

出國報告（出國類別：實習）

固態氧化物燃料電池(SOFC)量測評估 及釩液流電池(VRB)應用技術研習

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：99.10.4~99.10.8

報告日期：99.11.3

摘要

此次赴日目的是有關於固態氧化物燃料電池(SOFC)量測評估及鈎液流電池(VRB)應用技術的研習，行程安排了具有豐富的 SOFC 量測平台製造經驗的 CHINO 公司，VRB 設備製造廠商硫球電力株式會社，以及知名的 SOFC 電池堆製備廠商 TOTO 公司。在短短的 3 天行程中，預先做了完整的蒐料收集以及談論議題的準備，因此有很大的收獲，一方面驗證了 SOFC 及 VRB 儲電系統在日本現階段發展的趨勢，也獲得寶貴的技术資料，對於未來相關研究領域的規劃有相當大的助益。

目次

摘要.....	I
目次.....	I
本文.....	1
一、目的.....	1
二、過程.....	2
2.1 SOFC 量測平台建置及電池特性評估技術研習.....	2
3.2 VRB 貯電應用技術研習.....	14
三、心得及建議.....	20

本文

一、目的

依 99 年度「新能源關鍵材料與電化學技術研究」計畫，所規畫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固態氧化物燃料電池量測及貯氫 / 貯電技術。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。

為能延續 99 年度之研究內容並與 100 年之研究計畫相銜接，本次派員出國選定之目的為：(1)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。(2)研習全釩液流電池(VRB)於太陽光電貯電應用之操作、維護及測試技術，並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。

本次出國要求之成果至少包括：

1. 達成 KW 級 SOFC 單電池、短電池堆、長電池堆量測平台建置方法、硬體/軟體設施規格，以及測試標準等相關資料之蒐集彙整與實地操作研習要領記錄。
2. 完成 SOFC 電池關鍵材料供應鏈、製程開發與市場狀況之資料蒐集彙整，以及 SOFC 電池關鍵材料研製技術引進及研究方向擬定。
3. 進行 SOFC 於 microgrid 及 IGFC 之應用評估與未來研究規劃。
4. 完成 VRB 市場應用、發展現況及關鍵技術資訊之蒐集彙整。
5. 達成 VRB 貯電做為再生能源貯電設施之評估，以及新購置之 VANASAVER 設備交貨之後之運轉維護技術研習。
6. 進行 VRB 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蒐集，以做為相關領域後續研究之基礎。

二、過程

機構名稱	所在城市	天數	工作內容
	東京	1	往程(台北—東京)
CHINO Corporation	東京	1	前往 CHINO 公司研習 SOFC 量測平台建置及電池特性評估技術
硫球電力株式會社	東京埼玉縣	2	前往硫球電力公司研習 VRB 貯電應用技術
TOTO(東陶)	東京神奈川縣	1	早上參訪 TOTO, 下午返程(東京—台北)

2.1 SOFC 量測平台建置及電池特性評估技術研習

2.1.1 SOFC 在日本研發歷史與應用現況

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，後來加入月光計劃研究與開發的行列，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。

京瓷從 2004 年開始，為了實現家用 SOFC 熱電聯產系統(combine heat and power, CHP)的實用化，與大阪煤氣株式會社共同開展了提高耐久性、縮小系統體積等工作，自 2007 年度起，在大阪煤氣公司服務區內的實際居住住宅內安裝了 45 台系統投入運轉，實踐證明了系統的高度節能性。2007 年大阪燃氣和京瓷共同開發出了額定輸出功率 700W 適合小規模住宅設置的小型家用固體氧化物燃料電池（SOFC）熱電聯產系統，排熱利用型熱水供暖組件則由大阪燃氣和長府製作所聯合開發。原始的額定輸出功率設計為 1KW 規模，當時是設置於大阪燃氣所擁有的實驗集合住宅供一個 4 人的家庭來使用。根據實際使用情況降低到了 700W，並將電池單元從原來的 200 個減少到 126 個。另外，還將發電模組（內置電池單元及改質器的金屬容器）供給空氣的部分與發電模組的外殼設計成一體，不僅簡化了發電組件的構成，也使得發電組件的容積比 1kW 機型減少了約 50%。該發電機組是由京瓷和大阪煤氣株式會社共同開發的，而有效使用熱能的熱水暖氣供應系統則是由大阪煤氣株式會社和長府製作所株式會社共同開發。熱水供暖組件方面，在調整熱水貯罐容量的基礎上，變更了輔助鍋爐的佈局。對新機型進行性能評測後表明，發電效率及排熱回收效率分別實現了開發目標的 45% 以上和 30% 以上。發電組件實際的外形尺寸為 H 950×W 540×D 350 mm，重量為 91.5kg，排熱利用型熱水供暖組件的外形尺寸為 H 1700× W 750×D 330 mm，重量為 105kg。熱水貯罐容量為 70L 溫度為 75°C，熱水供給能力為 41.9kW，再加熱能力為 10kW，所用燃氣為城市燃氣 13A，發電輸出功率為額定 700W。發電效率為 45%（LHV），排熱回收熱量為 470W，排熱回收效率為 30%（LHV）。

2009年3月與大阪煤氣株式會社、豐田汽車株式會社、愛信精機株式會社達成了共同開發協議，力爭在2015年前完成開發工作。2010年度開始實證實驗。將在大阪燃氣的單棟式住宅用戶中設置41台該產品。該實驗是大阪燃氣為了參與由日本新能源產業技術綜合開發機構發起的2010年度“固體氧化物型燃料電池實驗研究”而進行的。由於在熱電聯產系統中，家用SOFC熱電聯產的額定發電效率高達45%以上，因此熱需求相對較少的住宅也可以充分發揮環保和經濟效益優勢。另外，由於發電單元較小、排熱利用型熱水供暖單元也可採用緊湊設計的計，希望可以設置在對空間有限制的單門獨戶住宅和集合住宅中。

