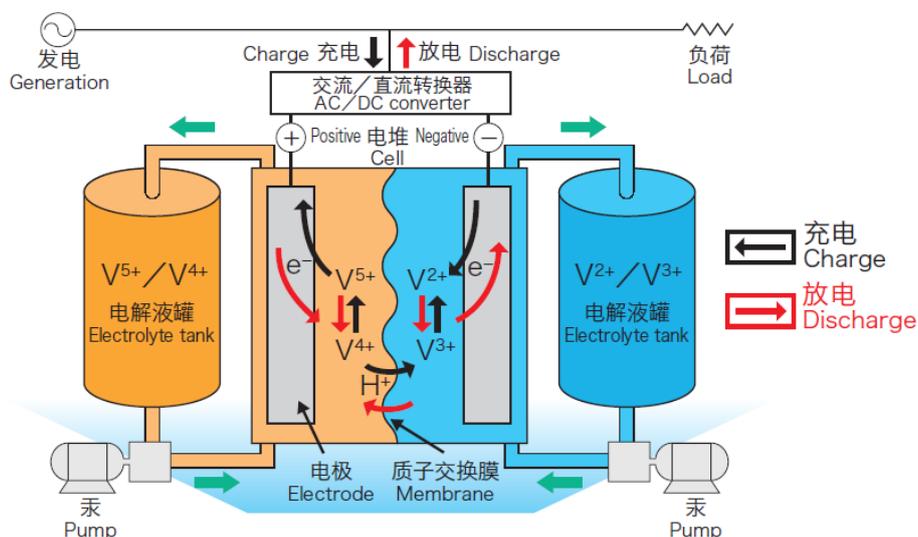


圖 1 全鈳液流電池工作示意圖[3]

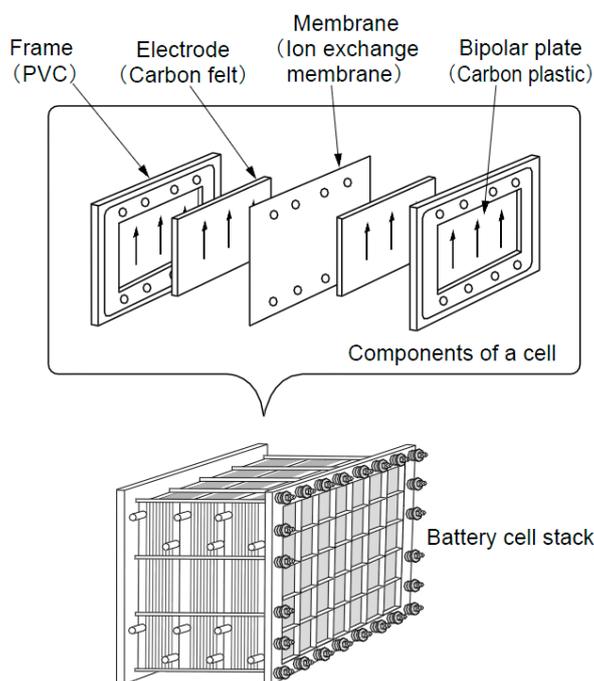


圖 2 全鈳液流電池本體的架構示意[4]

全鈳液流電池作為儲能技術有以下優點：1.由於電池容量與電解液有關，電池容量容易測量與控制 2.充放電次數可達 10,000 次以上 [5]3.極低的自放電率、可進行快速、頻繁、大電流的充電和放電，不

同於鉛酸電池與鋰電池，可深度充電和放電不損壞電池，對電池的有效壽命影響不大 4.電池容量可透過更換電解液罐和增加電解液擴充 5.運轉維護成本低廉 6.電解液的混合不會導致電解液的污染 7.電解液可循環利用，無汙染排放之環保問題 8.常壓運行，無起火或爆炸的風險。全鈦液流電池與其他大型儲能技術優缺點以及儲能特性比較如表 1 與表 2 所述。

表 1 大型儲能技術優缺點比較表[6]

Energy storage technology	Advantages	Disadvantages	Power applications	Energy applications
Lead-acid batteries	Low power density and capital cost	Limited life cycle when deeply discharged	Fully capable and suitable	Feasible but not quite practical or economical
Lithium-ion batteries	High power and energy densities, high efficiency	High production cost, requires special charging circuit	Fully capable and suitable	Feasible but not quite practical or economical
Sodium-sulfur batteries	High power and energy densities, high efficiency	Production cost, safety concerns (addressed in design)	Fully capable and suitable	Fully capable and suitable
Flow batteries	High energy density, independent power and energy ratings	Low capacity	Suitable for this application	Fully capable and suitable
Flywheels	High efficiency and power density	Low energy density	Fully capable and suitable	Feasible but not quite practical or economical
Pumped hydro-energy storage systems	High capacity	Special site requirement	Not feasible or economical	Fully capable and suitable
Compressed air energy storage systems	High capacity, low cost	Special site requirement, needs gas fuel	Not feasible or economical	Fully capable and suitable

表 2 大型儲能技術儲能特性比較表[6]

Technology	Power rating (MW)	Discharge duration	Response time	Efficiency (%)	Lifetime
Lead-acid batteries	< 50	1 min-8 h	< 1/4 cycle	85	3-12 years
Nickel-cadmium batteries	< 50	1 min-8 h	N/A	60-70	15-20 years
Sodium-sulfur batteries	< 350	< 8 h	N/A	75-86	5 years
Vanadium redox flow batteries	< 3	< 10 h	N/A	70-85	10 years
Zinc-bromine flow batteries	< 1	< 4 h	< 1/4 cycle	75	2000 cycles
Flywheels	< 1.65	3-120 s	< 1 cycle	90	20 years
Pumped hydro energy storage systems	100-4000	4-12 h	s-min	70-85	30-50 years
Compressed air energy storage systems	100-300	6-20 h	s-min	64	30 years

2.1.2 住友電工儲能驗證計畫

VRB 技術始於 1980 年代澳洲的新南威爾斯大學(University of New South Wales, UNSW)，1998 年澳洲 Pinnacle VRB 取得 UNSW 的 VRB 專利權，並在 1999 年時再將專利權授予日本住友電工(SEI)

以及加拿大的 Vantack 兩家公司，而住友電工關於液流電池的應用實證計畫最早則始於 1996 年，當時的需求驗證單位即為電力公司，應用目的為研究發展，當時裝置容量為 450kW x 2H 如表 3 所示。

表 3 住友電工關於液流電池的應用實證計畫[7]

