

出國報告（出國類別：出國考察）

# 「考察美國 SOFC 發電系統技術發展」 出國報告

服務機關：經濟部能源局

姓名職稱：林局長全能、吳副組長志偉

出國地區：美國

出國期間：105 年 7 月 11 日至 7 月 15 日

報告期間：105 年 9 月 23 日

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：考察美國 SOFC 發電系統技術發展出國報告

頁數 29 含附件：是否

出國人員姓名 / 服務機關 / 單位 / 職稱 / 電話

林全能 / 經濟部能源局 / 局長 / (02) 27757704

吳志偉 / 經濟部能源局 / 電力組 / 副組長 / (02) 27757751

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：105 年 7 月 11 日~7 月 15 日

報告期間：105 年 9 月 23 日

出國地區：美國

分類號/關鍵詞：燃料電池、SOFC(Solid Oxide Fuel Cell)、燃氣複循環發電(Natural Gas Combined Cycle)

## 內容摘要

燃料電池(Fuel Cell)為未來具發展潛力的電力技術，而其中固態氧化物燃料電池(Solid Oxide Fuel Cell, SOFC)發電系統則為最適當之技術選項。美商 Bloom Energy 公司 (以下簡稱美商 BE 公司)之 SOFC 發電系統，為目前唯一可提供大型化商用 SOFC 發電系統之企業，在美國境內具大規模裝設與應用實績。

為深度瞭解 SOFC 發電系統之技術潛力與商轉模式，藉由訪問美商 BE 公司參訪行程，綜合了解美國能源產業目前發展技術能量與未來規劃，作為台灣未來推動產業發展政策之重要參考，且藉實際訪談以分享產業發展經驗，推動未來相關產業之合作。此外，藉由本次參訪與相關企業商轉案例實地勘察，以瞭解國外企業、公司設置 SOFC 發電系統之誘因、經濟效益與相關政府獎勵補助措施，作為日後國內推動分散式電力與相關政策研擬之參考，以助於提升國內企業自發電占比進而舒緩國內尖峰電力需求。

## 壹、目的

鑑於國內電力供應缺口問題日益嚴重，且非核家園之為重大能源政策，使得核能不延役；此外，新設置燃煤與燃氣電廠有環保議題不易推動，則需積極尋找新型替代能源技術來因應電力缺口問題。綜觀目前兼具高效能且潔淨之發電技術，固態氧化物燃料電池(Solid Oxide Fuel Cell, SOFC)發電系統則為最適當之技術選項。美商 Bloom Energy 公司 (以下簡稱美商 BE 公司)之 SOFC 發電系統，為目前唯一可提供大型化商用 SOFC 發電系統之企業，在美國境內具大規模裝設與應用實績。

為深度瞭解 SOFC 發電系統之技術潛力與商轉模式，本次組成燃料電池產業參訪團，由本局結合台電公司、工研院參訪美商 BE 公司參訪行程，綜合了解美國能源產業目前發展技術能量與未來規劃，作為台灣未來推動產業發展政策之重要參考，且藉實際訪談以分享產業發展經驗，推動未來相關產業之合作。此外，藉由本次參訪與相關企業商轉案例實地勘察，以瞭解國外企業、公司設置 SOFC 發電系統之誘因、節能減碳及經濟效益與相關政府獎勵補助措施，作為日後國內推動區域分散式電力與相關政策研擬之參考，協助國內工業區或是用電大戶建立穩定之自主電力來源，以助於提升國內企業自發電占比進而舒緩國內尖峰電力需求。

## 貳、行程規劃表與團員名冊

本次行程共計 5 日，主要安排美商 BE 公司及其大型運轉中電廠進行 SOFC 發電技術現況之交流與系統運轉實場之訪查。

日期	訪問對象	住宿地點
7/11(一)	啟程預計航班 7/11 長榮航空(BR18)台灣桃園國際機場出發 7/11 抵達舊金山國際機場	美國加州 桑尼維爾(Sunnyvale)
7/12(二)	1.拜會美國 Bloom Energy 公司總部，進行雙方研討會議 2.參訪 Yahoo 等企業之 SOFC 商轉電廠	美國加州 桑尼維爾 (Sunnyvale)
7/13(三)	7/13(三)美國航空(AA758)舊金山國際機場出發 7/13(三) 抵達費城國際機場 1.參訪美國 Bloom Energy 公司生產工廠 2.參訪 Delmarva Power 等商轉 SOFC 電廠	美國德拉瓦州 紐瓦克 (Newark)
7/14(四)   7/15(五)	回程預計航班 7/15(四) 長榮航空(BR31)紐約甘迺迪機場出發 7/16(五) 抵達台灣桃園國際機場	-

### 團員名冊:

序號	姓名	單位	職稱
1	Lin, Chuan-Neng 林全能	Bureau of Energy, Ministry of Economic Affairs 經濟部能源局	Director General 局長
2	Wu, Chih-Wei 吳志偉		Deputy Director 副組長
3	Chung, Nien-Mien 鍾年勉	Taiwan Power Research Institute/TPC 台電綜合研究所	Director Energy Research Laboratory, 能源研究室 主任
4	Hsu, Yen-Feng 許炎豐		Senior Electrical Research

