

出國報告（出國類別：實習）

燃料電池設備之應用與規劃技術實習

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：劉傳馨 十一等電機工程監

派赴國家：日本

出國期間：107.08.06~107.08.11

報告日期：107.09.18

目 錄

	頁次
壹、實習計畫緣由及目的	3
貳、出國行程	4
參、研習心得	4
一、燃料電池發電原理	4
二、燃料電池種類、特性及應用範圍	6
三、固態氧化物燃料電池(SOFC)	10
四、美商Bloom Energy公司SOFC發電系統介紹	11
五、日本三菱日立公司SOFC-MGT 混合系統介紹	18
肆、建議事項	26
伍、參考文獻	28

壹、計畫緣由及目的

溫室氣體(Greenhouse Gas, GHG)所致的暖化效應(Greenhouse Effect)，造成全球氣候變遷已成為近年來各國關注之議題，其主因皆指向過多溫室氣體排放所致。溫室氣體眾多，舉凡二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亞氮(N₂O)、氟氯碳化物(CFCs)與臭氧(O₃)等皆屬之，綜觀所有溫室氣體排放種類，以使用石化燃料與工廠製程所產生之二氧化碳排放占比為最高。因此如何減少石化燃料，並採用再生能源以減少台灣溫室氣體排放，已成為急需思考的問題。

目前台電公司電力結構分配區分為基載、中載與尖載三部分，基載仍是倚賴燃煤火力與核能發電裝置為主，而中載則倚賴燃油、燃氣汽力與複循環機組，尖載則使用氣渦輪機及水力發電模式來供應。為了達成2025年非核家園之目標，且減少燃煤所造成之空汙，影響環境品質，公司將逐年提高燃氣發電之占比，以因應國內環保排放標準日趨嚴格，因此具綠色潔淨能源特點之天然氣發電技術，已逐步成為台電公司未來潔淨能源技術之選項之一。

綜觀目前效率較高且較潔淨之天然氣發電技術，即屬燃料電池熱電共生(Combined Heat and Power, CHP)系統。傳統燃煤發電與熱電共生系統之能源耗損比較，如圖1所示，若兩種發電技術輸入能源皆固定為100%，發現使用傳統燃煤發電技術，僅有40%能量轉為電力輸出，其餘60%能量皆以廢熱之型式排放至大氣環境中；反之，使用熱電共生發電技術，若有40%以電力型態輸出，則另有40%能量以再回收利用之途徑，以熱源或冷源之型態來驅動其他能源設備，最後僅有20%能量以廢熱型式排放至大氣環境中。由於燃料電池熱電共生系統之發電過程僅產生水與廢熱，CO、CO₂或NO_x等具污染氣體之排放量少，因此對於區域型分散式發電與阻絕溫室氣體之產生，該系統具有更潔淨與更節能之發展優勢。

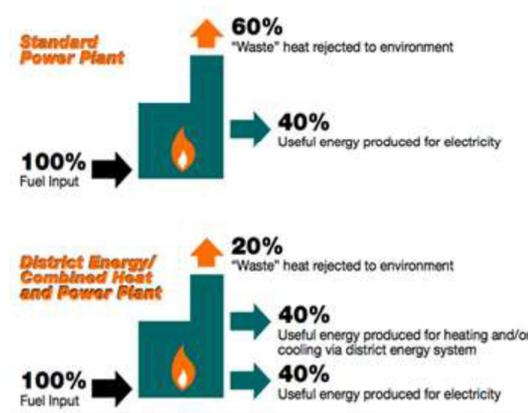


圖1. 傳統發電與熱電共生發電技術能源損耗比較示意圖

台電公司在105年為提升綠能占比，曾考慮引進燃料電池，當時美國 Bloom Energy公司曾來台介紹，並評估在發電廠及變電所裝設的可行性，後來雖因故暫緩，但綠能發電是未來能源的趨勢，所以有必要預先對此設備深入了解，特別是應用在變電所的規劃及設計。

日本三菱日立公司除了單純SOFC外，另外發展出一種加壓混合動力發電系統，結合固態氧化物燃料電池及微型氣體渦輪機micro gas turbines (MGTs) 組成一種高效率、低二氧化碳排放的新電力發電系統，值得我們學習，因此這次實習選擇到日本三菱日立公司去參訪。

本次出國案件係應用107年度出國計劃第089號，出國核定書--電人字第1078074403號函。

貳、出國行程

時間	地點	工作概要
107年8月6日	台北松山機場→ 日本東京羽田機場→橫濱	往程 (台北→東京→橫濱)
107年8月7日~ 8月10日	日本橫濱三菱重工總部	燃料電池設備之應用與規劃技術 實習
107年8月11日	橫濱→日本東京羽田機場 →台北松山機場	回程 (橫濱→東京→台北)

參、研習心得

首先，我要感謝公司及主管給我這個機會到日本三菱日立公司實習，除了和他們技術人員討論外，也到現場參訪，實際觀摩設備裝置及運作情形，讓我對燃料電池的應用有更進一步的了解，接著進入主題「燃料電池設備之應用與規劃技術」之研習心得。

一、燃料電池發電原理

燃料電池（英語：Fuel cell）是一種主要透過氧或其他氧化劑進行氧化還原反應，把燃料中的化學能轉換成電能的發電裝置。最常見的燃料為氫，亦可來自於任何的能分解出氫氣的碳氫化合物，例如天然氣、醇、和甲烷等。燃料電池有別於一般電池，優點在於透過穩定供應氧和燃料來源，即可持續不間斷的提供穩定電力，直至燃料耗盡，因此透過電池堆疊串連後，甚至可成為發電量MW級的發電廠。

現今生活中存在多種燃料電池，但它們運作原理基本上大致相同，必定包含一個陽極(anode)，一個陰極(cathode)以及讓電荷通過電池兩極的電解質(electrolyte)。在陽極上，催化劑將燃料（通常是氫氣）氧化，使燃料變成一個正電荷的離子和一個負電荷的電子，電解液經專門設計使得離子可以通過，而電子則無法通過。被釋放的電子經導體產生電流，離子通過電解液前往陰極，一旦達到陰極，離子與電子結合，兩者與第三化學品（通常為氧氣）一起反應，而產生水或二氧化碳，如圖2。各種燃料電池是基於使用不同的電解質以及電池大小而分類的，因此電池種類變得更多元化，用途亦更廣泛。由於單一顆燃料電池只能輸出相對較小的電壓，大約0.7V，所以燃料電池多以串連或一組的方式製造，以增加電壓，配合應用需求，這種設計被稱為「燃料電池堆疊」。就個別電池而言，可以增加其表面積以獲得較大電流，在堆疊中，反應物氣體應均勻分布於所有電池，以獲得最大的功率輸出。

只要含有氫原子的物質都可以作為燃料電池之燃料，例如：氫氣、天然氣、煤炭氣化氣、酒精及甲醇等。若使用氫氣與氧氣，其產物為水，幾乎是零污染，對環境的污染比化石燃料發電廠少。加上燃料電池的能量效率高約為40-60%之間，如果廢熱可再利用，效率更可提升至70%以上，是一種高效率的綠色能源。