Customer or owner	Application	Output capacity	Year of delivery
Electric power company	Research and development	450 kW × 2H	1996
Office building	Research and development (load leveling)	100 kW × 8H	2000
Electric power company	Research and development	200 kW × 8H	2000
NEDO	Wind power output fluctuation stabilizing verification (single unit)	170 kW × 6H	2000
Constructor	Research and development (combination with solar power)	30 kW × 8H	2001
Factory	Instantaneous voltage sag compensation, peak-cut control	3 MW × 1.5sec (1.5MW × 1H)	2001
Electric power company	Research and development	250kW × 2H	2001
University	Load leveling	500 kW × 10H	2001
Laboratory	Research and development	42 kW × 2H	2001
Electric power company	Research and development	100 kW × 1H	2003
Office building	Load leveling	120 kW × 8H	2003
University	Instantaneous voltage sag compensation, load leveling	55 kW × 5H	2003
Railway company	Research and development (load leveling, instantaneous voltage sag compensation)	30 kW × 3H	2003
Office building	Research and development	100 kW × 2H	2003
Data center	Instantaneous voltage sag compensation, emergency power supply	300 kW × 4H	2003
Laboratory	Load leveling	170 kW × 8H	2004
Office building	Load leveling, emergency power supply for fire-fighting equipment	100 kW × 8H	2004
University	Load leveling, emergency power supply for fire-fighting equipment	125 kW × 8H	2004
Electric power company	Research and development	152 kW × 2.6H	2005
Museum	Load leveling, emergency power supply for fire-fighting equipment	120 kW × 8H	2005
Electric power company	Research and development (combination with solar power)	100 kW × 4H	2005
NEDO	Wind power output fluctuation stabilizing verification (wind farm)	4 MW × 1.5H	2005

近幾年由於再生能源與智慧電網等議題受到注目，而 VRB 用於其中具有削峰填谷與穩定輸出等功能，因此住友電工本身對於 VRB 有幾個大型驗證計畫正在執行，首先是始於 2011 年 6 月的大阪工廠驗證計畫，計畫為 Project W1，包含 3 種太陽能發電裝置和小型風力發電裝置以及儲存電力用的全鈦液流電池，產生的電力用於所內的部分照明、家電產品以及電動汽車的充電站，合計最大發電輸出近 10kW，特點是不與一般電網連結，單純以太陽能和風力作為發電裝置，透過能量管理系統(EMS)以及全鈦液流電池儲電裝置控制發電與儲電，具微型智慧電網(Micro Smart-Grid)之概念，驗證目的希望能透過儲能裝置實現高效以及穩定的電力運用，據估計，與交流供電相比，此驗證計畫概念的直流供電可減少電纜的輸電損失約 10%。

2.1.3 住友橫濱工廠大型儲能驗證計畫

此次研習觀摩的住友橫濱工廠大型儲能驗證計畫始於 2012 年 7 月，計畫為 Project 2，橫濱工廠目前為住友電工進行電纜、光纜等各種纜線、光及通訊設備等的製造廠區，配合原先廠區現有與電力公司結合的變電設備以及燃氣渦輪發電機，新設了 28 座聚光型太陽能系統 (CPV ; Concentrated Photovoltaic)、用於儲電與備用發電的全鈦液流電池(1MW x 5h)以及能量管理系統，整體系統架構如圖 3 所示，發電與儲能系統部分整體如圖 4。此行在台灣瑞添公司的協助下，由住友電工技術部的事業推進部德丸部長、孟科先生以及技術部的筒井部長等人針對住有橫濱工廠的驗證計畫進行介紹及說明，職與日本住友

電工、台灣瑞添公司以及工研院相關人員合影於橫濱驗證計畫廠區如圖 5。

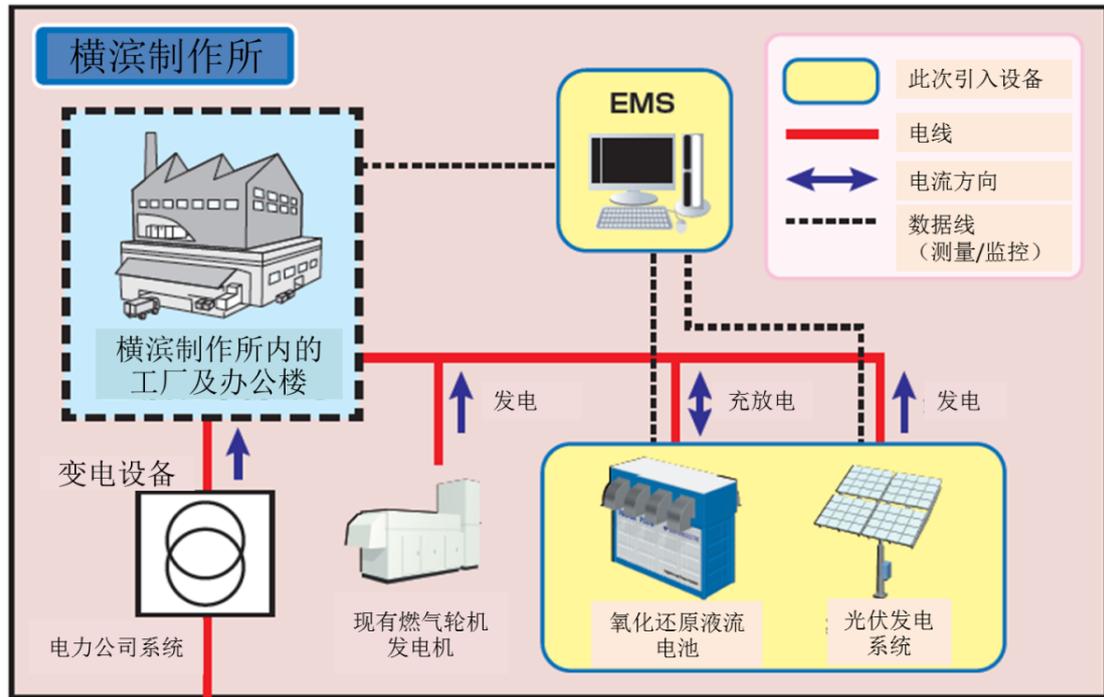


圖 4 橫濱工廠兆瓦級大型發電與儲能系統整體圖[3]

根據住友人員表示，此驗證計畫與前一驗證計畫的差異，除了將儲能與發電系統的規模放大以外，最大的差異即大阪工廠的系統不與電力公司的電網連結，為一孤島式的電網，橫濱工廠的驗證計畫則否。用於發電的聚光型太陽能系統特點為發電效率高、占地面積小、在日照較多的地方有利，加上由於太陽能板須架設在追日系統支柱

上，因此太陽能板下方的土地可做有效的利用，架設於橫濱工廠的 CPV 最大總發電功率為 100kW，每座 CPV 的額定發電功率為 7.5kW/座(共計 15 座)，每座由 64 張太陽能板所組成，每座發電裝置均設置 DC/DC 整流器達成直流電連接，除了可達成最大電力點的追蹤控制外，也可管理每座發電量等運轉狀況，儲電與備用發電的全鈦液流電池最大發電功率 1MW，儲電容量為 5MWh，組成由 8 組 125kW/組的 VRB 電池所組成，另為達成電力調整目的另於現場設置 1 座 500kW 以及 2 座 250kW 的整流器，整流器則由日本其他公司所承製。



