

出國報告（出國類別：洽公）

參加能源局組團訪問高溫型燃料電池(SOFC/MCFC) 大廠及實地參觀商轉系統

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：鍾年勉 能源室主任

許炎豐 資深研究專員

派赴國家：美國

出國期間：105 年 7 月 11 - 16 日

報告日期：105 年 9 月 5 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加能源局組團訪問高溫型燃料電池(SOFC/MCFC)大廠及實地
參觀商轉系統

頁數:38 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：

台灣電力公司/陳德隆/2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

鍾年勉/台灣電力公司/綜合研究所/主任/ 8078-2271

許炎豐/台灣電力公司/綜合研究所/電機研究專員/ 8078-2305

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習 5 其他(洽公)

出國期間：105 年 7 月 11 - 16 日

出國地區：美國

報告日期：105 年 9 月 05 日

分類/號目：

關鍵詞：燃料電池發電技術(Fuel Cell Technologies)、固態氧化物燃料電池(Solid Oxide Fuel Cell, SOFC)、分散型電源(Distributed Power Sources)、併網型逆變器(Grid-tie Inverter)、管線天然氣(Pipeline Natural Gas)、直接能源轉換裝置(Direct Energy Conversion Devices)

內容摘要：(二百至三百字)

1. 有鑑於國內傳統燃煤及燃氣發電廠新建不易，且國家能源政策已定調為核一、核二、核三不延役，核四不運轉，電力供應將日趨嚴峻。另一方面，考量目前國際發展趨勢，SOFC 發電技術日趨成熟，因此引進商用化 SOFC 國際大廠裝置，可能係彌補國內夏季電力缺口的評估備案之一。
2. 本參訪團由能源局林局長領隊，成員除本公司外尚包括工研院綠能所與高力公司，此行主要目的在於評估短期間(2017 年 7 月前)引進 200MW SOFC 電廠之技術可行性，還有引進之商業模式以及各項成本估計，以供提出政策性分析，俾利決策參考。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://open.nat.gov.tw/reportwork>)

目錄

行政院及所屬各機關出國報告提要.....	II
目錄.....	III
圖表目錄.....	IV
壹、參訪背景.....	1
貳、參訪規劃.....	2
2.1 參訪目的與行程規劃.....	2
2.2 SOFC 系統市場資訊.....	3
2.3 SOFC 在國際與國內發展現況.....	4
2.4 台灣產業政策支援.....	9
2.5 預期效益.....	11
參、任務過程.....	12
3.1 參訪美商 Bloom Energy 公司總部.....	12
3.2 參觀 BE 公司總部運轉中之燃料電池.....	21
3.3 參訪 Bloom Energy 公司組裝工廠.....	21
3.4 Delmarva Power 公司燃料電池發電廠.....	22
3.5 參訪 Fuel Cell Energy (FCE)公司.....	23
肆、心得與建議.....	25
附錄一 BE 公司簡報資料.....	27
附錄二 Fuel Cell Energy 公司簡報資料.....	31

圖表目錄

圖 2.1	美商 Fuel Cell Energy 公司之 670 MW SOFC 電力島規劃圖	7
圖 2.2	美商 GE 公司之 SOFC 發電系統安裝示意圖	7
圖 2.3	德商 sunfire 公司 25 kW SOFC 發電系統單元模組	9
圖 3.1	參訪全程示意圖	13
圖 3.2	BE 公司燃料電池模組之生產流程	14
圖 3.3	BE 公司燃料電池主力產品	15
圖 3.4	BE 公司主要客戶群	16
圖 3.5	討論議題面向	17
圖 3.6	解說人員說明 Energy Server 構造與特性	21
圖 3.7	Bloom Energy 公司組裝工廠	22
圖 3.8	Delmarva Power 公司燃料電池發電廠	23
圖 3.9	燃料電池發電廠主變壓器與開關	23
圖 3.10	參訪 Fuel Cell Energy (FCE) 公司	24
表 2.1	團員名單與所屬單位	3
表 2.2	出國行程表	3
表 2.3	日商三菱重工 250 kW 與 1.3 MW SOFC-MGT 規格比較	6
表 3.1	BE 公司參加會談人員	12
表 3.2	BE 公司 SOFC 系統設置實績	16
表 3.3	台灣代工公司與零組件供應項目	17
表 3.4	傳統發電系統與美商 BE 公司系統技術比較	19
表 3.5	SOFC 使用之 NG 燃料成分限制	20

壹、參訪背景

有鑑於國內電力供應日益吃緊，傳統燃煤及燃氣發電廠新建又因環保議題推動不易，且行政院能源政策，已定調為核一、核二、核三不延役，核四不運轉。爰此，國內電力供應更趨嚴峻；另國內雖積極推動再生能源設置，惟目前裝置容量及發電量占比仍低，考量目前國際發展趨勢，固態氧化物燃料電池(SOFC)發電系統已可作為企業公司大樓、大型資料處理中心基載供電裝置及 30MW 集中型發電廠，若推動國內設置，除可提供企業自主電力需求，亦將可有效降低夏季尖峰負載。因此引進國際大廠商用化 SOFC，係充裕國內電力供應的可能備案之一。

美商 Bloom Energy (BE) 為 SOFC 知名大廠，在全球已有超過 200 MW 之設置實績，台灣有零組件製造公司，憑著優異的代工技術，搶進美商 BE 公司之 SOFC 系統組件供應鏈，協助其部分元件的設計與製造等代工服務。爰此，能源局遂於本年 6 月 21 日下午 3 時召開參訪 Bloom Energy 籌組會議，並邀請本公司出席討論。參訪團除將拜會 BE 總部(位於加州 Sunnyvale)外，並實地參觀商轉中的 SOFC 系統，主要目的在於進行實地瞭解與資料蒐集，再經詳細評估之後，提出政策性分析，俾利決策參考。

貳、參訪規劃

2.1 參訪目的與行程規劃

(一)目的

- 1 鑑於國內電力供應缺口問題日益嚴重，且核能不延役，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。
- 2 SOFC 發電系統具潔淨與高效率優勢，美商 BE 公司之 SOFC 商用型發電系統在美國境內已有一些應用實績，藉此參訪了解美國能源產業發展之規劃及技術能量，以作為台灣未來推動產業發展政策之重要參考。
- 3 透過訪問以分享產業發展經驗，並推動相關產業之合作。

