

行政院原子能委員會
委託研究計畫研究報告

SOFC 技術標準與安規及應用市場研析
Analysis of Technical Standard, Safety Regulation
and Application Market of SOFC

計畫編號：1002001INER051

受委託機構：財團法人台灣經濟研究院

計畫主持人：左峻德所長

聯絡電話：02-25865000 #908

E-mail address：d1948@tier.org.tw

核研所聯絡人員：熊惟甲

報告日期：100 年 12 月 06 日

目錄

壹、	研究緣起與目的	1
一、	研究緣起	1
二、	研究目的	4
貳、	研究方法與過程	5
一、	國際政策、計畫及技術現況	5
二、	國際市場分析	31
三、	應用市場分析	41
四、	國際廠商動態	50
五、	技術標準	61
六、	專利分析	69
七、	台灣產學研發展	75
參、	主要發現與結論	91
肆、	參考文獻	103
伍、	附錄	106
	附錄一：國際主要廠商應用產品及研發進度狀態	106
	附錄二：美國廠商專利申請數	111
	附錄三：美國專利申請內容	113

圖目錄

圖 1：SECA 組織結構	6
圖 2：SECA 主要任務	6
圖 3：SECA 產業團隊分布	11
圖 4：SECA 核心技術開發團隊分布	11
圖 5：NEDO 燃料電池與氫氣技術開發研究架構	13
圖 6：NEDO SOFC 系統重點技術開發架構	14
圖 7：NEDO 示範運轉實行架構	18
圖 8：日本 SOFC / PEMFC 系統裝歷年裝置數量	19
圖 9：歐盟各國產業發展 SOFC CHP 系統合作連結	25
圖 10：韓國主要發展 SOFC 據點	28
圖 11：POSCO POWER 組織架構圖	29
圖 12：2011 年樂觀狀態銷售比例	48
圖 13：2011 年持平狀態銷售比例	48
圖 14：2011 年悲觀狀態銷售比例	49
圖 15：Bloom Energy 產品 Bloom Box	52
圖 16：CFCL 產品 BlueGen	53
圖 17：JX 日石日礦產品	54
圖 18：TOTO 產品	55
圖 19：Kyocera 產品	56
圖 20：Ceres Power 產品	57
圖 21：Wärtsilä 產品	58
圖 22：Siemens 產品	59
圖 23：Versa Power 產品	60
圖 24：台灣專利資料庫中之燃料電池專利公告歷年趨勢	72
圖 25：SOFC 公告專利歷年趨勢	72
圖 26：SOFC 專利之主要國家別統計	73
圖 27：保來得竹南廠	76
圖 28：德國 DORST 公司 1,600 噸粉末成型機	76
圖 29：於成功大學成立粉末冶金講堂	77
圖 30：於成功大學成立產品展示中心	77
圖 31：高力高雄工廠	78
圖 32：高力中壢工廠	78
圖 33：高力與 Bloom Energy 簽約	78
圖 34：康舒科技淡水工廠	80
圖 35：能源「風火輪」燃料電池產業發展問題與策略	90

圖 36：台灣 SOFC 發展進程參考	98
圖 37：SOFC 發電機組產業架構	99

表目錄

表 1：各種燃料電池發電效率比較	2
表 2：SECA 發展 SOFC 分散式淨煤發電長程研究規劃	10
表 3：韓國 SOFC 發展期程	27
表 4：韓國 SOFC 研發中心及研發議題	28
表 5：美國 2007 年至 2015 年利潤及走勢預測	31
表 6：美國 SOFC 市場各容量產量比例	32
表 7：日本 2007 年至 2015 年利潤及走勢預測	34
表 8：歐洲各國 2007 年至 2015 年利潤及走勢預測	37
表 9：歐洲固定式 SOFC 市場：各容量產量比重	38
表 10：市場分析考慮因素	41
表 11：熱電聯產系統需求、價格、成本因素預測變化.....	42
表 12：熱電聯產系統標準法規、競爭、安全及環境因素預測變化 .	42
表 13：發電機、遠端電源和輔助動力裝置需求、價格、成本因素預測 變化	43
表 14：發電機、遠端電源和輔助動力裝置標準法規、競爭、安全及環 境因素預測變化	44
表 15：軍用裝置需求、價格、成本因素預測變化	45
表 16：軍用裝置標準法規、競爭、安全及環境因素預測變化	45
表 17：便攜式電源需求、價格、成本及可用性因素預測變化	46
表 18：便攜式電源標準法規、競爭、安全及環境因素預測變化	46
表 19：2011~2016 年樂觀狀態預測	47
表 20：2011~2016 年持平狀態預測	47
表 21：2011~2016 年悲觀狀態預測	48
表 22：Bloom Energy 產品規格	51
表 23：SOFC 專利申請量累積排行榜	69
表 24：近來 SOFC 專利申請量排行榜	71
表 25：主要專利申請權人專利數量統計表	73
表 26：SOFC 機組所需組件	93
表 27：我國 SOFC 產業發展 SWOT	95

中文摘要

目前國內進行 SOFC 相關研究之單位並不多，除核研所自材料至系統均有投入外，其他學術機構多偏重於粉末製程及材料特性之精進，對於元件製作，電池單元設計、組裝、乃至系統研製皆有待開發。產業方面則有數家廠商與國際 SOFC 廠商合作製造零組件，為一研發重要切入點。

本計畫主要係針對 SOFC 技術與元件，進行相關技術調查與市場產業分析，藉以瞭解現有產品的國際技術標準與安規狀況以及技術特點，並蒐集專利資訊，進一步分析整體產業環境之發展，作為我國發展 SOFC 關鍵技術參考依據。同時歸納國內學研機構的研究成果，分析市場趨勢與可能產出的產品應用方向，協助帶動國內相關產業的發展，有助於增加台灣產業在 SOFC 市場的利基。

Abstract

There are limited institutes proceeding the researches of SOFC at present in Taiwan. Only the Institute of Nuclear Energy Research invests in the research from materials to system of SOFC. Other institutes are focused on the researches of powder technology and material characteristics studies. However some companies are involving in the fabrication, design of unit cell, and system manufacture.

This project engages in surveying of technology and industry of SOFC. The main purpose is to understand the present international technology standards, safe code, technical characteristics and patents. This study can be used to help the development of national research strategy. Also, the analysis of academic and research institute activities, the market trends and the potential application of SOFC products can benefit industry growth and market development.

壹、研究緣起與目的

一. 研究緣起

IPCC 於 2007 年公布第四版「減緩氣候變遷」科學報告指出，於 1990~2004 年間，全球溫室氣體排放量約成長 70%。2006 年 2 月「京都議定書」的生效執行，以及 2009 年 12 月舉行的 COP15 哥本哈根會議雖無正式協議，但節能減碳的全球趨勢，迫使各先進國家重新審視對於化石能源的使用情形，紛紛訂定溫室氣體減量政策以減緩地球溫度上升，而氫能燃料電池技術因具備低污染、高能源轉換效率之特性，成為近年來最受矚目的新能源供應技術。

燃料電池基本運作模式為利用氫氣與氧氣的化學反應，產生水、電力和熱能(電解水之逆反應)，是一個相當乾淨又安全的發電系統。相較於其他機械性發電方式，必須先通過燃燒燃料產生熱能，再利用此熱能加熱冷水，使其氣化成蒸氣，藉此將熱能轉化為機械能推動渦輪，最後再轉換成電力，上述過程包含數個階段，每個階段中都會發生能源耗損，因此燃料電池的發電效益於相較之下高出許多。又因燃料電池只要源源不絕地供應氫氣和氧氣燃料，就可以產生穩定的電力，故沒有集中發電的限制，因此非常適合作為分散式發電機。

目前在燃料電池當中最被看好的就是固態氧化物燃料電池(Solid Oxide Fuel Cell, SOFC)，以固體氧化物作為電解質的高溫燃料電池，藉著氧離子在晶體中穿梭以進行離子傳送，操作溫度高達 800~1000 °C。1899 年 Nernst 提出 SOFC 概念。1973，Bauy 與 Presis 完成第一個以 SOFC 為基礎之工作電池。

表 1：各種燃料電池發電效率比較

溫度 類型	低溫型 (60~200°C)		中溫型 (160~220°C)	高溫型 (600~1000°C)	
電解質 類型	鹼性 燃料電池 (AFC)	質子交換膜 燃料電池 (PEMFC)	磷酸 燃料電池 (PAFC)	熔融碳酸鹽 燃料電池 (MCFC)	固態氧化物 燃料電池 (SOFC)
應用	太空飛行 國防 車輛	汽車 可攜式電源 住家電源	熱電合併電廠	熱電合併電廠 複合電廠	熱電合併電廠 複合電廠 住家電源
優點	低污染 電效率高 維護需求低	低污染排放 低噪音 啟動快	低污染 低噪音	能源效率高 低噪音 具有內重整能力	能源效率高 低噪音 具有內重整能力
缺點	材料限制嚴格 壽命短 造價高	與常規發電技術 相比價格昂貴	價格昂貴 發電效率相對低	啟動時間長 電解液具腐蝕性	啟動時間長 對材料要求嚴格
燃料	純氫	氫氣、甲醇	氫氣	氫氣、天然氣、 煤氣、沼氣	氫氣、天然氣、 煤氣、沼氣
發電 效率	60%~70%	43%~58%	37%~42%	>50%	50%~60%
水管理	蒸發排水	蒸發排水 動力排水	蒸發排水	氣態水	氣態水
熱管理	反應氣體散熱 電解質循環散熱	反應氣體散熱 獨立冷卻劑散熱	反應氣體散熱 獨立冷卻劑散熱	內重整吸熱 反應氣體散熱	內重整吸熱 反應氣體散熱

資料來源：工研院整理

SOFC 技術在發電領域具有特別大的潛力，其優點是簡單的元件結構、製造成本低、不需以貴金屬（如 Pt）為觸媒、發電效率高、廢熱品質高、可適用多樣化之燃料(如甲烷、甲醇等)，和系統整體的簡單性。可與渦輪機形成 Combined Cycle，提高發電效率至 65%，適合定置型應用，如：家戶獨立發電系統、發電廠等。惟因其在高溫環境下操作，材料選擇受到若干限制，但其未來性備受重視，國際上相關產品及技術研發也逐漸增加。

台灣 SOFC 的發展與各國相比，在進程上有相當落差，多數國家已開始進行示範運轉計畫，並預計結束後即著手制定各項產品之相關安規及標準，甚至進入商業化階段。而台灣目前的 SOFC 產業尚處於研發階段，僅核研所致力開發 SOFC。即便如此，了解各國政策、市場及廠商發展狀況，可作為政府制定相關政策之參考，扶植學界、國家級研究室以及產業界對 SOFC 相關研究。若能在材料研發上有所突破，加速 SOFC 的產出，將有助於增加台灣產業在 SOFC 市場的利基。

本文主要針對 SOFC 技術與材料，進行相關技術調查與產業分析，如：各國政府對於 SOFC 推行之政策、研究計畫、SOFC 銷售現況、市場預測及各國發展的驅動因素與障礙。藉以瞭解現有產品的