圖 5 職與日本住友電工、台灣瑞添公司以及工研院相關人員合影於橫濱驗證計畫廠區

根據驗證計畫的目的，此計畫實際驗證的工作模式主要可劃分為 3 種，(1)減少最大用電量：用電量低時以系統向電池充電，用電高峰時則由電池放電以實現削峰填谷的目的(2)太陽能發電輸出的平滑化：透過電池的充放電作為太陽能發電時的中介緩衝，達成輸出的平

滑化，也可減輕火力發電的負荷，擴大再生能源發電的電量，此模式可以較小容量的儲能電池達成(3)太陽能的計畫發電:透過將容易受天氣影響發電輸出的太陽能與 VRB 電池進行組合，實現有計畫性輸出以提升太陽能發電的價值，此模式因需要配合用電需求，需要較大容量的儲能電池，以 VRB 而言僅需要擴增電解液儲存槽容量即可。為達成以上三種工作模式，需要能量管理系統針對太陽能發電量、電池的充放電電力、電池剩餘電量以及異常訊息等等進行統一管理，此次研習住友電工也展示了他們的能量管理系統，軟體概念如圖 6 所示，硬體部分外觀為一貨櫃，內部為類似中控台的布置，將相關發電與儲電系統的資料統一管理與分析，僅需配置一專職人員進行操作。



圖 6 橫濱工廠大型發電與儲能能量管理系統[3]

根據住友人員表示，由於橫濱地區大型廠區的工業用電，每年需與電力公司簽訂電價合約，除了明定電價之外，電力公司為了減輕用電尖峰的發電負荷，也會與廠方簽訂用電尖峰上限，廠方一旦超過尖峰上限，電價將大幅增加至另一級距，類似目前本公司對民間用電分

級距收費的概念，但由於日本電價本來就較高昂，民間平均電價 7.6880 新台幣元/度，工業平均電價 5.2750 元/度[8]，增加的電費對於廠方是很大的負擔，因此過去住友橫濱工廠已建置 10 餘座小型的燃氣渦輪發電機，透過能量管理系統可預先得知，當用電需求可能接近尖峰級距時，發動小型的燃氣渦輪發電機以補足用電需求，而自 2012 年將 CPV 以及 VRB 納入廠內電網系統後，也可利用儲能電池將離峰時較便宜的電預先儲存，減少尖峰時段的用電需求，以達到削峰填谷的目的。

根據前述圖 3 的橫濱工廠儲能驗證系統架構以及住友電工人員的說法，系統內 CPV 的發電是直接併入廠區電網使用，並無併入市電，也沒有預先通過電池來進行輸出平滑化的工作，推測應與廠內基礎用電大於 CPV 最大發電量有關，若太陽能發電能即取即用，便能減少能量的損耗以達成最高的發電效益，當電力需求小於發電量時，再以電池儲存多餘的電力。由於此驗證計畫執行至今只有 1 年餘，住友人員表示關於經濟效益以及最適化等需要考量的變數眾多，包括需量反應、電力價格、能源價格、發電成本、儲電效率以及用電穩定性等，因此仍需持續進行條件測試與分析工作，將驗證計畫建置於自身廠區，除了作為試驗與驗證用途外，在未來電價不確定性增加的情況下，也提供了未來廠區電力供給個可能性。

2013~2014 年，在日本經濟產業省補助下，住友電工預定於北海道電力公司的南早來變電站設置世界最大的併網液流電池，額定功率

15,000kW，儲電容量為 60,000 kWh，目的為驗證風力發電以及太陽能發電功率波動進行調節，並開發控制技術，以完善再生能源與儲能的結合。由於台灣電力結構以及自身能源條件與日本接近，也同樣面臨核電存廢以及二氧化碳排放之問題，在此時空背景下，再生能源電力需求的增加已成未來趨勢，而為了達到能源有效利用以及穩定供電的目標，再生能源搭配儲能裝置為極具可行性的解決方案，不但可減少企業界用電的成本，對於電力公司而言也可減少為滿足尖峰用電需求而建置新機組的成本，提升現有再生能源以及其他機組的使用率，日本住友電工以及北海道電力公司這種技術輸出廠商以及電力公司的合作模式也值得本公司參考與借鏡。

2.2 研習低碳發電與儲電技術最新發展

2.2.1 國際智慧能源展概述

為了解低碳發電與儲電技術於微型電網與分散型能源之應用、資料彙整、觀念啟發與技術引進，職參加於 2014 年 2 月 26~28 日於日本東京有明國際展覽中心 (Tokyo Big Sight) 舉辦的國際智慧能源展，展覽包括 FC EXPO 2014 第 10 屆國際氫能與燃料電池展、BATTERY JAPAN 第 2 屆國際二次電池展、PV EXPO 2014 第 7 屆國際太陽能發電展、PV SYSTEM EXPO 第 5 屆國際太陽能發電系統展、WIND EXPO 2015 第 2 屆國際風力發電展、ENETECH JAPAN 第 5 屆製程科技展、第 4 屆 INT'L SMART GRID EXPO、第 4 屆 ECO HOUSE & ECO BUILDING EXPO 等共 8 個展覽，分別於展覽中心的東、西兩棟舉行。據主辦單位統計 3 天的展覽共有 67,272 位參觀人數，1507 個參展廠商，其中日本參展數為 1,015，占整體的 67.3%，台灣的廠商則有 43 家參展，依國籍及展覽內容分布如表 4 所示。FC EXPO 參展的 5 家台灣公司分別為新力能源科技、王田機械、光騰光電、新高能源、美菲德等，BATTERY JAPAN 參展的台灣公司有中鋼碳素、喬信電子、蘭陽能源科技、昇陽國際半導體、台灣區電機電子工業同業公會、鐵研科技、原瑞電池，PV EXPO 參展的台灣公司有安集科技、旭鼎奈米科技、鼎笙國際、長生能源、英穩達科技、九豪精密陶瓷、金屬工業研究發展中心、全能科技、海優威新材料等。另分別對 FC EXPO、BATTERY JAPAN、PV EXPO 以及 INT'L SMART GRID EXPO 等展覽主題分布進行整理，如表 5~表 8 所示，部分展覽內容具

有重複的主題性質，可簡要了解各展覽之重點發展項目。

表 4 2014 年日本東京國際智慧能源展參展廠商簡要分布

展覽名稱	全部國籍	日本	台灣
FC EXPO	182	109	5
BATTERY JAPAN	313	211	9
PV EXPO	340	185	15
PV SYSTEM EXPO	207	157	4
WIND EXPO	168	99	1
ENETECH JAPAN	91	90	0
INT'L SMART GRID EXPO	136	106	5
ECO HOUSE & ECO BUILDING	70	58	4
總計	1507	1015	43

表 5 FC EXPO 展覽主題分布

FC EXPO	
Device/Material/Component	52
Testing/Measurement/Analysis	38
Manufacturing Technology/Equipment	21
Hydrogen Production/Storage/Supply	65
Fuel Cell System/Product/Equipment	79
Renewable Energy System	52
Smart Grid	52