(二)任務

- 1 介紹台灣產業環境及發展概況，彰顯我國的優勢並洽談合作機會，在符合兩國利益下創造雙贏局面。
- 2 聚焦新型 SOFC 發電系統技術，結合國內現有供應鏈產業，討論如何擴大與發展既有合作關係。
- 3 介紹台灣之投資環境、相關規範，以及政府未來國內市場之投資規劃。

本次參訪團將由林局長親自帶隊，其他成員包括工研院綠能所、高力熱處理公司及台電公司，團員名單與出國行程如表 2.1 所示。

表 2.1 團員名單與所屬單位

單位	職稱	姓名
能源局	局長	林全能
	副組長	吳志偉
台灣電力公司 綜合研究所	主任	鍾年勉
	資深研究專員	許炎豐
工研院綠能所	副所長	王人謙
	副組長	張文昇
高力公司	總經理	鍾弘錦

表 2.2 出國行程表

日期	參訪對象及工作內容
7/11 (一) 下午 19:50	台北至舊金山(往程)
7/12 (二) 上午	拜訪 Bloom Energy (Sunnyvale, CA)總部，討論燃料電池技術及資訊交流
7/12 (二) 下午	實地參觀商轉 SOFC 系統
7/13 (三) 上午 06:30	舊金山至 Delaware 州
7/13 (三) 下午	參訪 Bloom Energy 組裝工廠(Newark, DE) 參訪 SOFC 集中型發電廠 (Delmarva Power, Newark, DE)
7/14 (四)	拜訪 Fuel Cell Energy(Danbury, CT)，進行技術交流
7/15 (五) 凌晨 01:25 ~7/16 (六)	紐約至台北(返程)

2.2 SOFC 系統市場資訊

SOFC 系統預計至 2020 年，全球市場規模預估可達 6.4 億美元，其中，亞洲新興市場規模預估可達 2.5 億美元，系統應用範圍為定置型發電系統、載具系統與可攜式裝置。國際間燃料電池系統市場推廣

主力以 PEMFC 與 SOFC 兩大系統為主，目前市場多數處於示範與導入階段，各國皆有獎勵補助政策推動市場興起。

日本家用定置型燃料電池熱電共生(CHP)系統，經由政府「民生用燃料電池導入補助金」助益，系統平均售價由 2009 年 330 萬日圓降至 2014 年 9 月 200 萬元，統計 2009 年至 2014 年 9 月系統累積裝設套數由 2,550 套增加至 100,576 套。預計至 2017 年會推出工業級商業化 SOFC 發電系統。

2008 至 2016 年，德國政府推動名為「Callux Lighthouse」的燃料電池系統獎勵裝設計畫，補助 500 套家用型燃料電池熱電共生系統，總經費約估為 86,000 仟歐元，政府補助約 40,000 仟歐元。統計計畫共累計發電度數約 250 萬，運轉時數已超過 450 萬小時。

美商 BE 公司，目前已將大型 SOFC 系統商業化，統計至 2015 年系統累積總裝置量已超過 195 MW。系統裝設地點主要集中於美國境內，海外僅有日本軟銀(SoftBank)公司與東京慶應義塾大學(Keio University)，皆為 200 kW 發電系統。

2.3 SOFC 在國際與國內發展現況

國際間大型化定置型發電系統(100 kW_s~MW 級)已有企業投入發展，除美商 BE 公司外，其他企業皆在系統驗證運轉階段，以下將簡介具代表性之大型化 SOFC 系統發展現況：

(一) 美商 Bloom Energy(以下簡稱 BE)公司簡介及產業背景

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，公司總部設置於美國加州 (California) 桑尼維爾 (Sunnyvale)。2006 年同時推出第一台 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 等知名公司，至 2015 年系統累積總裝置量約 195 MW。

(二) 日商三菱重工公司

日商三菱重工公司與日立公司共同成立三菱日立電力系統有限公司 (MHPS)，2004 年投入開發 SOFC 複合微燃氣渦輪機(Micro Gas Turbine, MGT)複合發電系統(簡稱 SOFC-MGT)開發。2015 年成功完成以城市管路天然氣(NG)為燃料，系統規格為 250 kW 級的 SOFC-MGT 長時間運轉驗證，該系統輸出功率為 206kW (SOFC 183 kW + MGT 23 kW)，電效率為 50.2% (LHV)，連續運轉時間長達 4,100 小時，總運行時間為 5,067 小時，在夏季重負荷狀態運轉，仍具高度系統穩定度，為目前世界 SOFC 複合發電系統長時間運轉成功首例。

未來三菱重工公司將持續進行安全性測試，以利拓展其商業用及工業用的混合式動力系統。預計 2017 年將推出工業級商業化 SOFC-MGT 發電系統，且未來朝向 1.3 MW SOFC-MGT 複合發電系統發展。表 2.3 為 250 kW 與 1.3 MW SOFC-MGT 複合發電系統規格比較。

表 2.3 日商三菱重工 250 kW 與 1.3 MW SOFC-MGT 規格比較

名稱		250kW	1.3MW
外型			
性能	額定輸出	kW	250
	SOFC/MGT	kW	227/23
	送電端效率	% -LHV	55
	綜合效率	% -LHV	73(濕水回收) 65(蒸氣回收)
尺寸	m	11*4	24*5
燃料		天然氣	天然氣
運轉壓力	Mpa	0.23	0.6
噪音	dB	70以下	70以下
潛在市場負荷量 (旅店、醫院、數據中心)		1271台(相當於317MW)	580台(相當於754MW)

(三) 美商 Fuel Cell energy 公司

該公司主要發展為 SOFC 熱電聯供系統(SOFC-CHP)，以城市管路天然氣(NG)為燃料，系統規格有三種，各為 2.8 MW、1.4 MW 與 300 kW，系統電效率為 47% ，系統熱電總效率為 90%。目前系統裝設對象應用為食物工廠、製造工廠或醫院等基載(base-load)電力使用。另外，除 SOFC-CHP 系統外，該公司亦提供 SOFC 與氣體膨脹渦輪(Gas Expansion Turbine)組成之複合發電系統(SOFC-GET)技術，該系統電效率可達 60%。目前規劃利用本系統技術建造 670MW 之 SOFC 電力島 (SOFC power island)，如圖 2.1 所示。該系統由 8 組包含 42 個 SOFC 模組化電堆組成，透過群集概念的設計，有效凸顯系統模塊