日本礙子在2009年發表，開發出了使用氫氣燃料時發電效率(LHV)達到全球最高的63%的固體氧化物型燃料電池(SOFC)。輸出功率為700W，工作溫度為800°C。在單元電池的陽極支撐體上塗佈厚度僅5 μ m的氧化鋯電解質薄膜，薄層化的電解質層有效的降低了離子傳導電阻值，加上在單元單池的兩面均為空氣電極，因此確保了發電面積，提高了電池堆的輸出功率。所製備的電池單元為了讓燃料氣體均勻遍佈整個電池堆，在電池單元內部預先設計了供給燃料氣體的流道。電池單元的厚度為1.5mm。因內有流路，不僅無需使用分離燃料氣體和空氣的密封材料，還因上下兩面均可發電而在小型化及低成本化方面佔有優勢。日本礙子已向日本國內的大型石油公司提供了層疊有數十個單元的電池組，目前正在接受發電性能評價。今後將進一步提高性能，爭取在便利店、購物中心等商業設施及家庭實現實用化。該公司還打算與其他公司進行技術合作，以共同推進該產品的開發。

TOTO成於1989年開始SOFC的研究開發並於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。

除了家庭的市場之外，2007年日本關西電力公司研製10kW運轉溫度600~800°C之SOFC熱電共生驗證系統，經歷3000小時長期測試，獲致發電效率41%(HHV)，熱電共生效率82%(HHV)，電壓衰減率1.08%/kh的成果。表1列出系統之設計規格及測試結果。

表 1. 日本 KEPCO 之 10 kW SOFC 系統規格

	Target	Result
Power output	10 kW-class (net AC)	10 kW-class
Electrical efficiency	>40% (net AC/HHV) (at the rated output)	41%
Overall efficiency	>80% (HHV)	82%
Long-term stability	Voltage degradation rate 0.25%/1000 hr	1.08%/1000hr Accumulated operation time 3102hr

*1:Exhaust heat is recovered as 60°C hot water

*2:Through operation for >3,000 hr

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燃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 2 所列的目標值。

表 2. 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，天燃氣 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)和電源開發株式会社 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。

3.1.2 CHINO 公司 1KW SOFC 電池堆的量測設計

CHINO 公司是日本燃料電池量測平台重要的製造廠家之一，成立於 1936 年現有員工約 500 人。本所曾於 2009 年向該公司採購 SOFC Bottom cell 的測試平台如圖 1。



圖 1. CHINO Bottom cell 的測試平台

此次前往 CHINO 參觀，希望達成的目的以及釐清的事項有：

1. 參觀 KW 級 SOFC 電池堆的實際量測，藉以瞭解 KW 級 SOFC 單電池、短電池堆、長電池堆量測平台建置方法、硬體/軟體設施規格，以及測試標準等相關資料
2. 討論依照功能性的區隔，將 SOFC 量測平台與 SOFC 組裝之爐體分開設計之可行性與必要性。
3. 因應 SOFC stack 有板型及管型種類之不同，量測平台的設計如何調整，內部管件如何連結。
4. 量測訊號線路以及電源導線如何配置，量測儀器相對應的界面如何啣接。
5. 經由 CHINO 取得 1~5KW SOFC 電池堆，於建置量測平台時一併購置之可能性。
6. 量測平台之設計，是否能符合本所於低碳發電研究中心所規劃配置的空間限制。

由於行程安排匆促，加上日本 SOFC 製造廠商對於發展中產品的保密，無法如願實際參觀 SOFC 電池的實地量測。但在台灣泰新能源公司與 CHINO 公司海外部栗原部長的大力協助下，安排參觀了 CHINO 的熱電偶校正標準實驗室並與從事於量測平台設計製造的專家進行面對面的意見交流。雖然僅有一天的時間，但仍滿載而歸，相信對於 SOFC 量測技術的提昇以及研究方向的規劃大有助益。

圖 2 為 CHINO 的溫度計校正標準實驗室，上面的照片是熱電偶溫度計的校正設備，下方照片為非接觸式的紅外線溫度計的校量設備。除了進行其所採用的溫度計或者販售儀器必要的校正之外，也接受外界的委託進行溫度計的校正符合 ISO9001 的認證。



圖 2 為 CHINO 的溫度計校正標準實驗室

實驗室的參觀瞭解到 CHINO 在高溫爐製備技術領域的基礎，從高溫爐製備技術到 SOFC 量測平台的多年經驗，可供我們在實驗設計及儀器採購的參考。依據 CHINO

所提供的資料如其在燃料量測領域有不錯的銷售實績，如表 3，從表 3 內容也大致明瞭日本參與此一領域之行業別概況。

表 3. CHINO1985~2010./3 燃料電池性能評價試驗裝置銷售實績

燃料電池分類	業別	數量
磷酸鹽型 PAFC	電機	23
	能源	4
熔融碳酸型 MCFC	電機	50
固態氧化物型 SOFC	能源	67
		3
	材料	37
	化學	2
	情報、通訊	2
	汽車、其它	11
固體高分子型 PEFC	電機、冷暖氣機	174
	能源	32
	汽車	217
	材料	247
固體高分子型 DMFC		18

有關於 SOFC 性能測試平台之設計量測之議題討論，得到以下的結論：

1. 由於 CHINO SOFC 性能測試平台是客製化的設備，所以可依照客戶在使用空間、電池堆尺寸規格、電池堆種類以及電池組裝或者 i-V 特性曲線/交流阻抗值量測的需求來設計。基本的量測平台架構如圖 3 的說明：