序號	姓名	單位	職稱
			Engineer Electrical Power Research Laboratory 電力研究室 電機資深研究 專員
6	Wang, Ren-Chain 王人謙	Green Energy and Environment Research Laboratories, Industrial Technology Research Institute (GEL/ITRI) 工業技術研究院 綠能與環境研究所	Deputy General Director 副所長
7	Chang, Wen-Sheng 張文昇		Deputy Division Director 副組長

## 參、過程與紀要

依據行程安排，與美商 BE 公司針對 SOFC 發電系統技術之過程與紀要說明分述如下：

### 一、Bloom Energy 簡介：

美商 BE 公司之 SOFC 系統技術源於美國太空總署(NASA)。2001 年在 NASA 火星計畫完成階段性任務結束執行，研究團隊成員則籌備新公司延續研究能量。2002 年公司成立，命名為 Ion America，而 John Doerr 與 Kleiner Perkins 先生為該公司首批投資者，公司第一位執行長為 K.R. Sridhar 先生。2006 年公司由 Ion America 正式更名為 Bloom Energy，且於同年推出第一台 5 kW SOFC 系統(離型機)，在田納西大學進行為期 2 年運轉驗證。2008 年正式推出第一台 100 kW 商用型 SOFC 系統，裝設地點為 Google(裝設總量為 400 kW)位於加州聖塔克拉拉郡(Santa Clara Country)之總部。截至目前美商 BE 公司已裝置之商用型 SOFC 系統美國境內廠商包含：Google、eBay、Apple、AT&T、Walmart、YAHOO 等知名企業。目前公司總部設置於美國加州(California)桑尼維爾(Sunnyvale)，而該公司於美國東部德拉瓦州(Delmarva)紐華克(Newark)設置系統組裝生產工廠，公司執行長為 K.R. Sridhar 先生。

本次參訪美商 BE 公司為第二天行程，我方由能源局林局長率團，如圖 1 所示。而美商 BE 公司執行長 K.R. Sridhar 先生率領公司經營與技術團隊

人員出席討論會。會議中由美商 BE 公司人員介紹公司發展與系統技術摘要，分述如下：

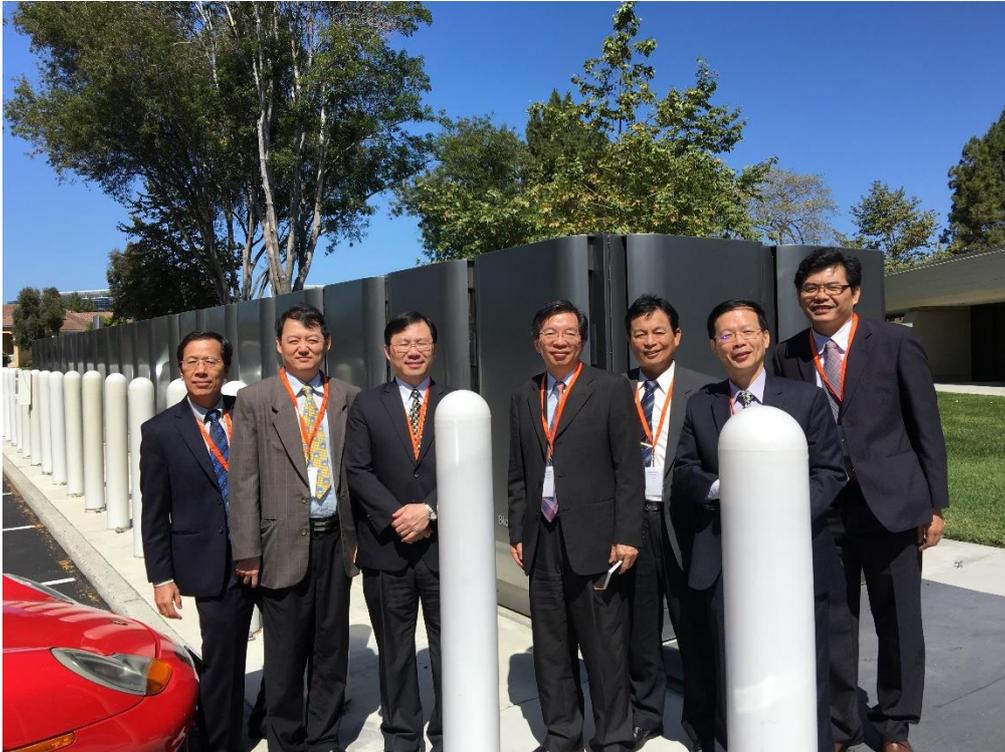


圖 1. 台美能源產業合作參訪團成員於美商 BE 總部合照

#### 1. 美商 BE 公司主要據點：

目前 BE 公司主要據點有三處，分別為位於美國西部加州(California)桑尼維爾(Sunnyvale)之企業總部、美國東部德拉瓦州(Delmarva)紐華克(Newark)之系統組裝生產工廠與位於印度 SOFC 系統運轉資訊中心。其中，位於桑尼維爾(Sunnyvale)之企業總部為該公司技術發展核心據點，擁有年產量 200 MW 之系統高階核心技術生產線，主要生產項目為 SOFC 電池片、電堆與熱箱製造與性能檢測等系統關鍵核心組件。但該產線為制式化自動化生產，不易機動性變更，無法因應短期產量作大幅度產能擴充。此外，

