

出國報告（出國類別：實習）

## 赴美國加州大學聖地牙哥分校能源研究中心訪問研習公差報告

服務機關：核能研究所

姓名職稱：劉建國 副工程師

派赴國家：美國

出國期間：100年10月6日~100年11月22日

報告日期：100年12月22日

## 摘 要

核能研究所核子燃料及材料組副工程師劉建國博士於 100.10.06~100.11.22 期間奉派赴美國加州大學聖地牙哥分校能源研究中心(Center for Energy Research, University of California, San Diego)訪問研習，於該中心副主任 Dr. Nguyen Q. Minh 之實驗室研習固態氧化物燃料電池(Solid Oxide Fuel Cells, SOFCs)系統及可逆式固態氧化物燃料電池(Reversible Solid Oxide Fuel Cells, RSOFCs)等相關科技，並藉由訪問研究汲取國外燃料電池技術研發經驗。研習期間除與 Dr. Nguyen Q. Minh 進行技術及合作議題討論之外，並以“Sealing Materials for Solid Oxide Fuel Cells (SOFCs) and Current Status of R&D on SOFC and other Energy Technologies at Institute of Nuclear Energy Research (INER) in Taiwan”為題於能源研究中心演講，以及介紹所內新能源相關研發進展。訪問研習內容包括：1.參與 Dr. Nguyen Q. Minh 撰寫之 SOFC 系統專文討論及規劃撰寫 SOEC 評論文獻；2.研習直接燃料 SOFC 之技術；3.討論及規劃 RSOFC 電解質(Mixed Conducting Electrolyte)層厚度與輸入電功率關係之理論推導及實驗；4.參與 Dr. Nguyen Q. Minh 發明之新穎金屬雙極連接板討論。

## 目 次

	頁次
摘要 .....	i
一、目的 .....	1
二、過程 .....	2
三、心得 .....	11
四、建議事項 .....	22

## 圖目次

頁次

圖 1	洛杉磯國際機場一瞥(美國航空國內線登機門)。	3
圖 2	遠眺聖地牙哥市區。	3
圖 3	UCSD 校內一隅。	4
圖 4	UCSD 校內一隅。	4
圖 5	UCSD 之象徵吉祥物-海神(Triton)。	5
圖 6	UCSD 之代表吉祥物-太陽神(Sun God)。	6
圖 7	UCSD 之代表吉祥物-石熊(The Bear)。	7
圖 8	聖地牙哥市公共汽車及車站。	7
圖 9	聖地牙哥市路面電車及車站。	8
圖 10	UCSD 之能源研究中心所在-工程二館。	8
圖 11	UCSD 校園之著名地標-Geisel 圖書館。	10
圖 12	SOFC 電池單元產電反應示意圖。	11
圖 13	(A)SOFC；及(B)SOEC 之操作原理。	12
圖 14	能源研究中心電漿應用實驗室。	14
圖 15	能源研究中心雷射應用實驗室。	14
圖 16	2.8 MW 之 MCFC 發電站。	15
圖 17	聚光型太陽電池(CPV)發電站；6 kW(前)、22 kW(後)。	16
圖 18	UCSD 校內建築物屋頂裝設之太陽電池(Solar Tree)。	17
圖 19	30 kWh 鋰電池儲能系統。	17
圖 20	30 kWh 鋰電池儲能系統。(內部)	18
圖 21	熱能儲存設施(冷水槽(右)、熱交換塔(左))。	18
圖 22	Thermal Power Plant。	19
圖 23	Thermal Power Plant。(內部)。	19
圖 24	UCSD 校內之天然氣加氣站。	20
圖 25	天然氣公共汽車。	20
圖 26	校內天然氣公務車。	21
圖 27	校內電動公務車及充電站。	21

