

出國報告（出國類別：研究、實習）

赴瑞士 EPFL 大學 LENI 實驗室參與
SOFC 燃料電池研究實習報告

服務機關：行政院原子能委員會核能研究所

姓名職稱：江烈光(工程師)、蔡禹擎(副工程師)

派赴國家：瑞士

出國期間：96年9月29日至96年12月15日

報告日期：97年1月17日

摘要

本次奉派於9月29日至12月15日期間前往瑞士EPFL(Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne)大學的LENI實驗室(Laboratoire d'Énergétique Industrielle,其英文名稱為Energy Industrial Energy Systems Laboratory)，參與該實驗室之SOFC相關研究工作，就系統開發、電池堆測試、重組器開發與模擬分析進行合作研究。在系統開發方面，由核研所協助其完成測試站的軟體開發工作，並已投入其後續的電池堆測試工作。在電池堆測試方面，於實習期間適逢其進行Flame SOFC首次測試工作，因此得以瞭解其新型電池堆開發之進展與性能，其測試結果顯示，EPFL於大尺寸電池堆(200cm²)之設計有了突破性的發展。而在參與測試的過程中，所獲得的相關測試程序與參數則有助於未來所內開發大尺寸電池堆之參考。在重組器開發方面，LENI使用的觸媒為Haldor Topsoe公司製造的商用觸媒，其型號RKNGR。藉由LENI提供的觸媒測試數據與經驗，我方亦協助其開發適用於Flame SOFC測試平台之重組器，不過由於實習時程限制，其性能則有待於後續的測試。

除了系統面的觀摩，本次的實習合作亦包含模擬軟體經驗之交流。本次用於應力分析所使用的軟體為ABAQUS，在與LENI實驗室共同合作之下，將Matlab軟體與ABAQUS軟體整合成一自動化分析程式，日後可將此程式應用於MEA之分析。未來若搭配ring-on-ring實驗所得到之MEA數據，可據此反推陰極材料之相關參數。此外，本次亦利用Marc以及ABAQUS軟體，協助LENI進行“R design”電池堆之應力模擬分析，並且探討電池堆各元件間接觸面之接觸行為(contact behavior)以及其產生的應力影響。

除了在EPFL實習外，研習期間於10月18日與12月4日前往HTeramix公司進行1kW電池堆品保性能測試工作以及相關討論，以確保日後電池堆可適用於本所建置之1kW發電系統。

目 次

(頁碼)

摘要.....	i
圖 目 錄.....	iii
表 目 錄.....	iv
一、目的.....	1
二、過程.....	2
三、心得.....	4
四、建議事項.....	13

圖 目 錄

	頁碼
圖 1. LENI實驗室之系統熱交際效益分析流程	14
圖 2. Steam reforming重組器外型	15
圖 3. Ring-on-ring實驗結果與模擬結果驗證	16
圖 4. 自動化數值模擬結果與實驗比較圖	17
圖 5. Ring test自動化程式執行程序	18
圖 6. Ring test自動化程式操作流程	19
圖 7. 陰、陽極GDL與mica邊界設定	20
圖 8. 電池堆應力分佈圖 (a)Cathode-GDL;(b)MEA;(c)Anode-GDL	21
圖 9. HTceramix公司 1kW電池堆測試之I-V曲線	22

表 目 錄

表 1 至LENI實驗室工作實習項目	3
表 2 Flame SOFC單片電池堆測試結果.....	7
表 3 不同邊界條件之模擬結果.....	14
表 4 應力分析所採用之材料參數.....	14

一、目的

核研所目前積極發展固態氧化物燃料電池(Solid Oxide Fuel Cell, SOFC)相關計畫與技術研發，在電池片(MEA)製作、電池堆組裝測試、發電系統整合及數值模擬分析領域，皆已投入相當之經費與人力，並獲得豐碩成果。為進一步提升SOFC相關技術並瞭解歐洲國家技術開發現況與未來發展規劃，遂派員前往瑞士EPFL(Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne)科技大學LENI實驗室(Laboratoire d'Énergétique Industrielle, 其英文名稱為Energy Industrial Energy Systems Laboratory)，參與SOFC燃料電池研究實習，希冀經由實地參與研究，可以瞭解瑞士研究單位在SOFC燃料電池堆組裝、性能測試與模擬分析之研究現況，並蒐集其測試平台架構、操作程序以及相關研發技術資料。希望能對所內相關研發有所助益。另一方面，藉由研究合作的模式，希望能增進核研所與EPFL之間的合作關係，以利未來雙方作更進一步的交流作準備。

此外，核研所與 HTceramix 公司合作開發之 SOFC 1kW 發電系統，其中的 SOFC 電池堆由該公司所製作，在 EPFL 實習期間，將前往該公司進行實地參訪，並且參與其電池堆品保測試過程。除了學習其電池堆測試程序與技術之外，更可確保電池堆之測試品質。

二、過程

核研所於 2006 年 6 月 6~8 日舉行台灣固態氧化物燃料電池研討會，並邀請瑞士 EPFL 科技大學 LENI 實驗室之 SOFC 研發負責人 Dr. Jan Ver herle 與會，Dr. Jan 對於本所在 SOFC 燃料電池領域的研發成果表示肯定，並討論未來核研所與 EPFL 共同合作之相關議題；遂促成此次核研所派員至該實驗室參與研究工作之合作案，並建立日後雙方的合作管道。

赴瑞士 EPFL 科技大學 LENI 實驗室觀摩研習於 96 年 9 月 29 日至 96 年 12 月 15 日止，共 78 日。

9 月 29 日 ~ 9 月 30 日：

去程，由台北出發，經荷蘭阿姆斯特丹機場轉往瑞士日內瓦機場，轉搭火車抵達洛桑(Lausanne)車站，在 Dr. Jan 協助下於 EPFL 辦理報到，並拜會 LENI 實驗室負責人 Prof. Daniel FAVRAT。

10 月 1 日 ~ 12 月 14 日：

在 SOFC 燃料電池研發計畫負責人 Dr. Jan 安排下，於實習期間與 Dr. Francois、Prof. David、Mr. Araka、Mr. Zacharie、Mr. Nordahl 共同進行相關研究工作，其項目如表 1 所示：

10 月 18 日 與 12 月 4 日：

10 月 18 日前往 HTceramix 公司參與電池堆測試結果討論，由 Mr. Michele 報告現有之測試結果與可行之替代方案。12 月 4 日則再次前往 HTceramx 公司參與電池堆修補後之測試，測試結果顯示修補後之電池堆其性能更加惡化。在後續的討論中，HTceramix 公司則承諾製造一組新的電池堆予核研所。

12 月 14 日 ~ 12 月 15 日：

回程，從洛桑，經日內瓦機場，由英國希斯洛機場返回桃園國際機場。

表 1 至 LENI 實驗室工作實習項目

研究工作項目	協助人員
VALI 軟體之學習	Dr. Francois
2.5kW SOFC 測試站 BOP 分析	Prof. David
Ring-on-ring 模擬與實驗驗證以及自動化程式開發	Mr. Araka
R-design 電池堆結構應力分析	Mr. Araka
重組器設計	Mr. Araka、Mr. Zacharie、Mr. Nordahl
Flame SOFC 電池堆性能測試	Mr. Araka、Mr. Zacharie、Mr. Nordahl