化的優勢。

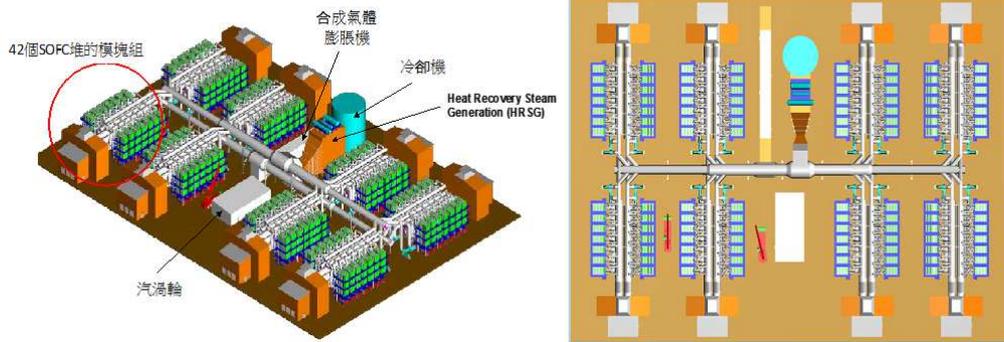


圖 2.1 美商 Fuel Cell Energy 公司之 670 MW SOFC 電力島規劃圖

(四) 美商 GE 公司

該公司投入燃料電池技術開發最早始於 1950 年，2000 至 2006 年參與美國 DOE 之 SECA 計畫，投入 SOFC 材料開發與電堆研製，成功將電漿噴塗技術 (plasma spray technology) 應用在電池片上電極製程。目前該公司規劃發展大型 SOFC 發電系統，並搭配自家開發 Jenbacher 燃氣渦輪機(GT)，朝 SOFC-GT 複合發電系統發展，如圖 2.2 所示。預計系統規格為 1.3-10 MW，系統電效率為 60-65%，系統若搭配熱電聯供(CHP)應用，則熱電總效率可達 90%。且系統具模組化設計，具有系統安裝空間小之優勢。



圖 2.2 美商 GE 公司之 SOFC 發電系統安裝示意圖

(五) 德商 sunfire 公司

該公司技術發展方向有二，其一為 SOFC 發電技術或熱電聯供系統(SOFC-CHP)，目前系統發展規格為 0.5-100 kW，系統電效率為 60%，熱電總效率為 90% 以上。且提供模組化擴增設計，以 25 kW 為一個發電系統單元模組，如圖 2.3 所示。可依用戶需求擴增裝置容量。其二，為固態氧化物電解電池技術 (Solid Oxide Electrolyzer Cell, SOEC)，目前衍生出兩項新型應用技術，一為將電力轉換成氣體燃料 (Power to Gas, PTG) 技術，亦即利用多餘電力，將電力轉換為如：甲烷(CH₄)等高價值燃料儲存再利用；或將電力轉換成液態燃料(Power to Liquids)技術，生產高利用價值之化石燃料，如：化學用品供工業用途；飛機、船舶或車輛等運輸用途等。

該公司在國外與國內皆有運轉實績。在國外，該公司參與船舶整合燃料電池計畫(Ship-Integrated Fuel Cell project)，2015 年成功發表以低硫柴油燃料為燃料，將 50 kW SOFC 發電系統與潛艦電力系統結合提供船舶複合電力之案例，未來可藉由系統模組擴增，總裝置容量可擴建至 500 kW。在國內，該公司為目前第一個將 SOFC 電堆技術引入台灣之外商能源企業，國內台電、中油與中鋼等企業皆引進該公司 SOFC 發電系統進行運轉驗證，以裝設於台電綜研所內天然氣為燃料之 1.3 kW SOFC 發電系統為例，截至目前測得系統電效率約 52%，運轉總時數已超過 5,000 小時。



圖 2.3 德商 sunfire 公司 25 kW SOFC 發電系統單元模組

(六) 臺灣 SOFC 產業

SOFC 產業目前在國內發展仍屬於技術開發階段，法人機構主要代表機關為核研所與工研院，其中核研所主要致力於電極材料、電池片製程開發與電堆研製；而工研院主要致力於發電系統整合開發，目前與能源業者合作，提供台電與中油公司 1.3 kW SOFC 發電系統進行運轉驗證。另外，國內產業界能量主要以美商 BE 公司之代工鏈業者為主，如：保來得公司之金屬連接板粉末冶金製備技術、宏進金屬公司之金屬連接板表面處理技術、高力公司之熱箱整合技術與康舒公司之電源轉換器技術，年產值達約 30 億台幣。另外，國內 SOFC 電堆技術目前則由九豪精密陶瓷公司進行商品化研製開發。而國內學界對於 SOFC 技術研究多僅限於電極材料與改質特性之研究，各知名大學如台大、清大、交大、成大、中央、台科大與北科大均有投入研究資源，並與產業合作開發。

2.4 台灣產業政策支援

我國業依政府政策及行政院 2008 年 6 月 5 日通過「永續能源政

策綱領」揭示目標：2016 至 2020 年間 CO₂ 回到 2008 年排放量的水準、於 2025 年回到 2000 年排放量水準。

依據「打造綠能低碳環境，逐步邁向非核家園」政策，投入新能源及節能科技研發，拓展綠能產業-氫能與燃料電池是高效率的能源轉換與綠能技術。

依據「能源管理法」及「台灣地區能源政策」，經濟部能源局持續推動節約能源與能源儲存轉換等相關技術-氫能與燃料電池列為主要發展項目之一。

依據經濟部能源局「2012 年能源產業技術白皮書」，在建立新及再生能源永續發展環境政策中包含氫能源及燃料電池計畫發展。

我國氫能與燃料電池計畫目標在經濟部整體施政藍圖中屬於「推動多元能源政策，邁向低碳永續家園」之國家能源政策下，透過能源國家型科技計畫第二期節能與替代能源主軸專案規劃來達成。主要目標為：

- (一) 建立百瓩級分散式燃料電池發電系統技術，應用於工廠、工業區、住商、社區，降低電網負載，同時支援長期儲能建設需求。
- (二) 達到大功率、高效益運轉目標，提升氫燃料供應系統容量、安全性。
- (三) 建置符合國際標準(IEC/CNS)之燃料電池產品測試驗證平台，維持 UL WTDP 資格，協助國內產品進入國內外市場。