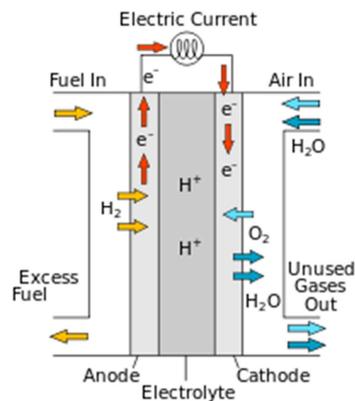


圖 2. 燃料電池電化學反應作用圖

目前燃料電池技術尚未成熟，仍存在 3 個待克服的問題：成本(cost)、耐久性(durability)及氫氣來源之基礎建設(hydrogen infrastructure)^[1]。

二、 燃料電池種類、特性及應用範圍

目前常見的燃料電池型式，依照各燃料電池間之燃料來源、電池操作溫度與電池結構等電池特性不同而有所區分。目前各國燃料電池技術發展主軸，仍以質子交換膜燃料電池（Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC）、磷酸燃料電池(Phosphoric Acid Fuel Cell, PAFC)和熔融碳酸鹽燃料電池(Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC)、固態氧化物燃料電池（Solid Oxide Fuel Cell, SOFC）等四種類型燃料電池為研發重點技術。簡單說明如下：

A.質子交換膜燃料電池 (PEMFC)⁽²⁾，如圖 3:

- 1.採用濕潤之高分子質子交換膜為電解質，導電離子為 H^+ 。
- 2.陰極和陽極皆以鉑為主要觸媒。
- 3.燃料氣體必須純化，以避免鉑觸媒被一氧化碳毒化。

B.磷酸燃料電池 (PAFC)，如圖 4:

- 1.採用高濃度磷酸液為電解質，導電離子為 H^+ 。
- 2.燃料氣體必須純化，以避免鉑觸媒被一氧化碳毒化。
- 3.暖機時間長，啟動慢，不適合當交通工具之動力源。

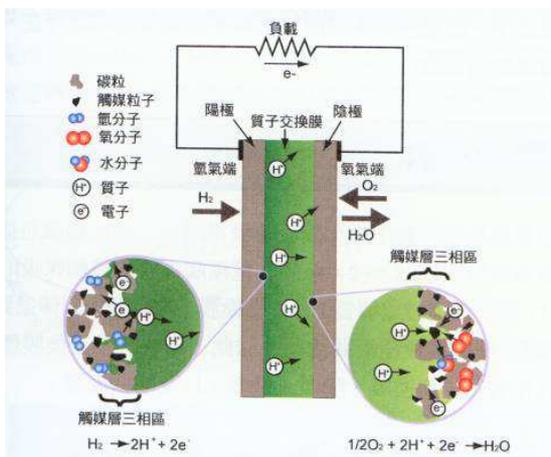


圖 3. 質子交換膜燃料電池 (PEMFC)

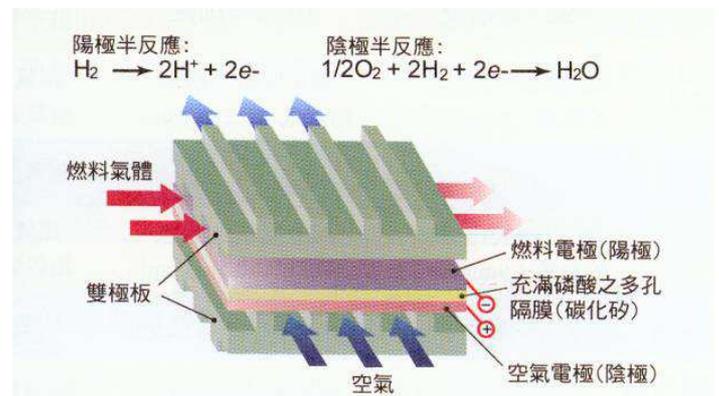


圖 4. 磷酸燃料電池 (PAFC)

C.熔融碳酸鹽燃料電池 (MCFC)，如圖 5:

- 1.採用熔融態之碳酸鋰及碳酸鉀或碳酸鈉為電解質，導電離子為 CO_3^{2-} 。
- 2.操作溫度為 $650^{\circ}C$ 。
- 3.以鎳基合金和氧化鎳當作觸媒，成本較低。
- 4.除了氫氣外，也可使用天然氣及煤氣等碳氫化合物為燃料。

D.固態氧化物燃料電池 (SOFC) ，如圖 6:

1. 電解質是固態 YSZ (摻入三氧化二釷之氧化鋯) ，導電離子為 O^{2-} 。
2. 工作溫度在攝氏 800-1000 度間，電池材料要求較高。
3. 除了氫氣外，也可使用天然氣及煤氣等碳氫化合物為燃料。

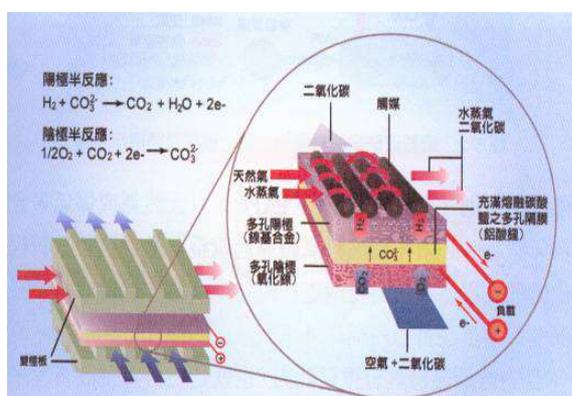


圖 5. 熔融碳酸鹽燃料電池 (MCFC)

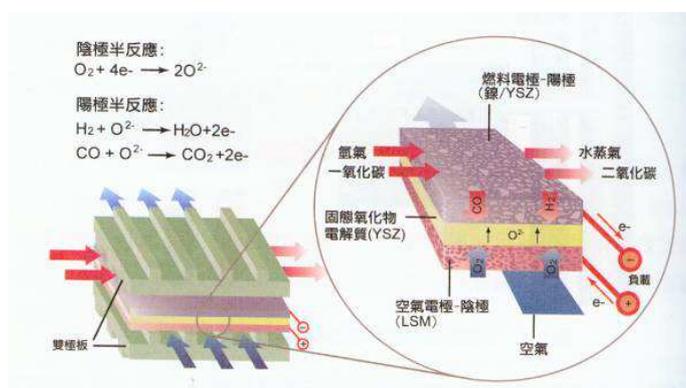


圖 6. 固態氧化物燃料電池 (SOFC)

若以電池操作溫度來區分，可區分成高溫、中溫與低溫三種溫度範圍可以操作之電池。其中，目前一般常見之固態氧化物燃料電池(Solid Oxide Cell, SOFC)屬高溫型燃料電池，操作溫度約 700~1000°C；熔融碳酸鹽燃料電池 MCFC 屬中溫型燃料電池，操作溫度約 600~700°C；磷酸鹽燃料電池 PAFC 與質子交換膜燃料電池 PEMFC 屬低溫型燃料電池，操作溫度為約 80~200°C，各種燃料電池特性及應用如下表 1。