三、心得

(一) 實習單位介紹

核研所目前積極發展 SOFC 燃料電池相關計畫與技術，亟思瞭解先進國家目前技術發展與未來研究發展規劃，此次奉派於 9 月 29 日至 12 月 15 日期間前往瑞士 EPFL 大學 LENI 實驗室，參與該實驗室之 SOFC 研究工作，就電池堆組裝與測試以及模擬分析進行合作研究，以瞭解瑞士學術單位在 SOFC 電池組發展現況及技術特長，希冀對於本所 SOFC 燃料電池相關技術發展有所助益。另核研所從 96 年開始與 HTceramix 公司合作開發 SOFC 1kW 發電系統，其 kW 級電池堆由該公司所製作，為確保電池堆之測試品質，於 10 月 18 日與 12 月 4 日前往 HTceramix 公司進行 1kW 電池堆品保性能測試。以下將針對這兩個主要的實習單位作更進一步的介紹。

1. 瑞士 EPFL 聯邦科技大學

瑞士 EPFL 聯邦科技大學 (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne) 為瑞士兩所聯邦大學之一，位於沃州聯邦(Canton des Vaud)的洛桑市(Lausanne)，其能源科技中心(Institute of Energy Science, ISE)由 9 個實驗室所組成，其中 LENI 實驗室(Industrial Energy Systems Laboratory)為發展 SOFC 的主要研究單位。該實驗室在 Prof. Daniel FAVRAT 領導下，主要研究領域有三大部分

(1) 能源整合與能源系統分析

進行能源分析以及其綜合應用，包含挾點技術(pinch technology)之分析、大型現場系統之整合、能源科技之整合、系統與製程之熱經濟效益與環境衝擊評估、系統模型建構與最佳化。目前其應用範圍包含：工業製程、電廠(含CO₂分離技術)、大都市之能源系統、廢棄物焚化作業、區域性的加熱網絡以及太陽能-燃料混合電廠等。

(2) 熱回收與再生能源轉換

研究冷凍系統的理論與實驗行為分析(包含熱傳、壓力降、油路傳送...等)以及密封壓縮機與擴張機之熱機循環效率，並將其應用於廢熱回收以及再生能源轉換(太陽能、生質能)。

(3) 引擎、燃料電池與其它反應系統

研究使用生質燃料之往復式燃氣引擎，包含CFD模擬汽缸的燃燒及流體運動以及低碳燃料用於汽車動力系統(如天然氣、氫氣)，並進一步應用於廢熱發電以減少廢氣污染。在燃料電池部分，主要以發展SOFC燃料電池為主，包含CFD流場模擬分析、電池堆測試、系統最佳化設計以及生物沼氣為燃料之燃料電池。SOFC燃料電池研發計畫負責人為Dr. Jan VAN HERLE，其研究團隊所設計之S-design電池堆，現由HTceramix公司進行功率提升與量產之開發。該實驗室亦參與歐盟“Real SOFC”(2004-2007)”計畫，其主要角色為負責研究與改善SOFC耐久性。此外，該實驗室亦參加Flame SOFC”(2005-2009)計畫，其計畫目標為發展 2.5kW的SOFC發電系統，其電池堆預計每一片cell的有效面積約 200 cm²，總計由 40 片電池片組成一個 2.5kW之電池堆。

2.HTeramix 公司

HTeramix公司則位於Yverdon Les Bains，該公司目前與義大利的SOFC power公司合夥，其主要量產線已轉移至義大利。HTceramix公司是由EPFL技轉成立，其成員大都來自EPFL。在前往HTceramix公司參觀以及進行電池堆測試討論時，主要由Mr. Michele進行接待；在參觀過程中，由其介紹該公司製造MEA之流程以及電池堆測試之相關設施。HTceramix公司所生產之MEA十分的輕薄，其厚度僅約 260 μ m左右，在常溫下極具彈性(可變形超過 2mm以上)。該公司目前的主力產品為HoTboxTM，該產品包含一組 500W S-design電池堆、一組陶瓷熱交換器以及一組採用部分氧化反應來重組天然氣的重組器。目前該公司除了積極尋找合作伙伴外，目前正與EPFL合作進行 2.5kW SOFC電池堆之開發。

(二)觀摩實習心得

在 EPFL 之實習，主要是參與 Dr. Jan 的 SOFC 研發團隊，進行電池堆測試與模擬之相關研究，實際參與工作項目為：(1)協助 LENI 進行電池堆測試站程式修改；(2)參與 Flame SOFC 電池堆測試；(3)學習 VALI 軟體；(4)協助 LENI 進行重組器設計；(5)不同厚度之陽極材料應力分析與測試數據比對；(6)R-design 電池堆元件應力模擬分析；(7)至 HTceramix 公司討論 1kW 電池堆測試與遞交事宜。(8)實驗室觀摩。茲簡述此次參加實習研究之各項心得重點：

1..協助 LENI 進行測試站程式修改：

本次實習不僅為單方面之學習，其中更包含合作開發之精神。由於Flame

SOFC計畫需要，LENI實驗室亟需架設兩組合適之測試站。雖然其儀器設備皆已採購，然而原本擔任程式撰寫之法籍工程師離職，因此導致程式(Labview)撰寫工作中斷。由於核研所具有kW級SOFC系統之開發經驗，因此得以協助其完成兩座測試站之監控軟體開發工作。在協助其撰寫程式的過程中，可以間接瞭解其電池堆測試程序；由於兩座測試站皆採用不同的資料擷取系統(分別為Agilent 34970A 與 Agilent 34980A)以及電子負載機(分別為HP 6060B 與 EPS EL 9196-200)，因此得以接觸與測試不同之儀控系統。對於未來核研所之系統與測試站儀器選用將更具彈性。

2..參與 Flame SOFC 電池堆測試：

LENI實驗室目前正參與Flame SOFC計畫，其主要工作為研發 2.5kW之電池堆。此一電池堆預計由 40 片cell構成，每一片的有效面積約 200 cm^2 。其單片裝的real stack 在 10/22 進行首次測試，其測試全程分為四階段進行：

- (1)第一階段：將電池堆溫度維持於 400°C 約兩小時，主要是將電池堆與氣密材料中的有機物燒掉(其氣密材料仍以Mica為主，僅部分地方有搭配玻璃陶瓷材料)。此一階段，陰陽極皆通入空氣，其進氣量為：Cathode = $35 \text{ c.c./min} \cdot \text{cm}^2$ 、Anode = $6 \text{ c.c./min} \cdot \text{cm}^2$ 。升溫速率則為 60°C/hr 。
- (2)第二階段：在高溫爐溫度達 650°C 時，將陽極端的空氣轉換為 N_2 。此一步驟為安全性的考量，因為在通入 H_2 前，需確保陽極端無 O_2 殘留。
- (3)第三階段：進一步提升爐溫至 800°C 。並於 750°C 時，將 N_2 轉換為含 10% H_2 的稀釋氣體，進行陽極側之還原程序。據其表示，其所需還原之NiO約莫 200g左右。隨著高溫爐溫度逐步提升至 800°C 時，其陰極流量增加至 $175 \text{ c.c./min} \cdot \text{cm}^2$ 。經還原後其OCV約為 1.05V，而陰陽極之入出口壓差約各為 12.59 mbar以及 11.07 mbar。
- (4)第四階段：在經過約3小時的還原後，將陽極端轉換為100% H_2 ($6 \text{ c.c./min} \cdot \text{cm}^2$)，並且開始進行放電之動作，其初步放電結果如表2所示。