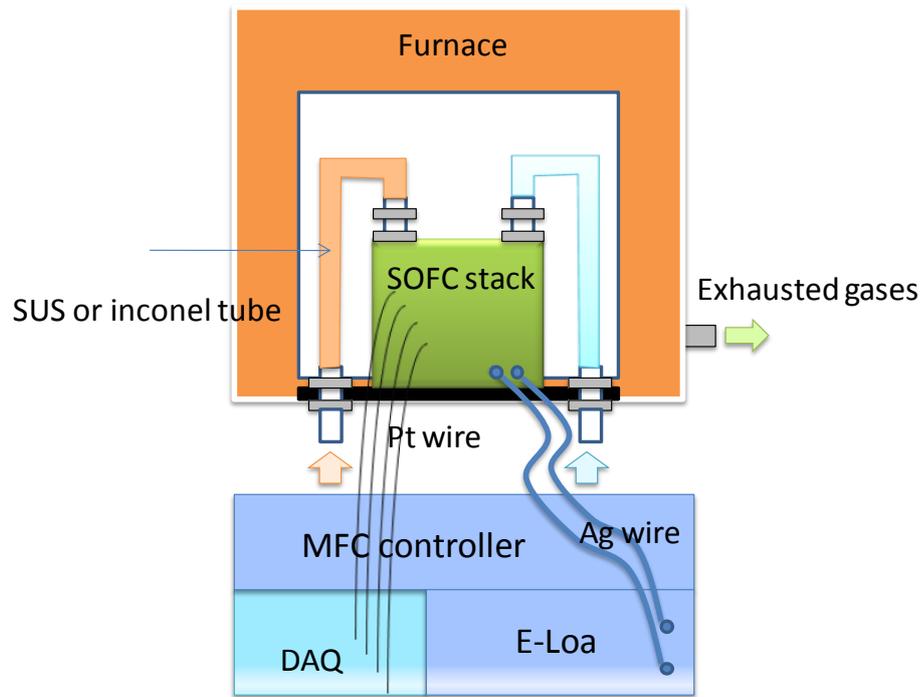


圖 3. SOFC STACK 基本的量平台架構

在量測平台的架構中非高溫爐內的其它組成顯而易見，與一般常溫型燃料電池的量測並無任何相異之處。因此，SOFC STACK 的量測上存在三個比較重要的問題需慎重考量，其一是高溫爐對於溫度控制的精準度，概因 SOFC STACK 的電極組成為陶瓷材料 THERMAL SHOCK 對其有致命性的影響，溫度昇降速率及燃氣的預熱需做準確的控制，才不致讓價格昂貴的 SOFC STACK 在測試之前即已受損。再者，進氣管件與量測線(包括電源及訊號線)，以及接點材料所使用的材質是否能承受 800°C 以上的高溫環境。最後，也是最為重要的是 SOFC STACK 的製造或取得。以上量測平台建置所需考量的重點在此次的會議中，CHINO 栗原部長做了詳細的說明圖 4~5，也對於尾氣的處理做建議。此外，也對於 SOFC STACK 的性能量測與電池堆的組裝是否需於同一高溫爐中進行做了意見交流。電池堆的組裝與量測分離，需建立兩個高溫爐使得建置的成本相對提高，但卻有組裝(需有額外的加壓裝置)與量測(昇降溫需很長的時間)可分別進行的優點，最重要的是組裝完成之後再行測試接近於實際運轉的情境，尤其對於密封材的選用才具真實性，不致於發生高溫可用但於常溫崩解的情況。