表 1. 各種燃料電池特性及應用

	低溫燃料電池 (60~120°C)			中溫燃料電池 (160~220°C)	高溫燃料電池 (600~1000°C)	
類型	AFC	PEMFC	DMFC	PAFC	MCFC	SOFC
應用	太空飛行、國防	汽車、潛水艇、攜帶式電子設備、住家電源	攜帶式電子設備、軍用電子設備電原	熱電合併電廠、複合電廠	熱電合併電廠、複合電廠	熱電合併電廠、複合電廠、住家電源
開發的狀態	在太空飛行中的應用	3C 產品、汽車、公共汽車測試、250kw 分散型電站	主要運用於手機、筆記型電腦電池等小型電池	商用 PC25™D 型，具有 200kW 功率，成本約為 1500kw 美元，	250kW 的 MCFC 結合 Turbine 複合發電測試，3MW 的試驗電廠	110kW 的試驗電廠和 SOFC/GT300kw 至 1MW 電廠測試
特性	啟動快，不適合於工業應用	啟動快、與常規技術相比很貴	發電效率低且甲醇會穿透薄膜	發電效率相對較低	啟動時間長、腐蝕性電解液	電池外型設計有彈性、廢熱可利用，材料限制大
電解質	氫氧化鉀溶液	質子可滲透膜	鹼金屬或碳酸鹽	磷酸	鋰和碳酸鉀	固體陶瓷體
燃料	純氫	氫，甲醇天然氣	甲醇	天然氣，氫	天然氣·煤氣 沼氣、氫	天然氣·煤氣沼氣、 氫
效率	60-70%	43-58%	30%	37-42%	> 50%	50-65%

三、固態氧化物燃料電池(SOFC)

接著比較上述四種主要的燃料電池(PEMFC、PAFC、MCFC及SOFC)之特性。其中，熔融碳酸鹽燃料電池MCFC在高溫運轉環境中碳酸鹽(CO_3^{2-})電解質易於陽極與陰極側有腐蝕反應產生，影響電池使用壽命。再者，磷酸鹽燃料電池PAFC，具有磷酸鹽在低溫時離子導電度差之問題，且陽極白金(Pt)觸媒易受一氧化碳(CO)產生觸媒毒化現象；而質子交換膜燃料電池PEMFC，為目前最有機會於汽車產業實用化之燃料電池，但本身亦有陽極白金觸媒昂貴且易受一氧化碳影響，產生觸媒毒化現象，且電池內部之水管理問題，亦會影響電池效率。較於前述三種燃料電池，固態氧化物燃料(SOFC)相具有下列的技術優勢，近年已漸漸成為定置型發電系統應用之主要技術⁽³⁾：

- (a) 燃料選擇彈性，可適用的燃料選擇範圍最為廣泛，如天然氣、煤氣、生質酒精、柴油、汽油等碳氫化合物均是可供選用之燃料來源。
- (b) 電池運作溫度高(約800 °C)，提高電極觸媒之反應速度，使得電池本身即具有內部燃料重整功能，對於雜質(CO 或S 含量等)容許度較高。
- (c) 電極觸媒不需使用貴金屬，大幅降低製作成本。
- (d) 不受氣候狀態限制，系統可24小時不間斷連續運轉，實際發電時數最高。
- (e) SOFC 相較於其他種類再生能源，如太陽能或風力發電等，不會受天候等環境因素影響效率，亦無傳統柴油發電機的碳排放空氣汙染問題。
- (f) 排放之高溫尾氣可進行熱回收再利用與蒸汽渦輪機搭配形成汽電共生系統，發電效率可達70~80%。
- (g) 應用規模及範圍廣，SOFC 系統可靈活運用在住宅區的建築物、醫院、工

業園區等，提供安靜操作環境之電力及熱水。可用在小容量如1~100 kW 規模，作為獨立運作之小型分散式發電系統；亦可作MW級以上之大型定置型電廠發電系統。

SOFC具有高效率、多燃料選擇及卓越的耐久性等優點，期望未來可作為中小型的汽電共生分散式發電系統，以取代傳統集中式的大型火力發電模式。

四、美商Bloom Energy公司SOFC發電系統介紹

目前世界上有許多系統廠商，其中，Bloom Energy為將SOFC發電系統以商用模式銷售發展最為成功之美商公司，且為目前全球唯一能提供大型化商用系統之企業。該公司坐落於美國加州，成立於2001年，為美國前副總統高爾所投資之燃料電池公司。由於該電池技術來源為美國國家航空暨太空總署（National Aeronautics & Space Administration, NASA）之火星動力計畫，因此技術成熟度與穩定度相較於他國之產品，有較佳之技術水平優勢。

Bloom Energy 在美國已為Apple、Walmart、AT&T、Google、eBay及可口可樂等多家企業提供電力，過去幾年來提供的電力累計已超過7億kWh，累計至2016年系統裝置容量實績已超過200 MW。該系統對於全球環保有相當大的助益，如圖7及8所示，因使用天然氣作為系統燃料，相較於其他傳統發電系統具有二氧化碳排放量最少之優勢(約為800 Lbs/MWh)；且系統需水量幾乎為零，這對於全球暖化與水資源缺乏的問題，提供一個高效率且幾乎零污染之發電系統選項。

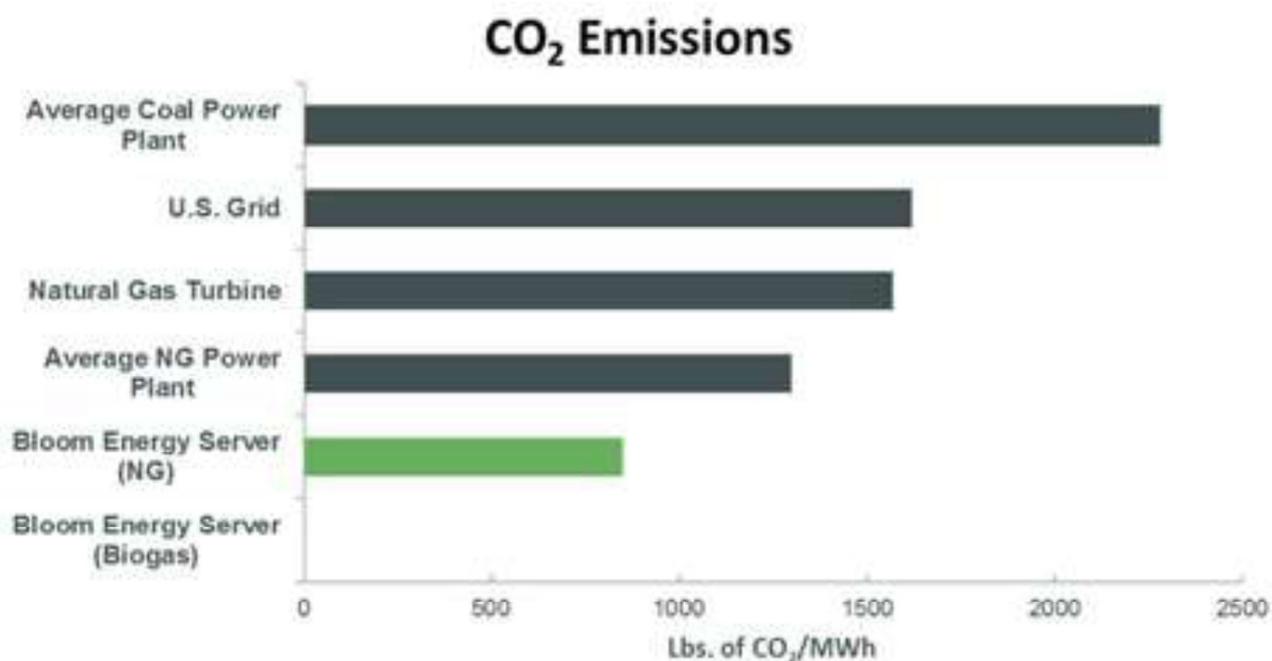


圖 7 Bloom Energy 發電系統與其他發電系統之 CO₂ 排放比較

Water Usage Compared

Generation Type	Gallons per MWh	Annual Gallons (per MW of Bloom equivalent generation)
Bloom Energy Server	0	.001 million
Combined Cycle Nat Gas Plant (cooling tower)	250	2.1 million
Coal Power Plant (open loop cooling)	35,000	291 million
U.S. Grid	10,300	86 million