表 2 Flame SOFC 單片電池堆測試結果

Oven = 800°C, PH-A = 650°C						
I(A)	V(Volt)	P(W)	Eff(%)	U _f (%)	電流密度 (A/cm ²)	燃料 LHV (W)
81.9	0.692	56.72	26.26	47.5	0.41	216

由於此一電池堆屬於其最新之研發成果，屬於其研發機密，因此無法進行電池堆構造研究。不過在參與其電池堆測試過程中，可以瞭解其電池堆由組裝完成、進行還原以及進行放電測試之流程與參數之選用，此數值可供未來所內大面積電池片之測試參數選用的參考。

3..學習 VALI 軟體：

VALI 軟體為 LENI 實驗室用來分析其系統熱經濟效益的軟體之一，該軟體為 Belsim 公司之產品，屬泛用型的能量分析與整合軟體，主要應用於核能電廠、一般電廠與化工等產業。其人機介面使用起來十分的便利，同時可由使用者建立所需的分析模組。

LENI 利用該軟體來進行 SOFC 系統面之相關分析，其中 SOFC 與重組器模組由 LENI 自行開發。其分析的方法為利用 VALI 軟體建立系統的熱力學模型(energy flow model)，藉以計算出在特定的自訂參數(decision variable)下，系統各部件能量的釋放與需求。其分析結果由 LENI 自行研發的軟體 EASY 來進行系統熱能與電能之最佳化(Heat and power integration model)，並作為設計熱交換器網絡的依據。而藉由統合 Energy flow model 以及 heat and power integration model 資訊，最後由 LENI 以 Matlab 程式撰寫的 Thermo-economic performance model 來計算出各元件的尺寸以及相對應的價格，該程式 LENI 稱之為 OSMOSE。整個系統熱經濟效益的分析流程則如圖 1 所示。

LENI 所採用的分析方法十分特別，在 VALI 軟體中，僅建構出系統大致的順序架構，並訂定出系統的可調變數與其範圍(例如重組器溫度、O/C 比、S/C 比、 λ 與燃料利用率)，並解出所需要的能量與質量平衡(此時尚未將熱交換器網絡相互連結)，接著再利用 EASY 軟體來進行熱交換器網絡的最佳化。在最佳化的過程中，LENI 研發出所謂的“Multi-Objective Optimizer”，來求解多目標的最佳化(效率與成本)。其求解過程(在所訂定的參數上下限)為自動化。經其分析結

果，採用 Steam reforming 會是較佳的系統方案。

所內目前之系統研發流程，則是確定整個BOP的流程(質流與熱流路徑皆先訂定)，然後針對部分變數進行調整以觀察系統效率狀況(試誤法)。而隨著系統建構與試驗的過程中，再逐步調整與改良分析參數(不過尚無法進行建構成本之分析)。與LENI的方法相較之下，其方式可較為有系統以及廣泛的分析不同組合方式之系統效率與建構成本。

4..協助 LENI 進行重組器設計：

利用CATIA繪圖軟體協助LENI設計一套steam reforming重組器(圖2)。由於其測試系統空間有限，因此必須在狹窄的空間中，將重組器本體以及其電熱系統結合在一起。目前已完成設計，不過LENI測試此一重組器的時間約在97年度的2月份，因此其效果亦僅能待其測試結果來判定。在協助其設計重組器的過程中，瞭解到LENI使用的觸媒為商用化觸媒(Haldor Topsoe公司製造 <http://www.topsoe.com/>)，其型號RKNGR，操作溫度為350-650°C，空間流速(hourly space velocity, HSV)為1500-2000 Nm³/m³/hr，單顆圓柱觸媒尺寸為4.3x4.3mm。對於CH₄重組而言，其最低可容許的S/C(Steam to carbon ratio)為0.25，若對於naphtha，其S/C要求則為1.5。若按照此規格，則重組2.5 L/min的biogas(1.5 L/min CH₄ + 1 L/min CO₂)搭配1.5 L/min的steam (共4 L/min混合氣)則需要 $4 \times 60 / 2000 = 120$ (mL)的觸媒量。不過經過LENI實際測試結果，其HSV可達12000 Nm³/m³/hr，因此實際僅需20 mL的觸媒(不過為了保險起見，實際採用50 mL的觸媒)。

5.不同厚度之陽極材料應力分析與測試數據比對：

因為Anode為多孔性陶瓷材料，受到加工過程影響，其厚度、孔隙度、強度皆有所不同，因此一般材料強度測試結果均會搭配Weibull statistic分析以繪製出材料之Probability of Failure曲線，為了能將MEA各層的材料參數定義清楚，EPFL於今年委託其學術伙伴(EMPA)採用ring-on-ring測試方法，代為測試三種陽極材料之Flexural strength(試片由HTceramix公司提供)，三種材料分別為(1)NiO-YSZ cermet, std composition(2) NiO-YSZ cermet, 20% YSZ 12um(3) NiO-YSZ cermet,

oxalate NiO，原本三種試片之厚度皆為250um(直徑36mm)，唯因擔心warped效應，因此將試片厚度改為500um以便實驗順利進行。研習期間利用ABAQUS-script撰寫模擬分析程式，求得Applied load與試片相對應力之關係曲線，經確認模擬結果與實驗曲線相當符合後，遂進一步協助LENI發展自動化計算程式，讓程式可針對不同厚度之試片自動進行建模與應力分析，並與實驗結果相互比對。開發此自動化計算程式可用於日後搭配MEA之實驗結果而反求得陰極材料之Elastic modulus。

(1)數值模擬與實驗結果驗證

上述NiO-YSZ cermet, std composition材料試片共有90片，30片做800⁰C高溫強度測試，另外60片分兩組做室溫強度測試，其中試片編號31~60該組的實驗結果較佳，因此以該組實驗結果與數值模擬做比對，因每個試片之厚度皆有所不同(456um~534um)，故每次均需要對數值模型做修改，以得到較佳之結果，其模擬與實驗結果比較如圖3所示，此數值模型與分析程式，經由文獻的比對以及實驗的對照，其結果均屬合理，日後應可用於不同厚度之模擬計算，並進一步用於發展自動化程式。

(2)自動化計算程式

因為每片試片之厚度、直徑皆有所差異，為了便於對每個試片進行模擬分析，故協助LENI發展ring-on-ring分析程式之自動化計算，目前自動化程式之功能包含：自動讀取實驗數據、依照試片尺寸建立分析程式、自動計算分析程式、自動繪製實驗數據與模擬數據曲線，此自動化計算需使用MATLAB 7.4、ABAQUS 6.7、Python 2.5、Acrobat軟體，整個操作程序如下：(1)執行MATLAB讀入實驗數據之結果以及各個試片尺寸，(2)讀入ABAQUS ring-on-ring分析程式，依照試片尺寸修改程式中之model，(3)執行Python程式，控制ABAQUS依序執行模擬分析程式計算應力、應變值，(4)再執行MATLAB讀入模擬分析結果，並利用Weibull function計算Probability of failure，(5)繪製Pdf格式之實驗與模擬Probability曲線，以供比對及驗證(如圖4所示，上方曲線為模擬結果曲線、下方則為實驗結果曲線)。整個操作程序及檔案執行檔名稱如圖5、6所示。目前已完成初步版本，將持續改進程式之缺點，日後可將程式應用於MEA之分析，搭配ring-on-ring實驗所得到之MEA數據，再輔以ABAQUS程式反推陰極材料參數。

