

出國報告（出國類別：實習）

再生能源儲電以及 SOFC 量測與製備技術研習

服務機關：台灣電力公司綜合研究所

姓名職稱：吳成有 化學研究專員

派赴國家：日本

出國期間：101.2.28~101.3.7

報告日期：101.4.18

摘要

此次出國目的是有關於再生能源儲電及燃料電池發電關鍵技術的研習，行程中特別安排參觀日本電池相關產業一年一度的大型國際性展覽，對於日本在此一領域的技術發展現況有深刻瞭解。另外，也安排了知名的 SOFC 電池堆製備廠商 TOTO 公司，進行意見交換以及測試實驗室的參觀。最難得的機會是住友電工的兩天參訪過程，除了瞭解到鈮電池製備技術領先的企業如何在技術與應用層面的用心經營，也看到其確實、謹慎的研發態度，當然人力與資源的投入以及完善的規劃更是值得借鏡。在短期的出國研習行程中，預先做了完整的蒐料收集以及談論議題的準備，實質的獲益良多。除了對 SOFC 及鈮電池儲電技術在日本現階段發展有進一步的瞭解，也獲得許多寶貴的製備與量測技術資料，對於未來相關研究領域的規劃會有相當大的助益。

目次

摘要.....	1
目次.....	1
本文.....	1
一、目的.....	1
二、過程.....	2
2.1 東京電池展參觀.....	2
2.2 再生能源儲電研習.....	6
2.2.1 各種類型之儲電技術現況.....	7
2.2.2 住友電工鈮氧化還原液流電池(Vanadium redox flow battery; VRB).....	18
2.3 SOFC 量測與製備技術研習.....	21
2.3.1 日本 SOFC 發展與現況.....	21
2.3.2 TOTO SOFC 發展與現況.....	22
三、心得及建議.....	25
四、參考資料.....	26

本文

一、目的

依 101 年度「再生能源儲電及燃料電池發電關鍵技術研究」計畫，所規畫之出國計畫內容，派員前往美國、歐洲、澳洲、新加坡、日本、韓國或大陸研習有關術再生能源儲電/氫氣安全貯存與燃料電池關鍵材料技術，以符合研究計畫除對現行各國先進相關技術進行收集、歸納與評估外，派員赴國外相關研究機構及先進產業界，實地研習或考察研究工作及產業進展趨勢與實況，提出相關的技術研發方案，以利相關研究計畫的推行與完成等之規畫內容。因此，本次的出國研習選派了相關研究領域同仁赴日本參加國際型會議與展覽，並前往具有專業技術、前瞻性產品之公司機構研習。研習之內容以符合研究計畫所規畫項目為原則，以達成技術引進、學習新知及擴展研發智能之目標。為能達成本年度研究計畫目標，本次派員出國之成果至少包括：

- (1) 參觀東京電池展 **Battery Japan 3rd Int' l Rechargeable Battery Expo**，有與參展及與會之產銷、技術或研究人員面對面的交流之機會，可進行較為全面與完整的產業資訊蒐集。
- (2) 赴 **TOTO 株式會社**，研習固態氧化物燃料電池短電池堆量測技術，前往研習地點瞭解製備技術並研習如何建置測試平台、電池堆氣體流導設計維護、量測管線安裝以及電池堆性能分析方法等實用技術，並可經由 **Demo** 系統的參觀瞭解應用端相關的整合技術，包括燃氣前置處理、電力轉換以及熱能回收等。
- (3) 赴住友電工大阪製作所及全鈳電池實驗室，研習全鈳液流電池(**VRB**)於再生能源貯電應用之設計、操作、維護及測試技術，除對關鍵元件包括正負極電極、電解液、石墨氈、氫離子膜等之評選、量測及製備技術資料進行收集，以做為相關領域後續研究之基礎外。並可經由 **Demo** 系統的參觀以瞭解應用端相關的整合技術，包括應用範疇、電能效率、能量密度、場址選擇及電力轉換系統設計等

二、過程

機構名稱	所在城市	天數	工作內容
	東京	1	往程（松山－東京）
TOTO(東陶)	東京神奈川縣	1	SOFC 量測與製備技術研習
東京有明國際展覽中心	東京	2	參觀東京電池展 Battery Japan 3rd Int' l Rechargeable Battery Expo 等
住友電氣工業株式會社	大阪	2	再生能源儲電應用技術研習
		1	返程（大阪－桃園）

2.1 東京電池展參觀

2012 東京電池展於 2012 年 2 月 29 日(星期三) - 3 月 2 日(星期五)在東京有明國際展覽中心 (Tokyo Big Sight, Japan)舉辦，在同一會場中共有 FC EXPO 2012 第 8 屆日本國際氫能燃料電池展，ENETECH JAPAN 2012 - 3rd Processing Technology Expo，PV EXPO 2012 第 5 屆日本國際太陽光電展，PV SYSTEM EXPO 2012 第 3 屆日本國際太陽能發電系統施工展，BATTERY JAPAN 2012 第 3 屆日本國際二次電池展，2nd ECO HOUSE & ECO BUILDING EXPO 以及 2nd INT'L SMART GRID EXPO 等 7 個展覽分別在東、西兩個展示棟同時展出。在此次的出國計畫中參觀標的為氫能燃料電池、二次電池，並對於其在智能電網中的應用現況瞭解為主要任務。依據主辦單位資料統計為期 3 天的展覽，總參觀人數達 93,497 人，共有 1,310 單位參展。參加展覽之廠商概況與分佈如表 1.所示，表中顯示此次展覽中日本廠商佔比約 80%。來自台灣的廠商有 35 家，分別參加了 FC EXPO、PV EXPO、BATTERY JAPAN 及 ECO HOUSE & ECO BUILDING EXPO 等 4 個展覽。其中參加 BATTERY JAPAN 的有 9 家包括台灣電機電子產業工會、承德科技、群力電能科技、佐茂股份、光寶動力儲能科技、維洋科技、昇陽國際半導體、輝能科技、有量科技，參加 FC EXPO 的有 7 家包括台灣燃料電池聯盟、碳能科技、新力能源科技、工研院材化所、高力熱處

理、揚志股份、揚光綠能。

表 1. 2012 東京電池相關產業展覽參展廠商分佈概況表

參展單位：	全部	日本	台灣
FC EXPO	173	106	7
PV EXPO	444	302	17
PV SYSTEM EXPO	116	102	
BATTERY JAPAN	359	285	9
ENETECH JAPAN	62	61	
ECO HOUSE & ECO BUILDING	80	75	2
SMART GRID EXPO	76	68	
合計	1310	1034 (79 %)	35

圖 1. 是此次出國任務相關的三個展覽依據展出內容分類統計的結果，例如 FC EXPO 的 173 家參展廠商中有 47 家是與燃料電池的原物料、元件相關，測試、量測與分析相關有 37 家。表 2.以條列方式整理與本次出國任務相關之參展廠商及展出內容概要。

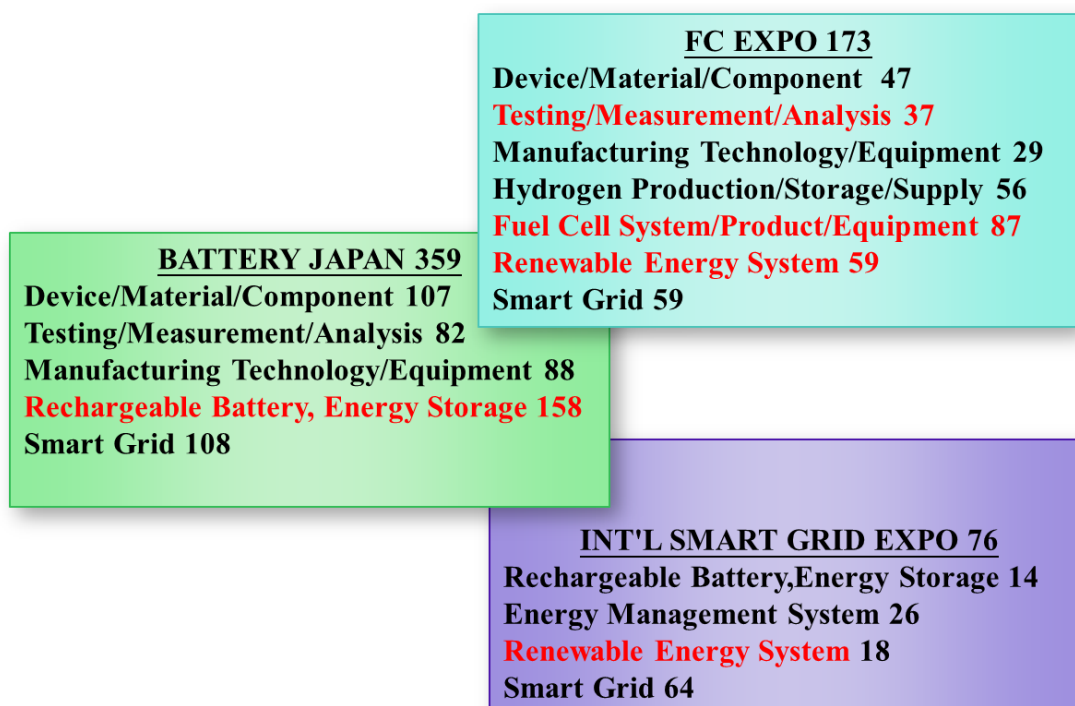


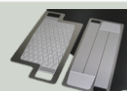







圖 1. 出國任務相關的三個展覽展出內容分類統計

表 2. 與出國任務相關之參展廠商及展出內容概要表


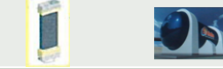


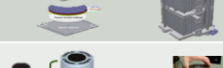


參展廠商	國家	產品	
ELCOGEN LTD.	Estonian	Anode-supported SOFC single cells, H ₂ : 400mW/cm ² , CH ₄ : 370mW/cm ² 650C, standard cell size 10x10cm, up to 20x20cm	
FUELCELLMATERIALS.COM	USA	Electrolyte Powders, Cathode SOFC Powders, Electrolyte Supported SOFC single Cells, Test Manifold Kit	
HITACHI METALS LTD.	Japan	SOFC Metallic Materials for interconnect	
FRAUNHOFER IKTS	German	100W remote power SOFC	
ESL ELECTROSCIENCE	USA	Thick film pastes for SOFC electrodes, electrolytes and interconnects. Ceramic Tapes, Sealing Glass	
EZELLERON GMBH	German	Micro tubular SOFC, 3 mm diameter, 4-5 cm long ceramic tubes	