2.5 預期效益

- (一) 未來期能引入大型燃料電池發電技術，充裕國內電力供應；並促進國內產業推動與提升國際競爭力。
- (二) 藉由參訪燃料電池廠商總部及相關企業商轉案例，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。
- (三) 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備發電占比進而舒緩尖峰電力需求。

參、任務過程

3.1 參訪美商 Bloom Energy 公司總部

首先拜會 BE 公司於加州 Sunnyvale 總部洽談相關事項，BE 公司參加人員如表 3.1 所示。

表 3.1 BE 公司參加會談人員

姓 名	職 稱
KR Sridhar, Ph.D	Founder, Chairman and Chief Executive Officer (創辦人兼執行長 CEO)
Susan Brennan	Executive Vice President and Chief Operations Officer (營運長 COO)
Venkat Venkataraman, Ph.D	Executive Vice President of Engineering and Chief Technology Officer (技術長 CTO)
Matt Ross	Executive Vice President and Chief Marketing Officer (行銷長 CMO)
Bill Kurtz	Executive Vice President and Chief Commercial Officer (商務長 CCO)
Bill Thayer	Executive Vice President Sales (VP of Sales 銷售執行副總裁)

雙方參與人員首先互相自我介紹，然後 BE 公司開始簡介公司發展沿革、核心技術與設置實績，接著引導參觀廠內電池片與電堆製程，外圍 SOFC 實物參觀，然後討論本訪問團請教之議題。參訪全程示意圖如圖 3.1 所示。

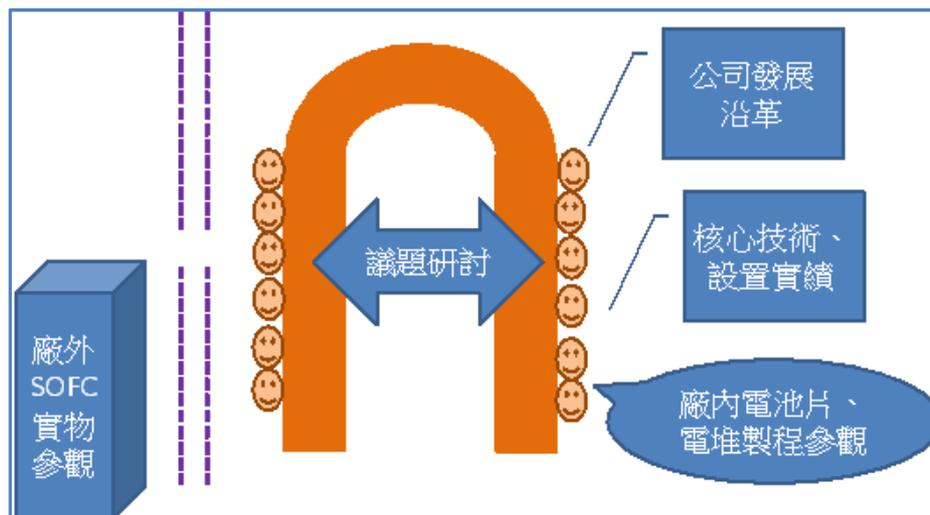


圖 3.1 參訪全程示意圖

(一)公司發展沿革

- 美商 BE 公司之 SOFC 系統技術源於美國太空總署(NASA)
- 2001 年 NASA 內部計畫結束，研究團隊規劃成立新公司繼續技術研發
- 2002 年公司成立，公司名稱為 Ion America ，第一位執行長為 K.R. Sridhar 先生
- 2006 年公司名稱由 Ion America 正式更名為 Bloom Energy ，公司總部設於美國加州 Sunnyvale
- 美商 BE 公司在 2006 年推出第一台 5 kW SOFC 系統(雛型機)，在田納西大學進行 2 年驗證
- 美商 BE 公司在 2008 年推出第一台 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
- 已裝置之美國境內廠商包含：Google、eBay、Apple、AT&T、

Walmart、YAHOO 等知名公司，2010 至 2015 年系統累積裝置量約 195 MW，多作為企業公司大樓、工廠及大型資料處理中心等基載或備用電源。

(二) BE 公司 SOFC 核心技術與系統設置實績

BE 公司執行長 K.R. Sridhar 說明 Bloom Energy 燃料電池最基礎的核心技術是電池片，兩面塗有對比鮮明的油墨，一面是綠色的，另一面是黑色的，電池片一片一片堆疊成電堆(Stack)，將電堆置入熱箱(Hot Box)，加上變流器與附屬設備就成為一燃料電池模組，亦被稱為 Bloom Box，如圖 3.2 所示。

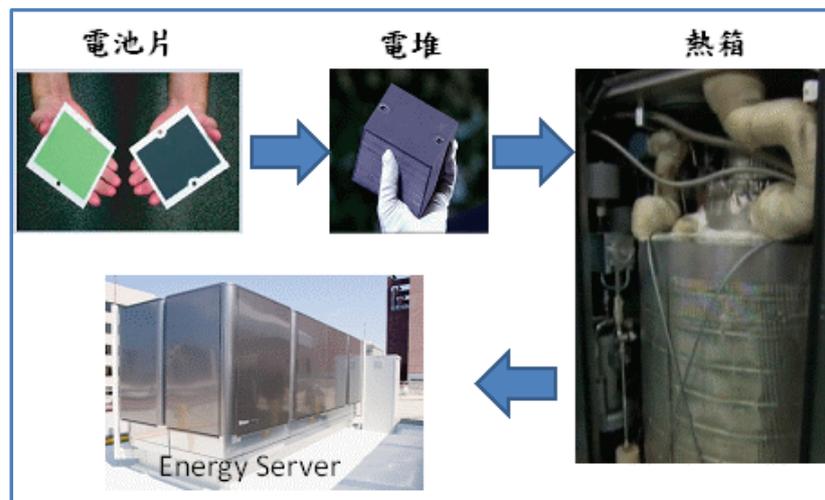


圖 3.2 BE 公司燃料電池模組之生產流程

目前 Bloom Box 的主力產品為能量伺服器(Energy Server)與不斷電模組(Uninterruptible Power Module)，如圖 3.3 所示，Uninterruptible Power Module (UPM) 使 Bloom Energy Server 具備不斷電系統之功能，在市電停電或電壓不穩時仍可讓特定負載維持正常運轉。執行長亦強調：「Bloom Box 產生的電能是持續而可靠的。但太陽光電板無法一天 24 小時皆可發電，且容易受天候影響。」。