位於美東紐華克(Newark)之系統組裝生產工廠以人工產線為主，執行 SOFC 系統最終組裝生產，如：除硫器、DC/AC 轉換器、電力線、偵測器與外殼安裝作業，該產線每班年產量約 200 MW，由於為人工產線具機動性變更優勢，可依據產能需求快速擴充至 3 班。最後，位於印度之 SOFC 系統運轉資訊中心，由於該公司商轉模式中規定，系統無法由租用端或使用端之技術人員進行系統運轉操作或維護作業，一切運轉與維護等作業皆須由 BE 公司負責。則該據點主要工作項目為監控所有發電系統運轉現況，監控人員可依據系統運轉數據判讀系統妥善率，並依據系統異常數值提出系統組件維修或更換建議。

至 2016 年，美商 BE 公司 SOFC 發電系統已有約 200 MW 系統裝置容量實績，大部分用戶多使用於關鍵電力(critical power)的供應，統計用戶超過 100 家企業客戶(14 種行業)，參與超過 300 件計劃案，擁有系統相關專利超過 180 篇。目前單一最大系統裝置容量為美東德拉瓦州 Delmarva 電力公司之 30 MW 電廠，且仍有超過 85 MW 之發電系統訂單待生產建置。根據美商 BE 公司表示以 200 MW 發電系統之規模，由客戶端簽約下訂單到製造完成需約 6 個月，而系統安裝及運轉測試約需 3 個月。

## 2. 美商 BE 公司之系統簡介：

目前系統模組以 200-250kW 為主、近期將會推出 750 kW 供用戶選擇。所有系統模組，可依用戶電力需求可擴充至 MW 以上。以目前該公司主力

模組為 250kW SOFC 發電系統，主要規格與系統配置如圖 2 與表 1 所示。系統之使用燃料可為天然氣(Natural Gas, NG)或經純化處理後之生質氣(Biogas)，而系統發電平均效率為 55 %，且每 4~5 年需更換電堆。



圖 2. 250 kW SOFC 發電系統組件配置圖

表 1. 250 kW SOFC 發電系統規格表

技術規格說明

電力規格	250 kW, 480 V, 3-phase, 60 Hz
燃料	天然氣或生質氣（處理後），氣源壓力 10-18 psig (平均 15 psig)
發電效率	53 %~65 % (平均 55 %)
排放汙染物	NO <sub>x</sub> < 0.01 lbs/MWh；SO <sub>x</sub> 忽略 CO < 0.10 lbs/MWh；VOCs < 0.02 lbs/MWh

尺寸與重量	15' 8" × 8' 9" × 6' 10" 或 30' 4" × 4' 5" × 6' 10"
重量	13.7 tons
噪音	< 70 dBA @ 6 feet
廢氣	約 50 °C

美商 BE 公司 SOFC 發電系統已在美國境內多家知名企業具安裝與運轉實例，系統規模從百 kW 級至 MW 級均有，由美商 BE 公司提供幾座系統裝設案例實景，如圖 3 至圖 9 所示。