國際技術進展以及技術特點，並蒐集專利資訊，以了解整體產業環境之發展，作為我國發展 SOFC 關連技術參考依據。

二. 研究目的

(一) 針對各國政府發展 SOFC 之政策及計畫進行研究，瞭解目前研發狀況，以便台灣技術相關研究單位切入關鍵技術研發及產業供應鏈。

(二) 蒐集國際上 SOFC 技術標準發展資訊，同時瞭解國內學研機構的研究成果，分析市場趨勢與可能產出的產品應用方向，協助帶動國內相關產業的發展。

(三) 針對 SOFC 進行相關技術專利資訊蒐集，藉以瞭解現有產品的專利狀況、技術特點以及整體產業環境之發展，作為我國發展 SOFC 關聯技術參考依據。

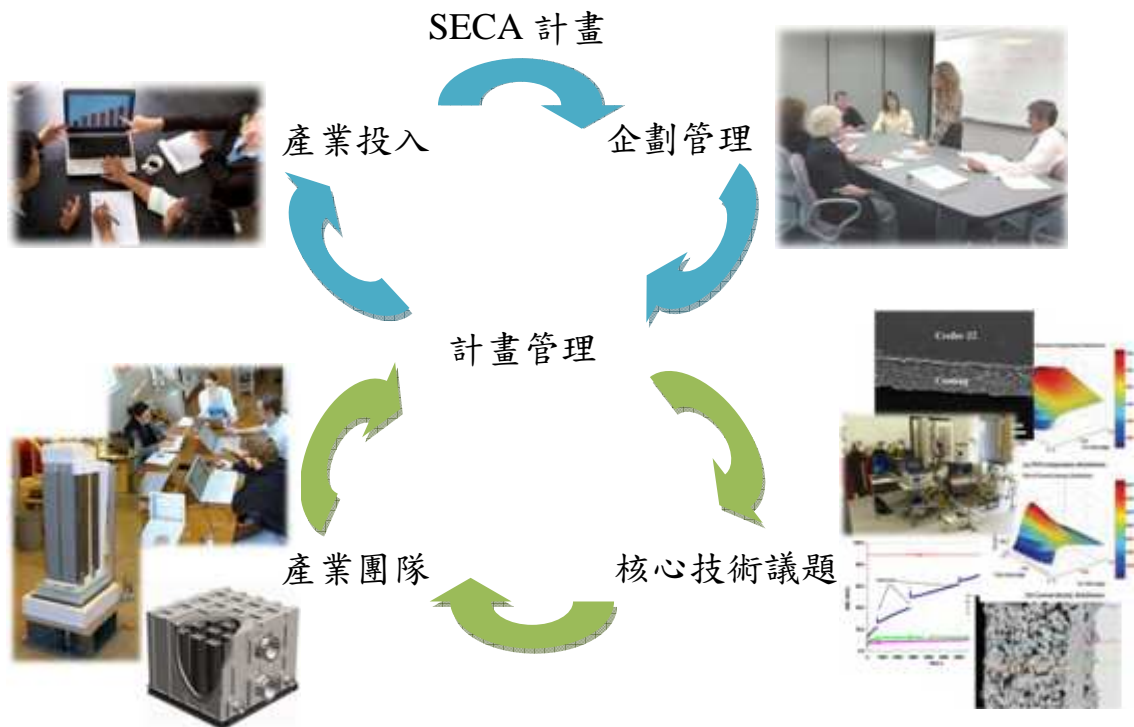
貳、研究方法與過程

一. 國際政策、計畫及技術現況

(一) 美國

美國能源部石化能源辦公室(Office of Fossil Energy)委託國家能源技術實驗室(National Energy Technology Laboratory, NETL)以及太平洋西北國家實驗室(Pacific Northwest National Laboratory, PNNL)共同負責推動 SOFC 研究發展。為與產業、學校及國家研究機構更緊密地合作，成立一個產官學研合作聯盟，即固態能源轉換聯盟(Solid State Energy Conversion Alliance, SECA)。SECA 之計畫目標有以下三項：降低 SOFC 製造成本與發展煤碳氣化-燃料電池複循環發電系統(IGFC)與核心技術研發等。第一階段 SOFC 成本降低計畫，自 2006 年啟動，已成功達到 SOFC 初步成本目標。

聯邦政府在 SECA 組織中負責管理與擔任研究團隊溝通協調之橋樑，同時決定技術發展優先次序及方法，另外還有廠商組成的產業團隊，及由學校、國家實驗室、小型企業與研究機構組成之核心技术開發團隊。產業團隊負責硬體設備及市場滲透等議題，主要參與成本降低研究計畫與 IGFC 開發計畫；核心技术開發團隊則依據不同議題，進行應用技術開發。



資料來源：<http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/fuelcells/seca/>

圖 1：SECA 組織結構

SECA 任務

- 以極少量的水資源、具成本效益且高效率發電方式，使二氧化碳和空氣污染排放趨近於零（二氧化碳捕獲率 99%）。
- 提供分散式獨立電網發電應用之技術。

發電效率	二氧化碳捕獲率	汙染排放量	低成本	技術模組	燃料多元化
60%	99%	少於 0.5ppm			

資料來源：<http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/fuelcells/seca/>

圖 2：SECA 主要任務

1. SECA 研究架構

(1) SECA 產業團隊-IGFC 系統開發

在 IGFC 系統開發上，SECA 希望發揮成本降低之槓桿作用，組

合 SOFC 單電池擴大為適合做為中央發電廠規模之應用產品；另一方面則是結合 SOFC 與輔助系統(balance of plant)，發展 IGFC 系統。產業團隊將致力於發展 MW 級之電力供應系統，同時繼續進行成本降低之研究。主要研究議題包括材料(電極、連接技術、封裝等)、製造、故障分析、系統整合、燃煤汙染物、輔助系統、控制儀表與加壓等。

(2) SECA 產業團隊-成本降低

為達成本目標，產業團隊致力於改良與驗證新技術，研發 25kW 以上之 SOFC 系統，並具有可量產、可組合、可擴大等特性，以應用於各種功率需求之產品上。成本降低研究工作結合製造程序與最新燃料電池技術成就，以獲得經濟規模之槓桿效益及擴大系統、降低成本。除此之外，亦須將 SOFC 產品之應用延伸至廣範圍、大規模的市場上。如卡車與遊艇用之輔助電力系統(APUs)，家用型/商用型/工業用電力供應系統、分散式電力系統與軍事應用等。對於各種應用產品之開發均採用同一種 SOFC 電池堆製作技術，整合廣大市場，以增加量產之可能性，才能有效地降低成本，並達商業化之目標。

(3) SECA 核心技術研發

SECA 目標為使技術發展大躍進，而非漸進式的發展，因此在計

畫架構上，核心技術研發計畫透過智慧財產權條款之設計，共享技術研發成果，並使廠商不重複投入開發相同的技術，僅專注於主要議題之研究，有效應用資源。參與廠商也可申請 DOE 之中小企業創新研究(SBIR)與其他補助。核心技術研發計畫提供廣泛的應用研究支援，主要可分為九個重點領域：

- 陰極：以最新概念與方法改善燃料電池穩定性與效能。
- 陽極與燃煤污染物：偵測潛在燃煤合成氣污染物及其對於陽極效能之影響。
- 連接元件與接觸材料：發展穩定、低成本之金屬連接元件與連接材料，在工作溫度 650-850°C 下，面積比電阻(area-specific resistance)與生命週期的穩定度均須在可接受範圍。
- 封裝：發展材料與封裝設計方法，須長時間、穩定維持所須化學物質。
- 連接材料與製造：發展材料與製造技術改善燃料電池可靠度、效能與抗空氣污染物之能力。
- 燃料加工：發展燃料處理技術以符合低需水量、空間與容量限制。
- 電子電力：燃料電池輸出電力(AC/DC)之效率與成本最佳化。

- 模式模擬：建立模式以評估可靠操作區間，並提供生產製程參考。
- 輔助系統：發展低成本高效率之高溫熱交換器與氣泵。

(4) 創新概念

SECA 創新概念計畫將評估燃煤發電廠改裝為直接使用燃煤之 SOFC 發電廠，同時驗證效能、耐用度、成本、擴充性等。

(5) 前端研究

SECA 前端研究計畫著重於進階電化學技術與化石燃料發電之環境破壞最小化，此類研究多為橫向研究(cross-cutting)或跨領域研究。電化學能源轉換與整合技術研究結果，將可做為 SECA 與 DOE 未來發展高效率、高可靠度與低成本之燃料電池系統時，訂定目標之參考。

2. 研究成果

2009 年 SECA 產業研究團隊成功完成 10kW 之 IGFC 系統驗證測試，包括運轉時間超過 5,000 小時與系統衰退低於 4%/1000 小時。2010 年底，研究團隊進一步測試大於 25kW 之系統，驗證 SECA 之成本目標：電堆成本 175 美元/kW、電池組 700 美元 kW(此成本目標係基於量產條件下之評估)。

SECA 發展之 IGFC 技術可捕捉超過 99% 之碳，僅有低於 0.5ppm

之 NO_x 排放，低用水需求，且淨熱效率(HHV)高達 50% 以上，若使用加壓系統，HHV 可達將近 60%。SECA 燃煤系統計畫將擴大整合 SOFC 技術，發展 IGFC 系統。橫向研究則於 SECA 的核心技術分項計畫中執行。表 2 為 SECA 發展 SOFC 分散式淨煤發電長程規劃期程，由能源安全觀點觀之，使用燃煤可有效降低美國對於進口石油及天然氣之依賴，提升能源自主性。全球半數以上國家主要發電量均來自燃煤發電，發展此項科技不僅可保護環境，降低空氣汙染，也是減緩氣候變遷的有效工具。

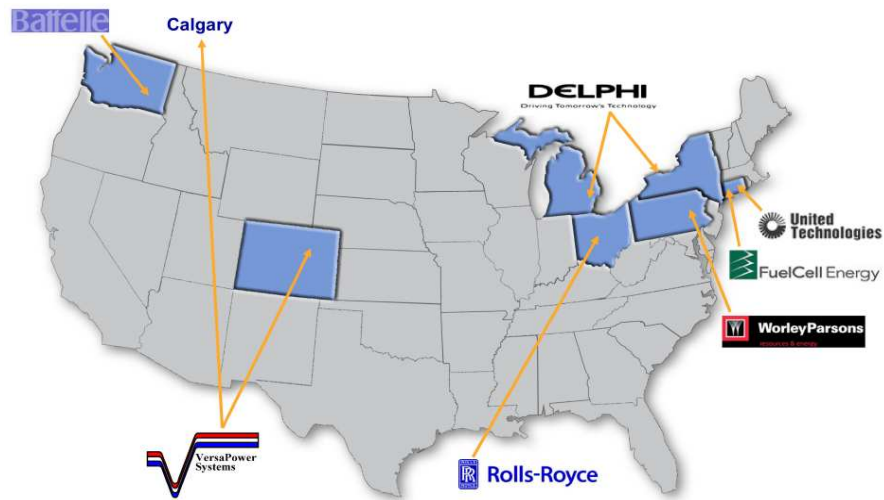
表 2：SECA 發展 SOFC 分散式淨煤發電長程研究規劃

年份	重要里程碑
2005	開始原型 SECA 之分散式發電系統 徵選使用煤氣為燃料之燃料電池系統研發團隊
2008	使用煤氣之堆疊高功率 SOFC 堆疊之測試
2010	SECA \$400/Kw 模組 MW 級(大於 250kW)以煤氣為燃料堆疊燃料電池之測試
2011~2015	MW 級燃料電池，功率比例放大 燃料電池/煤氣混合型，熱效率 HHV50%
2018~2020	測試 MW 級使用煤之混合式發電系統，效率 60%
2020	100MW 燃料電池系統

資料來源：能源產業科技白皮書.2010

3. 團隊成員

SECA 產業團隊成員主要有 Battelle、VersaPower System、DELPHI、Rolls-Royce、United Technologies、FuelCell Energy、WorleyParsons 等，分布如圖 3。核心研究團隊成員涵蓋範圍較廣，包括政府部門、國家實驗室、大學及產業，分佈狀況如圖 4。



資料來源：<http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/fuelcells/seca/>

圖 3：SECA 產業團隊分布



資料來源：<http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/fuelcells/seca/>

圖 4：SECA 核心技術開發團隊分布

(二) 日本

日本瓦斯公司(大阪瓦斯、東京瓦斯)早在 1980 年代就開始 SOFC 技術評估，安裝 Westinghouse 公司 3 kW、25 kW 系統。日本企業的強項是低成本化製造方法，Kyocera 和大阪瓦斯均在 SOFC 技術開發上投入許多經費與人力，包括筒狀平板型和圓筒直條型兩種 SOFC 系統，有效提高發電效率及降低製造成本。

三菱重工公司亦長期投入，負責混合系統之開發，採用的是圓筒橫條型 SOFC 系統。家用型 SOFC 系統方面，TOTO 開發小型圓筒型系統，日本特殊陶業開發平板型系統。因有多家廠商長期投入，使得 SOFC 在日本得以發展。日本政府為進一步促進 SOFC 系統商業化，以 SOFC 系統特色，選定家用型熱電共生系統為利基產品，開始整合產官學研界進行 SOFC 重點技術開發與實證研究。

SOFC 技術係由日本獨立行政法人新能源產業技術綜合開發機構 (NEDO) 負責推動。SOFC 研究屬於 NEDO 燃料電池與氫氣技術開發架構中的一環，整體架構如圖 5，主要項目有：「SOFC 系統重點技術開發」和「SOFC 實證研究」。