BE 公司 SOFC 系統裝置容量範圍與用途如表 3.2 所述，主要客戶群分布於各行業別，其中有不少客戶為知名企業，如圖 3.4 所示。目前系統模組以 200-250kW 為主、開發中最大達 750 kW，依據所需電力供給可擴充至 MW 以上。已有約 200 MW 系統裝置容量實績，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。

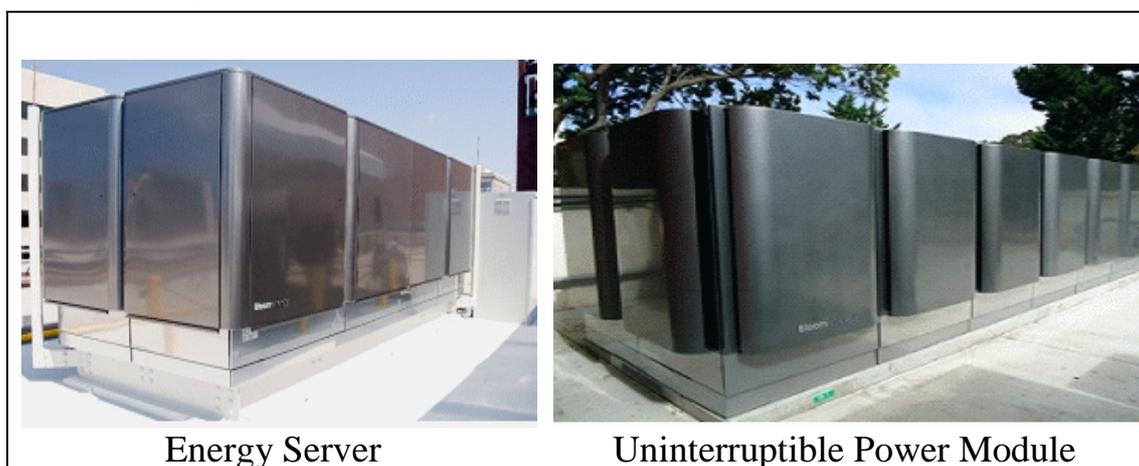


圖 3.3 BE 公司燃料電池主力產品

表 3.2 BE 公司 SOFC 系統設置實績

年份	裝置容量範圍	用途敘述
2010	300 kW~2MW	1. 提供校園、客服中心與包裹中心基載用電 2. 企業總部或工廠 30% 電力需求
2011	200 kW~13.5MW	1. 做為併網式基載型(base-loaded)發電站 2. 提供工廠、辦公室與建築 60~85% 用電
2012	200 kW~10MW	1. 提供數據處理中心基載電力需求與作為併網式基載型發電站 2. 提供工廠、辦公室與建築 30~90% 用電
2013	200 kW~27MW	1. 提供生產中心或數據處理中心基載電力需求 2. 提供工廠、辦公室與建築 50~75% 用電
2014	200 kW~21MW	1. 提供 75座 工廠、購物中心、醫院與數據處理中心等用電 2. 提供辦公室與建築 10~96% 用電
2015	200 kW~40MW	1. California, Connecticut, New Jersey and New York 四州共同開發案，2016年底預計可提供每年超過 32,000戶 電力需求。 2. 提供工廠、數據中心、辦公室與建築等 70~100% 用電



圖 3.4 BE 公司主要客戶群

(三) 台灣零組件供應商

有幾家台灣零組件製造公司，憑著優異的代工技術，搶進美商 BE 公司之 SOFC 系統組件供應鏈，包括保來得、高力熱處理、康舒、

宏進等公司，年產值達數十億台幣。其代工公司與零組件供應項目如表 3.3 所示。

表 3.3 台灣代工公司與零組件供應項目

公司	供應項目
高力熱處理公司	Bloom Box 熱交換器及組裝
保來得	電堆內金屬板連接
宏進金屬	電堆內雙極板（連結板）的表面噴鋅處理
康舒	電源轉換器

(四) 議題研討

本次主要討論議題分為幾個面向如圖 3.5 所示：

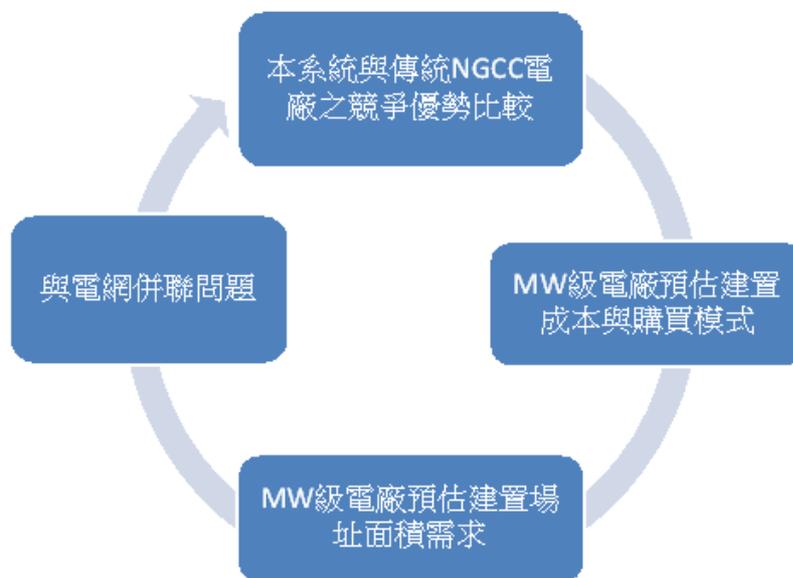


圖 3.5 討論議題面向

- 本系統與傳統 NGCC 電廠之競爭優勢比較：

有關 BE 公司 SOFC 系統與傳統 NGCC 電廠之競爭優勢比較相關

比較如表 3.4，基本上，傳統 NGCC 電廠是朝大容量方向設計，建廠時間較久，SOFC 則是在地化小容量之發電模組，佈建時間 10~12 個月，其中 SOFC 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。