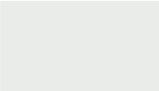




參展廠商	國家	產品	
KCERACELL CO., LTD.	Korea	Cathode, Anode, Electrolyte materials , Unit Cell	
KOMICO CO., LTD.	Korea	Anode supported cell, Planar SOFC Cell/Stack	
KRI,INC.	Japan	Development of a SOFC system KRIは、大阪ガスの出資により	
MAGNEX CO., LTD.	Japan	Metal Interconnect for SOFC, SOFC Cell, Test Station (Button Cell/Stack)	
NEXTECH MATERIALS, LTD.	Japan	Stainless Steel Interconnect Components	
VTT Technical Research Centre	Finland	SOFC, STACK AND SYSTEM DEVELOPMENT	

參展廠商	國家	產品	
NGK SPARK PLUG CO., LTD	Japan	SOFC m-CHP system achieves power efficiency of 45%LHV or more at 700 W output, 19 planar cells (effective generation area: 100 cm ²)	
ENEOS 新日本石油	Japan	2011年10月17日開始販售家庭用SOFC m-CHP，額定功率700W，發電效率45% LHV，熱回收效率42% LHV，售價270萬日圓。	
MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES LTD.	Japan	SOFC Combined Cycle system 2009：The 200 kW SOFC-MGT Combined-Cycle Power Generation System 2012夏：250 kW公開實證	



表 2. 與出國任務相關之參展廠商及展出內容概要表(續)

Developer	Shape	Size, numbers	
Kycera Osaka Gas	Flatten tube	700 W , 20 system	
Misubishi Heavy Industries	Segment is series Flatten tube	Over 100 kW	
Kycera Tokyo Gas	Segment is series Flatten tube	1 kW class	
TOTO	Tubular	700 W and 9 kW	
Misubishi Material KEPCO	Disc	1-10 kW system	
NTT 日本電信電話株式会社 Toho Gas	Disk	1 kW class	
NGK/NTK 日本特殊陶業	Planner	700 W	

參展廠商	國家	產品	
ADVANCED CAPACITOR TECHNOLOGIE SINC	Japan	Electrodes are made of the carbon having crystallites of graphite-like carbon. When a voltage is applied, electrolyte ions intercalate between the layers of the crystallites of the carbon. Nanogate Carbon® (NGC)	
ATLASBX CO., LTD.	Korea	Lead Acid Battery 2V/12V AGM battery with a specialized design for renewable energy storage	
BYD CO., LTD.	China Japan	An integrated design, dependable for use, a stand-alone PV energy storage system. Power Range:260-300W, Fe battery for EV	
DOW ENERGY MATERIALS	USA	Dow Energy Materials is a supplier of advanced lithium-ion battery materials.	
EDISON POWER CO.,	Japan	industrial use large size lithium polymer battery	
OKADA CO.	Japan	Lead-Acid Battery (EXIDE)	






參展廠商	國家	產品	
QINHUANGDAO XINCHI PHOTOELECTRIC TY TECHNOLOGY CO.,LTD.	China	Rechargeable Lithium ion batteries pack	
SAFT	Japan France	Li-ion Battery Ni-MH battery system - PV module	
SEIKI CO., LTD.	Japan	Large Electric Stroage system with large capacity Lithium battery and BMS	
SHIN-KOBE ELECTRIC MACHINERY CO., LTD.	Japan	Lithium-ion Battery Long Life VRLA Batteries for Power Storage System	
SINOPOLY BATTERY INTERNATIONAL LTD.	Hong Kong	Lithium-ion Battery	

表 2. 與出國任務相關之參展廠商及展出內容概要表(續)

參展廠商	國家	產品	
有量科技	Taiwan	Lithium-ion Battery	
中興電工	Taiwan	Fuel Cell Back-up Power System	
新力能源科技	Taiwan	350W PEMFC Generator	
群力電能	Taiwan	LiFePO4 pack design & Mfg for E-automotive and Energy Storage System	
光寶綠能	Taiwan	LIB-Based Energy Management Solutions - Storage And Charging	
參展廠商	國家	產品	
GLOBAL BATTERY CO., LTD	Korea	Lithium-ion Polymer Battery Ni-Mh Battery Pack for EV and AGV Hybrid Fuel Cell Power System including Ni-Mh	
JM ENERGY CORP	Japan	Lithium-ion Battery Prismatic cell	
NEXCON TECHNOLOGY CO., LTD	Japan Korea	Lithium-ion Battery 15kWh Energy Storage System for industrial use.	
NIPPON CHEMI-CON CORP.	Japan	Electric Double Layer Capacitors "DLCAP"	

2.2 再生能源儲電研習

近幾年來，儲電技術的研究和發展一直受到各國能源、交通、電力、通訊等部門的重視，尤其在電力系統的應用有日形重要之勢。概因，傳統的電力系統主要是由發電系統、輸電系統、配電系統與用戶結合而成，過去電的發、輸、配、用是必須在瞬間完成的，供電業者根據用戶用電的需求量來調節供應量，供需之間一直維持著動態的平衡。電力系統經營者除了必需保持電力傳輸網路的暢通外，亦致力於系統設備完善的調度、運轉與維護，以維持電力品質與降低電力損失。然而，由於石化能源的日益枯竭，溫室氣體對生存環境的影響不容輕忽，因此再生能源成為供電來源的需求已日益顯著。只可惜，再生能源本質上的不穩定性卻成為確保電力品質的一大隱憂，引

進儲電技術是目前被認為最為有效的對策之一。因加入儲電之後，不僅在發、輸、配、用的某一個環節發揮作用，而是在這整體電力系統中，都為現有存在的問題或者再生能源衍生的困境提供解決的方案。例如儲電設施安置於用戶端，實際是減少了尖峰電廠的建設問題，也減緩再生能源對電力系統的衝擊，並提升了整個線路的效率，安置在發電端也能穩定供電品質、提高一次能源的使用效率。顯然，電力系統發展成為發、輸、儲、配、用的形態將逐漸成形。故而在此次的出國研習中安排至住友電工株式會社學習有關鈇液流電池在大型儲電系統的相關應用及研究的進展，並進行相關的儲電技術做了資料研讀與整理。

2.2.1 各種類型之儲電技術現況

將電能儲存於電容器是最直接而有效率的儲電方式，只可惜大量化卻相當困難。因此，大型的電能儲存都是將其轉換成其它能量形態，諸如機械能(動能和位能)、化學能、電磁能等來達到儲電的目的。其中機械儲能熟知的有，抽蓄儲能、壓縮空氣儲能和飛輪儲能，電化學儲能則包括鉛酸、鎳氫、鎳鎘、鋰離子、鈉硫和液流等電池儲能。各種的儲電技術各有其優點，也有其應用上的限制，以抽蓄儲電技術為例，該項技術最為成熟，其儲電容量更佔大型儲電總量的 99 % [1]。然而，卻受地理條件限制，以致於無法依照需求量持續性的加以開發。表 3. 及表 4. 分別說明了目前大型儲電技術發展狀態以及性能特徵 [2-4]。

從表 3. 知發展成熟的儲電技術有抽蓄儲電以及鉛酸電池，商業化的有壓縮空氣儲能、新型鉛酸電池、鎳鎘電池、鈉硫電池等，其他的仍處於示範運轉、試驗工場甚至於實驗室的階段。不難看出，蓄電池儲電技術被寄予厚望。主要的原因是蓄電池儲電在 3C 商品中隨處可見，儲電系統的電壓與容量可經由電池單元的串聯與並聯方式達成，不僅具備模組化設計優點又不受地理環境所限制。因此，蓄電池儲電技術是被認為最具有替代抽蓄儲電潛力的大型儲能技術之一，其中又以鈉硫電池、鈇液流電池、改良型鉛酸電池以及鋰離子電池最被看好，但是普遍仍有使用壽命短，高成本等瓶頸極待克服。

表 3. 大型儲電技術發展狀態

發展狀態	大型儲電技術
非常成熟	抽蓄儲電, 鉛酸電池
已經商業化	壓縮空氣儲能, 新型鉛酸電池, 鎳鎘電池, 鈉硫電池
示範運轉中	全釩液流電池, 鋰離子電池, 先進型鉛酸電池, 超級電容器
試驗工場階段	新型鋰離子電池, Fe-Cr, Na-NiCl ₂ 電池
實驗室研發階段	鋅-空氣電池, 鋅-氯電池, 先進型鋰離子電池