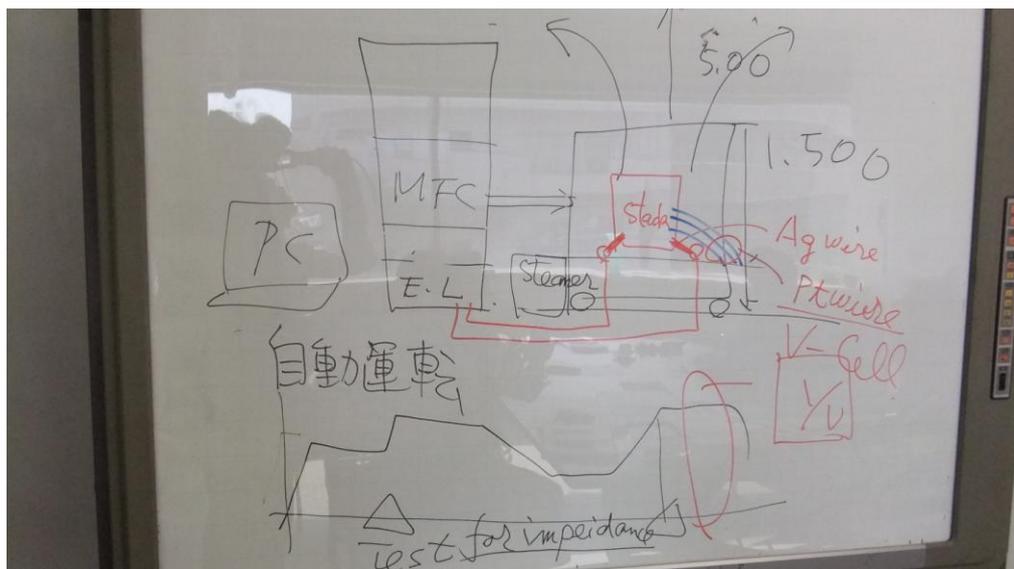
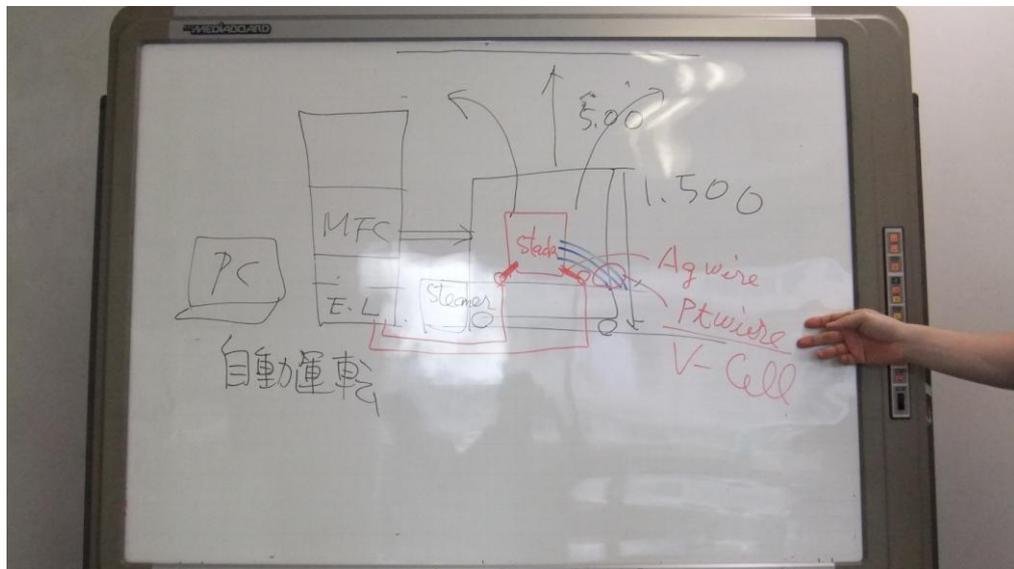
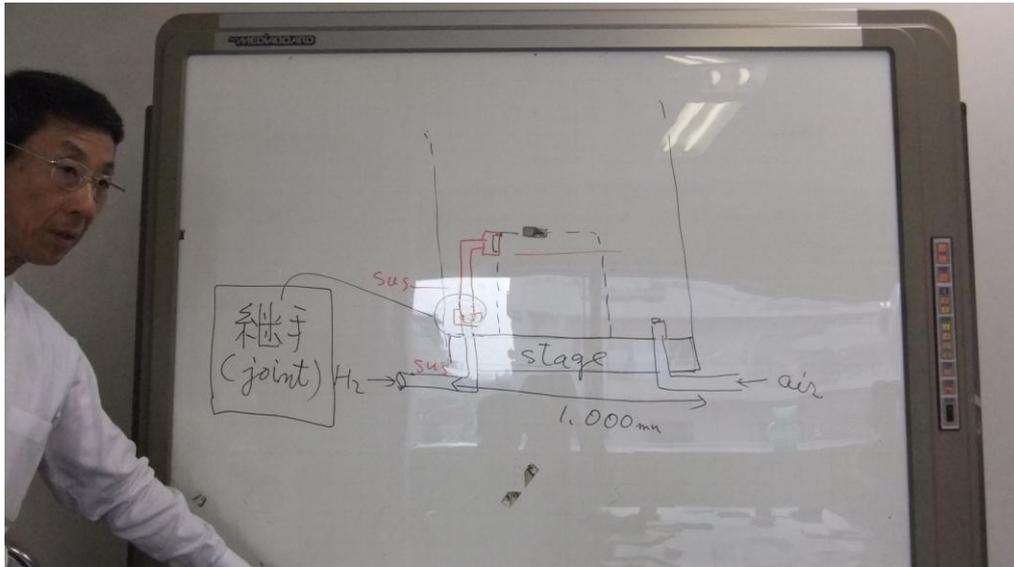