- 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。

- 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。

表 3.4 傳統發電系統與美商 BE 公司系統技術比較

技術項目	台電燃氣電廠 (TPC NGCC)	美商BE公司 SOFC發電系統
比較項目		
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 250 kW 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	脫硫處理後煙氣，無SO _x 排放問題 處理後NO _x 約5 ppm CO ₂ 排放平均值約685 lbs./MWh	無SO _x 排放 NO _x <13.2 ppm (無前處理) CO ₂ 排放平均值約756 lbs./MWh
電力傳輸損耗	3.72 % (104年全系統)	0 %
系統效率	通霄 (MHI 501 J) (Eff: 62.1% Gross, 60.7% Net)	Bloom Energy ES5 Max Eff. 65 % , Min Eff. 53 % 平均 Eff: 55 %

● BE 公司 SOFC 使用之天然氣成分限制

為使 SOFC 在高效率狀態下運作，BE 公司 SOFC 使用之天然氣成分限制如表 3.5 所示，台灣地區的天然氣成分是否符合此要求，需進一步檢視。

表 3.5 SOFC 使用之 NG 燃料成分限制

NG 成分限制		NG 中微量成分限制	
<ul style="list-style-type: none"> • Methane (CH₄) • Ethane (C₂H₆) • Propane (C₃H₈) • iButane + nButane (C₄H₁₀) • Sum of C₅₊ 	<ul style="list-style-type: none"> Minimum 85% Maximum 12% Maximum 3.4% Maximum 2% Maximum 0.2% 	<ul style="list-style-type: none"> • N₂ • O₂ • CO₂ • H₂ • CO 	<ul style="list-style-type: none"> < 3 % < 0.2 % < 3 % < 1 % < 100 ppm
NG 中污染物成分限制		NG 中硫化物限制	
<ul style="list-style-type: none"> • Siloxanes¹ • Arsenic (AsH₃ &/or As)¹ • Halogens (CH₃Cl, HCl, etc.)¹ • Mercury • Cadmium • Zinc • Ammonia¹ • Phosphorous/PH₃¹ • Sodium 	<ul style="list-style-type: none"> < 0.07 ppmV < 0.05 ppmV < 1 ppmV < 2 ppmV < 2 ppmV < 2 ppmV < 5 ppmV < 2 ppmV < 2 ppmV 	<ul style="list-style-type: none"> • Hydrogen Sulfide (H₂S) • Tetrahydrothiophene (THT) • Dimethyl Sulfide (DMS) • Dimethyl Disulfide (DMDS) • Mercaptans <p>The allowable sulfur ranges are as follows:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ≤ 7 ppmV • ≤ 11 ppmV • ≤ 15 ppmV • > 15 ppmV 	<ul style="list-style-type: none"> Low risk Medium risk High risk Not allowed
NG 中含水量(H ₂ O)<154 ppmV			

● 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 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」。

3.2 參觀 BE 公司總部運轉中之燃料電池

原本計畫參訪一家 BE 公司客戶，查看 Energy Server 實體並探詢燃料電池發電相關應用實績、節能減碳效益，但經 BE 公司人員說明該總部也是使用自家產品，就置放在外圍，如圖 3.6 所示，一年 365 天持續發電中。運轉噪音並不太明顯，但可目視到其上方熱氣引起之景物扭曲現象。解說人員打開第一個櫃子，內部是 INVERTER 組，其功能為將直流電轉換成交流 480 伏。



圖 3.6 解說人員說明 Energy Server 構造與特性

3.3 參訪 Bloom Energy 公司組裝工廠

參訪 BE 公司組裝工廠目的在於觀摩燃料電池量產化相關之流程與檢測方式，以評估國內於燃料電池產業之發展與關鍵組件供應能力提升空間，有助於提升國內於 SOFC 發電系統之運作與維護之技術能量。

BE 公司組裝工廠位於美國東部德拉瓦州(Delaware)紐華克(Newark)，如圖 3.7 所示。該地原為克萊斯勒汽車公司組裝廠房，後來劃歸為德拉瓦大學校地，但該大學一直未加以利用，故州政府乃以

優渥條件吸引 BE 公司進駐，為該公司在美國境內之系統組裝工廠。

該工廠規模目前提供當地超過 900 個工作機會。



圖 3.7 Bloom Energy 公司組裝工廠

3.4 Delmarva Power 公司燃料電池發電廠

為瞭解燃料電池於集中型電廠運作狀況、電力調度方式與運維經驗，特地前往參觀燃料電池發電廠，以做為未來各種充裕電源方案之參考。

Delmarva Power 公司是目前唯一採用 BE 公司 SOFC 發電的電力公司，總裝置容量為 30 MW，分兩階段佈建，第一期裝置容量為 3MW，建置於 Brookside 配電站(Newark, Delaware)附近，升壓後併入 12kV 饋線。本次參觀的是第二期場域，裝置容量 27MW，建置於 Red Lion，佔地約面積約為 2 公頃，如圖 3.8 所示。Energy Server 輸出電壓為 480

伏，第一階段先升壓為 35 千伏，第二階段再升壓為 138 千伏，經輸電線併入附近的變電站，如圖 3.9 所示。



圖 3.8 Delmarva Power 公司燃料電池發電廠



圖 3.9 燃料電池發電廠主變壓器與開關

3.5 參訪 Fuel Cell Energy (FCE)公司

Fuel Cell Energy(FCE)公司是一家全球領先的熔融碳酸鹽燃料電池(MCFC)設計、製造及服務供應商，成立於 1969 年，總部在康乃狄

克州的 Danbury，如圖 3.10 所示。與旗下子公司從事設計、製造、銷售、安裝、營運與服務定置式 MCFC 發電廠，並參與 Direct Fuel Cell 燃料電池產品的開發、設計、生產、建設及服務。其電廠電化學生產電力與熱能是採用各種燃料，包括天然氣、沼氣、甲醇、柴油、煤氣、煤層器及丙烷。服務提供給包括公共事業、獨立發電廠、政府機構、教育與醫療、天然氣運輸、工業與數據中心、商業與服務業、石油生產與提煉、廢水處理、食品飲料、農業及堆填氣體領域。營運範圍遍布美、韓、英、德、加及西班牙。FCE 公司將多項技術轉移給韓國浦項鋼鐵，浦項鋼鐵亦建置了一座 59MW MCFC 發電廠。