## 一、目的

高溫燃料電池發電技術與系統發展及應用計畫為核能研究所致力推動之能源國家型計畫，藉由開發高能源轉換效率及低碳排放之發電系統，例如可滿足分散型或定置型之平板式固態氧化物燃料電池(SOFC)發電系統，可於解決能源安全、降低碳足跡、創造產業等面向做出貢獻。核能研究所自 92 年始經年致力於 SOFC 發電系統之研發，所研製之相關材料、組裝技術及系統開發均已著有成效，目前研發重點為高效能發電系統之產出；然而由於 SOFC 可使用之燃料多元，例如使用含碳、氫之化石燃料，則其主要產物包括水及二氧化碳，雖然 SOFC 具有極高之化學能-電能轉換效率，但不能完全解決二氧化碳排放之問題。可逆式之固態氧化物燃料電池(RSOFC)，已於國際研發多年，其特點為除可發電之外，若導入二氧化碳及水，亦可行逆向反應以產生氫氣和一氧化碳，而此一合成氣(Syngas)又可做為 SOFC 之燃料。因此，RSOFC 不僅可單純做為一發電系統於用電尖峰時供電，於用電離峰時則可產氫，或可結合核電廠產生之高溫水汽用以製造氫氣等等；此外，尚可與 SOFC 發電系統結合，做為發電及生產儲能、化學原料之系統，同時達到零碳排放之效果。

上揭領域為核能研究所 SOFC 研發計畫可擴大研發的方向之一，然國內相關研究稀少，發電系統所使用之材料及設計較目前開發之非可逆式 SOFC 更為嚴峻及具挑戰性，因此派員赴國外研究機構研習。目前擔任美國加州大學聖地牙哥分校(UCSD)能源研究中心(CER)副主任之 Nguyen Q. Minh 博士，為前美國通用電氣公司燃料電池團隊計畫主持人，亦為 SOFC 研發領域之國際知名學者，研發 SOFC 之理論及實務經驗均極為豐富。其中可逆式固態氧化物燃料電池尤為 Dr. Nguyen Q. Minh 之研究專長，因此本次前往美國加州大學聖地牙哥分校能源研究中心接受 Dr. Nguyen Q. Minh 之指導及研習，不但可獲致第一手的研究心得，並可汲取 Dr. Nguyen Q. Minh 的豐富經驗，對於核能研究所後續的計畫研發工作亦期做出貢獻助益。

綜言之，本次前往美國加州大學聖地牙哥分校能源研究中心訪問研習之目的包括：

- (一) 研習 SOFCs 及 RSOFCs 等相關材料、系統科技。
- (二) 蒐集最新之 SOFCs 研究現況、研發策略及趨勢。
- (三) 藉由訪問研究汲取國外燃料電池技術研發經驗。
- (四) 藉由訪問研究強化本所與國際知名研究機構間之交流及合作。

## 二、過程

本次筆者於 100.10.06~100.11.22 期間為以訪問學者身份前往美國加州大學聖地牙哥分校能源研究中心研習，申請美國簽證種類為 J-1(學生及交換訪客簽證)，申請程序與一般 B-1(觀光/商務)簽證不同，因此筆者於本文有關訪問研習之過程將以行前準備、去程、研習期間及回程等節分別敘述如后：

### (一) 行前準備：(美國入境簽證申請)

- 100.06.29 完成申請美簽(B-1)網路填表(DS-160 表)及預約面談時間。
- 100.07.05 接獲美國加州大學聖地牙哥分校能源研究中心副主任 Dr. Nguyen Q. Minh 之訪問研習邀請函。
- 100.07.19 至美國在台協會(AIT)接受面談；被要求改申請 J-1 簽證，隨即聯繫美國加州大學聖地牙哥分校申請 J-1 簽證事宜。
- 100.07.27 備齊 J-1 簽證申請文件，並傳送美國加州大學聖地牙哥分校國際中心(International Center)申請 DS-2019 表。
- 100.08.25 接獲 DS-2019 表電子檔；繳交學生及交換訪客資訊系統費用(SEVIS fee)後，將相關文件傳送至美國在台協會(AIT)續辦簽證申請。
- 100.08.30 接獲快遞傳送之 DS-2019 表正本。
- 100.08.31 至美國在台協會(AIT)接受第二次面談；被要求補送回覆“4+1”問題正式信函，隨即聯繫 Dr. Nguyen Q. Minh 請求回覆信函。
- 100.09.08 接獲 Dr. Minh 之“4+1”問題回覆信函，隨即傳送至美國在台協會(AIT)續辦簽證申請。
- 100.09.26 美國在台協會(AIT)簽證審核系統顯示行政審核程序完成；隨即通知美國加州大學聖地牙哥分校國際中心(International Center)更新 DS-2019 表記載之起始日期。
- 100.09.27 繳交護照至美國在台協會(AIT)。
- 100.09.29 美國加州大學聖地牙哥分校國際中心(International Center)通知 DS-2019 表起始日期更改完成並由快遞送件。
- 100.09.30 接獲(快遞送件)美國在台協會(AIT)核發簽證及護照返還。
- 100.09.30 通知旅行社開立機票及安排行程。