表 4. 大型儲電技術性能特徵

	容量規模 (MWh)	發電功率 (MW)	使用時間 (hours)	能量效率% (循環次數)	裝置費用 (\$/kW)
抽蓄儲電	22,000	~ 4000	1-12	76~85 (>10,000)	650-3000*
CAES (陸上型)	250	50	5	71 (>10,000)	1950-2150
先進型鉛酸電池	3.2-48	1-12	3.2-4	75-90 (4500)	2000-4600
鈉硫電池	7.2	1	7.2	75 (4500)	3200-4000
鋅溴液流電池	5-50	1-10	5	60-65 (>10,000)	1670-2015
釩液流電池	4-40	1-10	4	65-70 (>10,000)	3000-3310
鋰離子電池	4-24	1-10	2-4	90-94 (4500)	1800-4100
Fe/Cr 液流電池	4	1	4	75 (>10,000)	1200-1600
鋅空氣電池	5.4	1	5.4	75 (4500)	1750-1900

*歐元/美金以 1.33 計算

儲電功能在電力供應系統所扮演的角色日益重要，相關技術的發展相信在需求量增加的誘因之下將有更大幅度的進展，同性質的產業預期也有波段性的擴張。在本文的後續章節將逐步地，對這些大型儲電技術的原理、發展以及現況做概要性介紹。

(1) 抽蓄儲電(Pumped hydro storage; PHS)

抽蓄儲電技術是一種以水為媒介的儲電方法，義大利和瑞士早在 19 世紀 90 年代即有應用實例，主要的用途是做為能量管理、頻率調控以及電量調節。抽蓄儲電的方

法是利用離峰電力將水以幫浦抽存到高度較高的上蓄水池，在有電力需求之際，水從上池經過水輪機洩放至高度較低的下池，而產出電力(如圖 2.)，其儲電容量取決於上池的蓄水容量。

截至 2010，全世界約有 104 GW 的抽蓄儲電，約佔全球發電容量的 2.17%[5]。在台灣，民國 74 年底所完工的台電大觀二廠啟動了抽蓄儲電技術的應用先例，成為國內第一座大容量抽蓄發電廠，該廠共有四部抽蓄機組，地下廠房安裝豎軸可逆式抽蓄水輪機及電動發電機 4 部，每部機最大容量 250 MW，總裝置容量 1,000 MW。民國 84 年 4 月台電明潭發電廠抽蓄機組加入運轉，該機組裝置可逆型法蘭西斯式抽水水輪機及電動發電機 6 部，每部機容量 267 MW，總裝置容量 1,602 MW。這兩座儲電廠裝置容量合計 2,602 MW，均以日月潭為上池(如圖 2.)利用夜間離峰電力執行抽水運轉，於日間進行發電運轉，以供應系統尖峰用電，除可調整系統頻率外，也兼具穩定電壓提高電力品質的效能。由於日月潭水庫標高 748 m，與標高 448 m 的大觀二廠與 373 m 的明潭抽蓄發電廠有 300 m 以上的有效落差。因此，具備了絕佳的天然地理條件，成為台灣目前僅有的抽蓄儲電電廠。

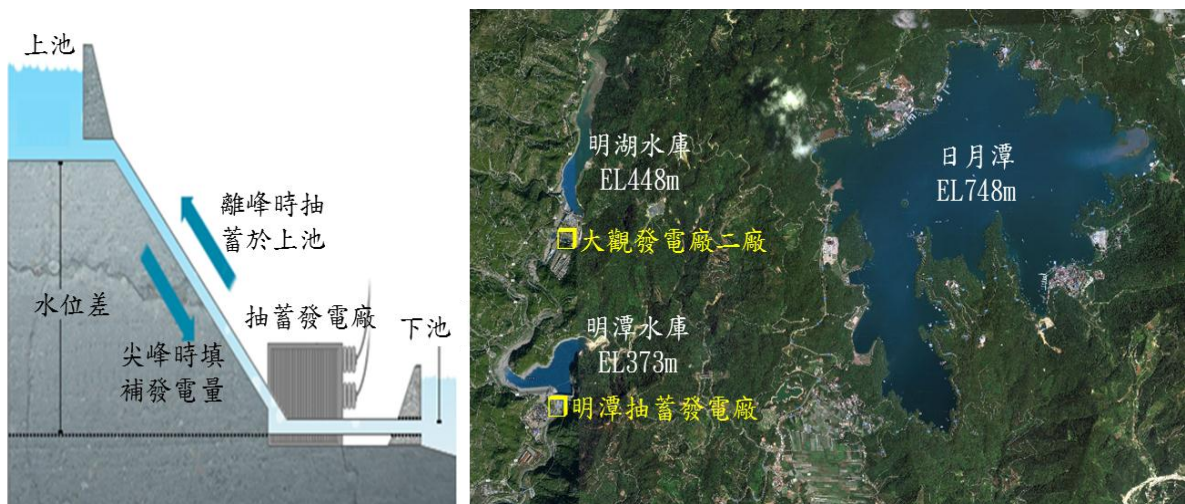


圖 2. 抽蓄儲電原理示意圖(左)，台電明潭與大觀二廠的抽蓄儲電廠空照圖(右)

具有這般優異廠址條件的處所並不多見，若要經人工開鑿不僅破壞了自然生態環境且需要更高成本，也非良策。所以地理環境條件，已然成為抽蓄儲電開發的最大限制。雖然如此，隨著再生能源的開發量提高以及電業自由化的影響，各國也都更為積

極地找尋適宜廠址，如歐美及日本在未來的 8 年間仍有超過 7 GW 以上的抽蓄儲電開發案在進行[3]。台灣適宜做為抽蓄廠址的地點並不多，台電公司目前也曾對大甲溪、南澳北溪/羅東溪以及北勢溪等幾個流域，進行興建抽蓄電廠的先期評估。

(2) 壓縮空氣儲電(Compressed air energy storage; CAES)

壓縮空氣儲電技術是一種以空氣為媒介的儲電方法，大都是以離峰的電力將空氣壓縮於地底密閉的洞穴、礦坑之中，或者地上的桶槽管件之內。當有電力需求之際，經過壓縮儲存的高壓氣體經過加熱、膨脹程序即可經由傳統的氣渦輪機產生電力[4]如圖 3. 所說明，第二代的 CAES 設計將高壓氣體與天然氣混合，在改良的氣渦輪機中混合燃燒以提高效率。

第一部商業化的 CAES 於 1978 年興建於德國 Hundorf，儲電容量為 290 MW (圖 3.)。目前全世界的裝置量約為 440 MW，是僅次於抽蓄儲電的大型儲電技術。壓縮空氣電的建設投資和發電成本均低於抽水蓄能電廠，但其能量密度低，並受岩層等地形條件的限制，所以應用的規模較小。在美國方面除了 1991 於 McIntosh, Ala.,所建置的 110 MW 的第一代 CAES 之外，2009 年底 New York State Electric & Gas 及 PG&E 分別在 DOE 資助下建置 150 MW/10-hours 及 300 MW/10-hours 的第二代 CAES，最新的絕熱型 CAES(adiabatic CAES; A-CAES)技術仍朝向減少壓縮與膨脹過程中能量耗損的研究持續進行中。2010 德國奇異公司(General electric company; GE)和 RWE AG 以及 German National Aerospace Institute 等簽署 ADELE (為德文 adiabatic compressed air energy storage for electricity supply 的縮寫字母)計劃[6]，預計於 2013 開始運轉，其發電容量為 200 MW，儲電容量達 1 GWh，是更為先進的壓縮空氣儲電廠。此外，俄、法、意、盧森堡、以色列和中國也在積極開發和建設這種電廠。隨著分散式能量系統的發展以及減小儲氣庫容積和提高儲氣壓力至 10-15 MPa 的需要，容量界於 8-12 MW 的微型壓縮空氣儲能系統也成為另項關注焦點。

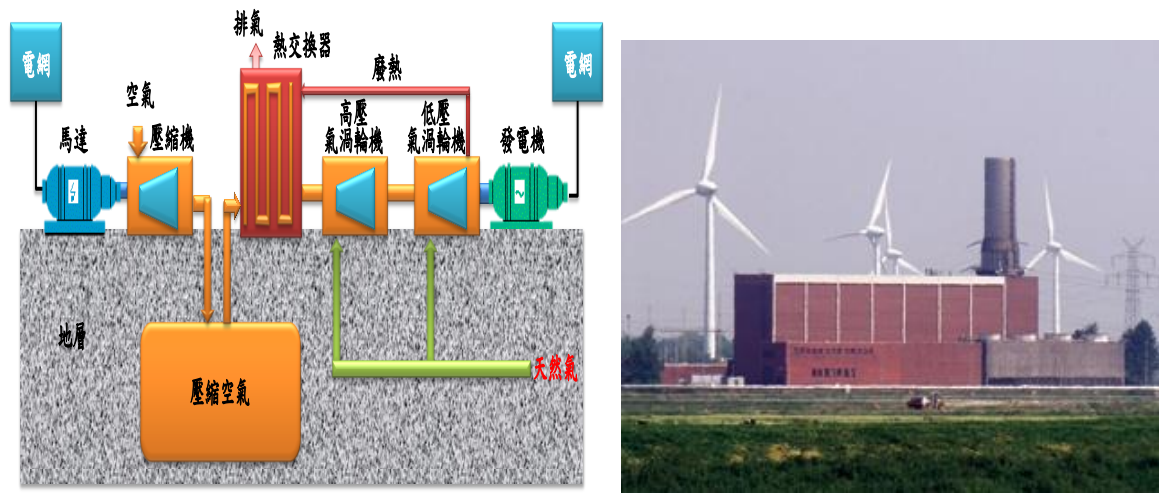
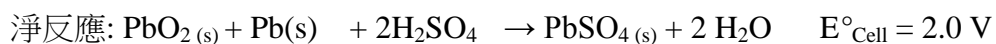
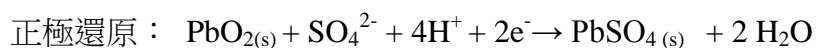