表 6 BATTERY JAPAN 展覽主題分布

BATTERY JAPAN	
Device/Material/Component	89
Testing/Measurement/Analysis	67
Manufacturing Technology/Equipment	85
Rechargeable Battery, Energy Storage Technology	125
Smart Grid	84

表 7 PV EXPO 展覽主題分布

PV EXPO	
Device/Material/Component	82
Testing/Measurement/Analysis	50
Manufacturing Technology/Equipment	36
Solar Cell/Module, PV System-related Technology	168
Renewable Energy System	137
Smart Grid	137

表 8 INT'L SMART GRID EXPO 展覽主題分布

INT'L SMART GRID EXPO	
Rechargeable Battery, Energy Storage Technology	32
Energy Management System	45
Renewable Energy System	46
Smart Grid	106

2.2.2 燃料電池發電技術調查

FC EXPO 展場與本次任務相關的內容整理如下表 9~11 所示。

表 9 燃料電池發電技術調查-1

參展廠商	國籍	產品特色	備註
SUNFIRE GMBH	GERMANY	Fuel cell stacks (solid oxide fuel cells - SOFC) SOFC system concepts and system components Renewable fuel synthesis (Power to Gas, Power to Liquids)	
CONVION LTD.	Finland	SOFC cells, stacks (1-10 kW) and integrated systems 50-300 kW	
ELCOGEN	Finland	Solid oxide unit cells: anode supported cell 20 x 20 cm. Operating temperature for 600 - 700 C. Solid oxide fuel cell stack: stack with nominal DC power of 1.5 kW optimized for stationary fuel cell applications.	
GREENLIGHT INNOVATION	Canada	SOFC - X100 - Power range: 0.5 - 25kW - Available PLC control for safe and stable operation - Comprehensive safety features - Advanced control and automation software	
GREENLIGHT INNOVATION	Canada	Flow Battery Test Station - CE certification including optional 3rd party verification - Power levels from 1W to multi-kW - Independent, automated flow control of anode and cathode electrolyte - Air or water cooled resistive load banks with recharge power supplies - Data acquisition units - Electro Impedance Spectroscopy units - Coolant modules with automated flow, pressure and temperature control	

表 10 燃料電池發電技術調查-2

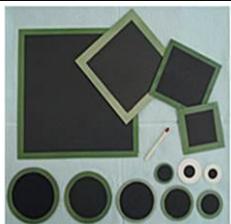
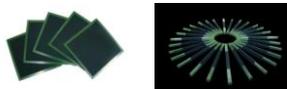
參展廠商	國籍	產品特色	備註
CERA-FC CO., LTD	Korea	<p>SOFC materials, unit cells and stack Cathode: LSCF-NP、LSCF-FP、LSM-FP、BSCF-FP、SSC-FP、LNF-FP、LT-CCC Electrolyte: YSZ、ScYbSZ、ScSZ、LSGM-9182、LSGM-8282、GDC、SDC、BZY-20 Anode:3YSZ-CP、8YSZ-CP、NiO-NP、NiO-FP、NiO-CP、NiO/YSZ Interconnect: MCF、MCF-APS、LST-37、LCSCCNZ</p>	
TDL CO., LTD.	Korea	<p>Using the CeScSZ or YSZ in electrolyte layer. (The nanocrystalline 1Ce10ScSZ powder was successfully applied to the thin electrolyte layer of 10 in an anode-supported electrolyte by tape-casting process. Electrolyte was crack-free and dense, with good adhesion between the anode and cathode)</p>	
MICO LTD	Korea	<p>SOFC STACK : QubePower (200W to 2.5kW) SOFC Single Cell : Planar Type SOFC Single Cell : Micro Tubular Type</p> 	
MAGNEX CO., LTD..	Japan	<p>SOFC Stack, Measurement Jig for Cell and Materials for the Stack Various Current Collecting materials for SOFC(Crofer22APU mesh for cathode, nickel mesh for anode) Low temperature operation SOFC Cell, Powder and Paste(ASC, Half Cell with round shape or square shape and button type are available) Test Station for the SOFC</p>	 
SUMITOMO PRECISION PRODUCTS CO., LTD.	Japan	<p>DC800W SOFC CELL STACK and MODULE (High electrical efficiency Small and Light) Anode Supported Cell 186Wx159Dx110H, 8kg (pre-evaluation in 2014) 5kW scale SOFC in develop</p>	
MITSUBISHI HITACHI POWER SYSTEMS, LTD	Japan	<p>SOFC Combined Cycle System: A high efficiency next generation type of fuel cell power generation systems.</p>	
MIURA CO., LTD.	Japan	<p>5kW-Class SOFC System (Under Development) (Output AC4.2kW, Generation Efficiency 48.0%LHV, Total Efficiency 90.0%LHV)</p>	

表 11 燃料電池發電技術調查-3

參展廠商	國籍	產品特色	備註
新力能源	Taiwan	PEMFC Fuel Cell Stack: from 100W to 5kW The 1kW PEMFC generator is portable for emergency power supply.	
光騰光電	Taiwan	Hydrogen Generator HGMS. Hydrogen Engine Cleaner- HGCR: Producing pure hydrogen to remove vehicle engine carbon deposit Hydrogen Generator HGL: Onsite Hydrogen generation, Hydrogen purity greater than 99.999%	
美菲德	Taiwan	1~10KVA KVA Fuel Cell Back-UP Power System. Equipped with UPS functions. Energy efficiency, up to 40%. Application in Telecom Base Station, Data Center, RTR sites, RCLR Site, RCAG Site, Bank, and etc.	
群翌能源	Taiwan	HTS Advanced Fuel Cell TEST SYSTEM Suitable For Large Active Area Single Cell Friendly PC Base Software Interface Powerful Operation & Analytical Tool SOFC, DMFC & Reformate Options Reliable Safety Shutdown Mechanism Variable Humidity Option	

由 FC EXPO 展覽的內容可知，歐洲包括德國、芬蘭和加拿大等國廠商關於 SOFC 的產品已開發至 kW 等級，而日本與韓國的廠商也可供應從材料、單電池以及 kW 級的電池堆輸出。台灣廠商對於 SOFC 產品則較為落後，仍停留在試驗與測試系統，缺乏上下游的商品，但在 PEMFC 部分有較為成熟的發展，例如新力能源以及美菲德均已有 kW 級以上的備用電源系統產品，中華電信已有部分機房採用美菲德產品作為備用電源的選項，光騰光電有相當成熟的水電解製氫產品。而從展覽內容大略可看出目前 SOFC 產品朝向陽極支撐型電池 (Anode Supported Cell, ASC) 發展，主要原因應與降低使用溫度有關，若能有效降低操作溫度，整體系統的成本也可因此而大幅降低。