圖 8 Bloom Energy 發電系統與其他發電系統之需水量比較

目前該公司推展之 SOFC 發電系統，如圖 9 所示。兩款主力 SOFC 發電系統其發電容量分別為 250kW(ES-5710 Energy Server)與 200kW(ES-5700 Energy Server)，該系統使用天然氣(Natural gas)作為燃料來源，亦可直接使用

生質氣體(Biogas)供應，目前測試後發電效率均可達 52%~60%(LHV)(轉換成 AC 輸出)以上。另外，該公司亦提供兩款不斷電電力模組供搭配，分別為可並接 5 個模組，輸出功率為 160kW 之模組(UPM-570 Uninterruptible Power Module)及可並接 6 個模組，輸出功率為 200kW 之模組(UPM-570 Uninterruptible Power Module)，估計可提供約 96 小時之離線運轉備用電力。



圖9 美商Bloom Energy 公司之SOFC發電系統與不斷電電力模組⁽⁴⁾

此外，該公司提出系統之發電成本(美分/度)估算如下所示，其預設系統情境之計算基礎為：

- 1.系統裝置容量為60 MW
- 2.系統運轉使用率90 %
- 3.系統使用壽命15 年
- 4.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(System Cost)與燃料成本(Fuel Cost)之發電總成本(Total COE)，如表2所示。

表2 美商BE 公司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

由上表，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/m³，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，而天然氣價格以中間值14元/m³估算，系統發電效率為55%(即每m³天然氣可產生5.5度電)，匯率1美元=30(元)新台幣，每MMBTU=28.3m³，則估算結果如下所示:

天然氣價格NT 14 元/m³

天然氣每MMBTU價格=14 × 28.3/30=13.2 (美元)

燃料成本=13.2/28.3/5.5=0.0848 美元/度=8.5 美分/度

發電總成本=設備成本+燃料成本

$$=9+8.5=17.5 \text{ 美分/度}=0.175 \text{ 美元/度} \times 30 = \text{NT } 5.25 \text{ 元/度}$$

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

輸線設施較有優勢。

再者，用戶可採系統買斷模式或租賃模式，Bloom Energy公司通常傾向希望採租賃模式，系統操作運轉與維護皆由該公司承包，用戶無法參與作業。系統與場域建置則由該公司與用戶共同分擔，用戶需每個月固定給付該公司系統運轉與維護費用，此外，用戶另需自行負擔系統總發電成本(即設備成本與燃料成本)。

因本計畫原定到美國Bloom Energy公司參訪，但後來因預算的限制，改為參訪日本三菱日立系統公司，但在行前準備時仍與Bloom Energy公司(以下簡稱BE公司)在台人員接洽，請教相關問題，以做為將來如要安裝在變電所之參考，底下為提出請教之問題及獲得之答案：

問題 1. 燃料來源?瓦斯管徑?產生 1 度電所需燃料? 效率?

BE 公司答覆: 大約為每度電 0.19 立方公尺天然氣，瓦斯管徑 2"，壓力 15psig，

初始效率 65%，終身平均 53%（這部分可以透過合同調整）

基於上述平均效率為 53%。

問題 2. 整套發電系統組成包括那些設備?

BE 公司答覆:最基本的一套系統 300kW，包含：6 組發電模組、1 組天然氣模

組、1 組電力模組。另外可多套系統裝一個淨水系統（選配，

假如現場有 DI water），客戶通常還會選擇下列設備:

A. 不斷電模組（含超級電容）

B. 電池模組

C. 微電網模組（可整合太陽能、風能及電池）

最後，根據是否升壓，會再搭配變壓器等。

問題 3. 運轉操作溫度多少?

BE 公司答覆:約攝氏 850 ~ 900 度。

問題 4. 排放氣體溫度多少?

BE 公司答覆:排放口在設備上方，操作者是碰不到的，設備內部氣體在排放口前約攝氏 100 度，一旦出排放口，就立刻受到空氣冷卻而降溫，至於實際溫度，須先訂量測標準才能提供數據。

問題 5. 滿載時噪音值多少?

BE 公司答覆:打開機箱維修測得 70db（機箱平常不開），無隔音玻璃時，距離 2M 測得 67db，距離 5M 測得 59db，距離 15M 測得 49db；有隔音玻璃時，距離 2M 測得 38db，距離 5M 測得 30db，距離 15M 測得 15db。基本上環境噪音都跟我們的操作噪音差不多。我們的噪音都來自主機板的冷卻風扇，可以輕易用隔音玻璃及距離來降低，不像風力發電的低頻噪音，無法隔絕。

問題 6. 設備採購預估金額?如果改為乙方提供，費用如何計算?

BE 公司答覆:實際金額其實要看規格，由乙方提供設備的估算曾提供給能源局、台電及工研院：每度美金 9 分(USD 0.09/kWh) (以 15 年發電量 $300\text{kW} * 90\% * 24 * 365 * 15$ 估算) + 天然氣成本 + 土地成本。每度美金 9 分包含了天然氣及土地以外的所有成本（如設備、

安裝、維修及融資等），其中天然氣每度電需 0.19 立方公尺。土地每 MW 約需 120~150 平方公尺。

問題 7.安裝設備所需空間?是否需控制室?屋內或屋外型式為佳?

BE 公司答覆:戶外型（地面，屋頂皆可），建議不要設在屋內。不需控制室，我們都是遠端監控。但是看台電的需求，也可以討論建立在台電的監控中心。基本設備的話，面積是每 MW 約 120~150 平方公尺，高度約 2.1 ~2.3 公尺，因此希望最少有 3 公尺的高度空間。承重每平方公尺 1.1 噸。(我們在韓國的電廠有個新設計，是三層鋼平台，正在安裝)。

問題 8.簽約後到加入系統所需工期?

BE 公司答覆:依容量而定。若是 100MW 之內，而且政府的審核都完成，應該可在三個季內完成（製造+船運+安裝+試車）。

問題 9.目前既有實績最大容量多少?在哪個國家地方?

BE 公司答覆:美國 30MW 電廠 (Delmarva)，韓國電力公司配合政策裝 8.7MW 在電廠。我們的設備是朝向分佈式發電，直接裝在工業區科學園區或大型工廠，因為接近負載中心，減少饋線建置及維修成本，因此絕大部分的安裝都是在客戶端，單點量不會太大。

問題 10.設備故障所需修復時間?維修時是否全部停止供電?