6. “R design”電池堆元件應力模擬分析：

目前HTceramix公司設計的電池堆共有“Q design”、“S design”、“R design”以及最新Flame SOFC設計，其設計之電池堆皆由EPFL協助進行電池堆測試與流場模擬分析，其中“R design”電池堆採用counter flow設計，並以mica作為密封材料，MEA的陰、陽極面各有一層GDL(gas distribution layer)層作為氣體擴散及電性傳導接觸面，電池之power density=500mW/cm²，active surface area=50 cm²，operating temperature=750 °C，實習期間協助其進行應力模擬分析，此應力分析主要目的在探討電池堆各元件間接觸面之接觸行為(contact behavior)以及產生的應力影響，進行分析前先探討兩種不同數值分析之影響，分別為linear elastic analysis與large displacement analysis兩種分析方式，所謂的linear elastic analysis的contact指的是依照初始物體間的距離，判斷有無contact來運算，適合計算滑動量小的問題，而large displacement analysis是以非線性進行contact計算，會計算每一點在計算過程中接觸行的變化(適合大變形量使用)，因此它的計算量非常大，而電池堆的每層接觸面積又相當廣泛，計算起來就相當耗時，而當接觸的行為改變，即使收斂準則(contact tolerance)滿足，仍得重新疊代，因此除了計算耗時，亦不容易收斂，採用兩種分析方式所得到之結果非常相近(如表3所示)，因此可採用linear elastic analysis計算來節省運算時間。另外，在Mica與Anode/Cathode GDL的接觸邊界亦分別採用glue與touching兩種邊界(圖7)來做比較，其結果如表3所示，結果差距非常小，因為主要作用力來自normal方向。針對“R-design”電池堆分別進行(1)上端板不同荷重與施壓面積; (2)不同mica厚度; (3)glass與mica sealant; (4)曲形MEA 的模擬分析，分析所採用之材料參數如表4所示。模擬結果發現除了周圍邊緣處應力較大之外，在氣體進口處亦有較大應力產生(圖8)，這與電池堆實際拆裝後，其電池堆發生壞損的部分大都為氣體進口處相似。

另外，NiO-YSZ之Elastic modulus與Biaxial strength皆與材料本身孔隙率有關，當NiO-YSZ孔隙率由0%增加為23%則其Elastic modulus將由200GPa下降為110GPa，當NiO-YSZ還原成Ni-YSZ之後，因受到孔隙的增加，進而降低其Elastic modulus與Biaxial strength，如初始之孔隙度為23%，當NiO-YSZ還原為Ni-YSZ之後，其Elastic modulus與Shear modulus大約降低45%，因此利用NiO-YSZ材料參數代替MEA做模擬分析時，需考慮為室溫或高溫情況，室溫應採用NiO-YSZ的Elastic modulus，而高溫還原後則應採用Ni-YSZ的Elastic modulus作為分析，依

照NiO-YSZ試片的孔隙率，可透過文獻的公式求得材料之Elastic modulus與shear modulus(還原後的Ni-YSZ亦可利用公式求得孔隙率)。

7. 參與 HTceramix 公司 1kW 電池堆測試與相關問題討論：

於10/18日至位於Yverdon的HTceramix公司，商討1kW電池堆的測試結果與遞交事宜。在放電的過程中，HTc以兩個階段來進行：第一階段設定電池堆放電功率至600W，此時電流約為10A左右。在此一階段，電池堆的各個cluster電壓並無特別異常之處。在此一功率穩定操作1個小時後，開始進入第二階段的全功率放電。然而當放電功率接近1kW時，可以明顯看到Vcluster12的電壓有明顯降低的狀況。而也因為此一異常狀況，HTc將電池堆放電功率調整回600W。

在電池堆停機前的測試狀況，可發現在低電流(4A)的操作下，Vcluster12呈現不穩定的狀態，其數值跳動十分劇烈。圖中，由於電池片可能有破損，因此導致電壓值出現負值的狀況。HTc人員表示，按照其以往操作經驗，當電池片有破裂時，電池片呈現負值屬於正常現象。然而如圖10所示電壓在正值與負值之間跳動實屬不尋常。目前原因仍無法確定，唯有等待電池堆拆卸後才能進行進一步的分析。圖9則為該次測試的I-V曲線圖，圖中亦可發現Vcluster12在右端曲線的突降狀況。由於電池堆之品質測試未如預期，因此HTc公司針對此一電池堆提出三種補救方案，而後來實際執行之方案為：在現有電池堆上，堵住cluster 12的空氣通道，並進行電路連結之旁通(電流通路不經過cluster12)。

在12月4日之測試結果顯示，雖然cluster12之電路已被順利隔離，然而可能在電池堆維修過程中，位於中間部位的cluster 6與cluster 7因維修機具震動導致破裂。在實際測試時，可以發現此區位有氫氣內燃的狀況。而也因為此區破裂嚴重，故此區位之電壓降十分的嚴重。當放電電流設定為4A時，Vcluster6與Vcluster7的電壓已低於0.1V。而本次的測試結果亦證實此一電池堆已損壞，HTc將重新製作一組電池堆遞交核研所。

8. 實驗室觀摩：

LENI用於測試SOFC之實驗室空間並不大，然而此一實驗室卻可以同步進行6組電池堆之測試。該實驗室之流量控制器均位於排風罩，可有效減少多組流量控制器所需之空間。而其訊號接頭配置，皆整齊的整合至位於牆壁的機箱中。如

此不但可以多出許多可用之實驗空間，更有助於訊號接線之整理。

在實驗室安全方面，除了主排風罩用以排除電池堆測試時所排出的氫氣外。其實驗室中更配置小型與可攜式之CO與H₂之偵測器，以利實驗人員隨時偵測自己周遭的氣體環境。在實驗過程中，其工作人員亦重視個人安全防護，例如拆卸電池堆過程中，因為mica會剝落並產生小碎片，工作人員均會穿戴防塵口罩以避免吸入小碎片。

四、建議事項

- (一) EPFL 大學為歐洲知名 SOFC 研發機構，對於電池堆之組裝與相關測試有著 8 年以上的經驗。該機構目前參與歐盟的 Flame SOFC 等燃料電池的研發計畫，若能與其保持緊密的研究合作管道，不但能拓展核研所之相關國際能見度，更有助於核研所於 SOFC 領域之相關技術與國際接軌。而且透過與 EPFL 之持續合作，將更有機會與其他歐洲知名研究機構建立合作管道，並進一步提升所內相關技術。
- (二) 本次與 EPFL 之研究合作，建立了雙方未來進一步研究交流的良好關係。將來可與 EPFL 持續進行 SOFC 相關領域的資訊與人才交流，以增進彼此的技術合作層次。與核研所目前有合作計畫之 HTc 公司，目前與 Dantherm 公司合作開發 SOFC 系統，而 Dantherm 公司則負責其 BOP 元件的設計與規劃。未來與 HTc 公司持續合作的同時，亦可考慮建立與 Dantherm 公司的合作管道，以加強所內於 BOP 元件之開發能力。