大型的 SOFC 發電系統部分，日本三菱重工仍為領先角色，截至 2013 年 9 月為止，MHI 的 200kW 級加壓型 SOFC 以及微渦輪複循環發電系統(Pressurized SOFC-MGT Hybrid Power Generation System)已完成世界首例連續 4000 小時運轉[9]，輸出電量為 206 kW，熱效率為 50.2% (LHV)，其系統概略及實體如圖 7 和圖 8 所示，

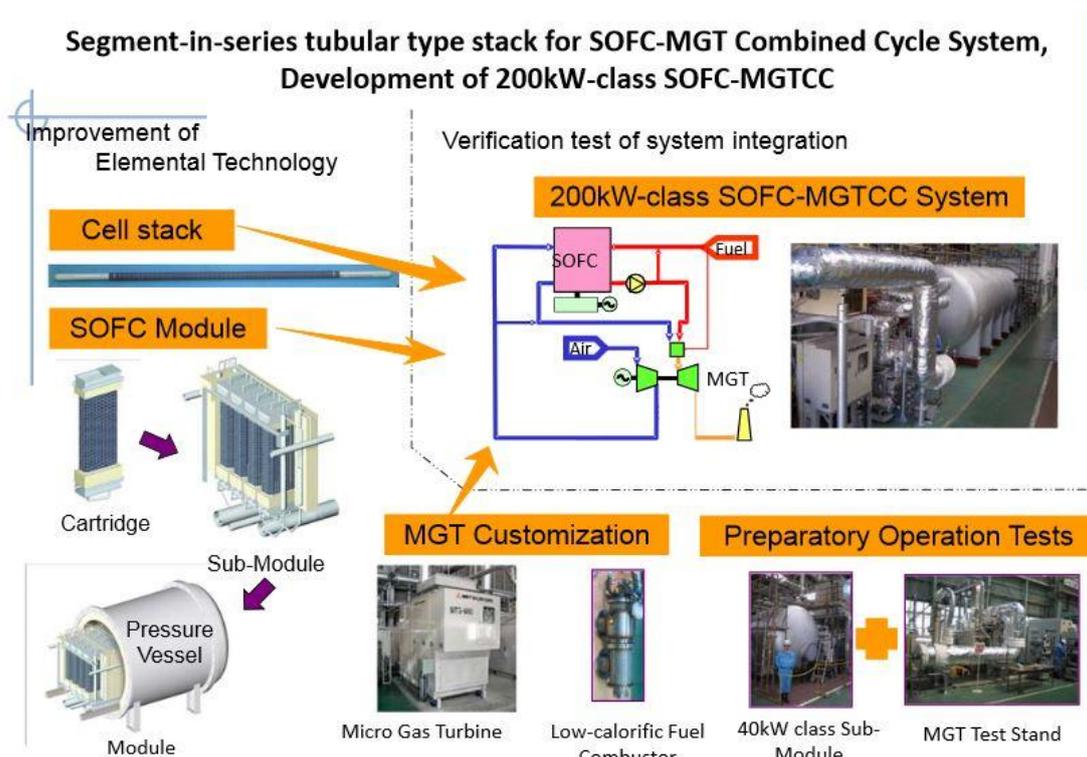


圖 7 MHI-加壓型 SOFC 以及微渦輪複循環發電系統概略



圖 8 MHI-加壓型 SOFC 以及微渦輪複循環發電系統實體[9]

家用型的燃料電池部分，日本 TOSHIBA 公司繼 2012 年推出 700W 級的家用燃料電池(TM1-AD)後，預計於 2014 年 4 月份發售新一代的 TM1-AE，系統示意與外型分別如圖 9 和圖 10 所示，系統主要有 7 項組成，分別為(1)燃料改質裝置:即燃料重組器，用來重組將天然氣轉化為氫氣燃料、(2)燃料電池本體、(3)空氣供給裝置、(4)直流交流轉換器、(5)排熱回收裝置:將燃料電池反應後的餘熱回收來加熱水、(6)熱水儲槽和(7)備用熱源機:備用以加熱不足的水溫，而與前一代相較，發電容量相同，但發電效率自 38.5%提升至 39%，總合效率達 95%，裝置的面積也減少 1m²，電池耐久 8 萬小時，改質裝置耐久 4000 的循環。

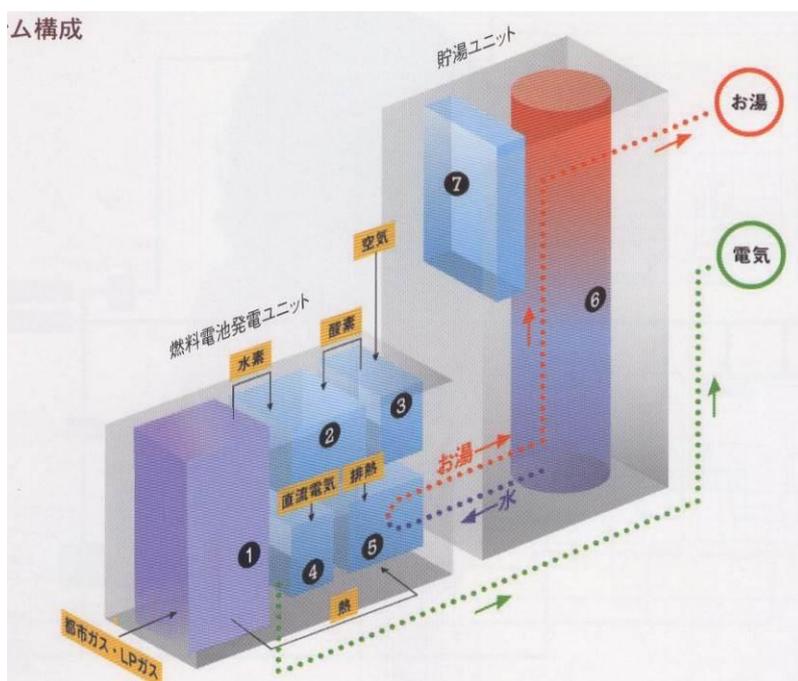


圖 9 TOSHIBA-家用燃料電池系統示意



圖 10 TOSHIBA-家用燃料電池[10]

2.2.3 燃料電池性能評估技術

本次研習過程中也藉此機會與燃料電池性能量測設備製造廠商 CHINO 公司進行技術交流，CHINO 的交流窗口為海外推廣部的栗原部長以及技術部的江川博士。本所過去已建置 SOFC 鈕扣型單元電池以及平板型單元電池量測平台，並引入 CHINO 公司開發的量測用夾具，而此次交流過程中，CHINO 公司展示關於量測用夾具的新設計，其概念為擴充原始平板電池用夾具之功能，在原先空間範圍內加入新的夾具，可量測比原先夾具更小的各種電池樣品，例如圓形或小型的鈕扣型電池，如圖 11 所示，僅需另外添購合適的密封材料如圖 12，此新設計有以下幾個優點:1.與以往本所建置的鈕扣型單元電池量測平台相較，其操作更為簡便，減少前置作業的時間，也可減少人為操作上的誤差 2.以簡單堆疊的方式密封，減低導線接觸不良的機率 3.可適用於原先的爐體，無須額外針對不同樣式的電池添購高溫爐，CHINO 也展示了適用於電池量測平台專用高溫爐，如圖 13 所示，最大可量測面積 $10 \times 10 \text{cm}^2$ 單元電池。另外也提供適用於管型電池量測