圖 1 洛杉磯國際機場一瞥(美國航空國內線登機門)。

上述僅為美國入境簽證(J-1)之申請過程，其餘如核能研究所內審核及呈報原能會備查均依程序進行，時程於本文中則省略。

(二) 去程：

本次筆者奉派赴美訪問研習於 100.10.06 自桃園機場出發，去程相關之行程敘述如后：



圖 2 遠眺聖地牙哥市區。



圖 3 UCSD 校內一隅。



圖 4 UCSD 校內一隅。

10/06(四) 搭乘 18:40 之長榮航空 BR12 由桃園機場首途直飛洛杉磯國際機場，於 10/06 (四)15:35(當地時間)抵達，轉機美國航空國內線(如圖 1)至聖地牙哥。(以下為美國當地時間)

10/06(四) 搭乘 19:10 之美國航空 AA3073 由洛杉磯國際機場至聖地牙哥國際機



場，於 10/06(四)20:00 抵達，乘車前往預訂之旅館。

(三) 研習期間：

加州大學(University of California；簡稱 UC)創立於 1868 年，加州大學聖地牙哥分校(University of California, San Diego；簡稱 UCSD)則設立於 1960 年，位於聖地牙哥市(如圖 2)北方拉荷亞(La Jolla)地區，全校面積約 1,200 公頃，校區被 5 號洲際高速公路分割為東、西校區，主要建築及教學設施集中於西校區(如圖 3, 4)，UCSD 距離洛杉磯市約 2 小時車程，距離聖地牙哥市區則約 20 哩，學校的代表吉祥物為海神王(Triton)(如圖 5)，其他的吉祥物尚有太陽神(Sun God)、石熊(Bear)等(如圖 6, 7)。UCSD 雖然是一所相當年輕的學校，然而其學術排名卻相當傑出，依據 The U.S. News & World Report 2012 Best Colleges guidebook 之評比，加州大學聖地牙哥分校為全美公立大學中排名第八、全美前 280 排名大學中則名列第 37，其中又以海洋學及生醫領域之研究特別知名。UCSD 之預算經費及學生人數可參考 <http://www.ucsd.edu> 所公布之資料，於 2010 年度學校總收支為 29 億美元，2011 年秋季時學校總學生數近 30,000 人，而同季申請入學之新生數則超過 53,000 人。

本次筆者奉派前往美國加州大學聖地牙哥分校能源研究中心訪問研習，公差



圖 5 UCSD 之象徵吉祥物-海神(Triton)。



圖 6 UCSD 之代表吉祥物-太陽神(Sun God)。

期程自 100.10.06~100.11.22 止，共計 48 日。由於加州大學聖地牙哥分校並無提供短期訪問學者之住宿，且鄰近校區之出租公寓或旅館住宿價格昂貴，因此公差期間於聖地牙哥市除抵達後之第一週住宿旅館之外，後續透過加州大學聖地牙哥分校之網路資訊系統，尋得適當之寄宿家庭，做為公差期間之住宿方式。聖地牙哥市區並無捷運系統，地面大眾交通工具包括公共汽車(如圖 8)和路面電車(Trolley)(如圖 9)，公共汽車路線複雜但有許多轉乘站，路面電車則分為藍、綠及橘線，若購特定之票券可允許於前述 2 種交通運具之間自由轉乘。由聖地牙哥市至 UCSD 之間的交通除自行開車之外，唯一的選擇即為搭乘公共汽車，UCSD 校方與聖地牙哥市之公車業者簽訂契約，因此 UCSD 校內師生可免費搭乘特定公車路線往返校內通勤，至於校園內則因面積廣大，校內交通包括市區公車及校內公車，校內教職員憑證可免費搭乘。筆者住宿之寄宿家庭地點距離學校約末 30 分鐘之公車時程，因此每日往返住處及學校之間，多以公共汽車為交通工具。