### Morgan Stanley New York (750 kW)

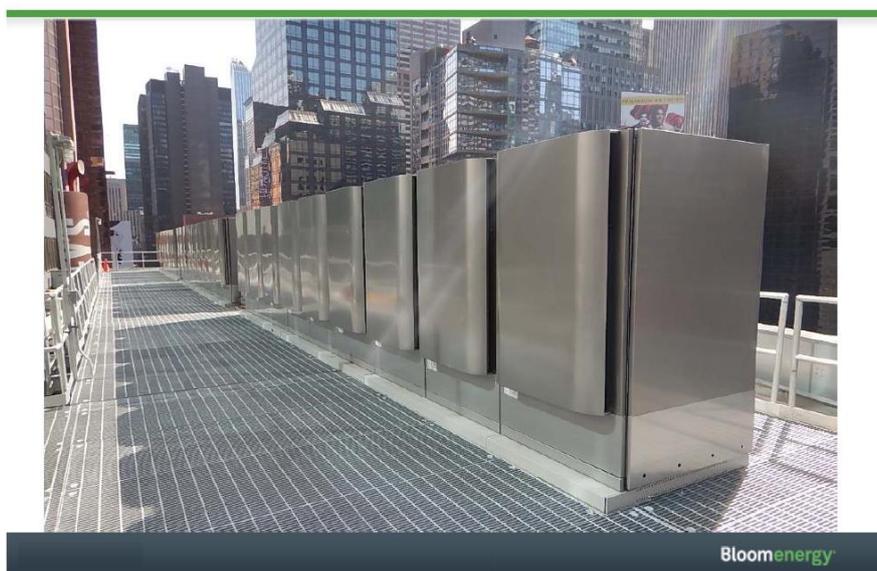


圖 3. 美商 Morgan Stanley 公司 750 kW SOFC 發電系統

## Apple Campus

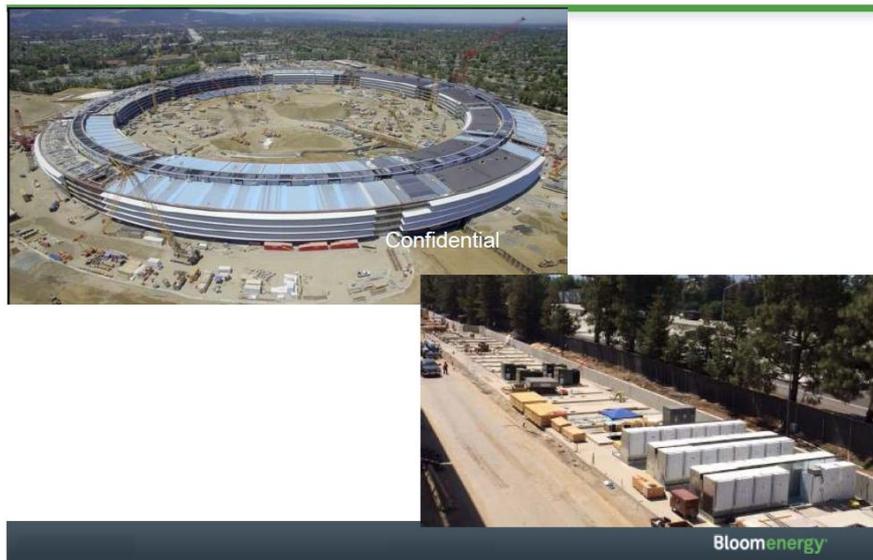


圖 4. 美商 Apple 總部 4 MW SOFC 發電系統

## Baker Hughes - San Jose (300kW)



圖 5. 美商 Baker Hughes 公司 300 kW SOFC 發電系統

## Kaiser – San Marcos (300kW)



Bloomenergy

圖 6. 美商 Kaiser 公司 300 kW SOFC 發電系統

## Life Tech (1MW + 5 UPMs)



Bloomenergy

圖 7. 美商 Life Tech 公司 1 MW+5 UPMs SOFC 發電系統

## Bank of America – 500kW Installation

---



Bloomenergy

圖 8. 美商 Bank of America 公司 500 kW SOFC 發電系統

## BD Biosciences –1000 kW Installation

---



Bloomenergy

圖 9. 美商 BD Biosciences 公司 1 MW SOFC 發電系統

若將美商 BE 公司 SOFC 發電技術與我國台電公司燃氣複循環發電 (Natural Gas Combined Cycle, 以下簡稱 NGCC) 技術相互比較, 如表 2 所示。在建廠時間方面, NGCC 電廠部分需經環境評估審查後再由行政院核准, 則建廠時程需耗費至少 6 年; 反觀, SOFC 發電系統, 從系統製造到設廠建置完成僅需費時 10~12 個月, 具有建廠快速之優勢。另外, 發電模式與模組擴充設計方面, NGCC 電廠均屬於 800~1000 MW 之大型裝置容量, 僅可作為集中式發電應用; 反觀, SOFC 發電系統由於具模組化擴充優勢, 則可適用於小型分散式或擴充為大型集中式電廠應用。再比較水資源耗損, 以我國 NGCC 電廠為例, 由於臨海且系統中具有原水回收機制, 則水耗損量可較少(尚無數值供參考)。但以美國為例, 內陸州郡之多數電廠因無臨海, 故系統冷卻需耗費大量水資源, NGCC 電廠每年耗水量約 210 萬加侖, 燃煤電廠每年耗水量約 2 億 9 千 1 百萬加侖。而 SOFC 發電系統則因無冷卻問題, 且系統重組反應之用水皆可經由水回收自給自足, 則幾乎不須耗用水。此外, 在環境污染部分, 由於 NGCC 技術已屬較潔淨發電技術, 則污染物排放與 SOFC 發電系統差異甚小。再者, 電力傳輸損耗比較方面, 由於 NGCC 為大型集中式電廠, 需倚賴電力線傳輸將電力分送至用戶端, 則長距離傳輸則亦有電力損耗問題, 以 104 年台電全系統電力傳輸損耗約 3.72 %; 而 SOFC 發電系統適用於小型分散式應用, 可就近裝設於用戶端, 則無

電力傳輸損耗問題。最後比較系統發電效率，由於 NGCC 技術已為成熟發電技術，近年各大廠 NGCC 技術發電效率已大幅改善提升，故兩者在發電效率差異已拉近，以通霄電廠配置日本三菱重工最新 NGCC 發電機組 MHI 501J 為例，其發電效率已可高達 62.1 %；反觀，美商 BE 公司 SOFC 發電系統最高發電效率可達 65 %，僅微幅領先約 3 %。