圖 3. 壓縮空氣儲電原理示意圖(左)，德國 Huntorf CAES 發電廠建於 1978(右)，圖片來源：<http://www.renewableenergyworld.com>

(3) 鉛酸電池(Lead acid battery)

鉛酸電池是技術最為成熟的化學能儲電技術，廣泛的應用在緊急照明、電動車輛以及不斷電系統中，放電時電池的氧化還原反應以及淨反應如下面方程式所表示，單電池的公稱電壓為 2.0 V，充電時在兩個電極上進行逆向反應如圖 4.所顯示。



受限於電池重量及循環壽命在大型儲電系統中並不多見，已知最大的儲電系統規模為 10 MW/40 MWh，係美國 Electrical power research institute; EPRI 在 1988 年建於 Chino, California [7]。在台灣，大型鉛酸電池以使用在發電廠、電信機房及基地台等處所最為廣見，主要的用途是做為直流馬達、控制系統及緊急照明等系統的備用電源，以因應交流電源中斷時的緊急需求，其容量在 500 KW/4 MWh 以內。由於鉛酸電池循環充放電的壽命受到充放電速率、放電深度與環境溫度的影響很大，應用在需要深度充放電的大型儲電領域中，估計其壽命僅 2-3 年，據此估算儲電成本將數倍或數十倍於目前的發電成本。因此，鉛酸電池仍較適合應用在淺度放電的不斷電系統、頻率調整

及熱備載容量支援或者短時間的啟動點火等系統中。

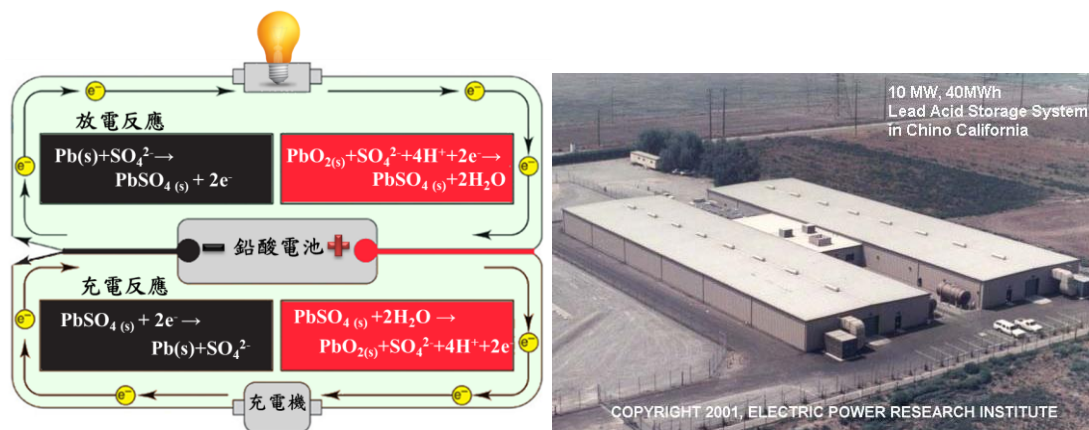


圖 4. 鉛酸電池儲電原理示意圖(左)，EPRI 在 1988 年建於 Chino 的 10 MW/40 MWh 鉛酸電池儲電場鳥瞰照片(右)，圖片來 <http://energystorage.org>

(4) 鋰離子電池(Lithium ion battery)

鋰離子二次電池係指以含鋰化合物(通常為鋰鈷、鋰錳、鋰鎳、鋰鐵)作為電池正極活性材料，以碳質材料為主要電池負極活性材料的一類電池。1947 年法國工程師 Hajek 提出鋰電池 (Lithium battery) 構想，其電池結構首先利用應用金屬鋰或鋰合金為負極，使用 $LiCoO_2$ 作為正極材料。由於電極材料在充放電過程中易產生樹枝狀結晶物，當枝晶累積一定程度後，有時會刺穿隔離膜，造成電池內部短路，短路造成大量反應熱，往往會使電池的溫度高於鋰金屬的熔點 (108 °C)，導致電池失效，甚至引起爆炸。在 1980 年，Armand 提出“搖椅式電池”的概念[8]，採用嵌入式非金屬化合物負極材料 (如石墨類材料) 來取代鋰金屬，可以極大提高電池的安全性能，而電池的工作電壓只是稍有下降。由於只靠著鋰離子反覆的來回嵌入於正負極之間(如圖 5.)。為了與初期採用鋰金屬的「鋰電池」做出區別，因此特別取名為「鋰離子電池」(Lithium ion battery)。1990 年，日本 Sony Energytech Inc 推出了以碳材為負極、 $LiCoO_2$ 為正極的「鋰離子二次電池」，推動鋰離子電池的商業化進展。20 年來，鋰離子電池發展集中在 3C 產品為主，無法有效取代鉛酸電池，延伸應用到儲能與動力電池市場，包括電動車、電動手工具與中大型 UPS 等。主要原因就是鋰離子電池的正極材料 $LiCoO_2$ ，無法提供大電流、高電壓、耐穿刺、高溫等特殊環境與安全需求。

直到 1996 年德州大學 Goodenough 教授團隊發現了磷酸鋰鐵 LiFePO_4 的正極材[9]，此類物質為一種橄欖石結構，此種材料在穩定性方面遠遠優於一般 3C 產品使用的鋰鈷正極層狀材料即便遇到穿刺、過充電或大電流通過時，也不至於有爆炸的危險，安全性能大幅度提高。也因此使得鋰離子電池，不僅在中型的電動工具及電動車輛市場，也在大型儲電的應用出現曙光。

由於鋰離子電池在能量密度與功率密度上遠優於其它類型的蓄電池，因此在設置空間場所有限的應用情境下，具有相當的優勢。加上高循環壽命及能量轉換率達 85%–90% 的優異性能，在微型電網以及再生能源儲電應用已有相當多的實例，例如 2008 年 Altair Nanotechnologies Inc. 與 AES Corporation 所建置於 53 呎長拖車上的 1 MW/250 kWh[10] 鋰離子電池儲電系統，做為 AES 供電系統頻率調節(frequency regulation)的用途(圖 5.)。另外 2008 年 A123 Systems 也分別設置 2 MW 以及 12 MW 鋰離子電池儲電系統於應用於 California ISO 和 AES Gener 在智利的 Lose Andes 變電所，做為配電系統頻率調整及熱備載容量(spinning reserve)的用途[11]。目前已知最大型的鋰離子電池儲電系統是 EPRI 以電動車用的鋰離子電池模組所建構的 1 MW/2 MWh 可移動式儲電系統，預計在 2012 年進行示範運展[1]。

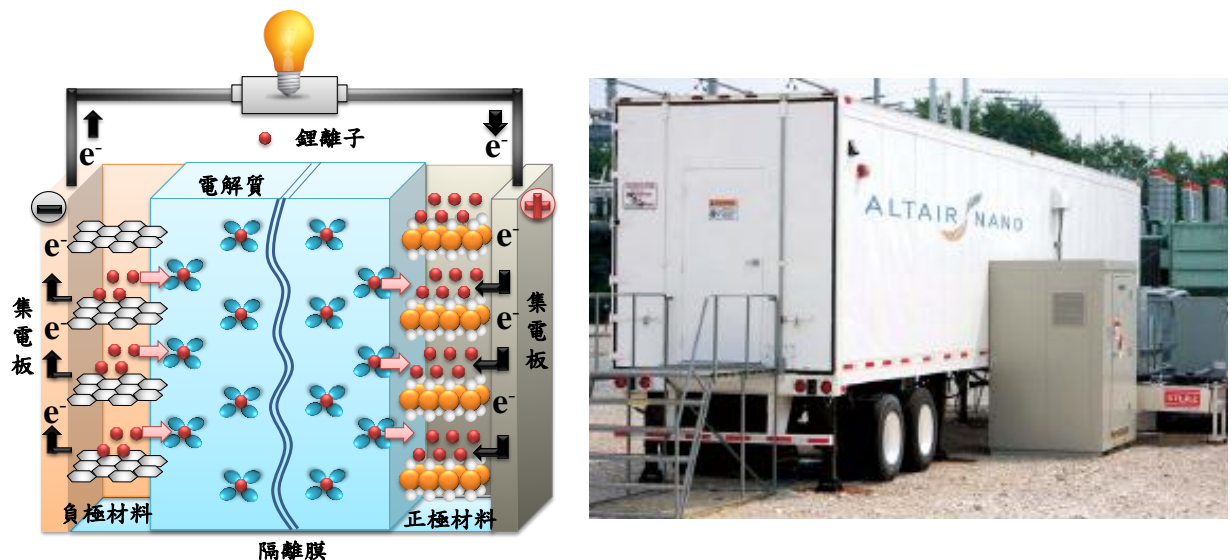


圖 5. 鋰離子電池儲電原理示意圖(左)，Altair Nanotechnologies Inc. 與 AES Corporation 所建置於 53 呎長拖車上的 1 MW/250 kWh，圖片來 <http://www.altairnano.com/>