能源研究中心(Center for Energy Research)位於校內之工程二館(如圖 10)，中心之簡介資料可參考 <http://cer.ucsd.edu>；訪問期間除於該館研習之外，並就近利用學校圖書館(如圖 11)資源，蒐集 SOFC, SOEC 及 RSOFC 等相關文獻研讀之外，亦定期與 Dr. Nguyen Q. Minh 及其博士後研究員討論 SOFC 及 RSOFC 相關技術



圖 7 UCSD 之代表吉祥物-石熊(The Bear)。

議題及交換意見，以及參與渠等撰寫之 SOFC 發電系統專文的閱讀及討論，此外，並參觀渠等之實驗室且瞭解其實驗程序。綜言之，訪問研習期間大要包括：

1. 訪問研習期間與 Dr. Nguyen Q. Minh 針對其撰寫之 SOFC 發電系統專文進行討論及意見交換，並規劃後續將撰寫固態氧化物電解池(SOEC)之評論專文。



圖 8 聖地牙哥市公共汽車及車站。



圖 9 聖地牙哥市路面電車及車站。

2. 訪問研習期間於 11/09/2011 於該校能源研究中心，以“Sealing Materials for Solid Oxide Fuel Cells (SOFCs) and Current Status of R&D on SOFC and other Energy Technologies at Institute of Nuclear Energy Research (INER) in Taiwan”為題進行演講，以及介紹所內相關新能源研發進展。



圖 10 UCSD 之能源研究中心所在-工程二館。

3. 訪問研習期間獲得 Dr. Nguyen Q. Minh 有關直接燃料 SOFC 之技術。渠等使用商購之陽極支撐型電池片(ASC type)的鈕釦電池(button cell)，利用 He 當作載氣(carrier gas)，於不需加水之直接氧化燃料處理模式，導入稀釋之乙醇(Ethanol)做為 SOFC 之燃料，可以獲得  $400 \text{ mW/cm}^2$  的產電功率密度，系統不需燃料重組器且電池片陽極無積碳問題，但是需先將電池片進行改質處理。相關實驗部份亦已獲得 Dr. Nguyen Q. Minh 同意，可於所內繼續進行直接燃料之 SOFC 電池堆或系統等相關的測試。
4. 訪問研習期間討論及規劃 RSOFC 電解質層厚度與輸入電功率關係之理論推導及實驗。摻雜 Ce 之電解質可有效降低 RSOFC(或 SOFC)的操作溫度(例如： $650^\circ\text{C}$ )，然而此等電解質除可傳導氧離子之外，其導電度亦大幅提升，因此稱為 Mixed Conducting Electrolyte。相關研究獲得 Dr. Nguyen Q. Minh 之指導，將以 K. L. Duncan 等人(*Journal of Power Sources*, **196(5)**, 2445-2451 (2011))之研究結果為基礎，重新導得一最適厚度之電解質層，使得 RSOFC 所需的輸入電流功率達到最小。
5. 訪問研習期間與 Dr. Nguyen Q. Minh 討論其發明之新穎金屬雙極連接板結構設計及運作方式，經由此一設計，可有效降低製造成本及解決接觸阻抗的問題



圖 11 UCSD 校園之著名地標-Geisel 圖書館。

6. 訪問研習期間參觀加州大學聖地牙哥分校校內相關替代及再生能源設施及電漿、雷射應用領域之實驗室。包括：(1)2.8 MW 的 MCFC 發電站，以 NG 為燃料，廠牌為 Fuel Cell Energy；(2)6 kW 和 22 kW 兩座 CPV 設施，附 2 軸追日裝置，廠牌為 Concentrix Solar；該校內總共有 1.02 MW 的太陽電池；(3)30 kWh 的 Li 電池儲電設施，用以貯存太陽電池產生之電力；(4)熱能貯存(Thermal energy storage)設施，用以供應校內熱水；(5)天然氣加氣站(校內公車使用天然氣及生質柴油)；(6)電動汽車充電站(校內公務車、電動車使用)。

(四) 回程：

本次筆者奉派赴美訪問研習期程結束於 100.11.22，因此自當地時間 11/20/2011 自聖地牙哥市返程，回程相關之行程敘述如后：

11/20(日) 搭乘 19:20 之美國航空 AA3102，(因雨延誤 50 分鐘)，由聖地牙哥國際機場至洛杉磯國際機場，於 11/20(日)20:35 抵達。