表 2.台電公司 NGCC 技術與美商 BE 公司 SOFC 發電技術比較表

技術項目 比較項目	台電燃氣電廠 (TPC NGCC) 	美商BE公司 SOFC發電系統 
建廠時間	環評通過後經行政院核准 6年內可商轉	10~12個月
發電模式	集中式	集中式或分散式
模組化擴充設計	目前為 800 MW ~ 1,000 MW 之間， 不做模組化設計	單模組容量 <b>250 kW</b> 具模組化彈性擴充優勢
水資源耗損	原水回收利用，無確切數據	不耗水
環境汙染	脫硫處理後燃氣，無SOx排放問題 處理後NOx約5 ppm CO <sub>2</sub> 排放平均值約685 lbs./MWh	無SOx排放 NOx<13.2 ppm (無前處理) CO <sub>2</sub> 排放平均值約756 lbs./MWh
電力傳輸損耗	3.72 % (104年全系統)	0 % 台電(分散式)
系統效率	通霄 (MHI 501 J) (Eff : <b>62.1%</b> Gross , <b>60.7%</b> Net)	Bloom Energy ES5 Max Eff: <b>65 %</b> Min Eff: <b>53 %</b> 平均 Eff: <b>55 %</b>

### 3. 美商 BE 公司 SOFC 系統燃料選擇與使用限制：

燃料對於系統發電性能與運轉穩定性影響甚鉅，由於美商 BE 公司 SOFC 發電系統建議使用燃料仍以天然氣為主，而天然氣內組成氣體成份在各國或各地區間可能有差異，則 BE 公司根據提供系統燃料選擇與限制建議如表

3 所示，包含燃料中碳氫化合物組成、天然氣外之雜項氣氦、汙染物、硫化物、熱值與含水量等限制說明，供用戶端來確認當地天然氣氣源是否有符合系統適用燃料規範。

表 3. SOFC 發電系統燃料使用建議與限制規格表

限制規格說明	
碳氫化合物組成	甲烷(CH <sub>4</sub> )--上限 85 %；乙烷(C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )--上限 12 %； 丙烷(C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )--上限 3.4 %；丁烷(C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )--上限 2 %； 5 價以上碳氫化合物--0.2 %
天然氣外之雜項 氣氦	氮氣(N <sub>2</sub> ) <3 %；氧氣(O <sub>2</sub> ) <0.2 %；二氧化碳(CO <sub>2</sub> ) <3 %； 氫氣(H <sub>2</sub> ) <1 %；一氧化碳(CO) <100 ppm
汙染物	矽氧烷<0.07 ppmV；砷<0.05 ppmV；汞<2 ppmV； 鎘<2 ppmV；鋅<2 ppmV；氮<5 ppmV；磷<2 ppmV； 鈉<2 ppmV；鹵素汙染物(如 CH <sub>3</sub> Cl, HCl 等)<1 ppm
硫化物	包含硫化氫(H <sub>2</sub> S)、四氫噻吩(THT)、二甲基硫醚(DMS)、二 甲基二硫(DMDS)與硫醇 含量危害等級區分： ≤ 7 ppmV--低度危害；≤11 ppmV--中度危害； ≤ 15 ppmV--高度危害；> 15 ppmV--不允許
熱值	天然氣熱值容忍區間為+/- 1%
含水量	天然氣中含水量<154 ppmV

#### 4. 美商 BE 公司系統發電成本說明：

SOFC 發電系統相較於一般傳統型發電系統技術如燃煤與燃氣發電等技術，在系統成本普遍給用戶之印象皆屬於較昂貴之發電技術。會議中，

美商 BE 公司則提出系統發電成本(美分/度)之估算提供給我方做為參考。該發電成本估算首先假設系統情境，情境條件如下所示：

- 系統裝置容量為 60 MW
- 系統運轉使用率 90 %
- 系統使用壽命 15 年
- 系統燃料為管路天然氣(LNG)

根據上述情境條件，則可計算經均攤 15 年後包含系統成本(Bloom Cost)系與燃料成本(Fuel Cost)5 之發電總成本(Total COE)，如表 4 所示。

表 4. SOFC 發電系統發電成本估算比較表

Project Cost in USD Cents/KWh			
Term	Bloom Cost	Fuel Cost	Total COE
15 Yr Avg	9.00	4.50	13.50
15 Yr Avg	9.00	5.00	14.00
15 Yr Avg	9.00	5.50	14.50
15 Yr Avg	9.00	6.00	15.00

其中，系統設備成本為固定成本不隨燃料成本有所變化，均為 9 美分/度；而燃料成本則會隨國際波動有所變化，表格中所羅列之變化為 4.5~6 美分/度。若台灣過去五年之天然氣價格變化約在 8.9~19 元/m<sup>3</sup>，估算 BE 公司 SOFC 發電系統來台設置可能之發電成本。假設條件為系統設備成本仍為 9 美分/度，而天然氣價格分別為 9、14 與 19 元/m<sup>3</sup>，系統發電效率為 55