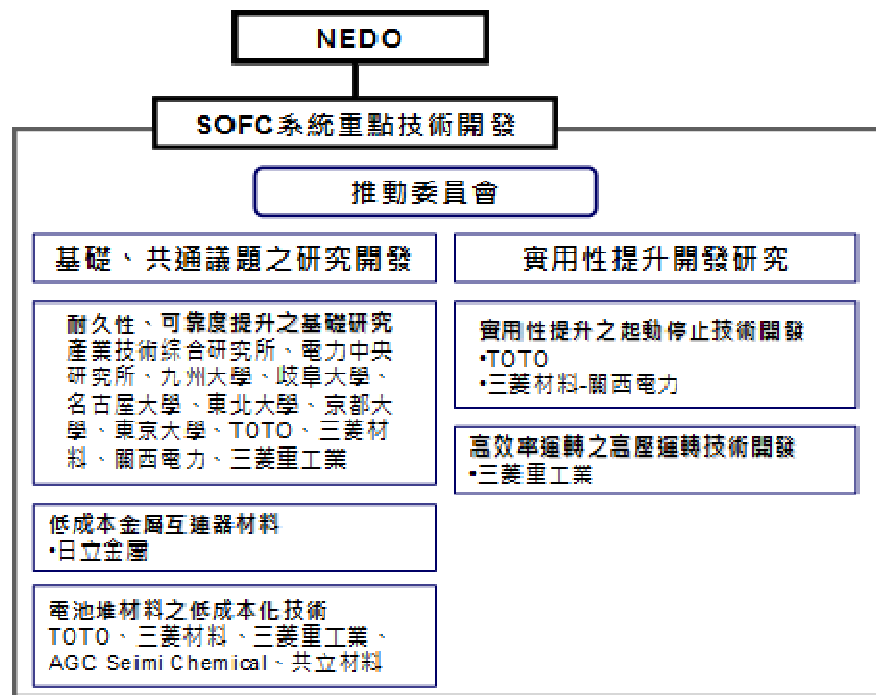
資料來源：Development of Fuel Cell and Hydrogen Technology

圖 5：NEDO 燃料電池與氫氣技術開發研究架構

1. SOFC 重點技術開發

SOFC 發電效率高，可使用天然氣、煤油與合成氣等多種燃料，可以與氣渦輪機構成複合發電系統等，應用範圍包括 kW 級家用系統到 MW 級發電設施等，用途廣泛。SOFC 系統目前耐久性、可靠性仍未經驗證，成本亦偏高。此計畫之目的為進行基礎研究及重點技術開發，以尋求上述技術問題之解決方案。計畫期程自 2008 年起至 2012 年結束，為期 5 年。2008 年預算為 156,000 萬日元，2009 年度為 132,500 萬日元，2010 年度為 76,000 萬日元，過去 3 年累計為 364,500 萬日元。

此計畫的實施架構如圖 6。共有 15 個單位參與此計畫，其中包含 7 家企業、2 家研究單位與 6 所大學等。此計畫下有二項研究項目，目標與實施內容等說明如後。



資料來源：Development of Fuel Cell and Hydrogen Technology

圖 6：NEDO SOFC 系統重點技術開發架構

(1) 基礎、共通課題之研究開發

A. 耐久性、可靠度提升之基礎研究

為提升 SOFC 耐久性與可靠度，電池堆廠商和大學、研究機關共同合作研究改良電池堆的構造、製造方法，以解決劣化現象等相關問題。此研究之分析對象包括圓筒直條型(TOTO)、圓筒橫條型(三菱重工業)、圓形平板型(三菱材料、關西電力)、筒狀平板型(Kyocera)、筒狀橫條型(東京瓦斯)等 5 種類型 SOFC 系統。

耐久性測試項目之目標有兩項：運轉時數與啟動停止。運轉時數目標在 2012 年底運轉時數達到 40,000 小時(電壓下降率 0.25%/1,000 hr)；啟動停止目標為 250 次(電壓下降率 10%/250 次)等。另外也將建立「加速劣化試驗法」技術標準。研究計畫內容說明如下。

- 熱力學解析 (產業技術綜合研究所)：使用二次離子質量分析法 (SIMS) 分析擴散現象、劣化原因與解析劣化機構。
- 化學分析 (九州大學)：藉由模擬進行燃料電池耐久性試驗評估，透過超高分解能顯微鏡觀察分析化學劣化機構、特定化學劣化的主要原因和檢討各因子的定量評估方法。
- 機械解析 (東北大學)：藉由 Acoustic Emission 的 Wavelet 分析，對於電池損傷處之測量、運轉時電池的變形或應力的發生等做相關機械解析，特定機械劣化的主要原因和檢討各因子的定量評估方法。
- 三相界面劣化現象和細微構造變化之相關探討 (京都大學、東京大學)：關於電化學劣化的電池堆之三相界面，透過低加速電壓收束離子束電子顯微鏡的觀察 (FIB-SEM) 或 Raman 分光局部分析，了解三相界面附近細微構造變化與劣化的關係。
- 耐久性評估方法 (電力中央研究所)：藉由 5,000~10,000 小時的

耐久性實驗及其數據的分析，了解各種劣化原因，檢討電池堆的剩餘壽命評估方式。

- 煤炭汽化氣體中微量成分影響之調查（產業技術綜合研究所、名古屋大學、岐阜大學）：分析煤炭汽化氣體所含有之微量不純物（P、Na、S 等），是否對於電極構造變化或發電特性有所影響。

B. 原(材)料、零組件低成本化及低成本電池堆模組之技術開發

成本降低之研究主要以金屬連接材料及電極材料為對象，燃料電池廠商如 TOTO、三菱材料、三菱重工業等，與原(材)料廠商，如日立金屬、AGC Seimi Chemical、共立材料等，共同合作，進行低成本電池堆之技術開發。成本目標訂於 2012 年底，量產階段之燃料電池堆製造成本低於 5 萬日元/kW。

(2) 實用性提升之研究開發

A. 起動停止技術開發

對於中小型 SOFC 系統應用於商用市場上，此計畫目標有 DSS (Daily Start and Stop)、WSS (Weekly Start and Stop)、暖起動停止、部分負荷運轉等改善技術研發。其中起動停止技術開發方面，有兩組研究團隊分別針對兩種類型 SOFC 進行研究：圓筒直條型電池由 TOTO 負責、圓形平板型電池由三菱材料和關西電力負責。

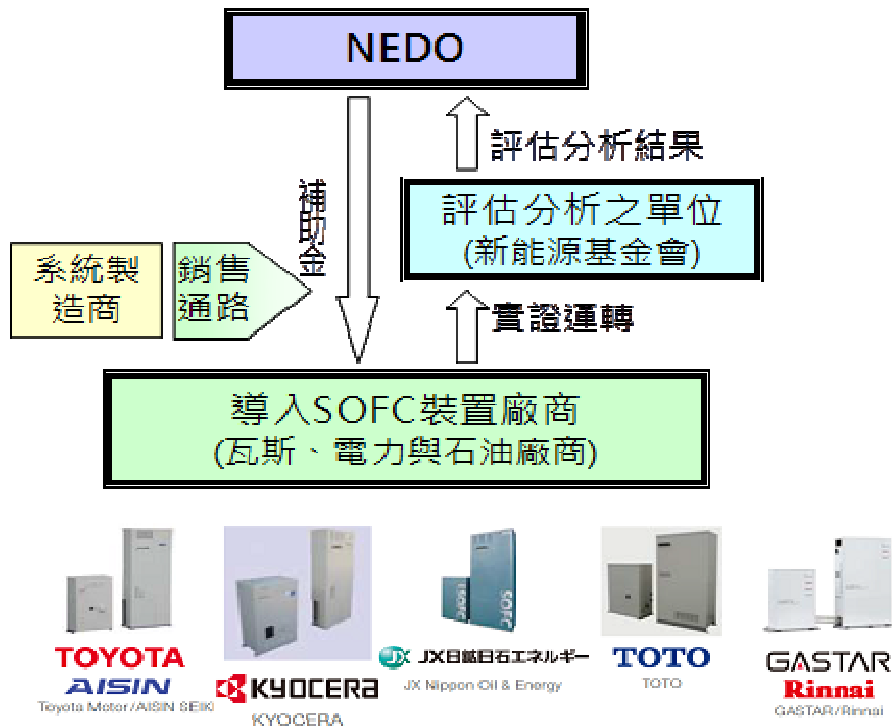
目標為在 2012 年底，5~10 kW 級系統或者熱獨立模組累積運轉時數超過 40,000 小時（電壓下降率 0.25%/1,000 hr 以下），起動停止次數高於 250 次（電壓下降率 10% 以下）的耐久性測試。啟動停止項目之目標分為冷起動停止 25~50 次(5~10 次/年)，暖起動停止 200~225 次(40~45 次/年)。

B. 超高效率之高壓運轉技術開發

目前 100kW 級以上且使用天然氣為燃料之 SOFC 複循環發電系統，其發電效率已可達 70%(LHV) 以上，而若以煤炭汽化技術搭配 SOFC 複循環發電系統，發電效率亦可達 60%(LHV) 以上。此研究之目標為 2012 年底運轉時數超過 40,000 小時，且電壓下降率小於 0.25%/1,000 hr，及確立超高效率運轉的高壓運轉技術。

2. SOFC 實證研究

「SOFC 實證研究」之目的為瞭解 SOFC 系統設置在一般家庭實際負荷環境下，可能產生之問題，並設法改善。透過實證研究計畫可蒐集運轉數據，分析系統，改善關鍵，解決可能產生之技術問題，以為將來商業化做好準備。計劃期間自 2007 年起至 2011 年，共計 4 年，預算規模 4 年合計為 29 億 4 千 8 百萬日元。



資料來源：Development of Fuel Cell and Hydrogen Technology

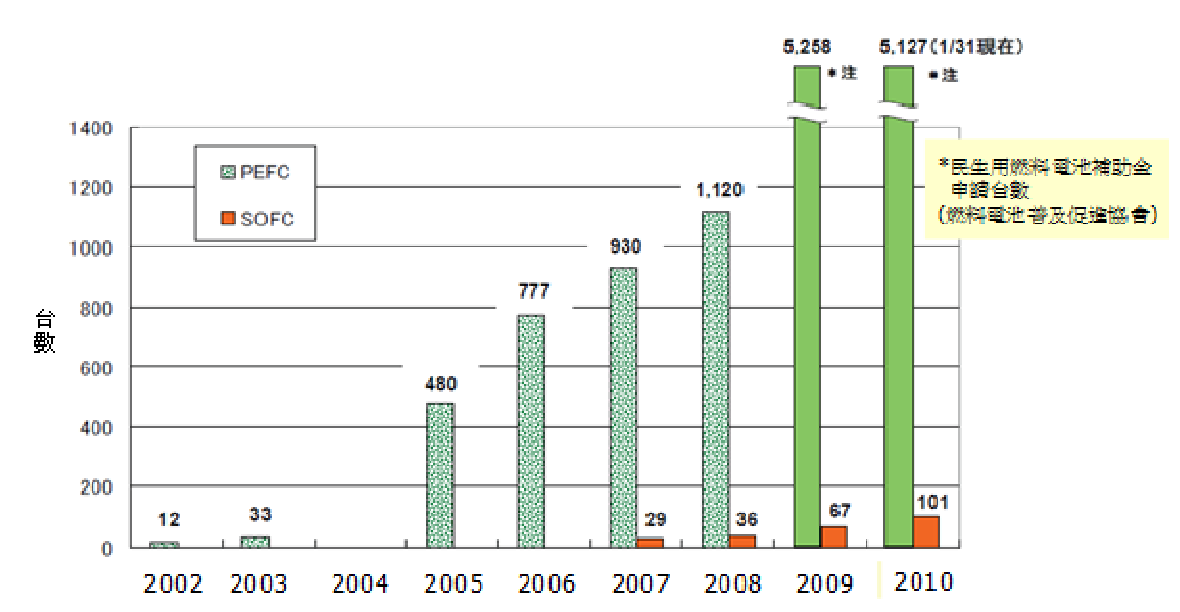
圖 7：NEDO 示範運轉實行架構

此計畫實施架構為 NEDO 補助導入 SOFC 系統之廠商(主要是電力公司、瓦斯公司、石油公司等)，使 SOFC 在實際負荷環境下運轉，並取得運轉數據。新能源廠商(SOFC 系統製造商)則負責分析評估運轉結果，並將評估結果回饋給 NEDO 作為後續技術開發方向規畫參考，如圖 7 所示。實證研究所使用之 SOFC 系統的額定功率範圍為 0.5kW~10kW，需通過 6 個月以上實證運轉的耐久性測試，並且限定為熱電共生系統。以下簡要說明該計畫之研究成果。

(1) 運轉數量

SOFC 之實證研究自 2010 年申請裝置量已達 101 台，四年累積

裝置量為 233 台。相較於已進入早期市場的 PEFC 系統裝置數量(超過 13,000 台)，SOFC 系統短期內仍無法趕上，然 ENEOS 之 SOFC 系統(700W)已於 2011 年 10 月上市，且售價為具競爭力之 276 萬日元，較 PEFC 系統(325 萬日元)便宜，有機會於熱電共生系統市場佔領一席之地，甚至取代 PEFC 系統。



資料來源：NEF SOFC 實證研究成果報告會議

圖 8：日本 SOFC / PEMFC 系統裝歷年裝置數量

(2) 耐久性與可靠度

2007 年度設置的系統已穩定運轉超過 2 萬小時，部分電池堆已經產生劣化現象。2008 年以後設置的系統，因技術改善，電池堆耐久性能已擴增 1 倍以上，可達 4 萬小時，目前累積運轉時數最高之系統已達 25,843 小時，運轉時間超過 1 年(8760 小時)者有 37 組。此外，在水系統與控制系統之故障問題亦獲得顯著改善。