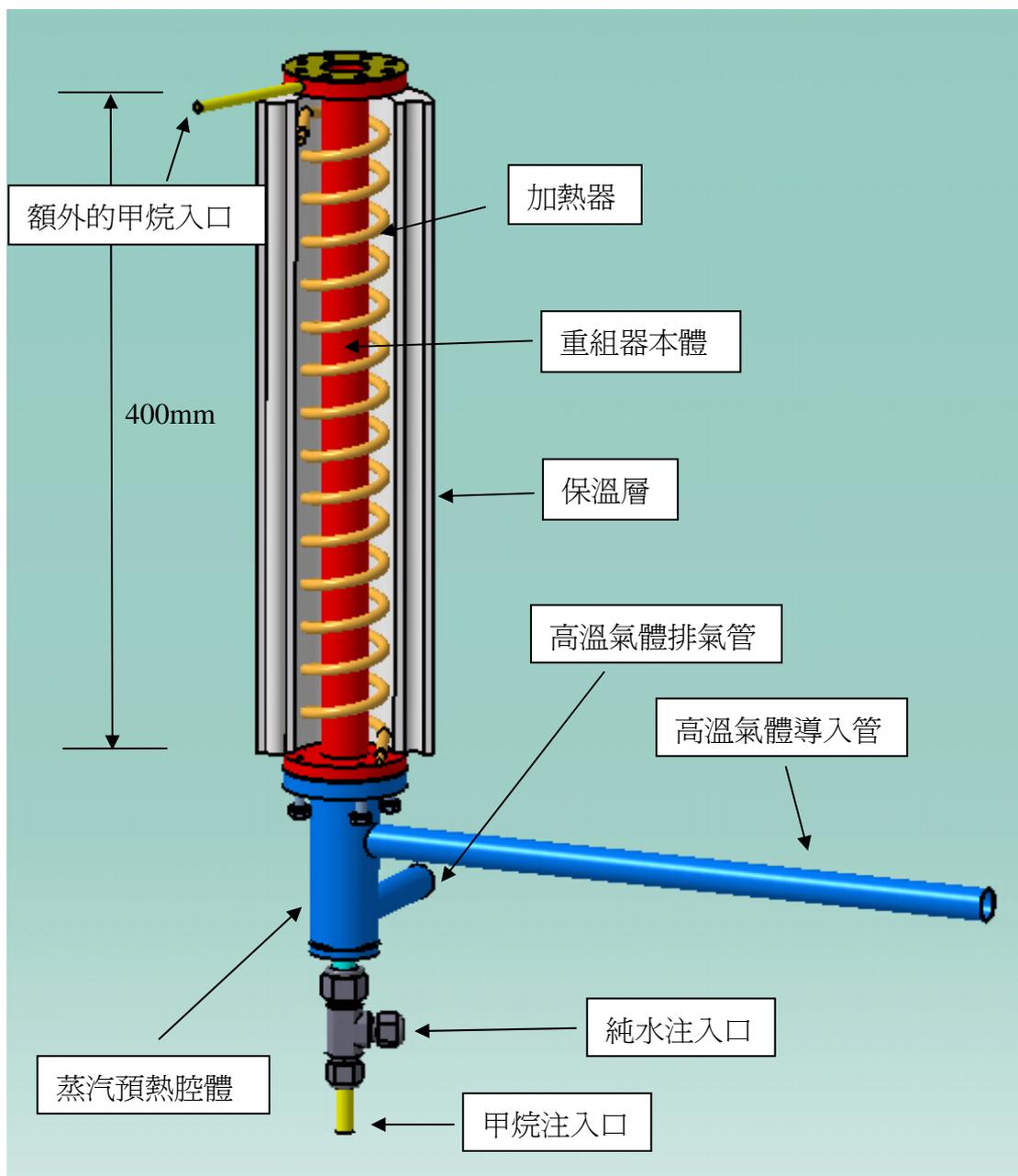


圖2.Steam reforming重組器外型

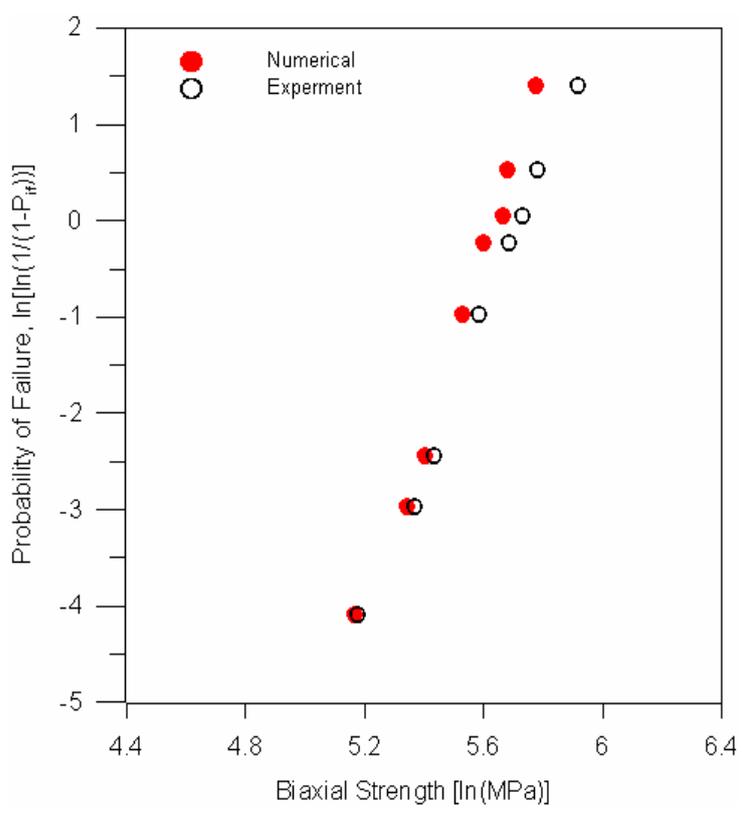
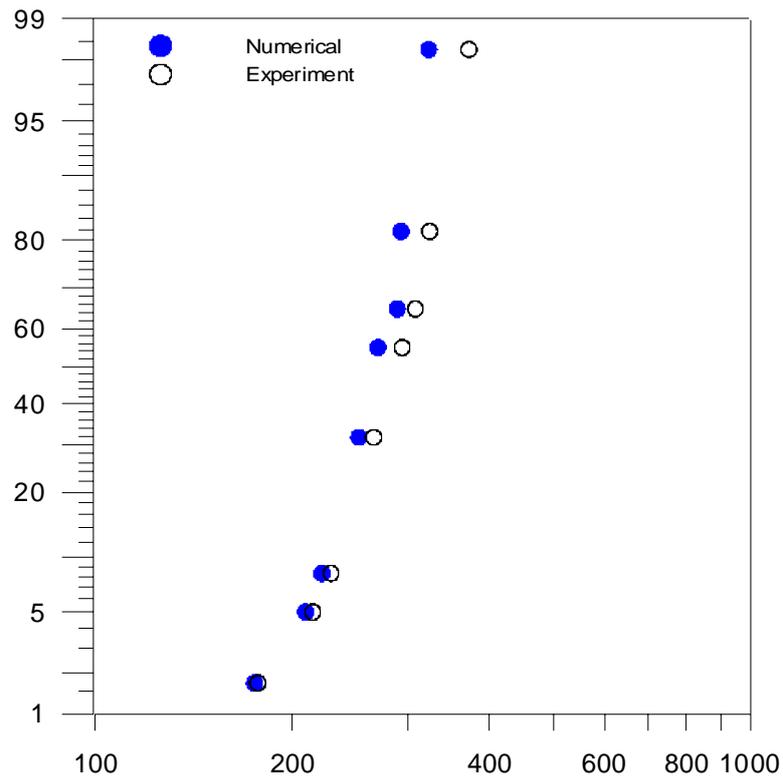