%(即每天然氣可產生 5.5 度電)，匯率 1 美元=32.5(元)新台幣，每 MMBTU=28.3 m<sup>3</sup>，則估算結果如下所示。

➤ 天然氣價格 **NT 9 元/m<sup>3</sup>**

天然氣每 MMBTU 價格=9 × 28.3/32.5=7.84 (美元)約 8 美元

燃料成本=8/28.3/5.5=0.05 美元/度=5 美分/度

發電總成本=設備成本+燃料成本

$$=9+5=14 \text{ 美分/度}=0.14 \text{ 美元/度} \times 32.5 = \text{NT } 4.55 \text{ 元/度}$$

➤ 天然氣價格 **NT 14 元/m<sup>3</sup>**

天然氣每 MMBTU 價格=14 × 28.3/32.5=12.19 (美元)約 12 美元

燃料成本=12/28.3/5.5=0.078 美元/度=7.8 美分/度

發電總成本=設備成本+燃料成本

$$=14+7.8=21.8 \text{ 美分/度}=0.218 \text{ 美元/度} \times 32.5 = \text{NT } 7.09 \text{ 元/度}$$

➤ 天然氣價格 **NT 19 元/m<sup>3</sup>**

天然氣每 MMBTU 價格=19 × 28.3/32.5=16.54 (美元)約 16.5 美元

燃料成本=16.5/28.3/5.5=0.106 美元/度=10.6 美分/度

發電總成本=設備成本+燃料成本

$$=19+10.6=29.6 \text{ 美分/度}=0.296 \text{ 美元/度} \times 32.5 = \text{NT } 9.61 \text{ 元/度}$$

經估算結果，根據天然氣價格在 9~19 元/m<sup>3</sup> 變化，則發電總成本約為 NT 4.5~6.35 元/度，但此成本價格並未包含建廠土地、氣體管路、電力線管

路及周邊設備之成本。因此，若考量建置地點則現有電廠廠址，因具有天然氣管線與電力傳輸線設施則有其優勢。

## 5. 未來台灣導入之商業模式說明：

除前述系統總發電成本估算，美商 BE 公司亦提出用戶對於系統之商業模式選擇，供給我方做為參考。根據美商 BE 公司提出商業模式目前有三種方式供選擇，如表 5 所示，分別為系統買斷(CAPEX)模式、民營電廠(PPA)模式與租賃(Lease)模式，分述內如下所示：

### ➤ 系統買斷(CAPEX)模式：

該模式中，系統操作運轉與維護皆由美商 BE 公司承包，用戶無法參與作業。系統與場域建置由美商 BE 公司與用戶共同分擔。用戶需給付成本為一次性系統建置費用、每年系統運轉與維護費用與系統燃料費用。

### ➤ 民營電廠(PPA)模式：

該模式中，系統操作運轉與維護及系統與場域建置皆與 CAPEX 模式相同。用戶需給付成本為每個月固定給付給美商 BE 公司用於系統運轉與維護費用，但此費用會每年調升；此外，用戶需自行負擔系統總發電成本(即設備成本與燃料成本)。根據美商 BE 公司估算，選擇模式未來發電總成本會低於初期之系統建置成本。

### ➤ 租賃(Lease)模式：

該模式中，系統操作運轉與維護及系統與場域建置皆與 CAPEX 及 PPA 模式相同。用戶需給付成本與上述 PPA 模式有些許不同，差異為每個月固定給付給美商 BE 公司用於系統運轉與維護費用，此費用每個月給付金額固定，但會依據系統實際發電量造成給付金額有所差異；此外，用戶亦需自行負擔系統總發電成本(即設備成本與燃料成本)則與上述 PPA 模式相同，且選擇此模式亦會有未來發電總成本會低於初期之系統建置成本之效益。

表 5. 美商 BE 公司商業模式比較表

	<b>CAPEX</b>	<b>PPA</b>	<b>Lease</b>
Title	XYZ company	XYZ company or Bloom	XYZ company
<b>O&amp;M</b>	Bloom	Bloom	Bloom
<b>Install Process</b>	Bloom and Local partner	Bloom and Local partner	Bloom and Local partner
<b>Payment Terms</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ One Time</li> <li>✓ Annual for O&amp;M</li> <li>✓ Gas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Monthly with escalator (per year)</li> <li>✓ 9+Gas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Fixed Monthly</li> <li>✓ Variable on the usage</li> <li>✓ 6+3+Gas</li> </ul>
<b>Financial Expectation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ IRR</li> <li>✓ Cash Payment(years)</li> <li>✓ Avg COE(15 yrs)</li> </ul>	COE < current payment	COE < current payment
<b>Residual</b>	Disposed to 0	Return to title holder	Return to title holder

## 6. 議題研討：

總結本次主要討論議題，分述如下所示：

### (1)美商BE公司SOFC系統與傳統NGCC電廠之競爭優勢比較:

一般傳統NGCC 電廠是朝大容量方向設計，建廠時間較久，SOFC系統

則是在地化小容量之發電模組，佈建時間10~12 個月，其中SOFC系統電力傳輸損耗為零，是指在用戶端直接供電給負載，因此也沒有電力傳輸損耗，如果把SOFC 系統規劃為集中式電廠，需透過電網傳輸電力到用戶端，同樣有電力傳輸損耗。