圖 4. CHINO 栗原部長對量測平台結構，爐體 STAGE/溫控曲線與量測接點說明

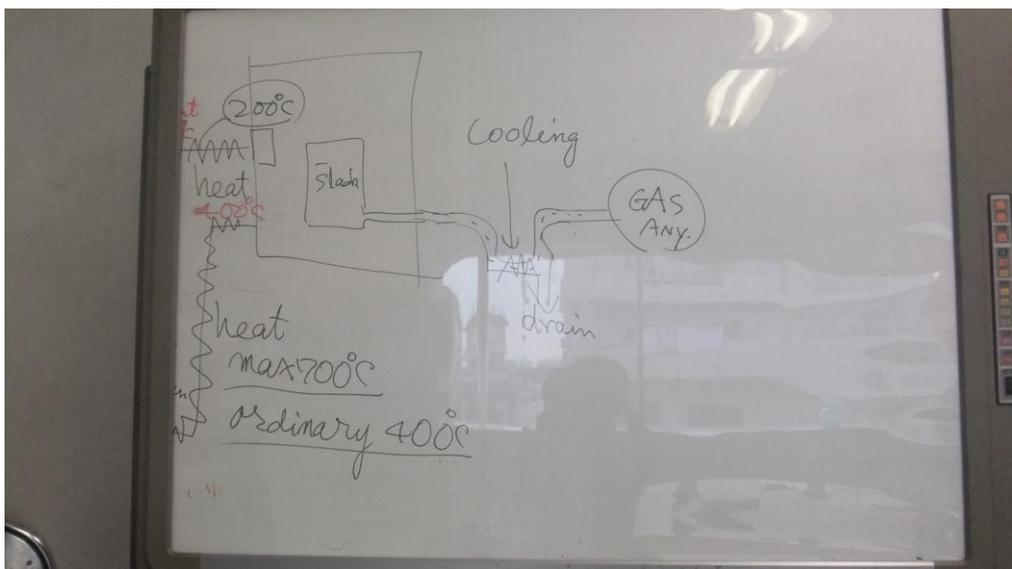
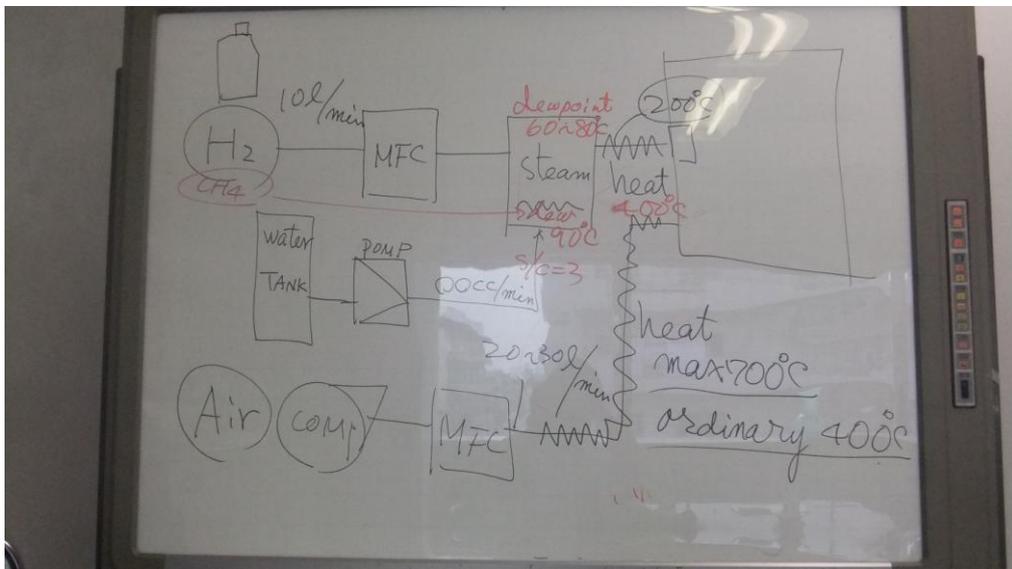
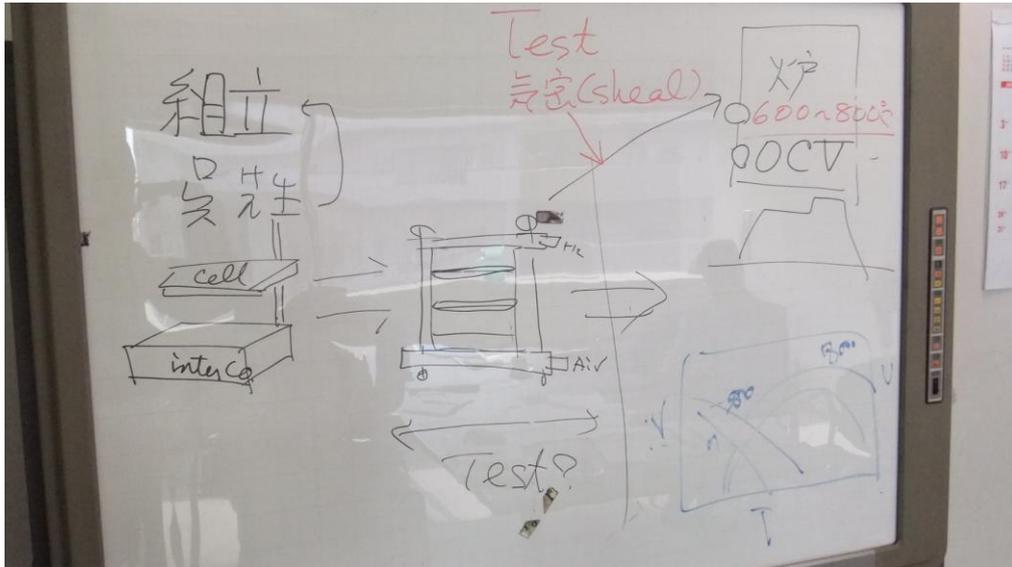


圖 5 CHINO 栗原部長對於 SOFC STACK 組裝完成後再行性能量測想法的

討論，以及燃氣預熱和尾氣處理分析的說明

2. CHINO 於最近完成了單電池的量測設備的開發，該設備是由 Bottom Cell 量測平台的設計者江川博士開發，在會議之中，江川博士做了設計概念的完整說明，也解釋克服對於昇溫過程所產生的熱膨問題所做的防範措施。本所現有 1 組購自 Fuel Cell Material 的 Single Cell 量測夾具，現正進行測試，並嘗試進行 2 組 Cell 的量測設計。因此，也要求江川博士考量進行 3~5 層 STACK 量測平台的開發。
3. 由於日本近年來推動家用型 SOFC 與熱回收的電熱聯產系統，因此燃氣的種類選擇及對 SOFC 電池堆可能產生的影響是值得研究的課題，CHINO 對於此一研究主題將原來 Bottom Cell 量測平台做了局部的修改，主要的考量是基於組成成份較為複雜的 city-gas 在高溫反應後所殘留的物質或對連接材所造成的影響可以經由，可拆解部份的分析得到重要的訊息，相信此一設計將對於供氣端的研究提供助益。
4. 1KW SOFC 量測設備的設計，CHINO 針對 1KW SOFC 量測平台提供 1 份的建議書，其中包括了高溫爐、氣動式加壓裝置、供氣控制等，參考的照片如圖 6。由於爐體採用對開式的設計，因此需較大的內容空間。因此，鐘罩式的爐體設計是另外一個選項，亦即爐體可以利用懸吊方式由電池推的上方嵌入，只是如此一來氣動式加壓的機制能否兼顧，需進一步來考量。