夾具的設計提供未來研發的參考。

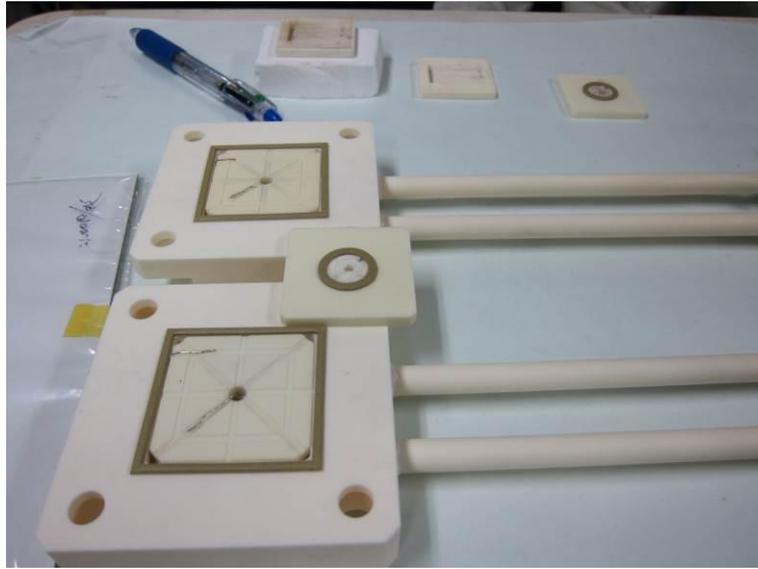


圖 11 SOFC 單元電池量測夾具新設計

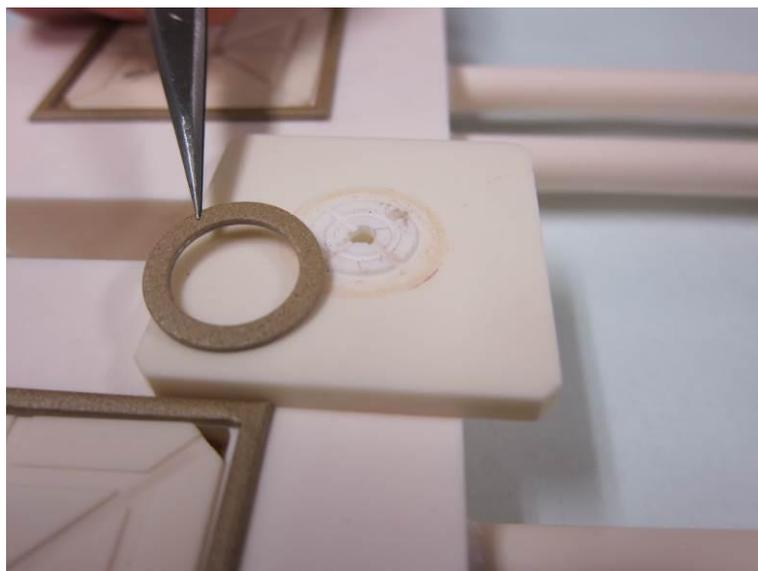


圖 12 SOFC 單元電池量測夾具擴充式夾具與組件

除了洽談關於量測夾具的新設計外，由於電池堆的性能量測可能為未來發展的重點，也因此洽詢 CHINO 是否可能提供這方面的技術支援，對此 CHINO 方面表示過去已有建置 SOFC 電池堆量測平台的經驗，其概念如圖 14 所示，因應不同廠家的電池堆設計一適用的高溫爐，其設計概念類似於單電池量測平台，而由於氣體流量的差異，

為避免量測時溫度不均造成電池破裂，在前端進氣需進行預熱處理，經詢問為何非採用高溫爐體，栗原部長表示由於 SOFC 電池堆放電的同時，其反應為放熱反應，若無法由外界的高溫爐體進行溫度控制，流體經過時將造成溫度不均而易造成電池損害，加上電池溫度將取決於燃料比例，無法正確評價電池的實際性能，未來本所如需建置電池堆量測平台，此概念值得的參考。

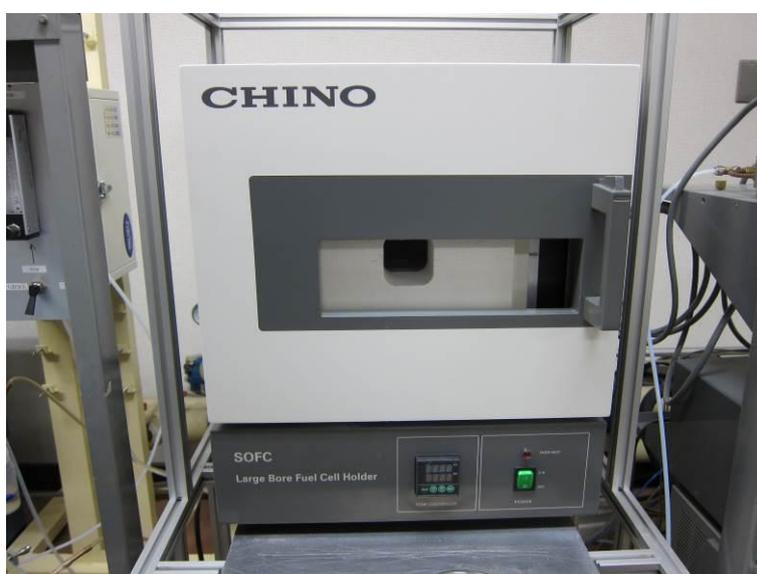


圖 13 SOFC 電池量測平台專用高溫爐

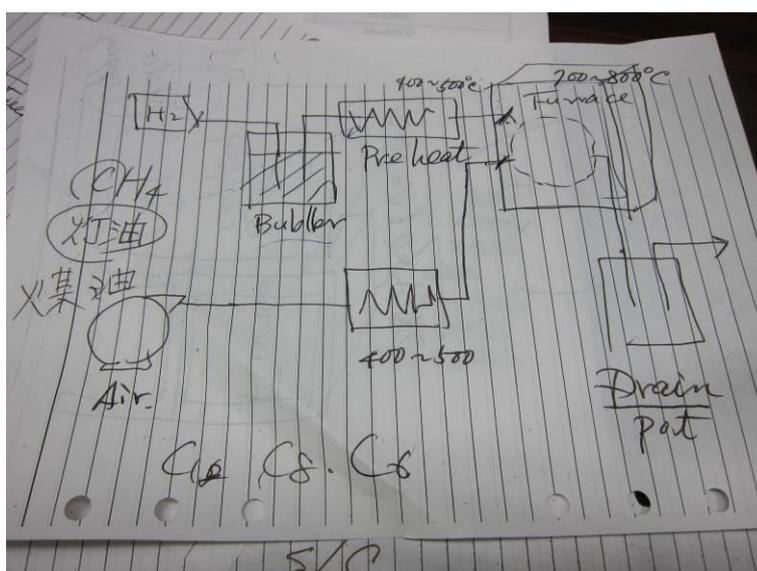


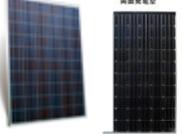
圖 14 SOFC 電池堆量測平台概念

由於過去本所已有量測單元電池的經驗，也藉此機會與 CHINO 人員進行經驗交流，在如何增加電池測試時的接觸面積以及荷重時的實驗技巧等均得到寶貴的經驗，也透過本次交流得知日本已於去年年底(2013.12.30)通過 SOFC 單元電池和電池堆性能測試方法標準(JIS C 8842-Single cell and stack-performance test methods for solid oxide fuel cell(SOFC))，可作為未來建置標準試驗程序的參考依據。