#### (2)MW 級電廠預估建置成本與購買模式：

由於SOFC 技術的特殊性，短期內成本還難以下降，美國與各州政府基於鼓勵高科技產業與使用潔淨能源，訂定補助計畫。這一部分，在不同國家實難以互相比較。用戶如採取租用模式，運轉維護全部由BE 公司負責，除了定期付租金外，場地，天然氣與其管路，還有交流電升壓與併聯設備，都由用戶自籌。

#### (3)MW 級電廠預估建置場址面積需求

如果要興建中大型MW 級電廠，必須要有足夠之土地，BE 公司說明在Delmarva Power 公司燃料電池電廠，裝置容量27MW，佔地面積約為2 公頃，包括電壓升壓設備、開關及控制室。如果是1MW 的SOFC 系統，土地面積約120 平方公尺。

#### (4)美商BE 公司SOFC系統使用之天然氣成分限制

為使SOFC系統在高效率狀態下運作，美商BE公司SOFC系統有天然氣使用之成分限制，台灣地區的天然氣成分是否符合此要求，需進一步檢視。

#### (5)與電網併聯問題

至於與電網併聯問題，在美國須符合Rule 21 interconnection 與IEEE1547 標準，由於目前大部分用戶都使用SOFC系統來供應內部特定負載用電，屬於內線併聯，在台灣只要符合「電業供電線路裝置規則」與屋內線路裝置規則即可。如果是集中型電廠就要符合相關併網規定，類似「再生能源發電系統併聯技術要點」。

## 二、Delmarva 州 Red Lion Power 電廠參訪

本次行程第三天則安排參訪美商 Delmarva Power 公司，該公司為美商 Exelon 公司之子公司，主要事業為提供德拉瓦州(Delmarva)與馬里蘭州(Maryland)東岸之區域電力與天然氣供應。該公司於 2012 年與美商 BE 公司洽談 30 MW 商用型 SOFC 發電系統建置計畫，計畫中該發電系統除提供當地部分用戶用電，亦同時提供美商 BE 公司生產工廠用電。由於該公司屬於地區型電力公司，則美商 BE 公司商用型 SOFC 發電系統商轉應用經驗將可作為國內未來大型發電廠應用之借鏡。

行程中主要實地勘查美商 BE 公司 30 MW 商用型 SOFC 發電系統之商轉現況與場域設施，該發電系統於 2014 年建置完成，系統建置時間約費時 9 個月。而系統分別裝置於美商 Delmarva Power 公司兩處不同變電站據點，一為裝設於 Red Lion 變電站內，系統裝置容量為 27 MW；另一為裝設於 Brookside 變電站內，系統裝置容量為 3 MW。而此次選擇裝置容量較大

位於 Red Lion 變電站內之 27 MW SOFC 發電系統，該場域佔地面積約 5 英畝(約 2 公頃)，系統重要設備實景包含系統模組與變電設施，分列如下。



圖 10. 美商 Delmarva Power 公司 Red Lion 27 MW SOFC 發電系統地理位置



圖 11. 美商 Delmarva Power 公司 Red Lion 27 MW SOFC 發電系統實景 1



圖 12. 美商 Delmarva Power 公司 Red Lion 27 MW SOFC 發電系統實景 2



圖 13. 美商 Delmarva Power 公司 Red Lion 27 MW SOFC 發電系統實景 3



圖 14. 美商 Delmarva Power 公司 Red Lion 27 MW SOFC 發電系統變電設施

此外，該系統場域內相關設施配置，如圖 15 所示。場域內設施除前述

SOFC 發電系統模組與高壓轉換變電設施(High Voltage Transformers)外，亦有天然氣流量計(Gas Meter)與壓力調整(Regulator)設備、系統電力分散模組(Electrical Distribution Modules, EDM)、水源分散模組(Water Distribution Modules, WDM)與緊急電源關閉設施(Emergency Power Off, EPO)等。