BE 公司答覆:設備規格通常 1 箱為 50kW，1 組 6 箱共 300kW，平時無須停電

保養，如果 1 箱故障維修約需 4~6 小時，但其他 5 箱可升載維持 300kW 輸出，不影響供電。

問題 11.目前既有實績之設備經營以何種模式較多？用戶買斷或租用？

BE 公司答覆:設備通常採甲方提供土地及天然氣，乙方提供設備及運轉維護管理，再向甲方收取費用之經營模式，如甲方希望採直接買設備(1kW 500 美金不含安裝費)自行運轉管理之方式，則 BE 公司仍希望由該公司負責維護，以確保 99.5%以上時間持續運轉不斷電。

五、日本三菱日立公司SOFC-MGT 混合系統介紹

日本三菱日立公司 MHPS(Mitsubishi Hitachi Power Systems)係日本三菱重工公司與日立製作所為整合電力系統業務，於 2014 年春季設立的新公司，兩家公司以燃氣輪機等火力發電站相關設備為中心進行整合。該公司近幾年由日本國立新能源及產業技術總和開發機構 NEDO(The New Energy and Industrial Technology Development Organization)資助從事燃料電池之研究，致力於將 SOFC 發電系統應用於區域定置型或大型電廠級發電系統，搭配其他更適用於大型發電之裝置來配置，以有效提升整體系統效率，並於 2017 年發展出一種加壓混合動力發電系統，結合固態氧化物燃料電池 SOFC 及微型氣體渦輪機 Micro Gas Turbines (MGT)組成一種高效率、低二氧化碳排放的新電力發電系統，提供工業用戶新的分散式(distributed)及汽電共生(cogeneration)形式的發電系統選擇，同時改善能源及環境的問題。

日本三菱日立公司之 SOFC 發電系統具有下列幾個特色:

- 其 SOFC 材料為固態管狀型，長度 1.5M，內部構造及發電之化學反應示意圖如圖 10 及 11。^[5]