(3) 發電效率

運轉期間之發電效率平均約為 35%(HHV)，其平均發電輸出約為 0.5 kW。另外，0.7 kW 級系統連續定格運轉的發電效率接近 40%(HHV)。

(4) CO₂ 削減率

平均電力需求為 500 kWh/月之家庭或辦公室，使用一次能源削減量約為 700 MJ/月（一次能源削減率約為 16%），CO₂ 削減率約為 34%；需求大於 500 kWh/月的場所，一次能源削減率有機會提升至 30%，CO₂ 削減率提升至 45%。

(三) 歐盟

歐盟在研發方面有深厚的技術基礎，也有許多產官學研共同投入研究。在應用技術的研究上，以一個整合型的計畫 Framework Program 整合各界資源，以達最大效益，自 FP5(Framework Program 5) 即開始補助一連串 SOFC 技術研發與商業化相關研究，補助項目包括：

- 可靠度提升(CORE-SOFC)
- 系統開發(PROCPN)
- 研究與測試合作網路(SOFCNet、FCTestNet)
- 成本降低(CXICELL)

- 材料研發(NG-SOFC-COGEN)
 - 模擬研究(MF-SOFC、IM-SOFC-GT、PIP-SOFC)
- 歐盟 FP6 關於 SOFC 之計畫進一步針對定置型應用，
- 改善材料以降低劣化(Real-SOFC)
 - 評估生質燃料技術與 SOFC 結合 (BIOCELLUS、GREEN-FUEL-CELL)
 - 成本降低與低溫 SOFC 系統(SOFCSPRAY、SOFC600)
 - 發展 MW 級 SOFC 系統(LARGE-SOFC)
 - 小型熱電共生系統(Flame-SOFC)
 - 量產技術(Demo-SOFC)

現階段此計畫已經執行至第七期(FP7，執行期間為 2007~2013 年)，目前在 FP7 下，有多個 SOFC 相關的計畫已經通過獲得補助，開始進行。以下簡要介紹目前歐盟針對 SOFC 進行中之計畫，提供參考。

1. 歐盟計畫

(1) HYDROSOFC

此計畫研究 SOFC 系統之燃料供應情形，希望藉此解決燃料氣體分布不均勻、高承載時之系統失效以及電池堆疊(scale-up)等問題。一般處理此類問題之作法，常以計算流體動力學(CFD)處理，本研究

採用流網模式(flow network modeling)方法。流網模式提供充分的準確度，同時加速最佳化的能力，可供工程設計進行最佳化。此計畫之期程為 2008 年至 2011 年。

(2) METSOFC

陶瓷陽極 SOFC 燃料電池是高溫燃料電池最先進的技術之一，然而因材料之使用容易產生電壓暫態(transients)問題，影響其可靠度與成本。此計畫之目標為發展次世代 SOFC 電極材料，發展以金屬材料製作電池堆之技術製作 1kW 的樣品並進行測試，也包括一種新的絕緣封裝技術。此計畫期程為 2008 年至 2011 年。

(3) ASSENT

此計畫之目的為研究改善 SOFC 系統之燃料與排水管理，計畫期間為 2010 年至 2012 年。此計畫將藉由燃料循環輸送改善提升發電效率，並且設計不需額外供水之 SOFC 系統。燃料循環輸送將增加燃料利用率，並且提供改質燃料時所需之水分。目前 SOFC 系統陽極部分仍有控制性與可靠度之問題，必須持續研究。

(4) IDEAL-CELL

以 PCFC 之陽極結合 SOFC 之陰極，研發高溫型(600-700°C)燃料電池。計畫其程為 2008 年至 2012 年。

(5) CATION

此計畫之目標為評估陰極與電池堆子系統的製程替代方案，並在多項製程替代方案中找出最佳製程，作為未來發展 250kW 商業化機種之陰極與電池堆設計解決方案。此計畫期程為 2011-2013 年。

(6) NMRSOFC

此計畫為解決 SOFC 之電極導電度問題，將利用磁核共振(NMR)光譜技術(NMR)研究陽離子與陰離子在電極上之傳導機制。研究使用的 NMR 設備可以在攝氏 800°C 下使用。此外，亦結合 operando 技術(XAC, AC)，了解傳導機制，用以設計相容於低溫之 SOFC 燃料電池之高導電度電極材料。此計畫期程為 2011 年至 2013 年。

(7) FC-DISTRICT

此計畫之目標為發展分散式電力供應系統，利用 SOFC 技術之熱電共生系統提供建築物或社區電力及熱能。此計畫之期程為 2010 年至 2014 年。

(8) LOTUS

此計畫將應用新材料研發一種新款的低溫型 SOFC 系統原型，此系統將可較現有系統大幅降低運轉溫度，且可應用於小型熱電共生系統之產品研發。作業溫度降低可使系統採用較便宜之材料，同時保持系統之穩定度。此計畫之期程為 2011 年至 2013 年。

(9) SCOTAS-SOFC

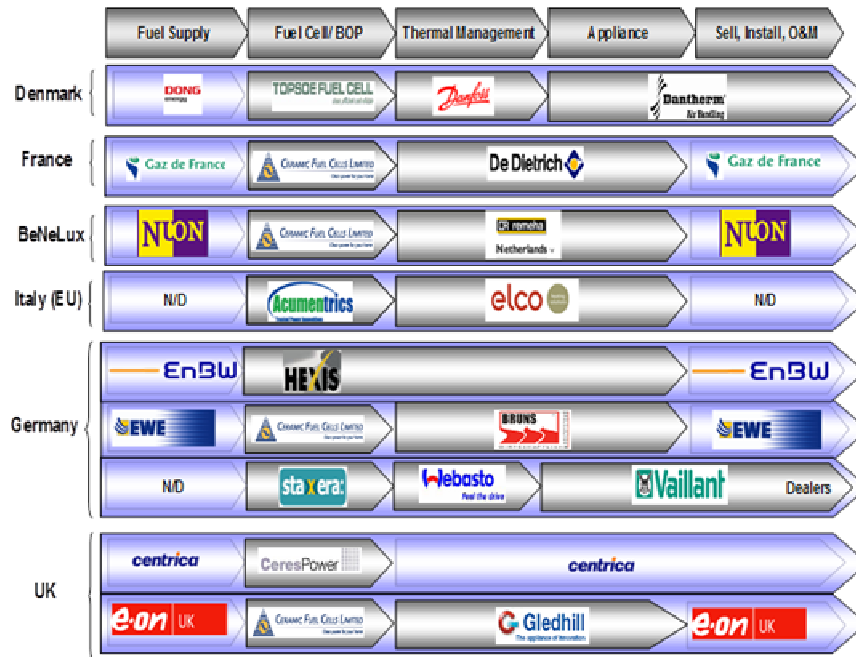
此計畫將展示一種耐硫、耐積碳與抗再氧化之新型陶瓷 SOFC 燃料電池系統，此種系統將可使系統設計更為簡化，此特性對於小型系統如熱電共生系統來說特別重要。此計畫期程為 2010 年至 2013 年。

(10) SOFC-LIFE

此計畫將研究並建立 SOFC 之衰退模式，應用此模式預測單一性能之衰退現象及對於電池系統的綜合影響。此計畫之期程為 2011 年至 2013 年。

2. 產業關聯

在研發燃料電池及氫能相關技術計畫中，參與之產官學研單位超過 50 個。丹麥、法國、意大利、德國、英國等國家，廠商從燃料供應、燃料電池/發電系統、熱能管理、商業應用、銷售維修各方面，組成產業合作伙伴，推動 SOFC 系統研發，大致的研究關聯如圖 9。



資料來源：核研所國際會議參與報告

圖 9：歐盟各國產業發展 SOFC CHP 系統合作連結

(四) 韓國

韓國推動燃料電池產業的起因與日本相似，亦為能源依賴度相當重的國家，有 95% 的發電燃料皆為進口，從而推動高效發電的政策。雖然韓國 SOFC 市場目前仍處於發展階段，但該國在燃料電池產業方面的野心非常強大，計畫佔領全球 20% 燃料電池市場，傾力推動發展燃料電池產業，在此同時創造 56 萬的國內就業機會，不可小覷。

現在韓國政府對燃料電池推廣是以補貼政策進行，由現在至 2012 年，採購及安裝家用燃料電池成本之補貼達 80%，從 2013 年至 2016 年，補助額下降至 50%，最後至 2020 年之計畫補助額為 30%。目標

是在 2020 年前安裝 2 百萬台家用燃料電池系統¹，並計畫於 2015 年將燃料電池成本由 4 萬美元降低至 8 千美元，2018 年的目標使燃料電池成本降至 4 千美元左右。

韓國政府於 2008 年宣布燃料電池為其新成長動力之一，包含小型家用定置型系統、大型發電系統以及車用燃料電池。目標 2030 年國內燃料電池發電量佔新能源的百分之十，在首爾地區則設立更積極的目標，燃料電池發電量佔新能源發電量的百分之五十。

據美國能源部評估，該計畫至 2030 年開發燃料電池市場的三階段如下：

- 第一階段（2009-2012 年）側重於組件和應用之研究、開發和示範，包括發展國內生產燃料電池核心元件和 BoP 系統，以及家用燃料電池與汽車之示範運行。
- 第二階段（2012-2020）由早期的商業化和家用型燃料電池、與車輛市場的滲透，傾力發展出口導向的燃料電池產業。
- 第三階段（2020-2030 年）側重於市場擴張，實現氫經濟的目標。

韓國政府目前已針對燃料電池產業實施獎勵及發展計畫來支持產業發展，這些措施包含：

- 對 2008 年至 2011 年安裝分散式電源實行政府電力收購制度，以

¹ 不僅限於家用 SOFC 系統。

每千瓦 0.1 元的價格收購 50 兆瓦的電量。

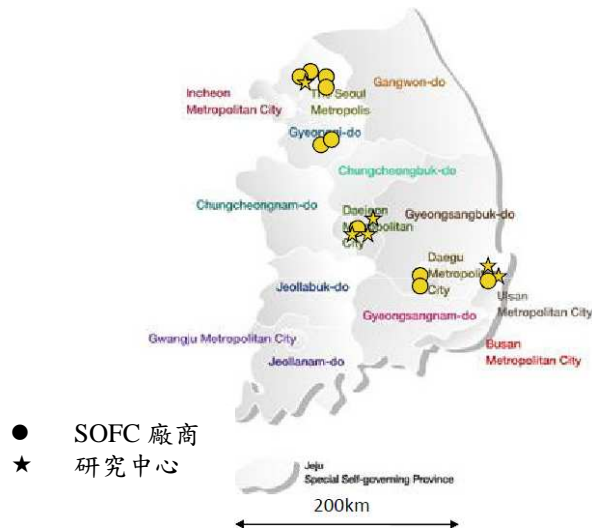
- 自 2012 年開始至 2016 年，每年要求增加 350 兆瓦的再生能源發電量。2016 年至 2022 年，再生能源發電量增加為 700 兆瓦。目標是在 2022 年完成再生能源發電量達用電量之 10%。
- 2013 年家用型燃料電池補助由目前的 80% 下降至 50%。
- 地方政府家用型燃料電池補助額為 10%。
- 公共建設面積若大於 3 千平方米，要求需投入至少 5% 的建設成本於新能源及再生能源使用。
- 首爾政府將創造 1 百萬個綠色就業機會，並且在 2030 年前減少 40% 的碳排放量。

目前韓國在燃料電池的發展重點為家用型 PEMFC 發電系統，但政府同時全力扶植三星及 POSCO Power 進行家用型 SOFC 系統開發，開發期程如表 3，而圖 10 為韓國主要發展 SOFC 據點，表 4 則為各研究中心主要開發議題。

表 3：韓國 SOFC 發展期程

	短期 (2012 年) 技術目標	長期 (2030 年) 技術目標
發電效率	38%	40%
熱能效益	48%	50%
持續運行時間	40,000 小時	90,000 小時
成本	20,000 元	3,000~5,000 元之間