2.2.4 太陽能發電技術調查

台灣廠商參加 PV EXPO、PV SYSTEM EXPO 展場之內容概要整理如下表 12 所示，整理概要內容多以單晶或多晶矽太陽能板模組為主，元一實業則較特殊，初期公司業務以鋁門窗型鋁擠製為主，2008 年後跨足太陽能產業，承製太陽能光電板相關鋁製品，產品包括太陽能光電模組鋁框、模組支架、模組間夾具、端夾具等產品。

表 12 太陽能發電相關技術調查概要

參展廠商	國籍	產品特色	備註
安集科技	Taiwan	-Multi Crystalline Solar Module. -Mono Crystalline Solar Module.	
鼎笙國際	Taiwan	Mono-crystalline PV Module Poly Crystalline PV module	
長生能源	Taiwan	Multicrystalline Cells Monocrystalline Cells Cell Laminate	
全能科技	Taiwan	PST GT / M6 6" Mono-Crystalline PST GT 6" Multi-Crystalline	
元一實業	Taiwan	Solar mounting systems (round / roof mount) Aluminum mid clamps/ end clamps/ clips Aluminum frames for solar/photovoltaic (PV) modules	

日本的三進金屬工業公司與前述台灣的元一實業公司類似，初期業務為製作金屬支架等產品，而在近幾年與官(經濟產業省、農林水產省)、學界(大阪府立大學)的合作下，跨足植物工廠的業務，對外輸出植物工廠的系統，目前在大阪府立大學建構 2 座 1000 平方米的植物工廠研究設施，分別進行基礎研究及實用化研究工作，結合太陽能發電的植物工廠概念如圖 15 所示。



圖 15 植物工廠結合太陽能發電-三進金屬工業

日本的 Panasonic 將太陽能發電與儲能電池結合成住宅用的商品，並配合 HEMS 達到能源管理的效果，針對各種需求提出三種運轉模式，即經濟優先模式-減少電費支出並增加售電收入、環境優先模式-利用蓄電池達到太陽能利用最大化以及蓄電優先-太陽能發電剩餘電力優先提供蓄電池儲電以達用電穩定等，三種模式示意如圖 16 所示，並提供用電、售電和儲電等即時以及歷史資料的查詢功能，除了 Panasonic 之外，包括 Sharp 以及 Toshiba 等大廠也都有提供類似概

念之商品，並提供 10 年以上的機器保證。

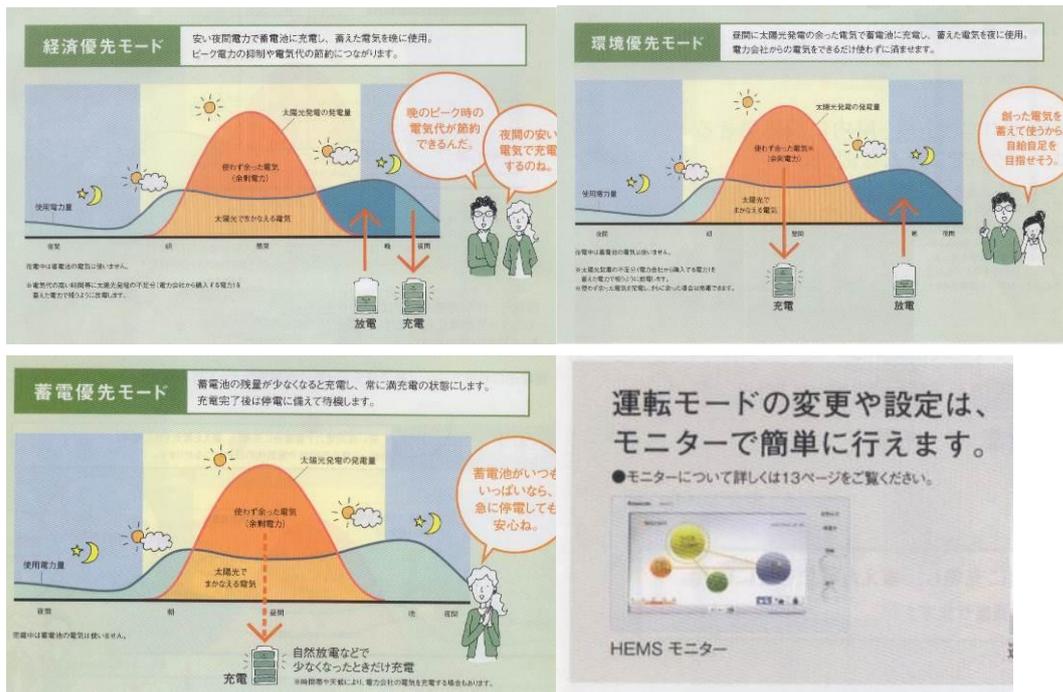


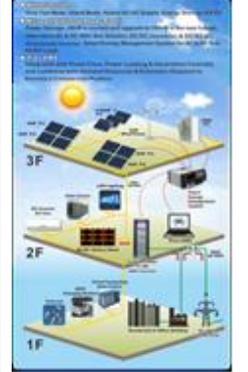
圖 16 住宅用太陽能發電、儲能電池與 HEMS 結合模式-Panasonic

2.2.5 儲能與智慧電網技術調查

關於儲能與智慧電網相關的內容整理如下表 13 所示，MW 等級以上的儲能技術除了住友的液流電池外，尚有 NGK 的 NaS 電池以及 Hitachi 的鋰離子電池，由前述表 1 的優缺點比較可知 MW 等級以上的儲能電池技術中，NaS 電池為液流電池主要的競爭對象，其具有能量密度較高及建置成本較低等優點，尺寸約為鉛酸電池的三分之一，目前則是安全疑慮尚待克服，而 NGK 為克服安全疑慮提出三項安全措施(1)電池模組之間新增保險絲以避免電池短路造成火災(2)電池模組間新增絕緣板，防止熔融鈉或硫溢出造成短路(3)在電池模組上下層增加防火版以避免當火災發生時蔓延至其他模組，示意如圖 17 所示 [11]，其成效仍尚待進一步評估與驗證。圖 18 為展場內住友電工展示