圖 3.10 參訪 Fuel Cell Energy (FCE)公司

肆、心得與建議

- 一、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，該 SOFC 發電裝置可列入評估之選項。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(含補助)、建置場域取得與營運成本，皆需仔細計算。
- 二、BE 公司目前產能僅 200 MW/年，若要在 2017 年 6 月前完成 200 MW 裝置容量，製造與安裝時程實屬緊迫；適度縮小規模應為比較可行方案。
- 三、台灣地狹人稠，原本認為 SOFC 集中式發電廠之完成時間可相對較短，但如果找不到合適大型場地，分散式建置未必比較慢，所以不管是大型發電廠之剩餘空間，或變電所之剩餘空間皆可再仔細檢視。也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，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。
- 四、當找到足夠之空間後，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。
- 五、關於 SOFC 併聯對電網之正面或負面影響，經初步評估其正面影響包括(1)可填補夏季電力缺口；(2)可無休止穩定供電（只要天然氣價格合理並可持續供應）；(3)不必全廠停機維修(逐台輪流方式

即可)。負面影響則屬輕微，因採變流器(Inverter)驅動方式，線路發生短路時增加的短路電流有限，且極短時間即切斷。

六、由於 SOFC 必須維持在特定工作溫度，不適合快速升載與降載，故難以協助調整電網頻率，且因無轉動慣量，與旋轉發電機比較，對暫態穩定度的貢獻較低。

七、為了強化 SOFC 併聯電網後之強韌度，建議其變流器(Inverter) 應增加 LVRT(低電壓穿越)、LFRT(低頻穿越)功能，避免因鄰近線路故障或發生較大的擾動就頻頻解聯。其次， Inverter 亦應具備微調無效功率(Q)之功能，以協助維持電壓之穩定。

附錄一 BE 公司簡報資料

Bloom Energy at a Glance

\$500mm+ revenue run rate	Provider of always-on, distributed all-electric generation from solid oxide fuel cells (Energy Servers)	~85MW Backlog
Founded in 2001 in Sunnyvale, CA	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> Inputs Pipeline gas, LNG Biogas Intermittent energy sources Electrons-grid or other sources No water use during operation </div> <div style="text-align: center;"> Energy generation or storage  Potential for carbon capture </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> Outputs DC output AC output Flexible voltage Flexible current Reduced or no CO₂ No NO_x, SO_x, or particulates </div> </div>	100+ Customers
185 Patents	Energy Servers used by blue chip corporate customers for always-on baseload power, including mission-critical applications	~200MW Installed capacity

Page 2 | Confidential

Figures as of 12/31/15

Bloomenergy

>200 MW Deployed for Blue Chip Customers

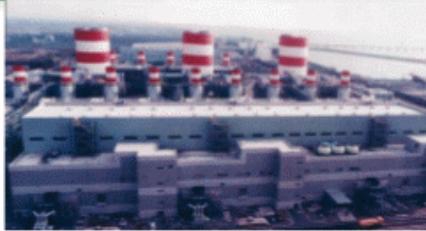
100+ Customers, 14 Diverse Industries, 300+ Projects



Page 3 | Confidential

Bloomenergy

Bloom Energy Server: A Leapfrog Technology



Traditional Grid Generation

- Monolithic
- Single failure affects millions of people
- Years to permit and build
- Capital intensive



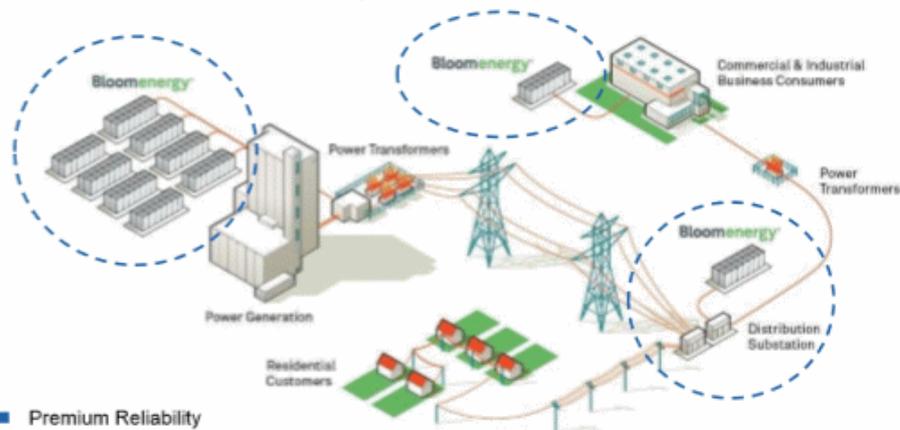
Bloom “Soft-Infrastructure”

- Distributed and redundant – no single point of failure.
- Simple modular building blocks – highly scalable.
- Fast time to power - deploy within 10-12 months instead of 5-7 years.
- Designed to be upgradeable to latest generation technology as advances occur.

Bloomenergy

Solutions

Bloom Energy's flexible and scalable architecture allows generation to be deployed where it is needed most on the utility system



- Premium Reliability
- Frequency Regulation
- Voltage Support, Low-Voltage Ride Through
- Microgrids
- EV Charging

Page 5 | Confidential

Bloomenergy

Bloom Energy Server vs. CCGT (Part I)

Description	Bloom	CCGT
Emissions	No sulfur dioxide; negligible nitrous oxide	High sulfur dioxide and nitrous oxide
Water	No water usage during operation	171 gallons per MWh
Modularity	Scalable and modular in 250KW increments – Soft Infra	Monolithic 600MW or 1GW – Hard Infrastructure

Bloomenergy

Bloom Energy Server vs. CCGT (Part II)

	Heat Rate / Efficiency	Line Losses	CO ₂ lbs. / MWh	Annual Capacity Factor	Annual US CO ₂ Emissions Reduction per MW of Capacity (lbs.)
US CCGT	7,388 / 51%	8.33%	978	52%	2,755,896
Bloom Energy ES5 @max efficiency	5,811 / 65%	0%	679	95%	7,240,140
Bloom Energy ES5 @min efficiency	7,127 / 53%	0%	833	95%	5,958,552

Bloomenergy

Targeted, Reliable All-Electric DG Case Studies

Bolster Reliability, Enhance T&D

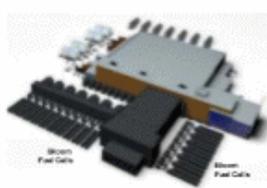


No disruption through Hurricane Sandy

"The Bloom Energy electrical project in New Castle was unaffected by Hurricane Sandy."