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011



資料來源：Staxera. SOFC in ASIA.2010

圖 10：韓國主要發展 SOFC 據點

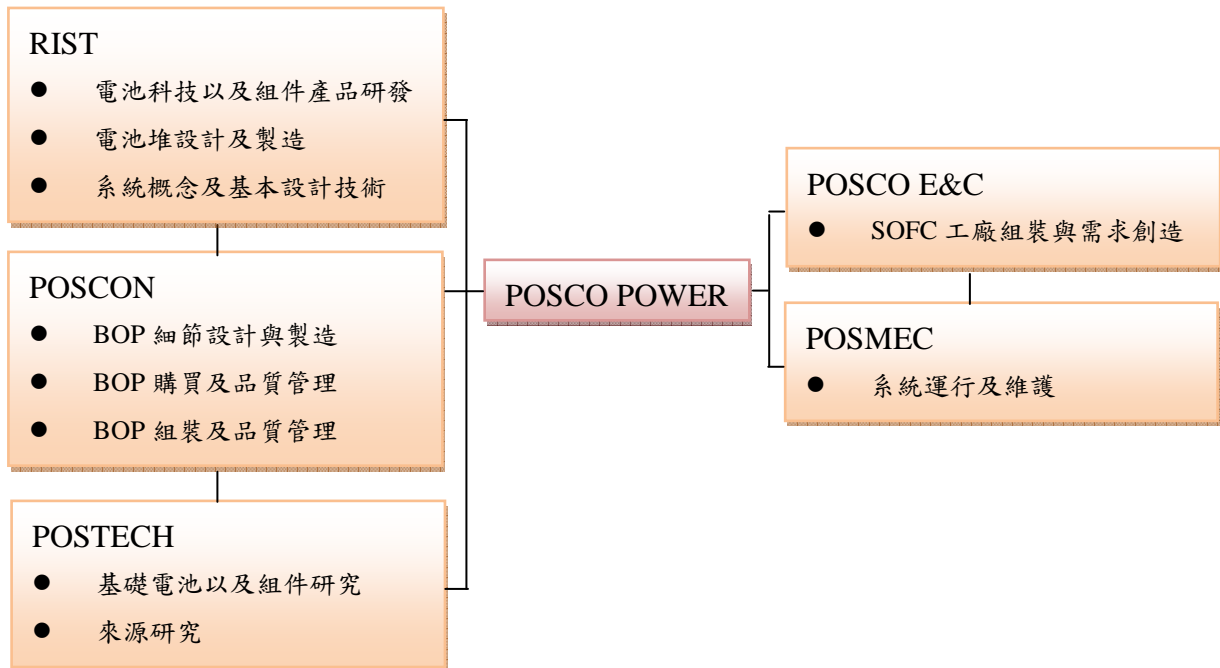
表 4：韓國 SOFC 研發中心及研發議題

Research Institute	Known R&D Focus
KAIST	Simulation, IT-SOFC
KEPRI	Material research; anode supported tubular cells and flat tubes; pressurized systems
KICET	Glass seals for SOFC (with RIST)
KIER	Large system concepts, SOEC, cell concepts
KIMM	BoP components, biomass conversion systems
KIST	SOFC stacks & systems 1Kw Multi cell arrays
POSTECH	MSC cells, various concepts
RIST	SOFC stacks & systems 1-12,5 kW cell manufacturing processes

資料來源：Staxera. SOFC in ASIA.2010

2010 年 4 月，韓國國會通過再生能源配比標準(Renewable Portfolio Standard, RPS)，要求 2015 年清潔能源發電須達國內用電量的 4%，2022 年須達 10%，但截至目前為止，清潔能源發電僅達 1%。如前所述，今後韓國將加速提升其再生能源發電比，於 2016 年至 2022 年，每年增加 700 兆瓦再生能源發電量。

另外提供 POSCO Power 公司發展 SOFC 之組織架構圖。



資料來源：Staxera. SOFC in ASIA.2010

圖 11：POSCO POWER 組織架構圖

韓國在 2006 年推出政府電力收購方案中，已選定燃料電池、天然氣和沼氣作為「新能源和可再生能源」，SOFC 符合其收購條件。在 2011 年 2 月，南韓政府宣布先前再生能源配比標準政策之下的新能源與再生能源(New and Renewable Energy, NRE)拍板定案。該部會證實 RPS 以及在該政策下授權建立 NRE 價格機制。由於燃料電池發電效率高、燃料多元化且為可靠之潔淨能源，在價格機制下已佔有一席之地。

現已證實 RPS 的定價機制，韓國公營事業及獨立發電商預計購

買 NRE 發電廠。RPS 計畫適用於每年生產超過 500 兆瓦的發電商，
預估影響 15 個公營事業體及獨立發電商。由於燃料電池符合 RPS
對於潔淨能源的需求，預估在 NRE 之下，燃料電池將具有非常大的
潛力。

二. 國際市場分析

(一) 美國

美國在全球 SOFC 市場具有領導地位，最初是將 SOFC 使用於 NASA 太空計畫中，致力發展 SOFC 相關產品。由於較早進行 SOFC 開發，確保美國在 SOFC 市場當中的競爭優勢，為目前發展潛力最高的國家。

SOFC 研發過程吸引許多不同領域的廠商參與，因此許多主要研發廠商皆位於美國，如：Westinghouse, Cummins Power Generation, Delphi Corporations，這些公司投入可觀的資金，動用許多科學家，在 SOFC 領域深耕超過數十年。另外也有相對小型的廠商鑽研 SOFC 材料的研發，使得美國成為 SOFC 最具競爭力的市場。

表 5：美國 2007 年至 2015 年利潤及走勢預測

單位：百萬美元

Year	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Sales	5.43	7.91	11.12	15.27	20.66	26.49	32.91	39.97	46.8

資料來源：Solid Oxide Fuel Cell, A Global Strategic Business Report.2010

表 5 為美國 SOFC 市場自 2007 年起至 2010 年的銷售狀況，2007 年 SOFC 的銷售額約為 543 萬美元，至 2010 年的銷售量成長為 1,27 萬美元。而 2011 年至 2015 年之資料是以目前狀況推估之銷售量，預計在 2015 年時，銷售量將達到 4,680 萬美元。

表 6：美國 SOFC 市場各容量產量比例

單位：%			
Power Range	2004	2006	2009
1-10 kW	94.61	94.19	93.26
10-200 kW	3.88	3.71	4.13
200kW & above	1.51	2.1	2.61
Total	100	100	100

資料來源：Solid Oxide Fuel Cell, A Global Strategic Business Report.2010

接著為美國市場各發電容量產品之市場比例，由表 6 以觀察到，自 2004 年起，SOFC 產品發展主力為小型家用裝置(1-10kW)，中型企業或社區型裝置(10-200kW)及大型發電系統(200kW 及以上)產量之市佔率分別僅有 3.88%及 1.51%。由資料估算，中型裝置成長幅度為 1.26%、大型發電系統之成長幅度為 11.57%。

展望未來，仍有相當多因素驅使美國進行 SOFC 研究。首先，全球對於 SOFC 裝置需求仍在擴大當中，將由目前短期需求拓展至長期成長；第二，美國能源部 SECA 以及各廠商積極推動 SOFC 研究，提高產品性能、延長耐久性，擴展 SOFC 發展潛力；第三，預估未來五年內會有大型電力公司參與 SOFC 研究，嘗試使用 SOFC 代替原有發電方式，驅使 SOFC 電廠之發展，為市場注入一劑強心針。

另一方面，美國發展 SOFC 產業上也遇到阻礙，必須承認在 SOFC

技術發展遇到相當瓶頸。首先是技術障礙，SOFC 裝置運轉時產生高溫，讓電解質及週邊材料產生衰退現象，降低裝置使用壽命，使 SOFC 發電價格上升。此外，其他燃料電池發展也會瓜分 SOFC 銷售市場。第二是價格障礙，如同第一項所述，SOFC 發電價格居高不下，若非政府補助，其發電價格不具競爭力，未來在沒有補助的狀況下，發電價格勢必使 SOFC 裝置銷售之路窒礙難行；第三，材料研發及製造技術需投入的成本，會嚇阻新開發商及製造商進入，無法提升整體競爭力；第四，美國政府日前在國會計畫刪減 SECA 預算，認為 SOFC 發展已告一段落，雖然在 SECA 的努力之下，未將預算全數刪除，但未來 SECA 在美國能源發展之路可能會有些顛簸。另外有許多州政府撤銷能源災害管制規定，不利 SOFC 產品銷售；第五，SOFC 仍缺乏基礎電網技術，削弱 SOFC 市場穿透力；最後，SOFC 零售市場尚未成形，將影響僅專注開發 SOFC 的中小型廠商生存。

(二)日本

日本亦為 SOFC 技術開發的主要市場，多數能源及化石燃料皆仰賴進口，易因化石燃料價格造成國家經濟波動。與歐洲不同之處是日本為單一國家，無法採用聯併電網向盟國購買電源，分散進口燃料價格風險。因此該國能源政策之一便是以燃料電池替代原有化石燃料發電，降低其化石燃料依賴程度，日本政府為因應此一需求，

特別成立了成立新能源及工業技術發展組織 NEDO(New Energy and Industrial Technology Development Organization)，結合政府與產官學研力量，共同研究新能源等相關議題，而 SOFC 正是其中一項，加上政府傾向利用效率高、同時顧及環境保護的方式發電，又日本燃料及電價相對高於其他國家，種種因素使得 SOFC 脫穎而出，雖然日本市場有 PEMFC 產品的競爭，但各家廠商都對 SOFC 產品抱持樂觀態度。

表 7：日本 2007 年至 2015 年利潤及走勢預測

單位：百萬美元

Year	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Sales	6.33	8.67	11.73	15.78	20.63	26.18	32.48	39.35	45.62

資料來源：Solid Oxide Fuel Cell, A Global Strategic Business Report.2010

表 7 為日本 SOFC 市場自 2007 年起至 2010 年的銷售狀況，2007 年銷售利潤為 633 萬美元，至 2010 年，銷售利潤為 1,578 萬美元，4 年內銷售額成長了 2.5 倍，以目前狀況推估 2015 年時，售量將達到 4,562 萬美元，預估銷售量約為 2010 年的 2.8 倍。

九州是日本最大的燃料電池中心，日本境內大部分從事燃料電池技術開發的領先企業，都位於九州。政府機構及大學在該地區進行資助及研究燃料電池的發展，進一步發展基礎設施，以便更多燃料

電池相關技術倡議發展，並且提供研究學者更好的訓練來參與研發計畫。此外，九州與其他主要燃料電池市場都非常相近，如：中國、台灣與韓國，可藉此吸引外國投資。另外日本的燃料及電力價格高其他國家，如此一來 SOFC 較高的發電成本便不構成發展瓶頸之一。

東日本大地震發生後，日本民眾對於家用型燃料電池的認識發生顯著轉變，PEMFC 機組產品在日本全國各地銷售迅速上升。2011 年日本政府在接受 8133 台的申請後，準備的 84 億日元補貼已於 7 月 7 日用罄。目前銷售狀況依然熱絡。大阪瓦斯公司表示，在停止發放補貼之後，未補貼價格高達 276 萬日元，仍然有民眾購買。政府緊急追加預算，申請案件補助 105 萬日元，但自 2011 年 10 月 3 日至 2012 年 1 月 31 日的新購機組補助額降低至 85 萬日圓。從 10 月開始招募以來，三週內受理的申請已經超過了預算的 8 成。

日本在經歷福島核災後，雖無法立即廢核，但預期日本在評估未來能源發展時，勢必繼續加重替代性能源，如：燃料電池、再生能源等比重，取代核能。此外，日本是全球示範運行規模最大的國家，目前示範運行計畫即將告一段落，預估 2014 年會是第一個開始制定相關標準的國家。

(三) 歐盟

氫能與燃料電池發展策略對於歐盟來說，為其整體能源政策的一環，而策略的第一步為確立整體能源政策長期目標，再發展各種技術達成。以 1990 年為基期，希望在 2020 年達成 2020 目標，內容包括：(1)減少 20%溫室氣體的排放；(2)減少 20%初級能源的使用；(3)整體能源消耗 20%使用再生能源(運輸部門能源消耗 10%使用再生能源)。為達成以上目標，歐盟致力於發展各種綠色能源技術，其中氫能與燃料電池為其中的一項解決方案。換言之，歐盟對於氫能與燃料電池的發展以應用為主，非以產業發展為主要目的。

雖然歐盟認為氫能與燃料電池具有長期發展潛力的技術，然而就短期而言，尚未達到可以大量商用化的條件。因此相對美國及日本目前皆以政策補貼方式，全力推動燃料電池應用，歐盟的發展較為緩慢，做法也較保守，目前仍以技術研發為重心，著重在於關鍵技術的突破。

整體歐盟市場於 2007 年之收入為 1,285 萬美元，至 2010 年時，市場銷售為 3,567 萬美元，成長了 2.7 倍，並預估在 2015 年時達到 10,216 萬美元，預估成長約為 2007 年的 8 倍之多。2007 年至 2015 年間的複合年增長率為 29.6%。