(5) 鈉硫電池(Sodium sulfur battery; NaS)

鈉硫電池是一種操作溫度約在 300°C 高溫型蓄電池，硫磺為正極活性物質，熔融態的金屬鈉為負極活性物質， β -氧化鋁陶瓷管為電解質。放電時鈉離子通過電解質與硫磺反應生成硫化鈉，充電時為逆反應。一般常見的蓄電池是由一個液體電解質將兩個固體電極隔開，而 NaS 電池正好相反，是由 $\beta - \text{Al}_2\text{O}_3$ 固體電解質做成的中心管將兩個液體電極，即熔融鈉（熔點 98°C）和外室的熔融硫（熔點 119°C）隔開，並允許 Na^+ 離子通過。整個裝置密封於不銹鋼容器內，此容器又兼作硫電極的集流器。在電池內部， Na^+ 離子穿過固體電解質和硫反應從而傳遞電流，如圖 6.說明。鈉硫電池具有許多特色之處是其他電池難以比擬的，例如高比能量，鈉硫電池的理論比能量為 760 Wh/kg，實際值已超過 300 Wh/kg，是鉛酸電池的 3~4 倍。又由於採用固體電解質，所以沒有通常採用液體電解質二次電池的自放電及副反應，充放電電流效率高達 90%。又有長壽命、環境友好等優點。現存的問題是克服安全上的疑慮，以及建置成本過高的問題。

1967 年美國福特汽車首先發表鈉硫電池基本原理，1970 年代福特、GE、DOW Chemical 等在美國能源部 DOE 所推動的國家專案計畫下，投入了鈉硫電池開發，終因政府補助縮減等因素在 1980 年代後期退出。歐洲因電力負荷率較高，主要鎖定電動車用途。積極投入開發的有 CSPL(英)與 BBS(德)兩家企業，其在英、德、美政府支援下持續投入鈉硫電池開發直到 1990 年代後期。CSPL 受到政府補助金減少，BBS 則更名 ABB 後因進行事業重整而退出。顯然，鈉硫電池在技術開發過程並不順遂。不過 BBC 的研發成果後來透過與日本碍子株式会社(Nippon Gaiishi Kabushikigaisha；NGK)的合資企業移轉到日本碍子株式会社。使得 NaS 電池商業化的時程大幅縮減 [12]。

NGK 公司和日本東京電力公司從 1983 年起開始合作進行鈉硫電池開發，並於 2002 年開始進入商業化階段。NGK 公司自始都將 NaS 電池定位於儲能應用，鎖定產品市場在負載荷平準化(Lo ad Leveling；LL)、緊急電源(Emergency Power Supply；

EPS)、不斷電供應系統(Stand-by Power Supply; SPS)等應用。截止到 2010 年 9 月，全球已經建成了超過 223 個項目，安裝容量總計 316 MW。其中，用於 LL 的安裝容量最大，超過 140MW。用於 LL+ EPS 和 LL+USPS 模式的安裝容量都在 60 MW 左右，用於再生能源領域應用也達到 40 MW[13]。2001 年，NGK 首度在日本之外的地區設置示範系統於美國電力公司(American Electric Power, AEP) Dohran 研究所，容量規模僅 13 KW。2006 年再次建置了額定功率 1 MW 規模的鈉硫儲能系統，其峰值功率是 12 MW, 能提供的最大能量為 72 MWh, 可以為 500 至 600 個家庭提供 6 小時左右的電能，2007 年更達到 6 MW 用於輔助風力發電之用途，AEP 因而獲得了幾年內以低價格購買鈉硫電池的優惠權。德國與法國也分別於 2009 年 7 月及同年 12 月建置了容量超過 1 MW 鈉硫儲能系統，使用在再生能源領域。無庸置疑的，NGK 引領並主導整個鈉硫儲能電池的市場與技術。

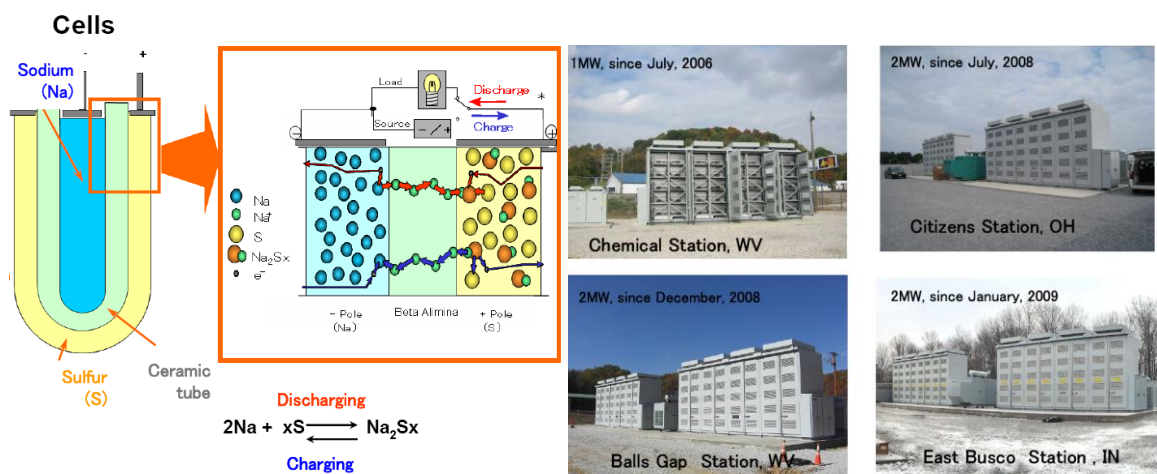


圖 6. 鈉硫電池儲電原理示意圖(左)，建置於 AEP 的鈉硫儲電站

中國對於鈉硫電池的研究啟始於 1968 年上海矽酸鹽研究所車用鈉硫電池的研究 [14]，並在 1977 年 4 月功組裝示範運行了 6 kW 功率的鈉硫電池電動車。20 世紀末，車用鈉硫電池研究也與國際同樣陷入困境而停滯下來。在此期間，上海矽酸鹽研究所獲得了中國科學院重大專案、國家 863 等專案的支持得以保留團隊持續相關研究，曾研製成功 30Ah 單體電池的 6 kW 車載鈉硫儲能電池。2006 年 8 月上海市電力公司與上海矽酸鹽研究所合作，展開儲能型鈉硫單體電池的研究專案，於 2007 年 1 月試製成功容量 650 Ah 的鈉硫單體電池。同年 8 月投資建置“上海鈉硫電池研製基

地”，在國家科技、上海市科委重大專案以及國家電網、中國科學院的鈉硫儲能電池科研專案支持下從事大容量網域儲能電池模組、電網接入系統和儲能系統的研製。2009年2月已具備年產2 MW 鈉硫儲能電池的生產能力，並成功研製穩定運行的10 kW 功率模組，2010年上海世博會已展示100kW 級的鈉硫電池儲能系統。另外，蕪湖海力實業有限公司則與清華大學合作，開發生產大功率鈉硫電，逐步建立研發中心和生產基地。海力公司早在20世紀80年代初就開始研究鈉硫電池，2007年4月獲得了大功率鈉硫動力電池的國家發明專利，海力公司投資2000萬元與清華大學達成長期合作協定以加快大功率鈉硫電池生產步伐，在蕪湖機械工業開發區建立大功率鈉硫電池生產線，打造大型鈉硫電池生產基地。

(6) 超電容器(Super capacitor)

超電容器(supercapacitor, ultracapacitor)是一種具有高功率密度的儲電裝置，也稱為電化學電容器(electrochemical capacitor)。此一儲電裝置具有充放電速率快，循環壽命長幾乎無限制的特質。依儲電機制的不同有電雙層電容器(Electrical Double Layer capacitor; EDLC)及偽電容(pseudocapacitor)兩種型態[15]。實體的電雙層電容器結構是由兩個多孔碳電極與電解液所構成，電極的形式至少有平板式以及捲繞成圓筒式兩種。不論平板式或者圓筒式，從微觀的角度來看都可以看成是由兩相對的電極與電解液所組成。電解液可採用固體或液體電解液，也可以是水溶液或者有機溶液。圖8.說明了電雙層電容器工作的原理。偽電容器是在充放電過程中電極活性物質本身發生氧化還原反應，充電時電解液中帶正電荷的離子以嵌入的方式與活性物質結合而使其氧化數提高，並產生法拉第電流，在固定電流大小之下電壓會隨時間而線性升高類似於純電容的現象。此種反應機製有別於電池活性物質的氧化還原反應是發生於某一特定的電壓條件下，故以法拉第偽電容器(pseudocapacitor)稱呼，以貴金屬氧化物 RuO_2 及導電性聚合物 poly aniline 為電極材料所製備的電容器為典型的代表。不論是電池或者電容器，電子的傳導都是經由外接的導線，從高電子密度的一端傳向低電子密度的一端，而帶電荷離子的傳導則經由電解質受到異種電荷的相吸及同種電荷的相斥而遷