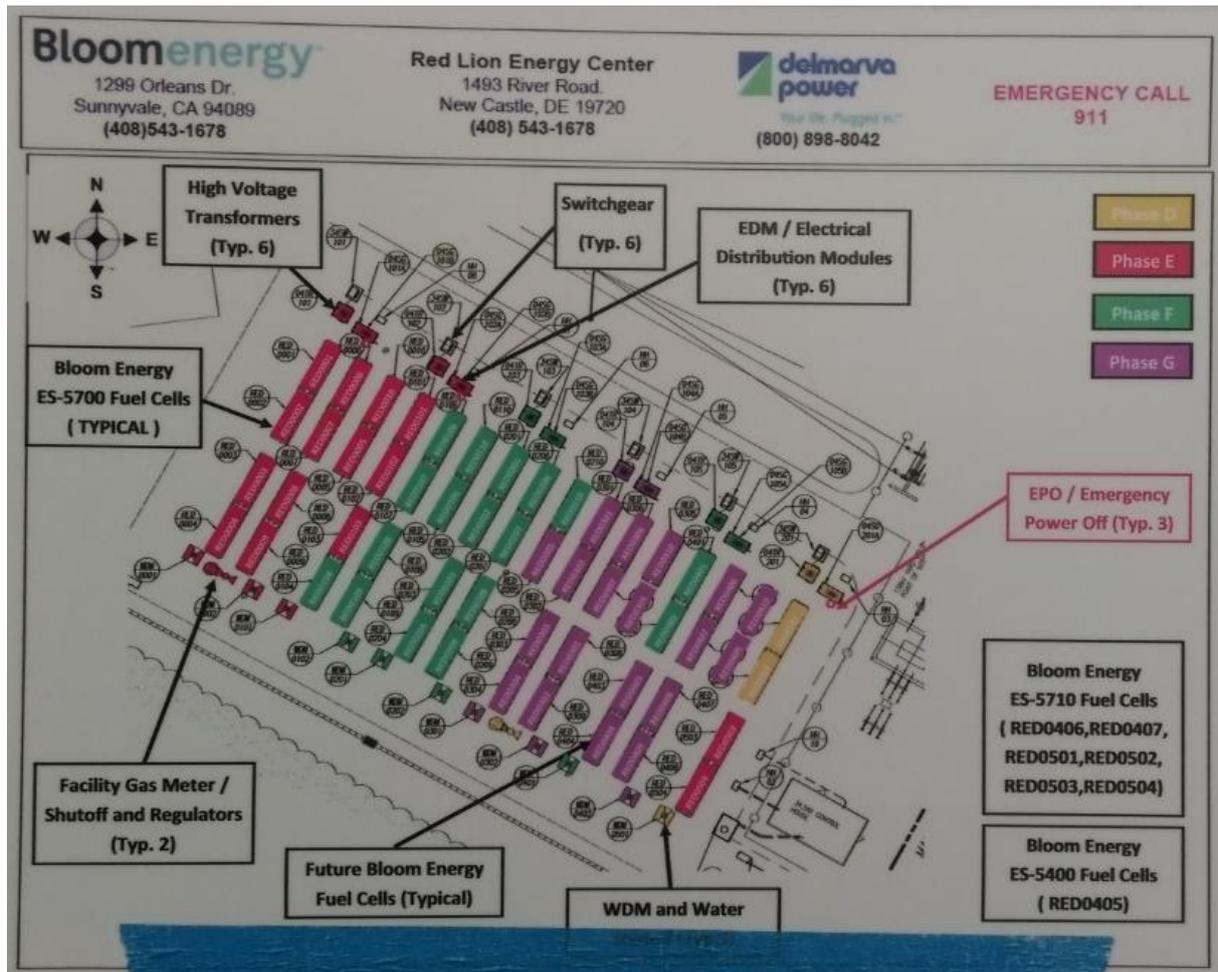


圖 15. 美商 Delmarva Power 公司 Red Lion SOFC 發電系統場域設施配置

#### 肆、心得與建議

1. SOFC 系統因發電效率高(平均 55%)、且較合適基載運轉，目前國際發展上傾向於中、大型基載發電運用。可利用天然氣(既有管線)或是結合當地生質料源(沼氣、氣化)作為料源。
2. 國內基載機組多採用燃煤及核能機組，分別有空氣污染及核廢料的議題，SOFC 的發電方式，主要為基載電力應用，未來在成本及技術再更進一步，將有潛力可以作為次世代基載電力來源主力。
3. 美商 BE 公司之 SOFC 發電裝置已進入商用階段，為了充裕我國夏季電力供應能力，此種 SOFC 發電裝置已大型化、商業化可列入評估之選項。惟須精細評估投資成本效益，效益涵蓋充裕電源、環保與產業發展等面向。而成本主要取決於引進之商業模式，涵蓋資金來源、建置場域取得與營運成本，皆需仔細計算。另 BE 公司目前產能僅 200 MW/年，不易在短期內大量增加產能，較缺乏大量生產之能量。
4. 台灣地狹人稠，依據所參訪之實際廠之占地面積估算，未來導入時所需之土地面積將會是優先須考量之議題，目前可朝國內台電公司之火力大型發電廠之剩餘空間，或變電所之剩餘空間作為建置廠址。亦可以鼓勵國內工業區或是用電大戶建立穩定之自主電力來源，特別是在雲端產業，以助於提升國內企業自備發電占比進而舒緩夏季尖峰電力需求。
5. 燃料電池須使用天然氣作為燃料料源，未來設置廠址尚須考量天然氣來

源、高壓饋線銜接便利性及環評等因素，另鑒於北部電力缺口較大，建議以北部地區為優先考量。

6. 台灣未來若引進裝置，以國內未來市場吸引 BE 及其他技術來台建置生產線或技術合作，特別是目前該公司產能及壓縮成本技術等尚待提升，未來可由打造臺灣為生產基地、進軍國際市場，可擴大產值，且降低發電成本方向下發展。