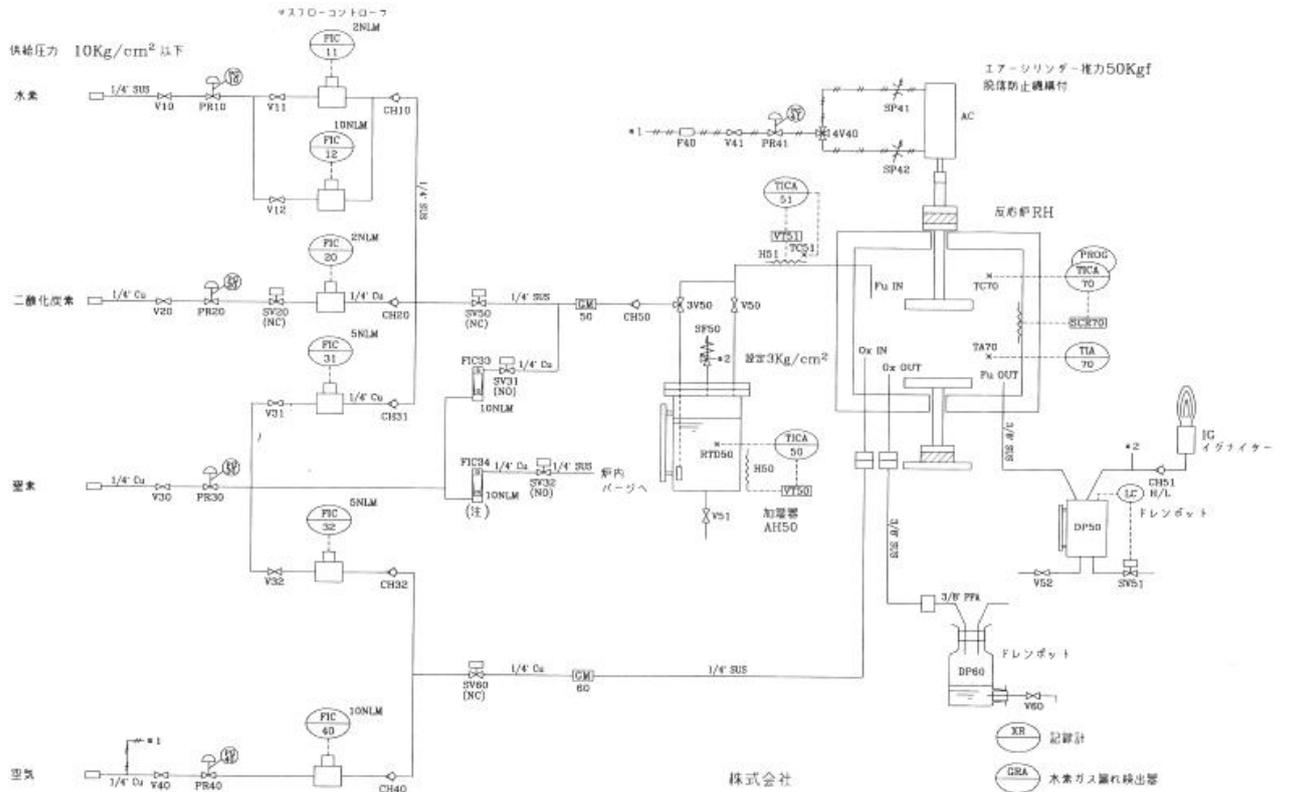
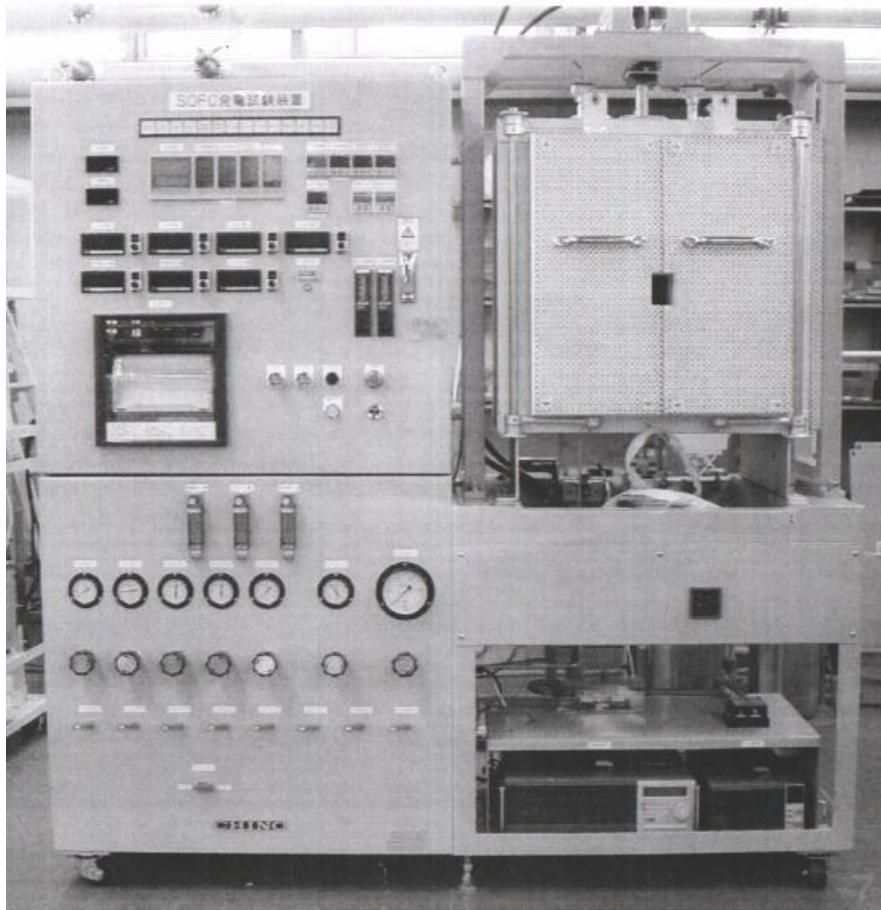