移。這兩者之間的差異僅在於電容器的電荷不通過電極與電解液界面轉移，只有電荷的重新排列。也因此其能量密度遠低於電池，電池經由物質的轉換源源不絕的進行電量的貯存，直到活性物質用完為止。

上述兩種超電容器類型中以 EDLC 出現較早，現今市面上的產品也大部份為 EDLC。有關於 EDLC 的報導最早出現於 H.I. Becker 及他所屬的 General Electric 公司在 1957 年所公開的美國專利資料 (U.S. Patent 2,800,616)，至於商業化產品則到了 1970 年才由 Standard Oil Company of Ohio; SOHIO 所發表。1978 日本電器 NEC 的超電容器產品經 SOHIO 授權下，正式將超電容器產品導入市場。從此之後 NEC 便積極投入產品的研發製造，NEC 公司在此後的數十年間於超電容器產業佔有重要的地位，其超電容器的品牌名稱自 2002 年以後以 NEC-Tokin 上市。在日本，除了 NEC 之外松下電器 (panasonic) 早在 1978 年也投入超電容器的製造生產行列，有別於 NEC 的超電容器以水溶液為電解質，其電極採用塗佈式 (pasted electrode) 的雙極式電池 (Bipolar cell) 設計，松下電器自行開發出以非水溶液電解質/非塗佈式電極的超電容器”金電容” (goldcap)，金電容超電容器的設計有鈕扣型 (coin cell) 及纏繞式 (spiral-wound) 兩種，1980 年代鈕扣型超電容器與太陽光電手錶的搭配深受使用者的歡迎，主要原因在於超電容器幾無壽命限制所以不僅可在製造手錶時同時植入，更可永久不需更換。1990 年代松下電器有大型的超電容器推出，單元電容耐電壓達 2.3 V 其容量已高達 1500 F。到了 1999 年配合於混合電動車的應用推出了”UpCAP”，單元電容耐電壓 2.3V 其容量提昇到 2000 F。1990 之後世界上有許多的廠商陸續投入超電容器製造的產業例如美國 Maxwell、Cooper、蘇聯 ESMA 及韓國 Ness 等，經過 30 幾年來的發展超電容器的生產技術已日趨成熟，應用的領域更為寬廣。超電容器雖然受限於儲電容量太小的缺點無法單獨做為大型儲電設備，但以其高速的充放電能力及幾乎無壽命限制的獨特性質成為混合型儲電系統的最佳選配，不論在再生能源儲電或電動車輛的應用均深具發展潛力。

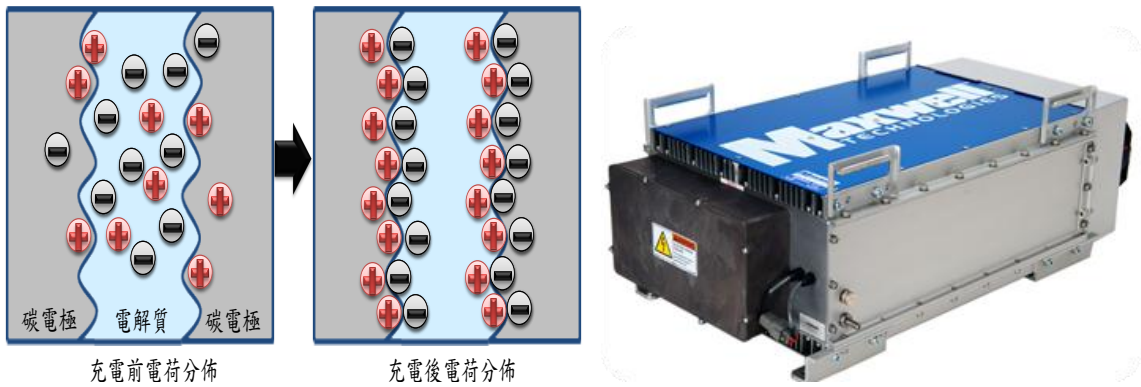


圖 7. 超電容器儲電原理示意圖(左)，125 V/63 F 交通工具用超電容模組，圖片來

<http://www.maxwell.com/>

2.2.2 住友電工鈮氧化還原液流電池(Vanadium redox flow battery; VRB)

鈮氧化還原液流電池(Vanadium Redox Battery，縮寫為 VRB)，是一種將電能儲在具有不同價態鈮離子硫酸電解液中的一種蓄電池，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。這個可逆的反應過程使鈮電池順利完成充電、放電和再充電，鈮電池的工作原理如圖 8 的說明。VRB 儲能系統的模組化特性，使得系統的輸出入功率可由電堆的數量決定，而電解液的抽離儲存特性使儲電容量由電解液的體積決定。這樣的特色，使得儲能系統的設計簡便而靈活，如果一套系統需要較高的額定功率或者額外的儲電容量，那麼簡單地增加電堆數量或者添加電解液就可以解決了，此一特色使得鈮液流電池在大型儲電領域的應用前景相當被看好。

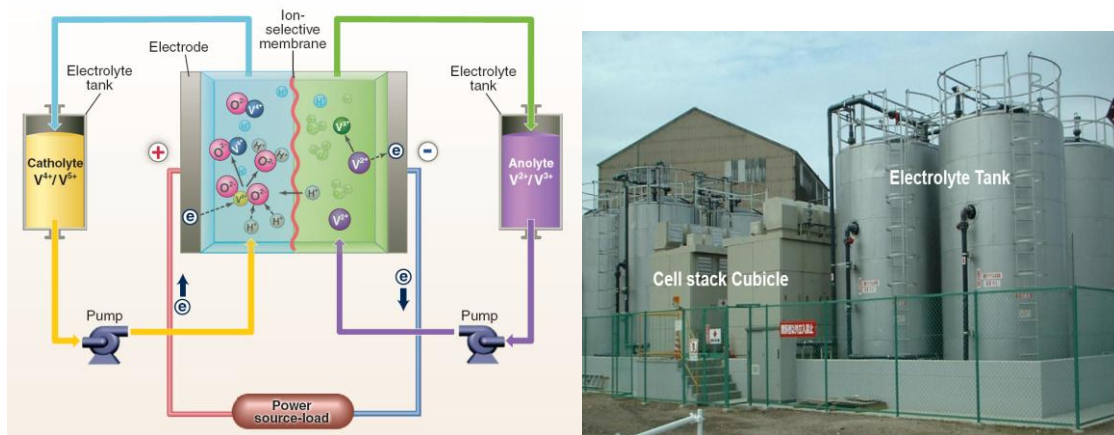


圖 8. 鈦電池儲電原理示意圖(左), 建置於住友電工大阪製作所的 250 KW/2.5MWh 鈦液流電池儲電示範場

VRB 技術 1980 年代發展於澳洲新南威爾斯大學(University of New South Wales ; UNSW), 1996 年澳洲 Pinnacle VRB 取得 UNSW 的 VRB 專利權並授權予日本住友電工(Sumitomo Electric Industries ; SEI)。此後, SEI 在日本推動幾項的專案進行 VRB 系統的儲電示範與驗證, 表 5. 列出了 SEI 在日本所推動的 VRB 應用實例。2005 年, SEI 公司獲得日本 NEDO 專案資助建成世界上規模最大的鈦電池儲能系統用於苫前町(Tomammae)風電場儲能。該系統額定功率 4 MW, 最大功率 6 MW, 儲能時間 1.5 小時, 平穩風電場不穩定的功率輸出。該風電場位於日本 Hokkaido 島, 由 J-Power 公司負責運營, 發電功率為 32 MW。該系統在 3 年的時間實現迴圈 270,000 次, 並成功實現儲能系統 SOC 的即時監測管理, 2008 年計畫結束而拆除。

表 5. SEI 在日本所推動的 VRB 應用實例

用戶類型	應用性質	系統規格	實施時間
電網公司	尖離峰電力平整	200kW x 8h	1996 年
電網公司	尖離峰電力平整	450kW x 2 hours	1996 年
辦公大廈	尖離峰電力平整	100kW x 8h	2000 年
LCD 工廠	不斷電系統 UPS	3000kW x 1.5 sec	2001 年
	尖離峰電力平整	1500kW x 1h	
圖書館	風力發電系統	170kW x 6 hours	2001 年
高爾夫球場	太陽光電系統	30kW x 8h	2001 年
大學	尖離峰電力平整	500kW x 10h	2001 年
風電場	風力發電系統	4MW x 1.5h	2005 年
住友電工大阪製作所	太陽光電儲電示範	250kW x 10h	2012 年

這趟的出國計劃中，於住友電工有兩天的行程安排。主要由二次電池部的筒井部長與大陸籍的董雍容博士接待，另外伊藤所長、事業企劃部德丸部長、超電導製品開發部林部長、柴田、野口以及孟科等諸位先生參與討論與解說。除了簡報之外，實地參觀鈔液流電池展示與及大型測試平台，也對其智能電網評測、聚光型太陽光電、超導電動車及超導電纜技術深入淺出的介紹。目前住友電工大阪製作所除了有戶外型的規格 250kW x 10h 太陽光電儲電示範系統之外，也建置了以 4kW-10 kWh 鈔氧化還原電池(Redox Flow; RF)與聚光型太陽光發電為主的智能電網評測系統，其構成的單元如圖 9.所示。