Gary Stockbridge
Delmarva President

Customer Sited Solutions



Mission Critical Power at PayPal Data Center

"It is really throwing out the way people have done it in the past. You can build a better mousetrap."

Dean Nelson
eBay Vice President of Global Foundation Services

Microgrids



Powering Critical Facilities in the City of Hartford

"We know from first-hand experience that we must make our energy grid stronger, smarter, and more secure."

Dannel P. Malloy
Governor of Connecticut

Page 8 | Confidential

Bloomenergy

Bloom 15 Year Tolling Cost

Assumptions

- 90% Capacity with 100% Availability
- 60MW Single Site
- LNG Fuel Stock

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

Bloomenergy

附錄二 Fuel Cell Energy 公司簡報資料



Integrated Fuel Cell Company






Research & Development

- Global fuel cell technology platform
- Robust intellectual property portfolio
- Leveraging core technology to new market opportunities

Sales, Manufacture & Project Execution

- Project development – Direct Sales
- Global manufacturing (200+ MW capacity globally)
- Engineering, Procurement and Construction

Services

- Operate & Maintain power plants
- 100+ DFC® plants operating at 50+ sites globally
- Millions of MWh's ultra-clean power produced
- > 300 MW installed/backlog







2.8 MW power plant



15 MW fuel cell park



59 MW fuel cell park



Global Manufacturing Footprint

North America

Manufacturing Torrington, CT

- Module Assembly & Stacking
- 65,000 ft² facility (pre-expansion)
- Opened 2001



Corporate Danbury, CT

- Research labs
- Engineering design
- Global Service center
- Conditioning



SOFC Research Littleton, Colorado Calgary, Canada

- Research labs



Asia & Europe

Manufacturing Pohang, South Korea

Capacity for Asian market via partner, POSCO Energy



Manufacturing Ottobrunn, Germany

Capacity for European market via FCES, GmbH



Demonstrated Multi-Fuel Operation

- **Natural Gas**
 - Most common fuel
 - CHP applications & Grid Support
- **Digester Gas**
 - DFC Most efficient on Digester Gas
 - Onsite ADG plants (> 50% of installations in CA)
- **Coalmine Gas**
 - 200kW plant demonstrated at AEP Ohio Coal LLC's Rose Valley Mine Site
- **Coal Gas**
 - 20 KW stack Operation demonstrated
- **Propane (HD-5)**
 - High efficiency demonstrated in sub-MW plant
 - Instantaneous fuel switch capability
- **JP-5 Logistics Fuel**
 - Fuel processing and fuel cell operation demonstrated with high sulfur JP-5 fuel



No performance penalty on dilute fuels

World's Largest Fuel Cell Park



*"The scale of this installation is contributing to the power and heating needs of an urban population and generating the electricity in a **highly efficient and ultra-low emission** profile that supports our National renewable portfolio standard,"*

*Tae-Ho Lee
Chief Executive Officer
Gyeonggi Green Energy*

- **59 MW fuel cell park on only ~5.2 acres**
- **Supplying electric grid and district heating system**
- **Korea Hydro Nuclear Power (KHNP) with largest ownership**
- **Adequate to power ~ 140,000 homes**
- **Constructed in only 14 months**

	North America	Asia	Europe
Partners	<p>nrg</p> <p>Market Development / Project finance</p> <ul style="list-style-type: none"> Largest IPP in N. America \$40 million project finance facility to FCE Owns 5% FCEL stock FCE-developed projects to yieldco 	<p>POSCO ENERGY</p> <p>Market Development Asian Manufacturing</p> <ul style="list-style-type: none"> Largest IPP in S. Korea POSCO 2015 sales: ~\$48 billion Owns 8% FCEL stock License/royalty for Asia Asian manufacturing 	<p>Fraunhofer</p> <p>Market Access Leveraging R&D</p> <ul style="list-style-type: none"> Providing gov't & industry introductions Multi-million Euro R&D projects Near-term opportunities in Germany, UK, and Italy
Utility & IPP customers	<p>Dominion, AVANGRID, Pacific Gas and Electric Company, NRG YIELD, ENBRIDGE, EDISON</p>	<p>KPNP, MPC (Mitsubishi Power Company Ltd), NATURA, EUP, BYUCKSAN POWER</p>	<p>e-on, ewz</p>
On-site Power (behind the meter)	<p>Pepperidge Farm, Eastern Massachusetts Water District, Hartford Hospital, Pfizer, UCI Medical Center</p>	<p>Seoul Children's Center Park, 서울아이대공원</p>	<p>Federal Ministry of Education and Research, THE CROWN ESTATE, CANARY WHARF GROUP PLC, FRIATEC, LandSecurities</p>
CO₂ capture & H₂	<p>ExxonMobil, cenovus, U.S. DEPARTMENT OF ENERGY</p>	<p>ExxonMobil</p>	<p>ExxonMobil</p>

Type: Behind the meter
Size: 1.4 MW
Owner: Project investor



- High efficiency drives savings
- CHP for heating and absorption chilling
- Ultra-clean emission profile supports sustainability goals
- Micro-grid enhances energy security
- Private capital providing public benefits

"CCSU's power costs will be reduced annually by more than \$100,000 -- a savings for both the university and Connecticut taxpayers."

Jack Miller, President, Central Connecticut State University

Type: Utility grid support
Size: 14.9 MW
Owner: Utility owned



- Power sold to grid
- Improved power reliability from distributed generation
- Renewable baseload power
- Easy to site – clean, quiet, vibration free with modest footprint

"The Dominion Bridgeport Fuel Cell Park is another important step in our efforts to identify and develop opportunities to produce clean energy that is reliable and cost effective"

Thomas F. Farrell II, Chairman, President and Chief Executive Officer, Dominion

Type: Grid support w/ thermal
Size: 59 MW CHP
Owner: Utility owned/consortium



- Power sold to grid
- Heat sold to district heating system
- Occupies only 5.2 acres
- Installed in only 14 months
- Powers ~140,000 homes
- World's largest fuel cell park

"The scale of this installation is contributing to the power and heating needs of an urban population and generating the electricity in a highly efficient and ultra-low emission profile that supports our National renewable portfolio standard"

Tae-Ho Lee, Chief Executive Officer, Gyeonggi Green Energy