圖 6 CHINO 1kW SOFC 量測平台的設計

3.2 VRB 貯電應用技術研習

3.2.1 VRB 在日本的發展與現況

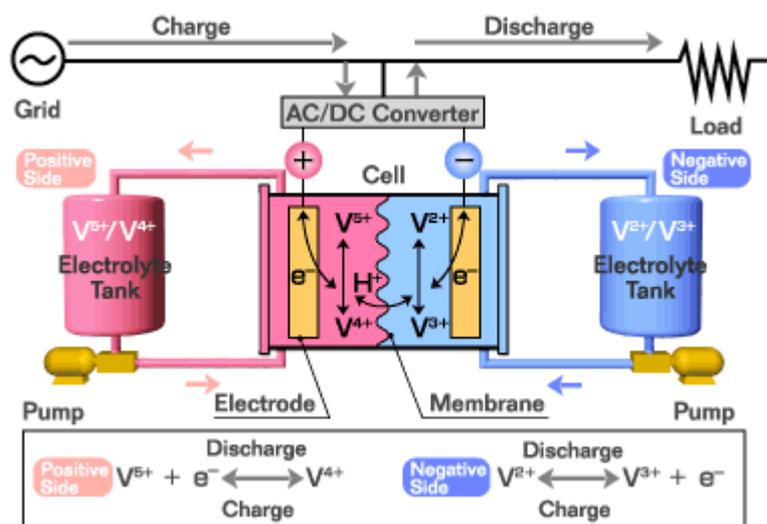


圖 7 鈦電池的工作原理

全鈦氧化還原液流電池(Vanadium Redox Battery，縮寫為 VRB)，是一種將電能貯在具有不同價態鈦離子硫酸電解液中的一種蓄電池，充電時正極電解液中的 V⁴⁺ 氧化成 V⁵⁺，負極電解液中的 V³⁺ 還原成 V²⁺，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鈦電池順利完成充電、放電和再充電。鈦電池的工作原理如圖 7 的說明。VRB 儲能系統的模組化特性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，如圖 8 的示意圖說明。

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 Demo 與 驗證，表 4 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，圖 9。該系統額定功率 4MW，最大功率 6MW，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 32MW。該系統在 3 年的時間裏實現迴圈 270,000 次，並成功實現儲能系統 SOC 的即時監測管理。

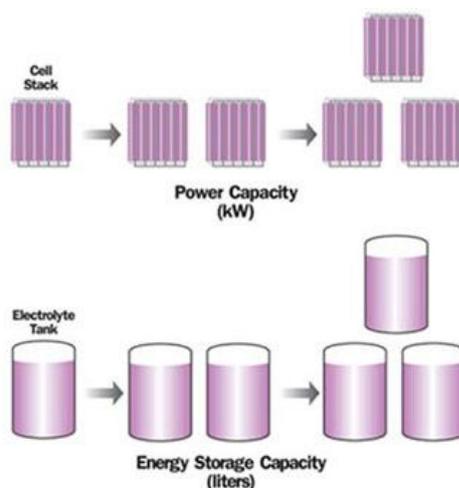


圖 8 VRB 儲電系統功率與儲電容量提昇示意圖

表 4 .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	1) UPS	3000kW x 1.5 sec	2001 年
	2) 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	太陽光電發電系統	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



圖 9 苫前町(Tomammae)風電場 VRB 儲能系統

3.2.2 硫球電力株式會社 VRB 技術發展

硫球電力株式會社成立 2005 年現有員工 18 人，是間小型的民營企業。主要的業務是鈦液流電池的設計製造與販售，其商品名為 VANASAVER。除了本所依研究計畫所規劃之進度於今年度(2010 年)引進 1 組功率 3KW 級，蓄電容量 10KWH 的蓄電池進行有關再生能源電力貯存技術研究之外。另有日本茨城大学 農工研究所、台灣工業技術研究院綠能所以及美國南西研究所各引進 VANASAVER 1 套，進行儲電性能之驗證。此次藉著赴日本研習機會，對該項技術進行瞭解，並與負責製造的技術人員針對購案內容進行意見交流，重要的內容包括：

1. 儲電成本議題：為配合研究需求在原有的設計上做了局部的變更，所以建置成本約為 400 萬日圓，約合新台幣約 160 萬元。以 10KWH 的儲量來計算，每度電的成本儲電成本高達 16 萬元/度，遠遠高於鋰鐵電池的 3 萬元/度，鉛酸電池 1 萬元/度。雖然在未量產之前成本單價過高在所難免，但經濟的考量是最重要因素，對於技術的引進成敗的關鍵之一。
2. 電解液是否需要補充及其維護議題：正常的自動操作模式為一密閉系統，電解液無流失的機會，並不需要補充。電解液在氮封的條件之下，其性能更為安定，硫球電力建議電解液貯存桶最好充氮封存。實務上如何進行，待交機之後請技術人員協助建置。
3. 零組件更換及備品議題：為使驗證操作順利請硫球電力準備備品，由於 VANASAVER 採模組化之設計，必要時將採整個模組的更換，所以暫時不需準備