圖 9.住友電工智能電網評測系統圖

該系統以鈔氧化還原電池將不穩定的太陽光電儲存之後轉換成電壓穩定的電源，並以智慧型電源插座配合智能分電盤進行負載調度，電源與負載的管理由中央控制服務器透過短波無線通訊來執行，圖 10. 為即時的電能供需情形，頗能達到智慧型電網及再生能源的示範效果。

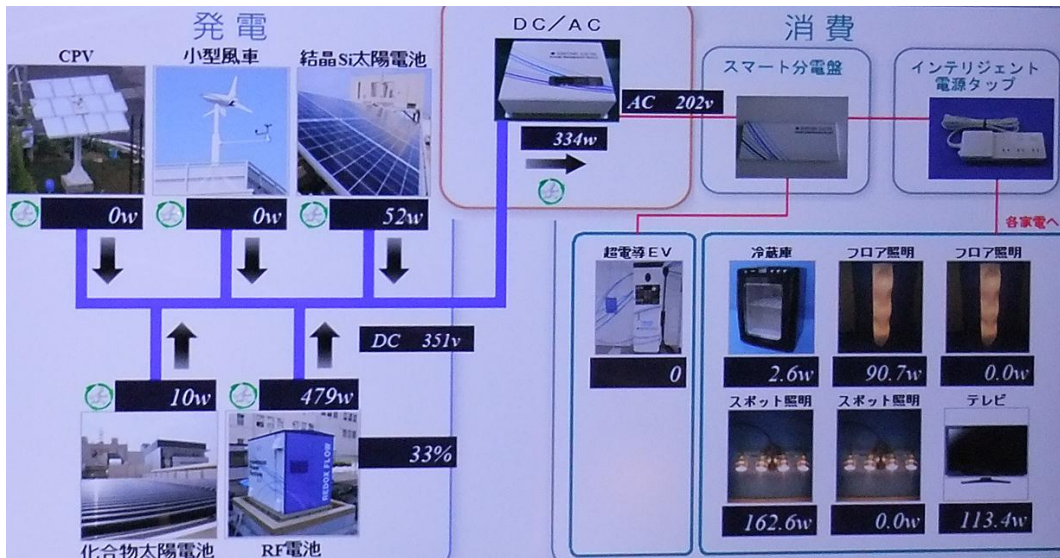


圖 10. 住友電工智能電網評測即時監測畫面

2.3 SOFC 量測與製備技術研習

2.3.1 日本 SOFC 發展與現況

1970 年代發生的兩次石油危機，使日本再次意識到依賴于海外資源的日本經濟的脆弱性。這種深刻的危機感成為推進“ 新能源技術研究開發制度（陽光計畫）（74 年開始）”和“ 節能技術研究開發計畫（月光計畫）（1978 年開始），1993 年陽光計畫和月光計畫也合併為一體，改為新陽光計畫”的動力。SOFC 研究原是月光計畫的一部分。早在 1972 年，日本產業技術綜合研究所(Advance industrial science and technology, AIST) 的前身工業技術院（2001 年 1 月，隨著中央政府省廳重組，工業技術院改組為經濟產業省產業技術綜合研究所，同年 4 月又改組為獨立行政法人產業技術綜合研究所）時期即就開始研究 SOFC 技術，後來加入月光計畫研究與開發的行列，1986 年研究出 500W 圓管式 SOFC 電池堆，組成 1.2kW 發電裝置。1986 年 12 月開始東京電力公司與三菱重工加入，獲得了電池電壓 0.78V，電流密度 200mA/cm² 時輸出功率為 35W 的單電池，燃料利用率可達到 58%。1987 年 7 月，電源開發公司與這兩家公司合作，開發出 1kW 圓管式 SOFC 電池堆，並達成連續試運行 1000h，其最大的輸出功率大約為 1.3kW。同一時期尚有關西電力公司、東京煤氣公司與大阪煤氣公司等機構則從美國西屋電氣公司引進 3kW 及 2.5kW 圓管式 SOFC 電池堆進行試驗，取得了滿意的結果。從 1989 年起，東京煤氣公司還著手開發大面積平板式 SOFC 裝置，1992 年 6 月完成了 100W 平板式 SOFC 裝置，該電池的有效面積達 400cm²。另外，中部電力公司與三菱重工合作，也從 1990 年起對疊層波紋板式 SOFC 系統進

行研究和綜合評價，研製出 406W 試驗裝置，該裝置的單電池有效面積達到 131cm²。

目前日本有關於 SOFC 的研發與應用是由新能源及產業技術發展組織（1980 年設立，簡稱 NEDO）所主導，在 2004~2007 年期間 SOFC 發展目標設定在驗證系統的耐用性及可靠度，2007 以後則進行小型 kW 級 SOFC 家庭用熱電共生系統(Combine Heat and Power; CHP)測試，參與實證研究的設置運轉單位共有：大阪燃氣(Osaka Gas)，東京燃氣(Tokyo Gas)，北海道燃氣，西部燃氣，東邦燃氣，東京電力，東北電力，新日本石油以及東陶(TOTO)等九家公司，其中的 SOFC 電池堆的製造廠商則有京瓷，日本特殊陶業，新日本石油及 TOTO。

三菱重工是日本發展大型 SOFC 系統的重要公司，對於 SOFC 的開發始終以朝向實用化的應用為目標，並期望逐步發展由中小型的家庭用，到使用不同種類的燃料以如天然氣或者煤炭足以取代火力電廠的大型規模。因此，依據熱循系統設計的不同定訂如表 6. 所列的目標值。

表 6. 三菱重工 SOFC 熱電系統發展目標(資料來源：<http://www.mhi.co.jp>)

SOFC 熱電系統	發電效率	熱電聯合效率
SOFC + 廢熱回收系統，都市氣體 200kw 級(圖 6)	45%(LHV)	80%(LHV)
SOFC +GT，天然氣 20-MW 級(圖 7)	60%	
SOFC + GT + ST，700-MW 級複循環(圖 8)	70%	
coal gasification furnace + SOFC +GT+ST(圖 9)	60%	

1998 年三菱重工 Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. (MHI)和電源開發株式會社 Electric Power Development Co., Ltd. (J-POWER) 開發最大輸出功率 21KW 壓力型 SOFC 模組，連續操作 7000 小時的記錄。2001 年所開發採用內重組 10KW 級壓力型 SOFC 模組也達到連續操作 755 小時。2004 年三菱重工加入 NEDO 計畫在 Nagasaki Shipyard & Machinery Works 建置 75KW 級的 SOFC +a micro gas turbine (MGT)系統，並著手 200-KW 級的 SOFC-MGT 複循環系統建造，該系統於 2007 年完成具有 229KW 的最大功率輸出，發電效率達到 52%(LHV)。截至 2009 年已經有 3000 小時的運轉經驗。

2.3.2 TOTO SOFC 發展與現況

TOTO 創立於 1917 年以衛生陶瓷為主要產品，自 1989 年開始投入 SOFC 的研究

開發，1998 年起接受 NEDO 委託進行 SOFC 相關的研究，2000 年開發出 3kw 模組的發電設備效率 55%，到 2004 年達到連續 3000 小時的運轉記錄。2007~2010 年之間參與 NEDO 熱電聯產 SOFC 的實證研究計有 19 處場所，至 2011 年 7 月參與研究計劃各處示範展示的義務期間結束，進入協力期預計 2012 年 3 月開始在日本國內販售。

TOTO SOFC 是以管狀單電池構成電池堆，單電池構造與電池堆外觀如圖 11. 所示。由單電池的構造知屬陽極支撐型，表 7. 說明單電池陰、陽極與電解質材料。

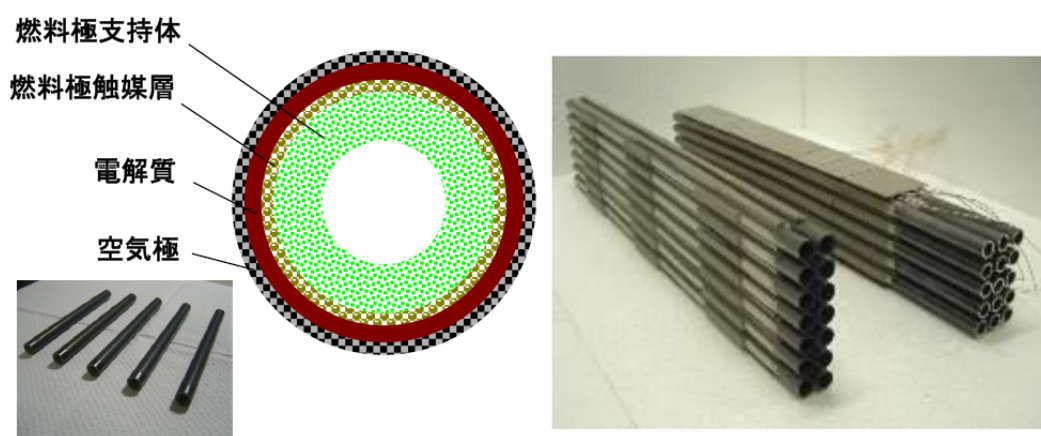


圖 11. TOTO SOFC 管狀單電池構造及電池堆外觀

表 7. TOTO SOFC 管狀單電池陰、陽極與電解質材料

構成	材料	作製方法	燒成
燃料極支持体	Ni/YSZ	押出し成形	共燒成
燃料極觸媒層	Ni/GDC	スラリーコート法	
電解質	LSGM		
空氣極	LSCF		