11/20(日) 搭乘 22:45 之長榮航空 BR15 由洛杉磯國際機場安返桃園國際機場，於 11/22(二)05:30(台北時間)抵達。

### 三、心得

- (一) 目前前往美國均需申辦簽證，美國在台協會(AIT)對於具有博士學位赴美參加會議或短期研究人員，審核過程相當嚴謹仔細，時程亦相當冗長，其中僅行政程序審核一項之標準時程即約需時 4~8 週，因此不論是申辦簽證種類之確認及文件之準備均需提早並前置作業，避免徒勞往返補送文件或重新申辦而延誤預定時程。例如赴美參加研討會而欲申辦 B-1 簽證，建議至少 2~4 個月之前置作業，而若申辦 J-1 簽證，因需獲得接待單位之同意，則所需文件往返時間更長，建議至少預留 4~6 個月的前置作業時間；此外，除需繳交簽證申請費及資料處理費之外，申辦 J-1 簽證尚需繳付學生及交換訪客資料系統處理費(SEVIS fee)，目前價格為美金 180 元。
- (二) 固態氧化物燃料電池(Solid Oxide Fuel Cell, SOFC)是一種操作於高溫(600~1000 °C)，透過固態組成之電解質材料，將氧化劑之氧於陰極催化為氧離子，透過電解質傳導，再於陽極與氫燃料結合為水，或與碳結合為碳氧化物，為一種直接由化學能轉變為電能之產電元件。SOFC 之結構設計又可分為管式(Tubular type)和平板式(Planar type)兩種結構，其發電原理示意如圖 12，然而平板式 SOFC(pSOFC)相較於管式 SOFC，具有製作成本低、高產電功率密度輸出，以及高產電效率，因此有取代管式 SOFC 的優勢。固態氧化物燃料電池(Solid Oxide Electrolysis

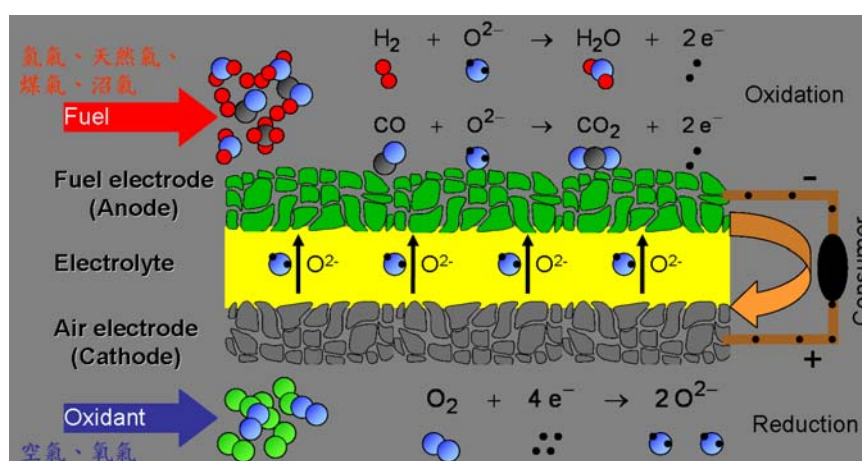


圖 12 SOFC 電池單元產電反應示意圖。

(參考自：H. Nabelek et al., "Fabrication of Solid Oxide Fuel Cells", 2006 Taiwan SOFC workshop.)

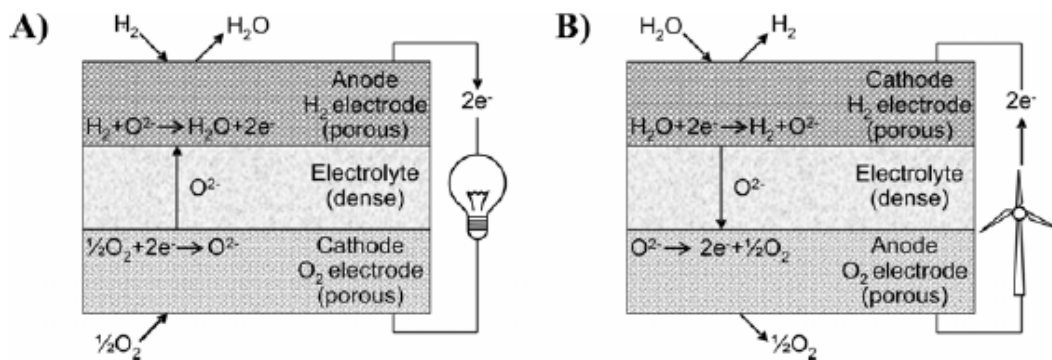


圖 13 (A)SOFC；及(B)SOEC 之操作原理。

(參考自：“Durability of Solid Oxide Electrolysis Cells for Hydrogen Production”, Risø-R-1608.)