表 8：歐洲各國 2007 年至 2015 年利潤及走勢預測

單位：百萬美元

Region	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Germany	4.80	7.28	10.63	15.11	20.70	26.48	32.37	37.92	41.97
UK	3.63	5.08	7.04	9.41	12.20	15.43	19.30	23.49	27.52
France	2.44	3.47	4.73	6.36	8.33	10.60	13.20	15.99	18.87
Italy	1.31	1.80	2.43	3.20	4.17	5.27	6.59	8.00	9.43
Rest of Europe	0.67	0.91	1.22	1.59	2.05	2.56	3.15	3.77	4.37
Total	12.85	18.54	26.05	35.67	47.45	60.34	74.61	89.17	102.16

資料來源：Solid Oxide Fuel Cell, A Global Strategic Business Report.2010

在歐盟市場中，又以德國、英國、法國及義大利之銷售為大宗。於 2007 年，德國在整體歐盟市場銷售額佔 37.35%、英國為 28.25%，至 2010 年德國佔歐盟市場的百分比為 42.36%，上升五個百分點，而英國 26.38%，下降 1.87 個百分點。預估德國市場到 2015 年的銷售額將會提升至 42 萬美元左右，此期間德國之複合年增長率為 31.13%，主導歐盟的成長，其餘如英國、法國則是持續穩定其市佔率，分別為 26.94%及 18.47%，複合增長率則是 28.82%與 29.14%。

表 9 為不同發電容量的產品在歐盟市場中的比重，根據表 9 數據瞭解，歐盟於 2004 年 SOFC 產品發展主力與美國相同，為小型家用裝置(1-10kW)，更甚者，中、大型發電裝置之比重皆為零，呼應前面所提，發展速度與美國相較之下慢上許多，但自 2006 年起，

250kW 以上的產品開始出現，出現之後銷售市場比例便超越 10-50kW 的產品，其市場比例為 15.29%(10-50kW 之市場份額為 3.69%)，並且在兩年後就開始推出大型發電系統(1-10MW)之產品，其市場份額也相當大，約為 10-50kW 的 3 倍左右。推測 10-50kW 裝置應用範圍介於小型家用裝置及中型企業裝置之間，故其應用範圍受到夾擠，使市場比例一直無法擴大。

表 9：歐洲固定式 SOFC 市場：各容量產量比重

單位：%

Power Range	2004	2006	2008	2010
1-10 kW	100.00	57.12	37.32	40.64
10-50 kW	0.00	3.69	5.70	5.79
50-250 kW	0.00	23.90	25.46	24.23
250 kW -1 MW	0.00	15.29	17.37	16.17
1-10 MW	0.00	0.00	14.15	13.17
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

資料來源：Solid Oxide Fuel Cell, A Global Strategic Business Report.2010

SOFC 製造成本過高的問題相同存在於歐洲，高溫高壓之運轉使材料選擇上需非常謹慎，採用耐高溫高壓的材料時，價格相對提高，進而增加 SOFC 整體成本。燃料電池技術在歐洲較具有價格彈性意識，價格對消費者來說是非常重要的考量，其他再生能源紛紛推出競爭時，歐洲更致力於降低產品價格，嘗試以減少 SOFC 運轉溫度

來降低成本，並利用成本較低的不鏽鋼替代高單價的陶瓷材料，採用特殊噴塗技術改善高溫運轉狀況等，這幾方面的技術皆有進展，降低價格上頗有成效，對於研究團隊來說是一大躍進，雖然目前聲稱已能顯著降低運轉溫度，然而低溫下能量轉換效率仍受到質疑，需要進一步研究相關議題。

技術研發進度緩慢對廠商也是一項傷害，許多廠商無法負擔 SOFC 高額研發成本，技術問題導致商品遲遲未進入商業化階段，無法承受資金損失，進而退出 SOFC 市場。另一個問題主要來自歐洲地區的發電公司，目前歐盟多以核能或傳統方式發電，且發電設備精良，足以用合理價格應付現階段及未來歐洲的能源需求，使得 SOFC 開發及製造商在歐洲難以生存。但在位處於寒帶的歐洲，SOFC 也存在相對優勢，由於地域因素，需要大量暖氣供應，SOFC 優點之一即為運轉之熱能效益，轉換成暖氣供應系統，同時進行發電及暖氣供應，為市場發展優勢。

雖然發展 SOFC 初始晚於美國，歐洲在材料科技上具有深厚基礎，短短兩年內開發進度大幅超前，加上歐洲各國重視綠能，期望以燃料電池電廠替代初級能源使用，故大量開發大型發電系統，另外歐洲東部之車諾比事件，及 2011 年 3 月發生之福島核災事件，都

對歐洲的能源政策造成相當衝擊。就德國能源政策來看，德國於 2011 年 5 月 30 日宣布將分段關閉其境內所有的核電廠，最遲在 2022 年底全面廢核，加上減碳協議，德國必須提高其新能源及再生能源的比例。義大利原本就已於 1987 年經由公投宣示廢核，目前境內無運轉中之核電廠，該項事件也使總理所提出的復核想法遭到否決；而瑞士政府則是同樣建議在 2034 年之前，分階段關閉 5 座反應爐；蘇格蘭不打算繼續興建核電廠，欲以新能源或再生能源替代之。目前歐盟許多國家皆計畫減少核能用量，也礙於傳統火力發電之碳排放量過大，僅能以新能源或再生能源填補廢核之後所留下的空缺。

歐洲政府對於 SOFC 的支持與補助相較於美國、日本甚至韓國都少上許多，儘管歐盟步調略遜一籌，在廢核政策的推動下可望加速 SOFC 技術研發。

三. 應用市場分析

本研究以 SOFC 應用面向為基礎，將市場分為下列幾項：熱電聯產系統、發電機、分散式電源和輔助動力裝置、軍用裝置、便攜式電源，並且依據不同因素於不同狀況的假設下，針對應用市場作分析預測。考慮因素敘述如下表：

表 10：市場分析考慮因素

因素	說明
需求因素	以市場為導向的消費因素，如：廣告，宣傳等。
價格因素	SOFC 價格變動，如：材料研發、量產等因素使成本下降。
成本因素	SOFC 成本變動，如其他能源之成本上升。
立法因素	政府法規訂定，如政府補貼、採購。
競爭因素	其他能源競爭，如 PEMFC、核能發展。
安全因素	因使用其他能源造成危害，缺陷或意外事故，如車諾比核災、福島核災等。
環境因素	環境保護的限制，如限制空氣污染排放、溫室氣體排放。

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

考慮狀況敘述如下：

- 一般狀況：各因素維持現狀，無異常或大幅波動。
- 樂觀預測：各因素轉變使 SOFC 發展活動熱絡，有助於拓展市場。
- 悲觀預測：各因素轉變使 SOFC 發展活動趨緩，限制市場發展。

(一) 面向簡介

1. 熱電聯產系統 (Combine Heat and Power, CHP)：

傳統發電方式，如：煤、瓦斯等，整體能源損失達三分之二，能源利用率較低。而 SOFC 裝置在發電時，同時會產生高溫，可以利用

回收廢熱，增進能源利用率，整體發電效率可達 80%，並且減少二氧化碳的排放。此外，家庭應用熱電聯產裝置還可減少在配電網絡中所損失約 7% 的電能。

表 11：熱電聯產系統需求、價格、成本因素預測變化

	需求因素	價格因素	成本因素
一般狀況	<ul style="list-style-type: none"> ● SOFC CHP 系統很受歡迎，銷售量增長。 ● 民眾認為 SOFC CHP 系統作為替代能源產品相當有吸引力。 ● 電價平穩增長。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 由於新材料研發使價格降低。 ● 量產之後產生的規模經濟，致使價格降低。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 化石燃料價格平穩增長。
樂觀狀況	<ul style="list-style-type: none"> ● SOFC CHP 系統很受歡迎，銷售量增長。 ● 民眾認為 SOFC 是最好的電源產品選項之一。 ● 電價顯著提高。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 購機補貼增加。 ● 由於新材料研發使價格降低。 ● 量產之後產生的規模經濟，致使價格降低。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 化石燃料價格顯著上升。
悲觀狀況	<ul style="list-style-type: none"> ● SOFC CHP 市場冷清，銷售量下滑。 ● 民眾對 SOFC 沒有意見，甚至有負面的印象。 ● 電價的溫和增長 	<ul style="list-style-type: none"> ● 購機補貼下降或取消。 ● 新材料研發緩慢，價格些微下降。 ● 無法量產，亦無法有規模經濟產生，故價格未能顯著下降。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 化石燃料價格未顯著增加 ● 意料之外的經營成本

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

表 12：熱電聯產系統標準法規、競爭、安全及環境因素預測變化

	標準法規	市場競爭	安全性因素	環境因素
一般狀況	<ul style="list-style-type: none"> ● SOFC 相關標準法案持續進行。 ● CHP 相關標準法案持續進行。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 與現有及新興的 FC 與 CHP 競爭，如 PEMFC 等。 	<ul style="list-style-type: none"> ● SOFC 無安全問題。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 無顯著變化
樂觀狀況	<ul style="list-style-type: none"> ● SOFC 相關標準法案加速進行。 ● CHP 相關標準法案加速進行。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 顯著優於現有及新興的 FC 與 CHP，缺乏競爭。 	<ul style="list-style-type: none"> ● SOFC 無安全問題。 ● 競爭產生安全問題。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 立法管制溫室氣體排放量。
悲觀狀況	<ul style="list-style-type: none"> ● 未進行 SOFC 相關標準法案。 ● 未進行 CHP 相關標準法案。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 現有和新興的 FC 和 CHP 有明顯的價格優勢。 ● 現有和新興的 FC 和 CHP 有明顯的功能優勢。 	<ul style="list-style-type: none"> ● SOFC 無安全問題。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 關注環境議題減少。

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

2. 發電機、遠端電源和輔助動力裝置 (Generators, Remote Power and Auxiliary Power Utility, APU) :

熱電聯產系統可以作為發電機、遠端電源以及輔助動力裝置，包括大型定置型系統至小型機動裝置。其優點包括：燃料使用種類多元化、成本相對低廉等。目前研究正進行設計和商業化改革，使 SOFC 可以如目前常用的柴油及航空用油(aviation gasoline)般普遍。具體應用包括住宅、商業及電信緊急備用電源設施、汽車及飛機輔助動力。

表 13：發電機、遠端電源和輔助動力裝置需求、價格、成本因素預

測變化

	需求因素	價格因素	成本因素
一般狀況	<ul style="list-style-type: none"> ● SOFC 系統廣泛建置，產品很受歡迎，銷售量增長。 ● 民眾認為 SOFC CHP 系統作為替代能源產品相當有吸引力。 ● 電價的溫和增長 	<ul style="list-style-type: none"> ● 由於新材料研發使價格降低。 ● 量產之後產生的規模經濟，致使價格降低。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 化石燃料價格平穩增長。
樂觀狀況	<ul style="list-style-type: none"> ● SOFC 仍然很受歡迎，銷售量增長。 ● 民眾認為 SOFC 是最好的電源產品選項之一。 ● 電價顯著提高。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 購機補貼增加。 ● 由於新材料研發使價格顯著降低。 ● 量產之後產生的規模經濟，致使價格顯著降低。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 化石燃料價格顯著上升。
悲觀狀況	<ul style="list-style-type: none"> ● SOFC 市場冷清，銷售量下滑。 ● 民眾對 SOFC 沒有意見，甚至有負面的印象。 ● 電價的溫和增長 	<ul style="list-style-type: none"> ● 購機補貼下降或取消。 ● 新材料研發緩慢，價格些微下降。 ● 無法量產，亦無法有規模經濟產生，故價格未能顯著下降。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 化石燃料價格未顯著增加 ● 意料之外的經營成本

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

表 14：發電機、遠端電源和輔助動力裝置標準法規、競爭、安全及

環境因素預測變化

	標準法規	市場競爭	安全性因素	環境因素
一般狀況	<ul style="list-style-type: none"> ● SOFC 相關標準法案持續進行。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 與現有及新興的 FC 競爭，如 PEMFC、MCFC 等。 	<ul style="list-style-type: none"> ● SOFC 無安全問題。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 無顯著變化
樂觀狀況	<ul style="list-style-type: none"> ● SOFC 相關標準法案加速進行。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 顯著優於現有及新興的 FC，缺乏競爭。 	<ul style="list-style-type: none"> ● SOFC 無安全問題。 ● 競爭發電方式（包括核能發電）可能出現的安全問題 	<ul style="list-style-type: none"> ● 立法管制溫室氣體排放量。 ● 在某些地區強以燃料電池替代核能發電。
悲觀狀況	<ul style="list-style-type: none"> ● 未進行 SOFC 相關標準法案。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 現有和新興的 FC 有明顯的價格優勢。 ● 現有和新興的 FC 有明顯的功能優勢。 	<ul style="list-style-type: none"> ● SOFC 無安全問題。 ● 核能發電捲土重來。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 關注環境議題減少。 ● 核能發電捲土重來。