SOFC 電池堆為家用型熱電聯產設備的核心，相當於車輛的引擎擔任最關鍵性的角色。TOTO 的 CHP 系統是與生產熱水器的知名廠商 Noritz 所共同開發，其中燃氣改質、前處理、熱回收交換器以及產電等部份由 TOTO 負責，系統的概要如圖 12. 所說明。圖 13. 是安裝於示範場所的照片，2012 年販售時 Power Module 尺寸為 W600×D300×H970 mm 約與家用分離式冷器機的容積相近。

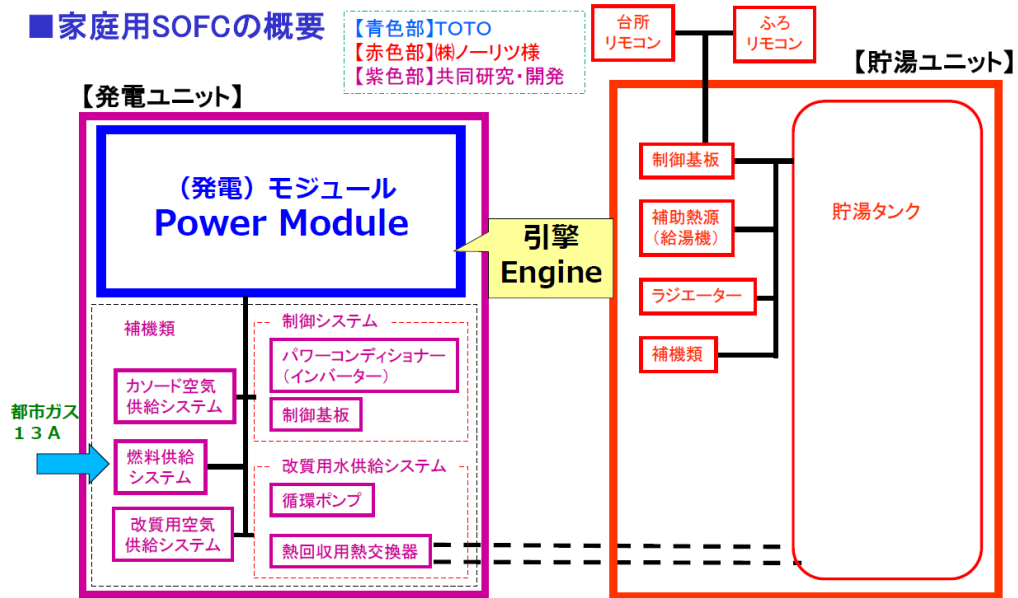


圖 12. TOTO 家庭用 SOFC 概要圖



圖 13. TOTO 家庭用 SOFC 示範運行裝置照片

在此次的行程中 TOTO 有半天的時間參觀與討論，TOTO 熱忱接待我們的參訪，由燃料電池事業部的上野與大江二位部長主持，參與會議的另有松岡、中野、伊藤、相馬及大塚等燃料電池事業部先進。除了進行技術簡報說明之外，測試實驗室參觀是重點之一，由於 TOTO 未授予測試實驗室拍照許可，但同意為我們的參觀過程拍攝照片供返國報告之用。圖 14. 中照片即為 TOTO 人員解說 CHP 系統組成及測試的項目。雖然細節部份無法做成記錄，但測試過程的真實感受及實驗室的規模與設計方面也受益良多，對於 SOFC 的 CHP 系統有更深刻的印象。

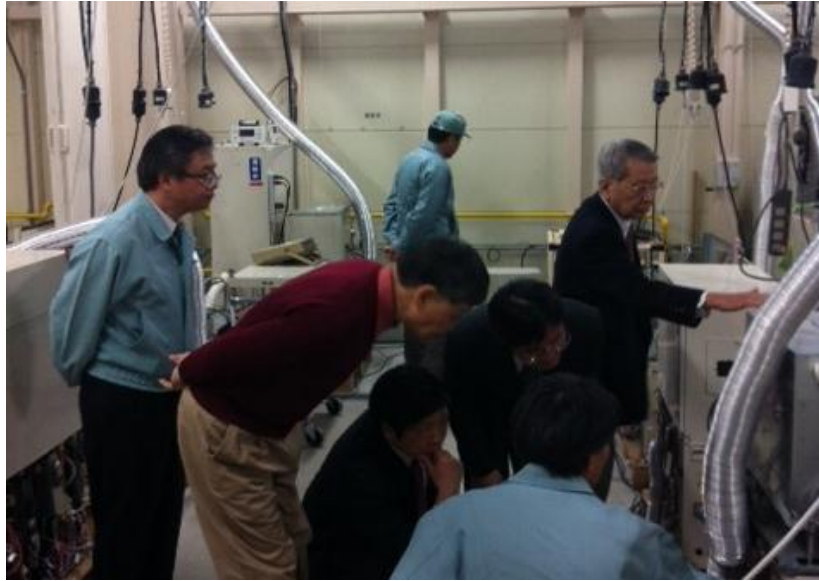


圖 14. TOTO 人員解說 CHP 系統組成及測試的項目

三、心得及建議

石油的日益枯竭及二氧化碳排放造成溫室效應將是這個世紀所面臨最為嚴重的能源及環境問題，生存環境遭受文明的破壞與能源的過度消耗與不當使用息息相關，人們逐漸感受到能源缺乏及生活環境劣化的警訊。因此，積極開拓無污染的綠色能源成為同時解決這兩項問題的最妥善對策方案。近年來太陽能、風能開發成為全球性的議題，然而在能源的開發過程卻發現仍潛存著許多無法突破的瓶頸，諸如太陽能與風能的不穩定性和發電成本昂貴等。所以，許多的科學家轉而嚐試從提高能源使用的效率的策略來著手，希望將不穩定的再生能源與基載電源加以整合運用，以期降低對特定能源的依賴程度並降低能源使用成本。在此領域的研究中大型電力儲存技術扮演者相當關鍵的角色，雖然儲電技術發展歷史相當悠久，早已建構完整的概念以及累積豐富的使用經驗，但卻仍然無法普及，相信成本是最大因素。因此，如何降低儲電設備的建置成本，提高壽命以及發展智慧型能源管理系統減少能量損耗，將是研究開發與經營管理者所共同面臨的重要課題之一。

由於大型的儲電技術受限於成本因素，現階段尚難以滿足再生能源或是離峰電力儲電的應用需求。然而，利用分散式的方式將儲電系統小型化會使得技術成熟可資利用的蓄電池儲電技術實用性提高，若能搭配諸如固態氧化物燃料電池等低污染高效率

的發電方式而組成混合型的供電系統，以資建構較高效率或再生能源使用率高的區域電網或者微型電網應是較容易達成的目標，再由成熟穩定的微型電網為基礎逐步的擴充展開，相信以再生能源為主的智慧型供電網路有機會水到渠成。

四、參考資料

- [1]D. Rastler, "Electrical energy storage technology options: A White Paper Primer on Applications, Costs, and Benefits. ," *Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA Report 1020676*December, 2010.
- [2]B. Dunn, H. Kamath, and J.-M. Tarascon, "Electrical Energy Storage for the Grid: A Battery of Choices," *Science*, vol. 334, pp. 928-935, November 18, 2011 2011.
- [3]J. P. Deane, B. P. Ó Gallachóir, and E. J. McKeogh, "Techno-economic review of existing and new pumped hydro energy storage plant," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, pp. 1293-1302, 2010.
- [4]F. Díaz-González, A. Sumper, O. Gomis-Bellmunt, and R. Villafáfila-Robles, "A review of energy storage technologies for wind power applications," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 2154-2171, 2012.
- [5]I. E. Statistics, "<http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm>," *The U.S. Energy Information Administration*, 2012.
- [6]R. A. Website, "<http://www.rwe.com/web/cms/en/365478/rwe/innovations/power-generation/energy-storage/compressed-air-energy-storage/project-adele/>."
- [7]G. M. Cook and W. C. Spindler, "Low-maintenance, valve-regulated, lead/acid batteries in utility applications," *Journal of Power Sources*, vol. 33, pp. 145-161, 1991.
- [8]M. Foulletier, P. Degott, and M. B. Armand, "Lithium intercalation in polyacetylene," *Solid State Ionics*, vol. 8, pp. 165-168, 1983.
- [9]A. K. Padhi, K. S. Nanjundaswamy, and J. B. Goodenough, "Phospho-olivines as Positive-Electrode Materials for Rechargeable Lithium Batteries," *Journal of The Electrochemical Society*, vol. 144, pp. 1188-1194, 1997.
- [10]A. N. I. Website, "<http://www.altairnano.com/>."
- [11] I. W. A123 Systems, "<http://www.a123systems.com/media-room-2008-press-releases.htm>."
- [12]陳諭萱,"電力儲存用鈉硫磺電池開發秘辛,"資策會 MIC 情報顧問服務資料, 2010.
- [13] H. Abe, "TPC NAS Presentation," 2011.
- [14]温兆银等, "中国钠硫电池技术的发展与现状概述," *供用電*, 2010.
- [15] B. E. Conway, " Electrochemical Supercapacitors: Scientific, Fundamentals and Technological Applications," 1999.