極板、隔離膜等材料備品。硫球電力考慮在台灣設置維修技術中心或者分公司，進行東南亞的技術支援。

4. 採購案中有關容量試驗之議題：硫球電力對於蓄電容量的估算是以電解液的蓄電能力來估算，以 200ml 電解液可貯存 12wh 的電量做為基礎來計算，本次所採購的設備配置 200 公升電解液，估計蓄電量為 10kw h。然而，實際的蓄電容量需經過標準充放電程序的驗證，其中包括電池組飽滿狀態、工作電壓區間訂定的關鍵參數。此次的行程因尚未完成組裝而無法測試，測試的方法及作業程序已在此次的討論中溝通清楚，做為交機驗收的標準。
5. 單電池槽電壓之量測點預留議題：為便於對電池組的性能進行評估，單一電池的電壓監測記錄是必要的資訊，由於電池堆組裝完成後電壓的量測點設置困難。硫球電力允諾至少有一組的電池堆預設量測點供資料的擷取追蹤。
6. VANASAVER 有別於熟知的 VRB 系統，主要的關鍵技術在於電解液的製備技術。傳統的 VRB 其電解液為強腐蝕性的濃硫酸，概因 V_2O_5 在強酸溶液中方能完全解離。硫球電力的 VANASAVER 是先將 V_2O_5 轉化成 $VOSO_4 \cdot nH_2O$ 再溶解於 1.2~1.5 M 的硫酸溶液之中。因此，電解液 pH 值已接近中性。圖 10 所見即為 V_2O_5 及 $VOSO_4 \cdot nH_2O$ 結晶。



圖 10 V_2O_5 及硫酸鹽結晶

7. 小型 Demo 系統的參觀，圖 11 為 VANASAVER 電壓 14.7V 總共 10 Cell 電解液 200mL，蓄電容量為 12wh 的小型 Demo 系統。從小型 Demo 系統可以看到充放電的過程中電解液色澤的改變，並能對應釩氧化價數的變化。



圖 11 VANASAVER12wh 的小型 Demo 系統(上)及電解液色澤變化(下)

8. 由於工研院綠能所於 2009 年也向硫球電力引進了一套 1kw 的 VANASAVER 驗證系統，因而有機會參觀了其所購置的設備。但因電池組已組裝完成並進行測試中，所以無法知電池堆內部結構設計及其關鍵零組件。在此次的參訪過程中，有一天的是行程是在硫球電力公司位於琦玉縣的實驗室，因此對電池內部結構進行瞭解並有機會直接向技術開發部的手塚部長當面請益，獲得了許多寶貴的技术資料以及經驗。圖 12 為正進行組裝的 VANASAVER 電池堆的外觀，從外觀上來看，

與燃料電池或者水電解器的設計相近，但其流道的設計則與水電解器的設計較為相近，單電池之間電解液的流重採用外接管件方式。因此，電池堆的容積遠大於燃料電池，問題關鍵在於燃料電池的電解質不需流動，主要的流體是燃氣，因此流動容易不會如同 VRB 系統需外加的動力來驅動。



圖 12 VANASAVER 電池堆外觀

三、心得及建議

1. 從日本 SOFC 產業目前發展的情況發現，家庭用 CHP 的產品是政府推動的重心，逐漸進入較大型的示範驗證時期，考量燃料取得之便利性，因此以家庭用的天然瓦斯為主要的來源。台灣天然氣大部份自國外進口，2010 年統計自產天然氣只佔 3%，進口液化天然氣佔 97%。主要的用途是供應發電佔 80%、工業用佔 7%、民生用途 13%。因此，SOFC 發展成集中型的電廠或者家庭用途都與公司的業務有緊密的關連，所採用的燃料應以天然氣為主。
2. SOFC 半電池、單電池、短電池堆、長電池堆量測平台建置為建立評估技術及發展電池材料所必須的工作，本所 99 年度將建置完成半電池與單電池的量測平台，預計 100 年度進行短電池堆量測平台建置。目前所遭遇的困難是短電池堆無法在建置量測平台之際同時取得，可藉以進行驗證工作。除了電池堆之外，高溫爐的均溫控制能力是影響能否取得數據的重要關鍵，溫度分佈不均勻可能在昇溫過程即造成電池堆的破損，因此高溫爐的選擇是第一要務。日本 CHINO 公司在燃料電池領域有豐富的經驗，應是可供選擇合作的對象。
3. SOFC 評估技術的建立除了高溫爐之外，試驗數據的擷取亦是關鍵所在，經過此次的參觀及討論，對於量測平台與電池堆之間有關管件連結、負載電源線路以及電壓訊號線的佈置已有較為清楚的概念，近期之內即可進行短電池堆測試系統的初步設計，逐步來累積實務的經驗。原本所顧慮的 SOFC 種類、封裝與量測程序以及本所於低碳發電研究中心所規劃配置的空間限制等疑點亦獲得澄清。
4. 經由 CHINO 取得日製之 1~5KW SOFC 電池堆，並於建置量測平台時一併購置之期望恐難以達成，主要的原因是主要幾家的 SOFC 製造廠商對外販售需受到 NEDO 的限制，也需獲得共同合作的瓦斯公司同意(日本的瓦斯公司與電力公司為競爭對手)，目前只有 TOTO 尚有希望但亦不明確。
5. VRB 貯電系統即將於今年 11 月底交貨，在此次訪日行程中與硫球電力公司反應了該設備儲電成本過高的問題。也在設備驗收條件上做了充份的發明，相信此行

對於設備驗收及試運轉將有很大的助益。

6. 參觀硫球電力的實驗室獲得很大的收獲，一方面是硫球電力對於有實質往來的客戶採取更為開放的態度，一方面也感受到可藉著彼此合作的關係，進一步合作共同發展該項儲電技術的誠意。因此，在電池堆的設計概念、硬體架構等都提供具有實用價值的資訊，並針對我們所提出的要求，在電池堆設計及量測點的配置做了局部的變更。成功地達成技術交流，以及預留合作空間的目的。