圖3. Ring-on-ring 實驗結果與模擬結果驗證

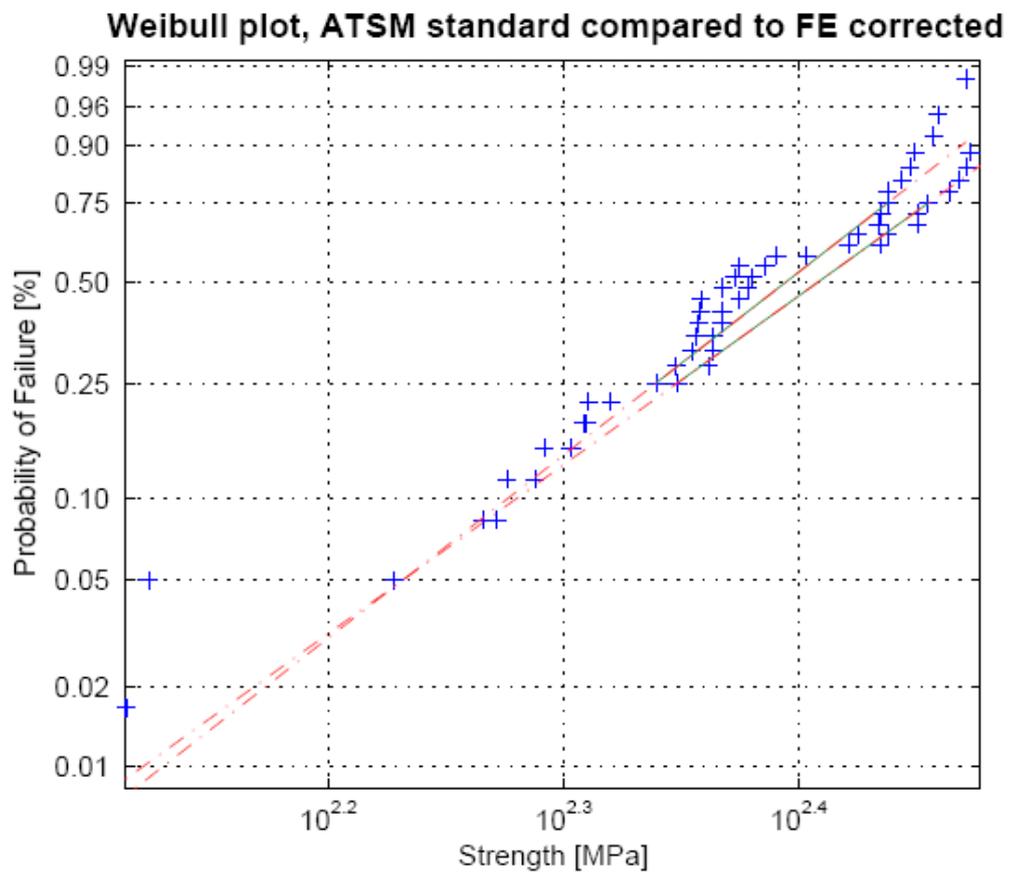


圖4.自動化數值模擬結果與實驗比較圖

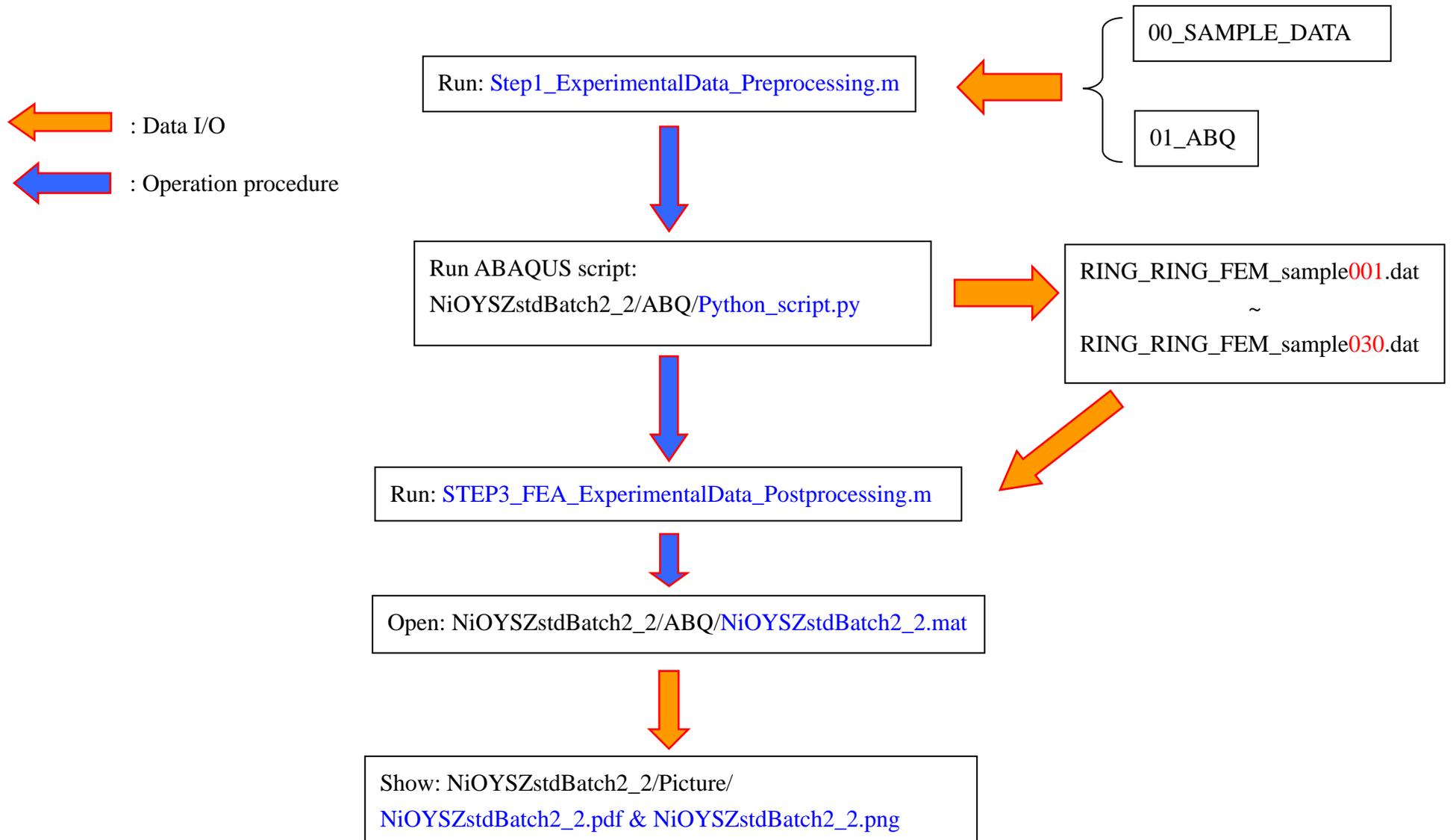


圖 5. Ring test 自動化程式執行程序