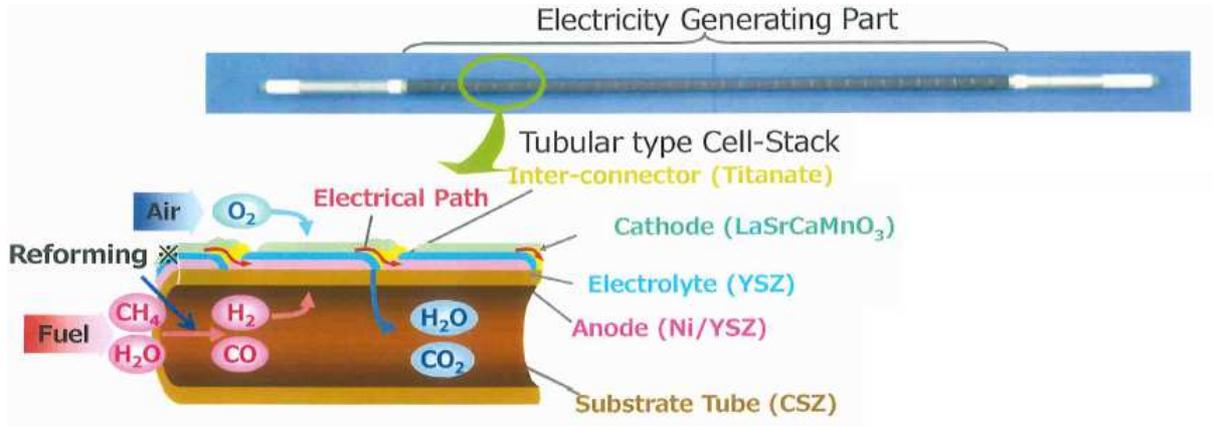


圖10. 固態管狀型SOFC外型及內部構造圖

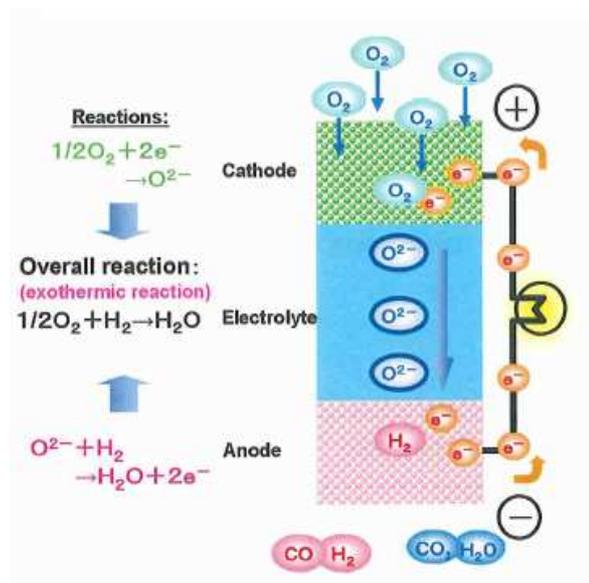


圖11. 發電之化學反應示意圖

其中圖10※標示:將燃料甲烷及水的轉化方程式為 $CH_4 + H_2O \rightarrow 3H_2 + CO$

- 電池堆疊化通常以400~500根管型電池為一匣，而且以8匣為一個次模組，擴充容易，如下圖12。

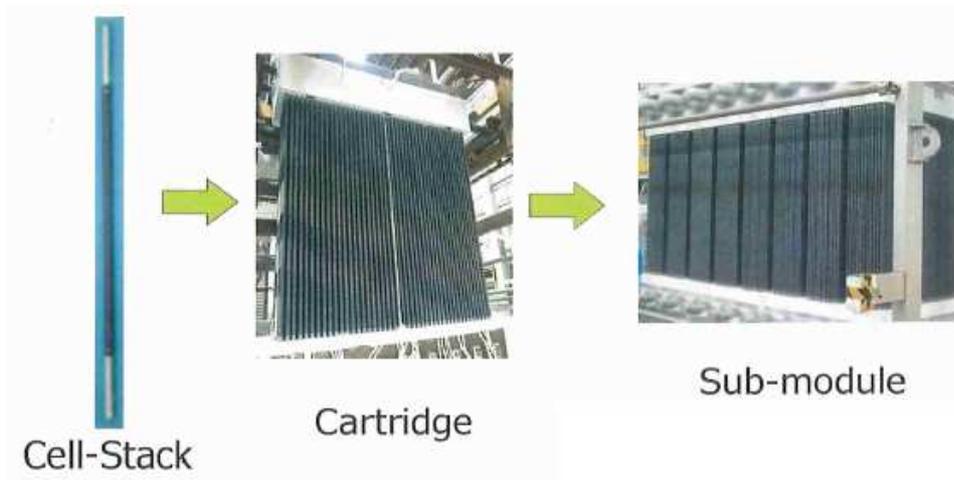


圖12電池堆疊化組成圖

3. 並將電池置於高壓容器內，如圖13，以提高發電容量，如圖14(壓力與發電電流及容量密度關係曲線圖)。

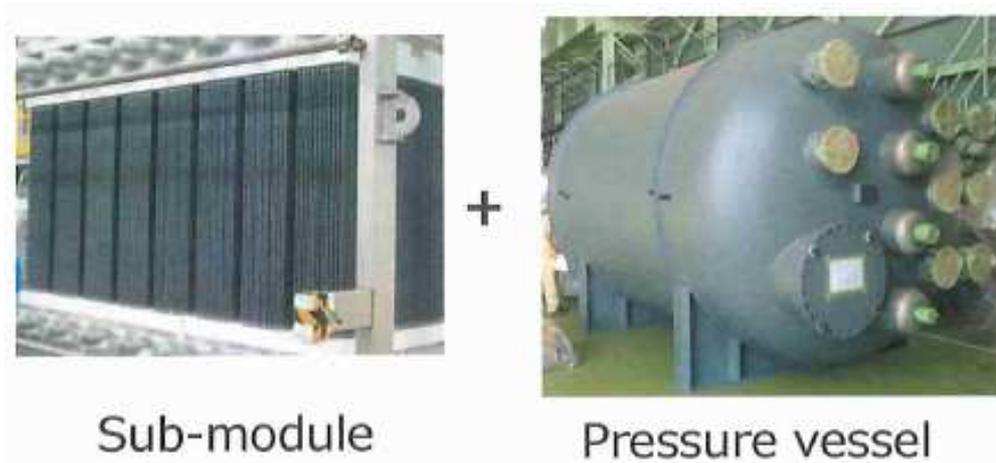


圖13.電池置於高壓容器內

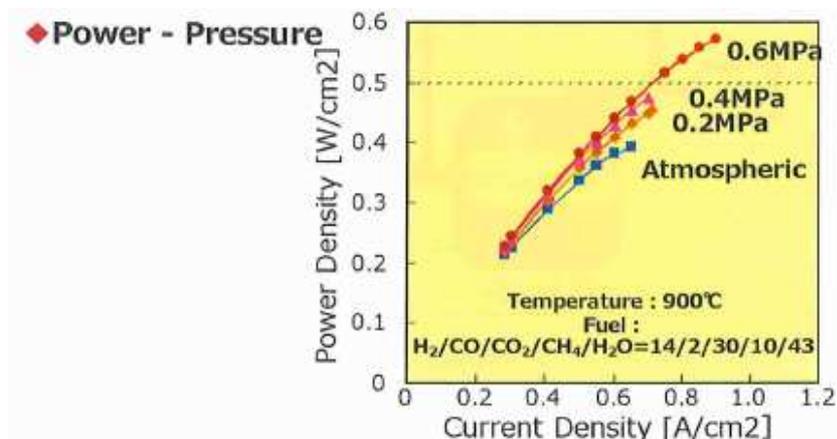


圖14. 壓力與發電電流及容量密度關係曲線圖

4. 相較於前面Bloom Energy之SOFC發電過程所需的高溫熱氣需由系統外供應，而且產生的高溫熱氣直接排到空氣中，如圖15；MHPS則將排出的熱及蒸汽經過重複循環的鼓風機(Recirculation Blower)回到裝有燃料電池之壓力槽中，供給SOFC所需的高溫熱氣，可以提高效率並節省成本，如圖16。

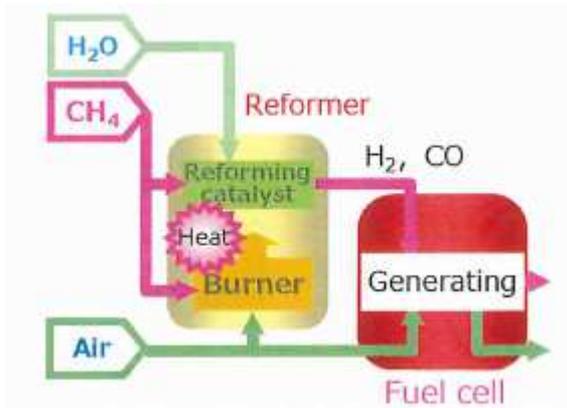


圖15. Bloom Energy之熱氣由系統外供應

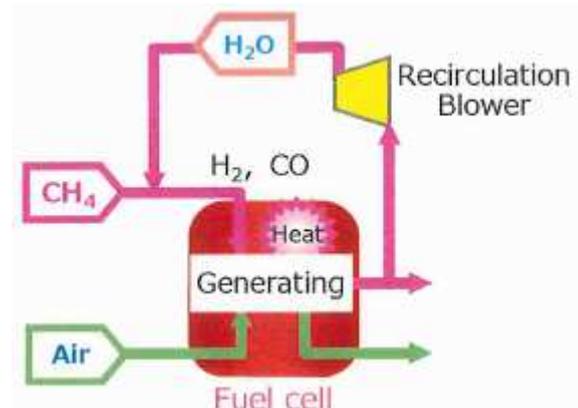


圖16. MHPS將排出的熱重複循環使用

5. MHPS之SOFC+MGT Hybrid System(混合動力系統)構造示意圖如圖17，分成SOFC及氣體渦輪機micro gas turbines (MGTs)兩部分，除了SOFC第一階段直接將燃料轉成電能外，第二階段還可利用SOFC產生的廢氣經MGT產生額外的電力，最後MGT產生的廢熱水(88 °C)及蒸汽(175 °C)可再利用作為其他用途，可將整體效率由55%提升到73%。