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

3. 軍用裝置(Military)：

軍用裝置功能同前所述，但與商業化考慮基礎不同，對於軍用裝置來說，堅固耐用、可靠性及耐久性對軍隊來說十分重要，因此性能效用重要性遠高於成本考量，故 SOFC 在軍事用途上有其獨特利基，高功率及燃料使用多元化在軍事應用上尤其重要。例如在美國陸軍投入 SOFC 計畫中，除了堅固結構、使用壽命的延長，另外要求減少裝置重量與體積，方便攜帶移動。

表 15：軍用裝置需求、價格、成本因素預測變化

	需求因素	價格因素	成本因素
一般狀況	<ul style="list-style-type: none"> ● 軍用 SOFC 產品發展成功。 ● 軍方認為 SOFC CHP 系統作為替代能源產品相當有吸引力。 ● 全球性衝突並未顯著增加 	<ul style="list-style-type: none"> ● 並非主要影響因素。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 並非主要影響因素。
樂觀狀況	<ul style="list-style-type: none"> ● 軍用 SOFC 產品發展超乎預期。 ● 固體氧化物燃料電池的軍事飛行員超出預期。 ● 軍方認為 SOFC 是最好的電源產品選項之一。 ● 全球性衝突顯著提高。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 並非主要影響因素。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 並非主要影響因素。
悲觀狀況	<ul style="list-style-type: none"> ● 軍用 SOFC 產品發展失敗。 ● 的看法是，固體氧化物燃料電池產品是有吸引力的替代其他電源產品。 ● 顯著提高，在全球性衝突的。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 並非主要影響因素。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 並非主要影響因素。

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

表 16：軍用裝置標準法規、競爭、安全及環境因素預測變化

	標準法規	市場競爭	安全性因素	環境因素
一般狀況	<ul style="list-style-type: none"> ● 軍事研發經費沒有改變。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 與現有及新興的發電方式競爭，如 PEMFC 等。 	<ul style="list-style-type: none"> ● SOFC 無安全問題。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 並非主要影響因素。
樂觀狀況	<ul style="list-style-type: none"> ● 軍事研發經費增加。 ● 軍方對 SOFC 作補貼。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 明顯優於現有及新興的發電方式。 	<ul style="list-style-type: none"> ● SOFC 無安全問題。 ● 競爭產品產生安全問題。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 並非主要影響因素。
悲觀狀況	<ul style="list-style-type: none"> ● 軍事研發經費下降。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 現有的和新興的發電方法有顯著的功能優勢。 	<ul style="list-style-type: none"> ● SOFC 無安全問題。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 並非主要影響因素。

資料來源：BBC Research, Market Research Report. 2011

4. 便攜式電源(Portable)：

全球便攜式電池產品市場已成形，一直是燃料電池主要銷售目標。目前多數便攜式燃料電池產品為質子交換膜燃料電池(PEFC)，SOFC 在此市場主要是受到發電溫度限制，但可另闢銷售路線，作為手持電話或筆記型電腦電源外部充電站。

表 17：便攜式電源需求、價格、成本及可用性因素預測變化

	需求因素	價格因素	成本因素
一般狀況	<ul style="list-style-type: none"> ● 民眾認為 SOFC 系統是一個有吸引力的便攜式電源存儲產品。 ● 一般電池價格的適度增長。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 由於新材料研發使價格降低。 ● 量產之後產生的規模經濟，致使價格降低。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 並非主要影響因素。
樂觀狀況	<ul style="list-style-type: none"> ● 民眾認為便攜式 SOFC 是最佳便攜式的電源選擇之一。 ● 一般電池價格顯著增加。 ● 一般電池無法滿足便攜式產品的電力需求。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 由於新材料研發使價格降低。 ● 量產之後產生的規模經濟，致使價格降低。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 並非主要影響因素。
悲觀狀況	<ul style="list-style-type: none"> ● 便攜式 SOFC 不太受歡迎，形象下滑，銷售量下降。 ● 民眾對 SOFC 沒有任何強烈的意見，甚至有負面的意見。 ● 只有利基市場出現。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 價格高昂。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 並非主要影響因素。

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

表 18：便攜式電源標準法規、競爭、安全及環境因素預測變化

	標準法規	市場競爭	安全性因素	環境因素
一般狀況	<ul style="list-style-type: none"> ● 並非主要影響因素。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 便攜式 SOFC 開始取代現有電池的電力存儲方法。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 沒有便攜式 SOFC 的安全問題。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 並非主要影響因素。
樂觀狀況	<ul style="list-style-type: none"> ● 並非主要影響因素。 ● 軍事 SOFC 供消費者使用商業化的可能性 	<ul style="list-style-type: none"> ● 便攜式 SOFC 開始取代現有電池電力儲存方法以及利基市場。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 沒有便攜式 SOFC 的安全問題。 ● 與之競爭的儲電方式存在可能的安全問題。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 並非主要影響因素。 ● 一般電池的電力存儲產品可能產生的環境問題
悲觀狀況	<ul style="list-style-type: none"> ● 並非主要影響因素。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 便攜式 SOFC 只在少數新興利基市場競爭。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 沒有便攜式 SOFC 的安全問題。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 並非主要影響因素。

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

(二) 市場比例分析

以下分別為各種裝置分別在樂觀、一般與悲觀狀態下，至 2016 年之預測資料，以及 2011 年各種裝置銷售比例圖。

可以觀察到應用市場最廣的裝置為發電機、遠端電源及輔助動力系統與熱電聯產系統，基本市場銷售幾乎都有 35% 以上，是目前 SOFC 應用上最有發展潛力的部分。運作溫度因素使便攜式電源市場無法拓展，未來或許能朝此方向發展，拓展 SOFC 便攜式電源藍海市場。

表 19：2011~2016 年樂觀狀態預測

應用方面	往年資料		預測資料		CAGR%
	2006	2010	2011	2016	2011-2016
Generators, remote and APUs	105	130	135	228	11.1
CHP	80	120	150	231	9.0
Military	62	93	90	131	7.8
Portable	5	5	5	26	39.1
Total	252	348	380	616	

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

表 20：2011~2016 年持平狀態預測

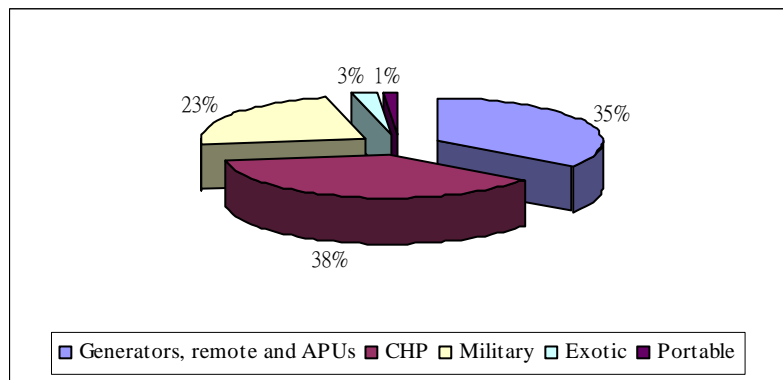
應用方面	往年資料		預測資料		CAGR%
	2006	2010	2011	2016	2011-2016
Generators, remote and APUs	105	130	135	159	3.3
CHP	80	120	140	215	9.0
Military	62	93	90	130	7.6
Portable	5	5	5	12	19.1
Total	252	348	370	516	

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

表 21：2011~2016 年悲觀狀態預測

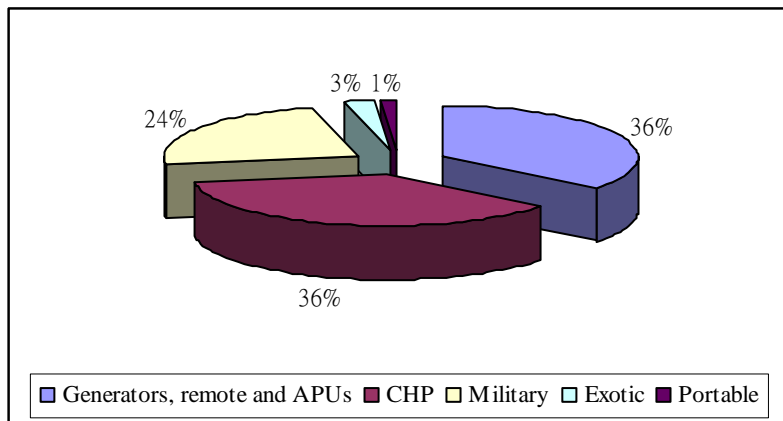
應用方面	往年資料		預測資料		CAGR%
	2006	2010	2011	2016	2011-2016
Generators, remote and APUs	105	130	128	134	0.9
CHP	80	120	125	154	4.3
Military	62	93	90	95	1.1
Portable	5	5	5	5	0.0
Total	252	348	348	388	

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011



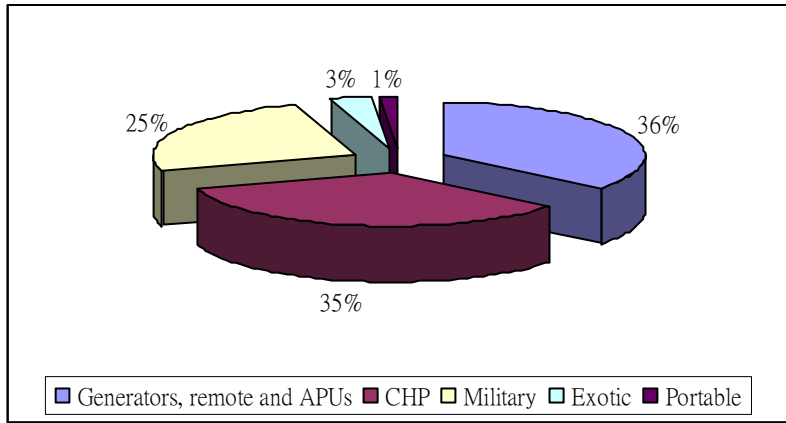
資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

圖 12：2011 年樂觀狀態銷售比例



資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

圖 13：2011 年持平狀態銷售比例



資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

圖 14：2011 年悲觀狀態銷售比例

四. 國際廠商動態

除了國家型計畫正在進行，國際上也有許多廠商對 SOFC 有深入研究，甚至已開始販售 SOFC 產品，如 Bloom Energy、CFCL、JX 等公司。這幾家公司並非少數研發 SOFC 的廠商，已有數家技術相同的公司在 SOFC 領域耕耘數十年，但價格、壽命與量產方面一直無法有突破性研發，使得產品銷售之路一直無法成形。

本節首先針對數家已發售 SOFC 產品之廠商做介紹。另將國際主要廠商之應用裝置及研發進度狀態列表，置於附件一供參考。另對 SOFC 廠商介紹如下：

1. Bloom Energy

美國燃料電池公司 Bloom Energy，在 2010 年 2 月 24 日正式推出產品 Bloom Box，利用台灣保來得製造的连接板、高力的熱交換器、康舒的電源轉換器以及自行製造之電池堆，研發進度超前美國能源局所成立的 SECA。

銷售方面，已接獲太平洋瓦斯與電力公司(PG&E)下的訂單，將會裝設在加州州立大學與舊金山州立大學校園內，為兩校提供裝置容量達三百萬瓦(3MW)。其他包括可口可樂、聯邦快遞、Google、eBay、沃爾瑪(Wal-Mart)百貨等，都已經開始採用 Bloom Energy 的燃料電池發電。

Bloom Energy 宣布十年之內將推出售價 3,000 美元(約台幣十萬元)的家用版產品。以現在狀況推估，欲推出家用版產品的想法仍僅止於願景，在沒有政府補助之下，Bloom Energy 的產品銷售之路更窒礙難行。

表 22：Bloom Energy 產品規格

Technical Highlights	
Inputs	
Fuels	Natural Gas, Directed Biogas
Input fuel pressure	15 psig
Fuel required @ rated power	0.661 MMBtu/hr of natural gas
Water required (for startup only)	120 gallons municipal water
Outputs	
Rated power output (AC)	100 kW
Electrical efficiency (LHV net AC)	> 50%
Electrical connection	480V @ 60 Hz, 4-wire 3 phase
Physical	
Weight	10 tons
Size	224" x 84" x 81"
Emissions	
NOx	< 0.07 lbs/MW-hr
SOx	negligible
CO	< 0.10 lbs/MW-hr
VOCs	< 0.02 lbs/MW-hr
CO ₂ @ specified efficiency	773 lbs/MW-hr on natural gas, carbon neutral on Directed Biogas
Environment	
Standard temperature range	0° to 40° C (extreme weather kit available)
Max altitude at rated power	6,000 ft. MSL
Humidity	20% - 95%
Seismic Vibration	IBC site class D
Location	Outdoor
Noise @ rated power	< 70 DB @ 6 feet
Codes and Standards	
Complies with Rule 21 interconnection standards	
Exempt from CA Air District permitting; meets stringent CARB 2007 emissions standards	
Product Listed by Underwriters Laboratories Inc. (UL) to ANSI/CSA America FC 1	
Additional Notes	
Operates in a grid parallel configuration	
Includes a secure website for you to showcase performance & environmental benefits	
Remotely managed and monitored by Bloom Energy	
Capable of emergency stop based on input from your facility	