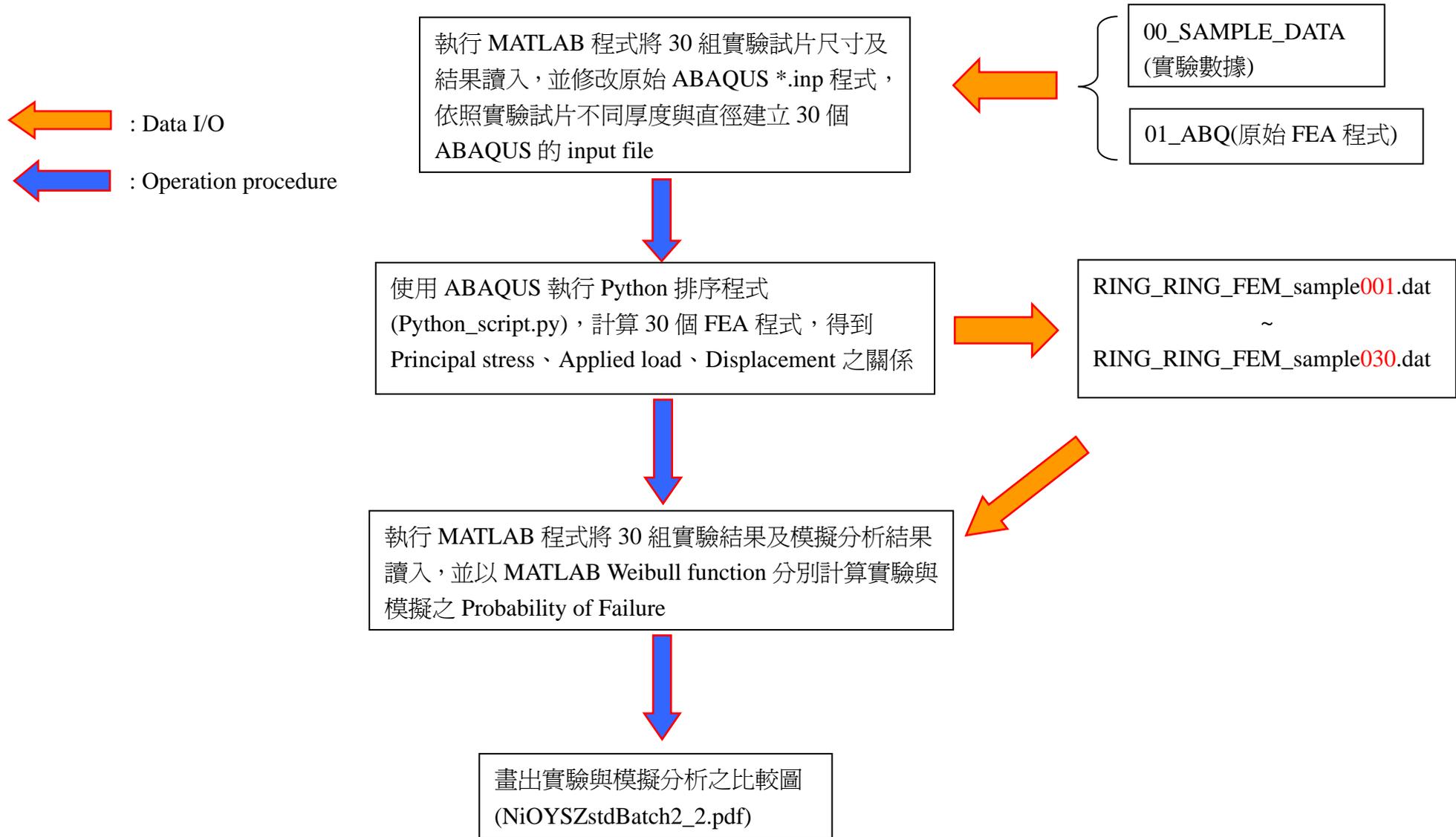


圖6. Ring test 自動化程式操作流程

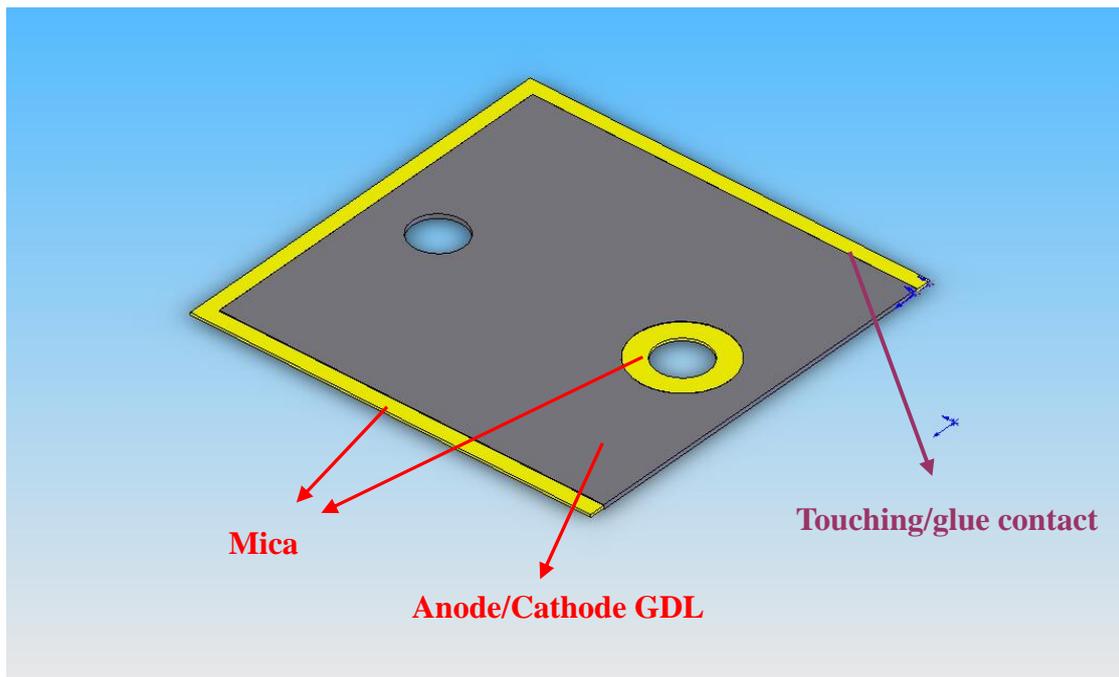
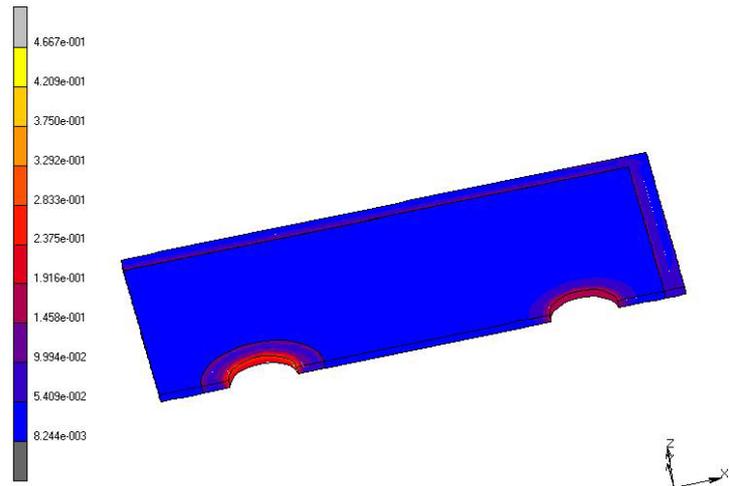
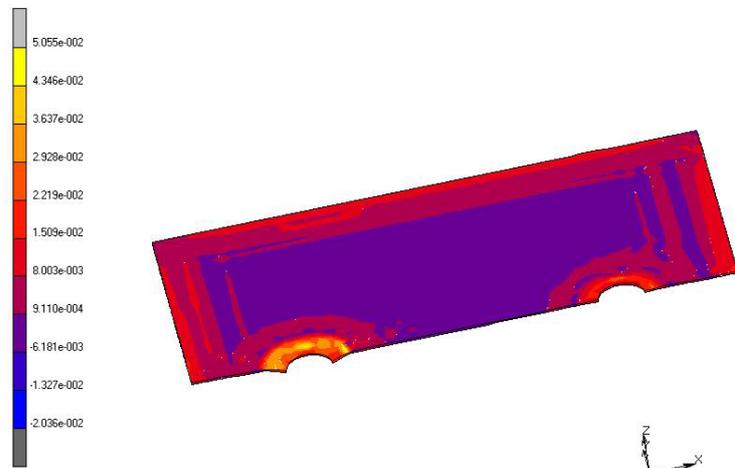