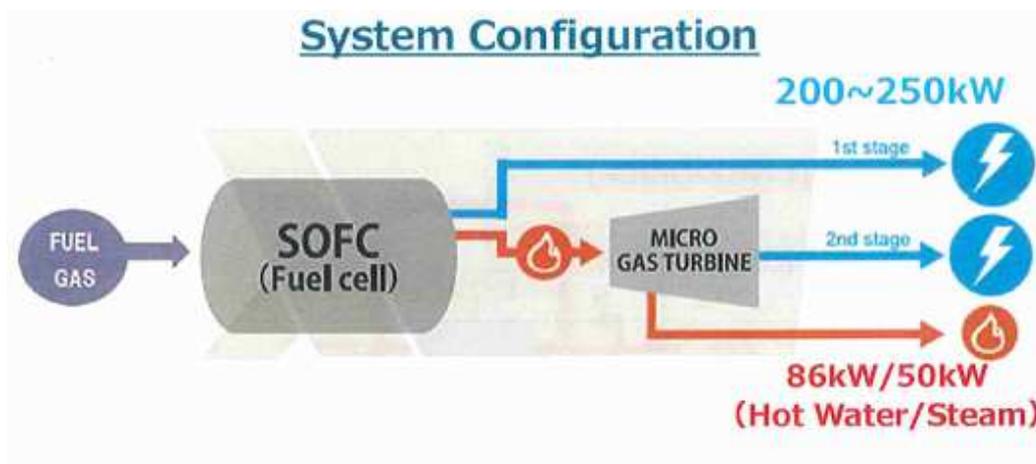


圖17. MHPS之SOFC+MGT Hybrid System構造示意圖

其概略運作流程如下圖18。

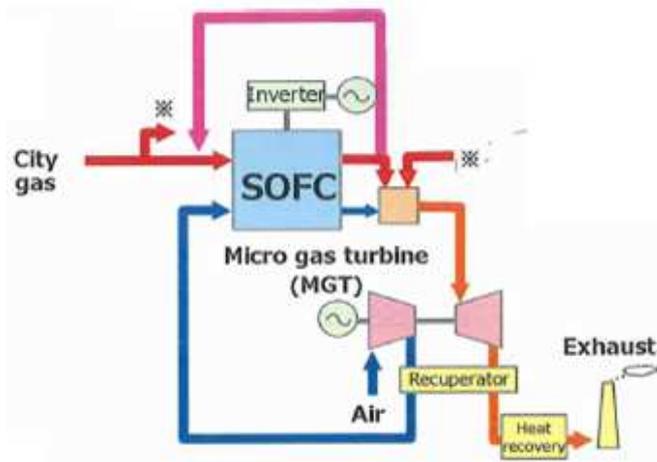


圖18. MHPS之SOFC+MGT Hybrid System運作流程圖

MHPS之SOFC+MGT Hybrid System實際外型圖及內部構造圖如圖19及圖20⁽⁶⁾。

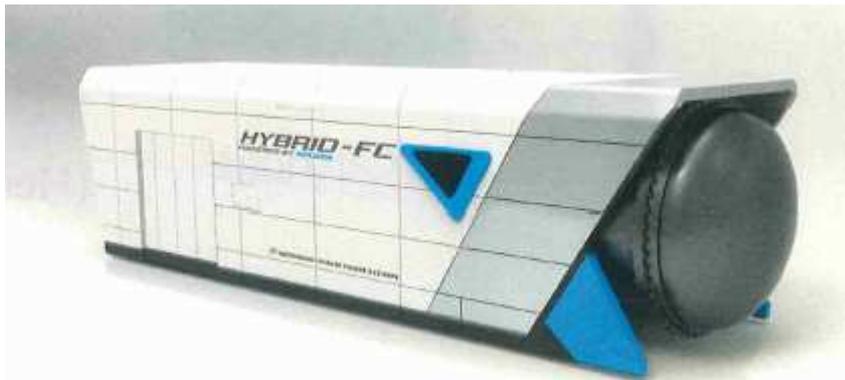


圖19. MHPS之SOFC+MGT Hybrid System實際外型圖

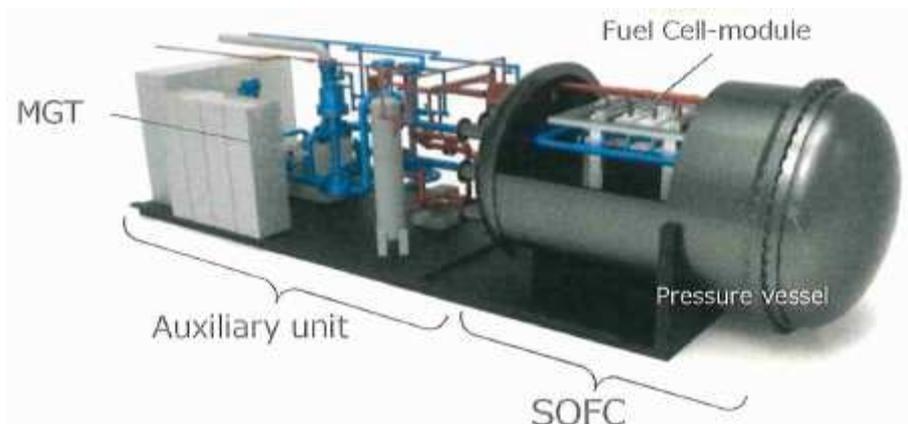


圖20. MHPS之SOFC+MGT Hybrid System內部構造圖。

MHPS之SOFC+MGT Hybrid System完整的輸出入及細部運作流程如下圖21及表3⁽⁷⁾。

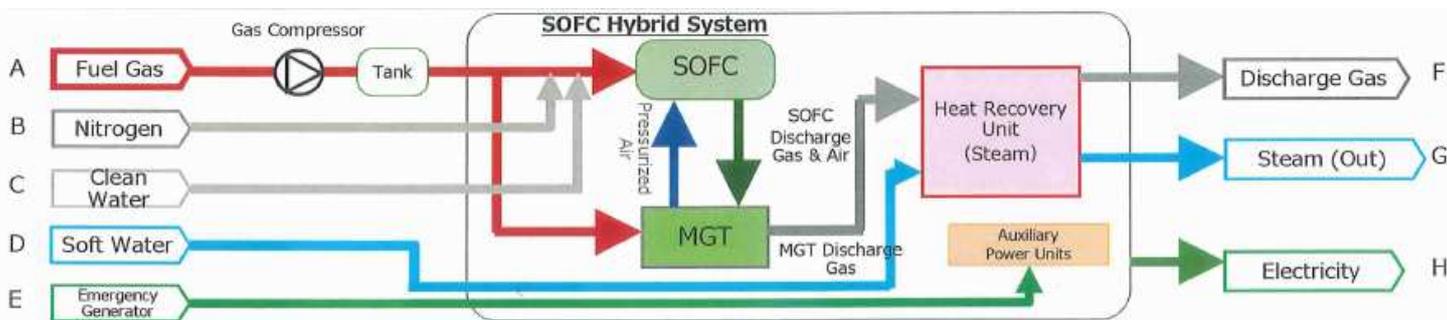


圖21. MHPS之SOFC+MGT Hybrid System完整的輸出入及細部運作流程圖

表3. MHPS之SOFC+MGT Hybrid System輸入原料及輸出物質條件及功能

	Item	Connecting Condition			Note
		Pressure	Flow Rate	Tank Capacity	
I N	A City Gas	0.7MPaG and over	50Nm ³ /h	4.5 m ³ and over	➢ In case fuel gas with enough pressure is provided continuously, The tank can be omitted.
	B Nitrogen	0.5MPaG and over	25Nm ³ /h (Max instantaneous:30Nm ³ /h)	500 Nm ³ and over	➢ Nitrogen Gas: Startup and Shutdown Process Only ➢ Nitrogen bomb is applicable.
	C Clean Water (CW)	0.1~0.3MPaG	For Reforming: 20kg/h	0.3 m ³ and over	➢ CW for reforming (20kg/h): Startup and Shutdown process only
	D Soft Water	0.02MPaG	98kg/h (300kg/h at filling water)	---	➢ Water softener is necessary.
	E Emergency generator	AC210V, 3-phase, 50Hz/60Hz	31kW / 36kVA and over (In case of using N2 PSA 54kW / 59kVA and over)	---	➢ In case of grid power outage: Emergency Generator must supply power with 60sec. ➢ 15 hours running due to safety shutdown ➢ In case the micro-grid incorporates proper ESS, Emergency generator can be omitted.
O U T	F Discharge Gas	Atmospheric Pressure	1,450Nm ³ /h	---	➢ The Ambient temperature: 0 °C
	G Steam	0.78MPaG	98kg/h(Max)	---	➢ Hot water recovery system is applicable.
	H Power	AC210V, 3-phase, 50Hz/60Hz	Capacity : 1000A	---	➢ AC220V is applicable.

從上面圖21.及表3.中可知此系統所需的輸入原料及設備包括:

- A. 天然氣:壓力0.7MPaG以上，流量50Nm³/h，如果供應無法連續則需裝設4.5m³以上之儲存容器。
- B. 氮氣: 壓力0.5MPaG以上，流量25Nm³/h，裝設於500Nm³以上之儲存容器，只有在系統啟動及當機時需要用到，其作用為啟動時保護系統避免當機，以及如果運作過程當機則需氮氣作為清除內部燃料用。

- C. 乾淨水: 壓力0.1~0.3MPaG以上，流量20kg/h，裝設於0.3m³以上之儲存容器，亦只有在系統啟動及當機時需要用到。
- D. 軟水: 壓力0.02MPaG以上，流量98kg/h。
- E. 緊急發電機: AC 3 ϕ 210V 50/60Hz 31kW/36kVA以上，須能在60秒內供應緊急狀態時所需之電力，且須能維持15小時以上。

上述原料燃料經加壓後送入SOFC轉成電能，併利用SOFC產生的廢氣經MGT產生額外的電力，最後MGT產生的廢熱水及蒸氣可再利用作為其他用途，所以其輸出產物包括:

- F. 廢氣: 一大氣壓，流量1450Nm³/h。
- G. 蒸氣: 壓力0.78MPaG以上，流量98kg/h。
- H. 電力: AC 3 ϕ 210V/220V 50/60Hz 電流1000A。

6. MHPS之SOFC+MGT Hybrid System運作實績及發展現況如下圖22:目前裝置在日本多個地方，作為商業及工業汽電共生用途，目前系統最大容量250kW運轉已超過 19,000小時，而且容量1MW等級之系統自2018年起展示及試運轉中。