Cell, SOEC)則可視為 SOFC 之逆向反應操作，SOFC 之反應為供給氧化劑及燃料 (通常為 H<sub>2</sub> 或 CO)以產生電子和水；而 SOEC 則為其逆反應，供給電流及高溫水汽，而產生純 H<sub>2</sub>，如圖 13，相較於傳統的水電解產氫方式，於相同之輸入電能條件，SOEC 可產出多出 40%之 H<sub>2</sub>，除了產氫可做為儲能應用之外，此外亦可產出 CO，H<sub>2</sub> 與 CO 之結合即為合成氣(Syngas)，可供 SOFC 燃料之用或另做為化工生產之原料。可逆式固態氧化物燃料電池(Reversible Solid Oxide Fuel Cell, RSOFC)則可說是結合了 SOFC 及 SOEC，既可行正向反應以產出電子，亦可行逆向反應產出氫或合成氣，然關鍵在於其陰極材料需在高溫氧化和還原氣氛條件下，均能保持穩定，同時亦必須具有相當良好的電子和離子傳導特性。但是如能以 SOFC 及 RSOFC 結合設計系統，則不但可做為發電及生產儲能、化學原料之系統，同時亦可能達到零碳排放之效果。

(三) Dr. Nguyen Q. Minh 目前為美國加州大學聖地牙哥分校能源研究中心副主任，之前曾經擔任美國通用電氣(GE)公司燃料電池團隊計畫主持人，亦為 SOFC 研發領域之國際知名專家及學者，專長為高溫燃料電池、陶瓷材料等，研發 SOFC 之理論及實務經驗均極為豐富。Dr. Nguyen Q. Minh 對於本所十分友好，此次前往研習受其多方殷實且傾囊之指導；研習期間向其請教對 SOFC 未來商業化可能性的看法，其表示噴射引擎從發明到商業化約經 100 年，因此認為技術發展至成熟不可能一蹴可幾，但必需要有進展；其並認為目前於 SOFC 存在 2 個關鍵議題，分別為密封(Sealing)及接觸(Contact)。當詢及管式(Tubular type)和平板式(Planar type)



- SOFC 的比較時，其表示管式的缺點在於效能低(Poor performance)和價格昂貴(Costly)，因此西屋公司已經停止發展，而通用電氣(GE)則有意重啓 SOFC 的開發。而論及平板式 SOFC 主要待解決之問題，Dr. Nguyen Q. Minh 則表示主要在於衰減率(Degradation)的控制、成本(Cost)的降低和封裝(Sealing)材料及技術改進。
- (四) 訪問研習期間，藉由討論及交換意見，獲得不少有關 SOFC 及 RSOFC 的技術知識，例如提到 SOFC 的 degradation 問題，目前瞭解可能原因是 Cr 毒化陰極及電極氧化導致阻抗增加等，然而 Dr. Nguyen Q. Minh 解釋主要的原因其實是 Contact area 在高溫環境隨時間改變所造成，電池片或介面層之陶瓷材料，長期處於高溫環境，造成顆粒產生團聚或粗化，導致接觸面積隨之改變。
- (五) 就正確且有效的研究思維而言，訪問研習期間亦獲益良多，例如討論直接乙醇 SOFC 的技術時，如考慮積碳和效率降低的問題，一般採用重組器(Reformer)先將燃料轉化，再導入 SOFC 中。依 Dr. Nguyen Q. Minh 而言，面對及考慮相同的問題時，渠等的作法是直接解決積碳和效率降低的因素，而非引入重組器，渠等將電池片改質處理，而後之實驗結果也出乎意料的好。討論過程帶給一個很有價值的啓發，就是 1.解決問題之前不需自設障礙，而將問題預想為充滿未知的困難，如此反而無助於解決問題；2.簡單的設計可以解決材料、物理極限的問題，複雜的設計或使用材料，以 SOFC 而言，反而會製造更多的問題。
- (六) 為有效降低 SOFC 操作溫度，例如於電解質中摻雜鈾(Cerium, Ce)，可以降低操作溫度，但 Ce 具導電性，如此之電解質為 Mixed Conducting Electrolyte，具有同時傳導電子和離子的作用。Dr. E. D. Wachsman 所指導的研究論文推導了一個數學模型(*Journal of Power Sources*, **196(5)**, 2445-2451 (2011))，用以模擬及預測 SOFC 之 OCV 和 Power density 與 Mixed Conducting Electrolyte 厚度的關係，電解質的厚度太薄造成 OCV 下降，產電功率密度受影響而降低；若太厚則增加 Ohmic loss，亦使得產電功率密度下降；因此，渠等研究結果顯示存在一個最佳的電解質厚度，可使獲得得最佳的效能，意即 SOFC 產出之功率密度最大。本次訪問研習期間針對此議題討論，並規劃出後續之研究方向，將以此結果為基礎，探討 RSOFC 或 SOEC 中電解質層厚度與輸入電流功率之關係，並欲驗證存在一最適當的電解質厚度，可使 RSOFC 或 SOEC 所需輸入電流密度達到最小。Dr. Nguyen