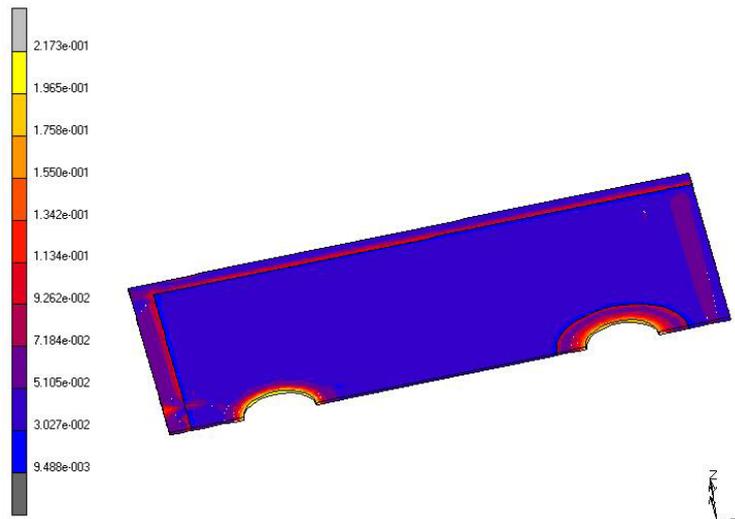
圖7.陰、陽極GDL與mica邊界設定



(a)



(b)



(c)

圖8.電池堆應力分佈圖 (a)Cathode-GDL;(b)MEA;(c)Anode-GDL

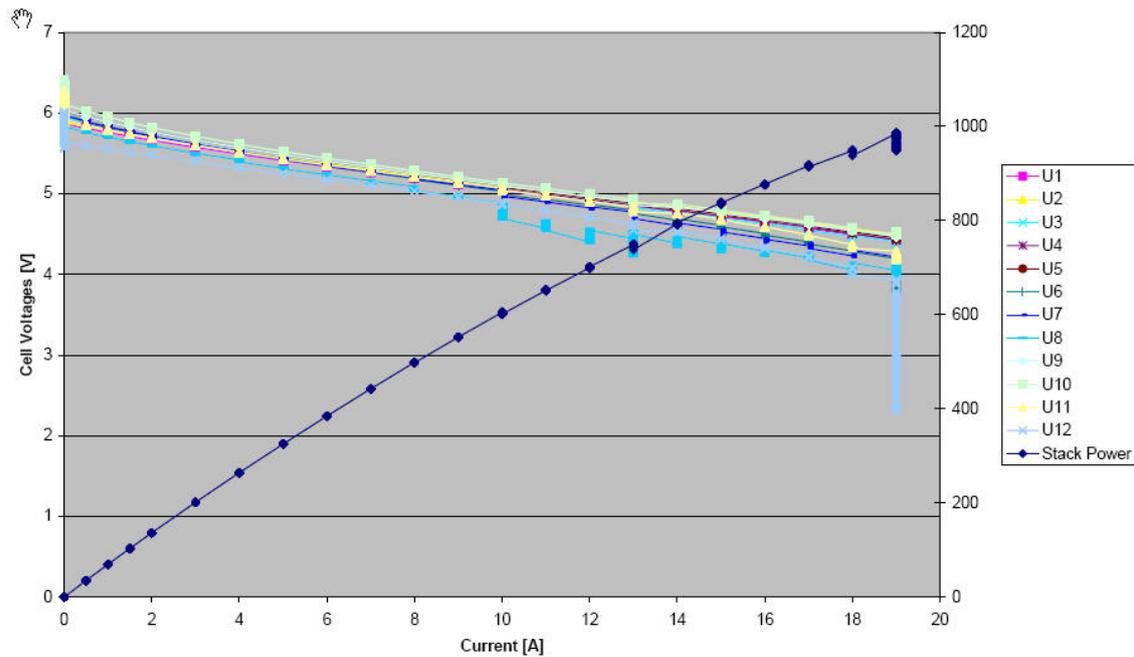


圖9. HTceramix公司1kW電池堆測試之I-V曲線

參考文獻

1. F. Palazzi, N. Autissier, F. Marechal, J. Van herle, "A methodology for thermo-economic modeling and optimization of SOFC system", Applied Thermal Engineering 27 (2007) 2703-2712
2. N. Autissier, F. Palazzi, F. Marechal, J. Van herle, D. Favrat, "Thermo-economic optimization of a solid oxide fuel cell, gas turbine hybrid system", proceedings of EFC 2005, December 14-16, 2005, Rome, Italy
3. J. Van herle, F. Marechal, S. Leuenberger, Y. Membrez, O. Bucheli, D. Favrat, "Process flow model of solid oxide fuel cell system supplied with sewage biogas", J. of Power Source 131 (2004) 127-141.
4. Material data sheet No.4046, ThyssenKrupp VDM company.
5. S. Habelitz, G. Carl, C. Russel, S. Thiel, "Mechanical properties of oriented mica glass ceramic" J. of Non-Crystalline Solids Vol. 220, P. 291-298, 1997
6. Narottam P. Bansal, Eleanor A. Gamble, "Crystallization kinetics of a solid oxide fuel cell seal glass by differential thermal analysis" J. of power sources Vol. 147, p.107-115, 2005