之全鈦液流電池原理模型。

表 1 3 儲能與智慧電網相關技術調查

參展廠商	國籍	產品特色	備註
NGK INSULATORS, LTD	Japan	<p>NAS Battery (Sodium & Sulfur Battery) Typical System : 50kW Module Rated Input/ Output: 2,000 kW Rated Capacity: 12,000 kWh Construction : 50 kW Module x 40 Units MW system can be easily constructed Compactness: required area for installation is approx. one third of that for a lead acid battery Life expectancy: 15 years</p>	
SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.	Japan	<p>Redox Flow Battery Redox flow batteries are suitable for irregular, highly fluctuating charge/discharge operations, enabling accurate monitoring and control of stored electric power. Accordingly, they are optimal storage batteries for smart grids designed for efficient use of solar, wind power and other renewable energy resources.</p>	
Hitachi	Japan	<p>1MW Li-ion Battery Energy Storage System Container size:40 ft class PCS Rated Power:500kVA x 2sets Rating Battery Capacity:450kWh Battery Cell Rating:3.7V/cell,75Ah,Max225A System efficiency: Approx. 90% Target Battery Life:~10 years</p>	
IHI CORP.	Japan	<p>IHI Smart Energy Storage System "IHISESS" Adding a several megawatts energy storage system by IHI SESS, it can realize hybrid-ization of storage electric power and plant electric power. Moreover, the electric generating capacity of plant and the whole power network, a response, and power generation efficiency are raised. Two lineup will support future smart grid society.</p>	
中興電工	Taiwan	<p>20kW Micro-Grid Hybrid System 1.Power Generation including 16 kW PV 3kW Wind Power and 5 kW Fuel Cell (Backup Power) System. 2.Power Storage System including 20 kWh LFPO Cell and BMS. 3.Power Conditioner including 10 kW Multi-functional 3 phase 4W Inverter and 10 kW Bi-directional Charger & Discharger. 4.Control System including Embedded EMS and iFlex-EMS.</p>	

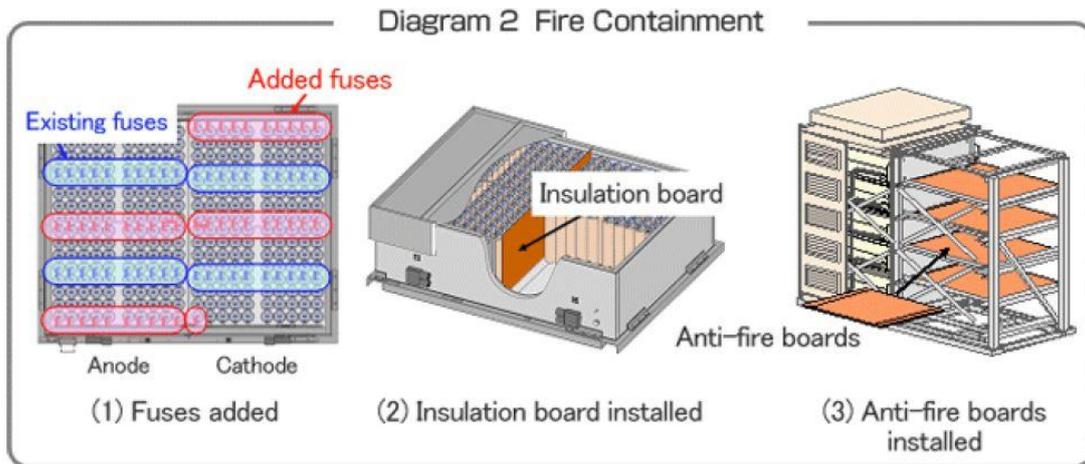


圖 17 NGK 針對鈉硫電池安全性的改善作法[11]



圖 18 全鈦液流電池原理模型-住友電工

第三章 感想與建議

1. 由於台灣電力結構以及自身能源條件與日本接近，也同樣面臨核電存廢以及二氧化碳排放之問題，在此時空背景下，再生能源電力需求的增加已成未來趨勢，為達到能源有效利用以及穩定供電的目標，再生能源搭配儲能裝置為極具可行性的解決方案，不但可減少企業界用電的成本，對於電力公司而言也可減少為滿足尖峰用電需求而建置新機組的成本，提升現有再生能源以及其他機組的使用率，日本住友電工以及北海道電力公司這種技術輸出廠商以及電力公司的合作模式值得本公司參考與借鏡。
2. 住友電工利用本身橫濱廠區的位置同時達到再生能源優化、備用電源以及技術驗證等功效，其作法值得本所參考，可運用本所過去建置智慧屋之經驗，適時引入儲能系統作為所內備用電源，既可達到技術驗證之研究目的也可作為電力調度以及研究設施緊急備用電源之實際用途。
3. 本次與 CHINO 公司交流過程中，CHINO 展示關於量測用夾具的新設計，此設計有操作簡便、減少人為操作誤差、減低導線接觸不良的機率及無須額外針對不同樣式的電池添購高溫爐等優點。電池堆的性能量測平台可行性也初步獲得 CHINO 正面的回應，在如何電池測試時實驗技巧等部分也得到寶貴的經驗。日本已於去年年底通過 SOFC 單元電池和電池堆性能測試方法標準，可作為未來建置標準試驗程序的參考依據。

4. 日本國際智慧能源展整合包括電池、燃料電池、太陽能、風力發電、綠能屋以及智慧電網等主題，已成亞洲區相關主題的年度盛會，除可了解相關主題的最新資訊與產品外，也藉此機會了解台灣本土廠商的技術能力，諸如 kW 級 PEMFC 的備用電源、太陽能模組以及微電網系統等相關產品，其日後發展值得持續關注。

參考資料

1. 住友電氣工業株式會社, <http://global-sei.cn/>.
2. 吳成有, 出國報告「固態氧化物燃料電池(SOFC)量測評估及鈳液流電池(VRB)應用技術研習」, 2010.
3. 住友電氣工業株式會社, 日本橫濱, 2014 年 2 月.
4. 馬振基等人, 新型儲能電池—全鈳液流電池的原理與發展現況, 化學第七十卷第三期 237-246 頁
5. 普能科技有限公司, <http://www.pdenery.com.cn/index.aspx>
6. Andreas Poullikkas, Renewable and Sustainable Energy Reviews 27 (2013) 778–788.
7. Toshio SHIGEMATSU, SEI TECHNICAL REVIEW · NUMBER 73 · OCTOBER 2011.
8. 台灣電力公司官方網站, <http://www.taipower.com.tw/>.
9. 日本三菱重工, <http://www.mhi.co.jp/en/news/story/1309201714.html>
10. 日本東芝公司, http://www.toshiba.co.jp/index_j3.htm
11. 日本 NGK 公司, <http://www.ngk.co.jp/index.html>