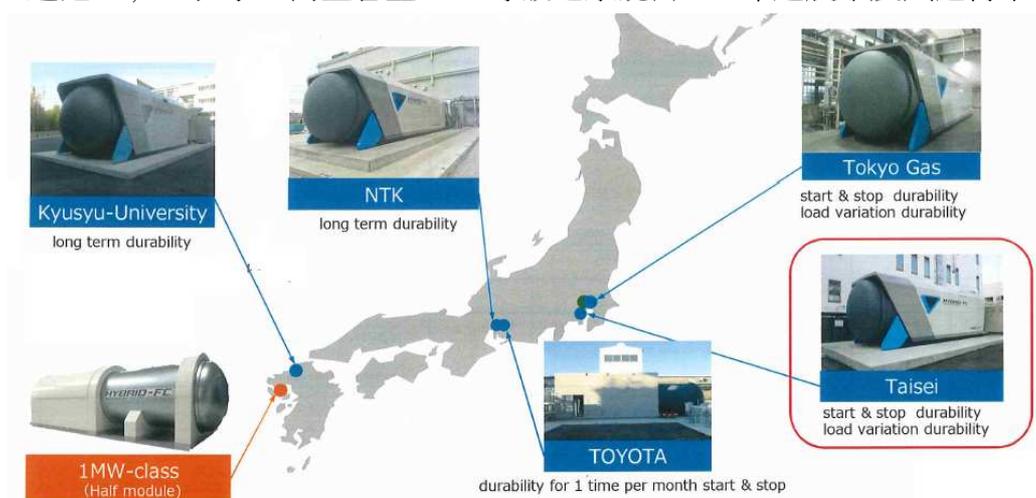


圖22. MHPS之SOFC+MGT Hybrid System運作實績及發展現況圖

本次參訪日本三菱日立電力系統公司(MHPS)，除了到該公司位於橫濱之總部辦公室與技術人員討論外，並到現場實地了解設備之規劃及運作現況，期間提出部分相關問題，以作為將來如果要安裝在變電所之參考，底下為提出請教之問題及獲得之答案：

問題1. 燃料來源?產生1度電所需燃料多少?效率多少?

MHPS公司答覆:燃料為天然氣，需要量為34Nm³/h for 250kW大約為每度電

0.136立方公尺天然氣，效率約55%(LHV)，加上MGT可達73%。

問題2. 整套發電系統組成包括那些設備?

MHPS公司答覆: 發電設備: SOFC + Micro Gas Turbine

週邊設備: 氫氣供應設備，給水設備等。

問題3. 運轉操作溫度多少?

MHPS公司答覆:約攝氏750~1000度(運轉溫度)。

問題4. 排放氣體溫度多少?

MHPS公司答覆:Micro Gas Turbine出口溫度為250度左右，這部分的熱量可回

收利用於產生蒸氣或熱水。

問題5. 滿載時噪音值多少?

MHPS公司答覆:離機組1m處為70dB以下。

問題6. 安裝設備所需空間?是否需控制室?屋內或屋外型式為佳?是否需裝設自動滅火設備?

MHPS公司答覆:戶外屋內皆可，需要控制室，機組本身尺寸長11.2m x 寬3.2m

x 高3.3m，另外有週邊相關設備與其連結部分。因故障時系統會自動停機，所以只需裝設手動滅火器，無需自動滅火設備。

問題7.簽約後到加入系統所需工期?

MHPS公司答覆: 約13個月，製造8個月、運輸1個月、安裝2個月及試車2個月。

問題8.目前既有實績最大容量多少?在哪個國家地方?

MHPS公司答覆: 最大250kW，交機目前只限於日本國內。

問題9.維修週期?

MHPS公司答覆: 預估濾網及脫硫器等需每年更換1次，fuel stack可連續使用7年無須更換。

問題10.目前既有實績之設備經營以何種模式較多?用戶買斷或租用?

MHPS公司答覆: 主要採買斷方式辦理，保固期為自運轉日起1年，至於維修方面可由公司負責或客戶自行處理，該公司派技師協助方式辦理。

肆、建議事項

這次實習從收集資料、與Bloom Energy公司人員討論以及到日本橫濱與三菱日立公司人員討論並到現場實地參觀，對於燃料電池之應用有較深入之認識，在此針對公司未來如要裝設燃料電池提出以下幾點建議:

一、經營模式: Bloom Energy設備通常採甲方提供土地及天然氣，乙方提供設備及運轉維護管理，再向甲方收取費用之經營模式;但MHPS主要採買斷

方式辦理，保固期為自運轉日起1年，至於維修方面可由該公司負責或客戶自行處理，該公司派技師協助方式辦理。兩者比較以MHPS的模式與本公司既有設備裝設模式相同，而且由本公司員工自行維修，可避免發生緊急狀況時廠商無法配合之情形。

二、裝設位置:

1. 設備所需面積: Bloom Energy 120~150m²/MW，MHPS約140 m²/MW，兩者相當，如要裝設幾個MW，以目前既有屋內型變電所比較難找到空地，至於屋外型之一次變電所(P/S)或超高壓變電所(E/S)應該可以容納幾個MW的設備，當然新建變電所規劃時預留空間並不難。
2. 燃料來源:因為上述兩家皆採用天然氣，Bloom Energy表示瓦斯管徑2"，壓力15psig。既有屋內型變電所因無天然瓦斯管線且緊鄰民宅，如埋設瓦斯管線恐引起抗爭，影響變電所運轉，且法規是否允許，亦待商榷。如果裝在火力電廠可利用既有瓦斯管線應較可行。如要裝設在屋外型之P/S或E/S，只要法規許可應該可行。
3. 裝置容量及地點: Bloom Energy最基本的一套系統為300kW，可容易擴充為多個MW;MHPS目前最大容量則為250kW，1MW正在試運轉中。燃料電池通常做為分散式能源，裝設在工廠、賣場、醫院等大型建築物旁供應其電力所需，目前Bloom Energy有裝設在電廠併入既有電力系統之經驗，MHPS則無。

三、製造安裝工期: Bloom Energy表示100MW以內，簽約後設計、製造、安裝、測試到加入系統只需9個月，MHPS則需13個月，皆非常適合緊急用電需求。

綜上，燃料電池為目前效率較高且較潔淨之天然氣發電技術，如果再搭配微型氣體渦輪機如MHPS的SOFC+MGT Hybrid System更可提高發電效率，並且廢熱氣或蒸氣如能充分再利用，亦可供給建築物暖氣或熱水等，使能源的使用效率提高，對於環境的保護，將有莫大之助益，且安裝迅速有助於電力短缺。惟如要安裝於變電所，需考慮是否符合法規？天然氣燃料供應管線之佈設是否有困難？以及是否為附近居民所接受？避免招致抗爭，反倒影響變電所運作等問題皆需再進一步探討。

伍、參考文獻

1. Dr. Thomas Trabold, Daniel Smith, and Matt Fronk, Propelling Fuel Cell Technology
2. 江滄柳,能源科技之明日之星燃料電池 國立成功大學 航空太空工程研究所, 2005.
3. 台灣電力股份有限公司 天然氣SOFC 系統評估建置暨後端整合微型汽輪機效 2016.
4. www.bloomenergy.com, Clean, Reliable, Affordable Energy
5. MHPS,Recent progress of SOFC at MHPS 2018.
6. Kobayashi, Y. et al., Development of Next-Generation Large-Scale SOFC toward Realization of a Hydrogen Society , Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 52 No. 2 (2015) pp.111-116.

7. YOSHIMASA ANDO, HIROYUKI OOZAWA, MASAHIRO MIHARA, HIROKI IRIE, YASUTAKA URASHITA, TAKUO IKEGAMI, Demonstration of SOFC-Micro Gas Turbine (MGT) Hybrid Systems for Commercialization, Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 52 No. 4 (December 2015)