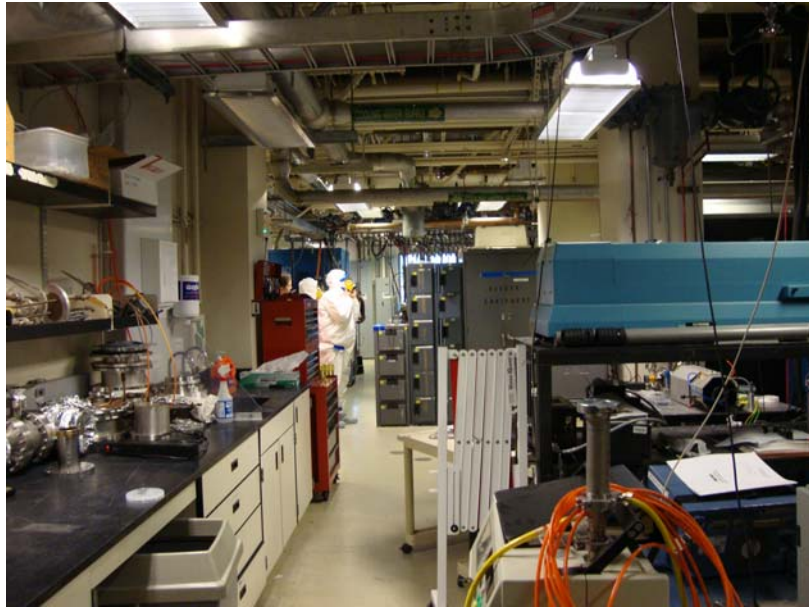


圖 14 能源研究中心電漿應用實驗室。(感謝 Dr. M. Tillack 同意拍攝)



圖 15 能源研究中心雷射應用實驗室。(感謝 Dr. M. Tillack 同意拍攝)。

Q. Minh 並提出將以不同厚度電解質之電池片做搭配，應用於 SOFC/RSOFC 發電系統。

(七) 訪問研習期間參觀了能源研究中心之相關實驗室，其中包括能源研究中心另一位副主任 Dr. Mark Tillack 之電漿及雷射應用實驗室，如圖 14, 15，渠等之實驗室空

間雖然相當擁擠，但人員操作及安全防護均相當注意，值得加以借鏡。此外，停留 UCSD 期間亦有機會參觀了工程二館之其他實驗室，個人認為核能研究所內的儀器設備與其相較，可能不遑多讓，但渠等人員對研究工作相當投入，尤其重視研究過程之討論，而非僅是埋頭苦幹，先有想法再有作法，其中實有值得學習之處。

(八) 本次訪問研習期間於 UCSD 之能源研究中心進行演講，除報告核能研究所於 SOFC 用封裝材料之研發成果之外，並簡介核能研究所致力於新能源領域之研發現況，諸如核能研究所於風能、太陽能、微電網等領域均著力甚多。停留 UCSD 期間，亦參觀了該校之新能源及替代能源相關設施，該校成立有 Sustainability Resource Center，不僅擔負教育、研究的工作，更實際負責校園內再生能源設施的設計、操作及維護，據渠等告知，目前 UCSD 使用之電力中 85% 為自產電力，這是相當令人印像深刻之數字，亦深覺渠等不僅研究或開發新能源，其本身已在力行應用新能源。UCSD 校內之再生能源設施包括有：

1. 一座 2.8 MW 的 MCFC power plant，如圖 16，以 NG 為燃料，廠牌為 Fuel Cell Energy；
2. 2.6 kW 和 22 kW 兩座 CPV 設施，如圖 17，附 2 軸追日裝置，廠牌為 Concentrix



圖 16 2.8 MW 之 MCFC 發電站。(感謝 Mr. D. Weil 同意拍攝)

- Solar，UCSD 校內總共有 1.02 MW 的 PV，如圖 18，；
3. 30 kWh 的 Li 電池貯電設施，如圖 19, 20，貯存 PV 電力；
  4. Thermal energy storage 設施，如圖 21-23，供應校內熱水；
  5. 天然氣加氣站(校內公車使用天然氣及生質柴油)，如圖 24-26；
  6. 電動汽車充電站(校內公務車、電動車使用)，如圖 27。
- (九) 本次奉派赴美短期訪問研習，過程堪稱平安順利，除感謝本所各級長官支持、協助及核准之外，並感謝美國加州大學聖地牙哥分校能源研究中心副主任 Dr. Nguyen Q. Minh 全力支持及給予訪問期間充分的協助；此外，亦非常感謝當地之台灣友人及學者，於停留聖地牙哥期間所給予之大力幫忙。



圖 17 聚光型太陽電池(CPV)發電站：6 kW(前)、22 kW(後)。  
(感謝 Mr. D. Weil 同意拍攝)



圖 18 UCSD 校內建築物屋頂裝設之太陽電池(Solar Tree)。  
(感謝 Mr. D. Weil 同意拍攝)



圖 19 30 kWh 鋰電池儲能系統。  
(感謝 Mr. D. Weil 同意拍攝)



圖 20 30 kWh 鋰電池儲能系統。(內部)  
(感謝 Mr. D. Weil 同意拍攝)



圖 21 熱能儲存設施(冷水槽(右)、熱交換塔(左))。  
(感謝 Mr. D. Weil 同意拍攝)



圖 22 Thermal Power Plant。(感謝 Mr. D. Weil 同意拍攝)



圖 23 Thermal Power Plant。(內部)(感謝 Mr. D. Weil 同意拍攝)



圖 24 UCSD 校內之天然氣加氣站。(感謝 Mr. D. Weil 同意拍攝)



圖 25 天然氣公共汽車。





圖 26 校內天然氣公務車。(感謝 Mr. D. Weil 同意拍攝)



圖 27 校內電動公務車及充電站。(感謝 Mr. D. Weil 同意拍攝)

#### 四、建議事項

經過此次訪問研習，除獲得許多技術知識方面的收穫之外，亦深切瞭解經由合作或可為達成共同目標之一捷徑。此外，針對赴美簽證申請及訪問研習後續可進行的研究議題及雙方合作事項建議如后：

- (一) 本次奉派赴美訪問研習，美簽申請相關事宜均親自為之，然若對於簽證種類及流程不熟習者，往往遭遇困難並耗費時日，倘未來赴美研習或參與會議仍需申請美簽，建議本所研支單位提供同仁相關之協助或諮詢，以利簽證獲准。
- (二) 學術研究之合作如 SOFC 系統專文出版前及 SOEC 評論論文投稿前之討論及意見交換建議持續進行。
- (三) RSOFC 電解質層厚度與輸入電功率關係之理論推導及實驗亦值得本所 SOFC 計畫進行。
- (四) 建議本所 SOFC 計畫針對直接燃料 SOFC 之相關實驗(電池堆或系統)進行及反應機制研究，其優點包括省略燃料重組器、有效降低成本及系統體積。
- (五) 新穎連接板結構設計可解決傳統連接板成本太高的問題，建議本所 SOFC 計畫進行引進新穎連接板之設計，並應用於電池堆及系統，此一雙方合作極具共利性。