資料來源：<http://www.bloomenergy.com/>

美國 Bloom Energy 產品為 100kW 燃料電池系統，命名為 Bloom Box，Bloom Energy 宣佈 Bloom Box 經過實際測試發電效率可達 60%，售價包含維護費在內約 70~80 萬美元間，折合台幣約 2100 萬元。



資料來源：<http://www.bloomenergy.com/>

圖 15：Bloom Energy 產品 Bloom Box

2. Ceamic Fuel Cell Limited (CFCL)

CFCL 是澳洲的燃料電池系統公司，SOFC 產品開發研究成果相當豐富，在 2010 年初時，CFCL 已開始銷售至德國、瑞士、法國及荷蘭，包括 E.ON Ruhrgas、EWE、RheinEnergie、GdF Suez、Alliander 與 Gasterra…等單位，同時與日本三井株式會社以及大阪瓦斯集團合夥，進行大阪地區的示範運轉工作。

2011 年 1 月，澳洲當地政府向 CFCL 訂購 25 台 BlueGen，進行智慧電網的展示工作；同年 9 月，荷蘭零售商向 CFCL 訂購一百台 BlueGen 開始進行販售；10 月，CFCL 通過微型發電計畫，英國允許 CFCL 進行英國財政補助計畫，將未使用完的電力回售給國家。

CFCL 產品為 2kW 熱電共生燃料電池系統，命名為 BlueGen，經過實際測試發電效率可達 60%，加上熱能效率可達 85%，系統的操作溫度為 780°C。



資料來源：<http://www.cfcl.com.au>

圖 16：CFCL 產品 BlueGen

3. JX Nippon Oil & Energy Corporation---ENEOS

吉坤日石日礦公司底下子公司 ENEOS 目前是日本 PEMFC 家庭用燃料電池系統市佔率最高的廠商。ENEOS 以研發 PEMFC 為基礎，將其經驗運用於 SOFC 研發，並透過 SOFC 實證測試，收集資訊、改善電池操作溫度，致力發展燃料來源多樣化。

ENEOS 於 2011 年 3 月東京燃料電池展覽時，已宣布在同年 10 月將推出 SOFC 家用燃料電池系統，時程上雖受到地震影響而有所推遲，但依然順利的在 10 月 17 日推出 SOFC 家用型燃料電池系統。

日本建築公司隨即將該產品設置於環保住宅 Green First 當中。目前 ENEOS 計畫在福岡縣設立環保型示範住宅，結合家用燃料電池、蓄電池及光伏電池作為發電來源。

日本 ENEOS 產品為 700W 熱電共生燃料電池系統，經過實際測試發電效率可達 45%，熱回收率為 42%，蓄熱水箱容量為 90 公升。價格約為 270 萬日圓。



資料來源：台灣經濟研究院

圖 17：JX 日石日礦產品

4. TOTO

TOTO 公司原有專長即為陶瓷產品生產，加上其多年研究深厚基礎及製作經驗，因此利用其核心技術開發 SOFC 系統。TOTO 從 1989 年開始進行 SOFC 技術開發計畫。2007 年 TOTO 就已開發出發電效率高達 53% 的系統，目前正在實行運行測試，據瞭解該系統已可連續運轉五千小時。

TOTO 目前也參與日本 NEDO 的 SOFC 開發計畫，在「基礎、共通課題之研究開發」議題中，與三菱重工、三菱材料、關西電力等 10 個官產學研機構合作，負責耐久性、可靠度提升之基礎研究；三菱重工、三菱材料、AGC Seimi Chemical 以及共立材料則是共同研討電池堆材料之低成本化技術議題。在「實用性提升開發研究」議題中，負責啟動停止技術開發。



資料來源：台灣經濟研究院

圖 18：TOTO 產品

5. Kyocera

Kyocera 與 TOYOTA、AISIN、大阪瓦斯在 2009 年 3 月宣佈共同研發小型高效率次世代 SOFC，目標在 2014 年商用化。四家廠商彼此分工：Kyocera 擔任關鍵組件 SOFC 電池組之開發、大阪瓦斯發

展熱交換與儲水裝置、TOYOTA 和 AISIN 負責系統整合，四家廠商共同合作，以加速開發進度與分擔研發成本。Kyocera 產品發電容量為 700W，燃料來源為天然瓦斯，目前累計超過 140 台設備在進行實證測試，數量居各廠商之冠。



資料來源：台灣經濟研究院

圖 19：Kyocera 產品

日本 Kyocera 產品為 700W 熱電共生燃料電池系統，Kyocera 之 SOFC 產品經過實際測試發電效率可達 45%，熱能效率可達 30%。

6. Ceres Power

Ceres Power 為英國主要研究 SOFC 之廠商，其 CHP 產品在 2010 年 12 月通過荷蘭 GAD 及 CE 認證要求，已於 2011 年開始部屬 CHP 產品商業試驗，試驗地區位於英格蘭東南部，測試持續至 2012 年。

測試完畢後，將與英國天然氣公司合作推出 CHP 產品。在 7 月 Ceres Power 宣布測試報告，內容為測試過程所解決的可靠度及耐久性問題。該公司燃料電池主要生產廠房位於 Horsham，而熱電聯產系統將由荷蘭的 Daalderop 工廠生產。



資料來源：<http://www.cerespower.com/>

圖 20：Ceres Power 產品

Ceres Power 1kW 熱電共生燃料電池系統目前正在測試運轉中，系統所使用的燃料可以是天然瓦斯、甲烷及丙烷。主要客戶包括英國 British Gas、Calor Gas、以及愛爾蘭 Bord Gais。Ceres Power 為 British Gas 設計之產品，預計在 2011 年可完成商品開發與測試，2012 年起進行大規模商用化測試。

7. 挪威 Wärtsilä

2010年三月芬蘭能源營運商 Wärtsilä 與丹麥 Topsoe Fuel Cell AS 聯合宣布完成 1,500 小時 20kW 燃料電池系統的測試，其應用為作為分散式發電之用，燃料來源是垃圾沼氣。沼氣含有豐富的甲烷，但需先過濾雜質。Wärtsilä 已有能力生產 20kW 與 50kW 系統，系統操作溫度在 605~800°C 之間，而 200kW 與 5MW 的系統正發展中。



資料來源：<http://www.wartsila.com/en/Home>

圖 21：Wärtsilä 產品

圖 21 為 Wärtsilä 50Kw 產品，發電效率可達 52%，整體效率可 69%。Wärtsilä 合作廠商除了 Topsoe Fuel Cell AS，還包括日本日立造船。在 2011 年 6 月 Wärtsilä 更宣布與美國 Versa Power System 跨國合作發展 SOFC 系統。

8. 德國 Siemens

德國西門子(Siemens)發展 SOFC 技術多年，其 SOFC 之電池堆屬於管式(Tubular)結構。西門子的系統為 125kW 的熱電共生系統，

發電效率為 44~47%，加上熱效率為 80%，目前正在測試運轉中。另外，西門子現階段有參與美國能源部計畫，以 10kW 系統作試驗，持續運轉已超過 2,500 小時。



資料來源：<http://www.Siemens.com/>

圖 22：Siemens 產品

9. 美國 Versa Power

Versa Power 成立於 2001 年，由美國天然氣科技所、電力研究所、材料與系統研究公司以及猶他州大學合作組成。也正在研究 SOFC 熔融碳酸鹽燃料電池(Molten Carbonate Fuel Cell；MCFC)技術的領導廠商，主要應用於大型發電系統。



資料來源：<http://www.versa-power.com/>

圖 23：Versa Power 產品

Versa Power 在 SOFC 方面與熔融碳酸鹽燃料電池技術的領導廠商 Fuel Cell Energy 合作參與美國能源部的計畫，目前持續運轉測試已超過 4,700 小時。美國能源部希望在 2012 年進行更大規模的測試運轉。

五. 技術標準

國際上 SOFC 之技術標準與安規公告情形不多，大致上以 IEC 等國際標準組織公告之定置型燃料電池之技術標準與安規為參考對象。由於日本自 2009 年開始補助家用型 SOFC 燃料電池，目前也有 9 項針對 SOFC 的標準草擬中，相信經過示範運轉後，對於 SOFC 技術標準的制定，將如同之前實施 PEMFC 1kW 家用型熱電系統經實證後，可望產出許多 SOFC JIS 應用面的標準，在國際標準方面拔得頭籌。

(一) 全球標準

1. 已出版

(1) Fuel Cell Power Systems - System Design/Testing

國家	條號	內容	出版時間
全球	IEC 62282-3-1	Stationary Fuel Cell Systems - Safety	2007.04
美國	ANSI/CSA America FC1	Fuel Cell Power Systems	2004
歐盟	CEN/CENELEC EN 50465	Fuel Cell Gas Heating Appliances	2008.1
	EN 62282-3-1	Stationary Fuel Cell Systems - Safety	2007.04
德國	DVGW VP119	Preliminary Basic Rules for Testing Fuel Cell Gas Appliances 70 kW	2010.1
大陸	GB/Z 21743-2008	Stationary proton exchange membrane fuel cell power system	2008

資料來源：<http://www.fuelcellstandards.com/home.html>

(2) Fuel Cell Power Systems - Performance - efficiency, emissions, durability

國家	條號	內容	出版時間
國際	IEC 62282-3-2	Test Method for the Performance of Stationary Fuel Cell Power Plants	2006.03
美國	ASME PTC 50	Performance Test Code for Fuel Cell Power Systems Performance	2002.12
美國 (加州)	State of California Regulations	Emission Regulations	2002.06
歐盟	EN 62282-3-2:2006	Test Method for the Performance of Stationary Fuel Cell Power Plants	2006.03

資料來源：<http://www.fuelcellstandards.com/home.html>

(3) Fuel Cell Power Systems - Subsystems - Fuel Cell Modules

國家	條號	內容	出版時間
國際	IEC 62282-2	Fuel Cell Modules	2007.03
加拿大	CAN/CSA C22.2 No. 62282-2:07	Fuel Cell Technologies-Part 2: Fuel Cell Modules	2007
歐盟	EN 62282-2:2004	Fuel Cell Modules	2007.03

資料來源：<http://www.fuelcellstandards.com/home.html>

(4) Fuel Cell Power Systems - Subsystems – Inverters

國家	條號	內容	出版時間
美國	UL 1741	Standard for Inverters, Converters, Controllers and Interconnection System Equipment for Use with Distributed Energy Resources	2010.01

資料來源：<http://www.fuelcellstandards.com/home.html>

(5) Fuel Cell Power Systems – Installation

國家	條號	內容	出版時間
國際	IEC 62282-3-3	Stationary Fuel Cell Power Systems - Installation	2007.11
美國	ANSI/NFPA 853	Installation of Stationary Fuel Cell Power Plants	2003
	US Department of Energy	Hydrogen and Fuel Cells Permitting Guide	2004.11
	State of South Carolina	Hydrogen (and Fuel Cell) Permitting Ac	2010.06
加拿大	CAN/BNQ 1784-000	Canadian Hydrogen Installation Code	2007
歐洲	HYPER Project	Installation Permitting Guidance for Hydrogen and Fuel Cells Stationary Applications	-
日本	Petroleum Association of Japan	Fuel Cell System Installation Criteria	-

資料來源：<http://www.fuelcellstandards.com/home.html>

(6) Fuel Cell Power Systems - Electrical Interfaces - With Panel Board

國家	條號	內容	出版時間
美國	ANSI/NFPA 70: Article 692 - Fuel Cell Systems	National Electrical Code	2005

資料來源：<http://www.fuelcellstandards.com/home.html>

(7) Fuel Cell Power Systems - Electrical Interfaces - With Grid

國家	條號	內容	出版時間
國際	IEC/PAS 63547-IEEE	Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems	2011.07
美國	NFPA 110	Standard for Standby Power Systems	2002
	ANSI/IEEE 1547	Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems	2003.10

資料來源：<http://www.fuelcellstandards.com/home.html>

國家	條號	內容	出版時間
美國	IEEE 1547.1	Standard for Conformance Test Procedures for equipment Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems	2005.07
	IEEE 1547.2	Application Guide for IEEE 1547 Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems	2009.04
	IEEE 1547.3	Guide for Monitoring, Information Exchange, and Control of Distributed Resources Interconnected with Electric Power Systems	2007

資料來源：<http://www.fuelcellstandards.com/home.html>

2. 未出版

(1) Fuel Cell Power Systems - System Design/Testing

國家	條號	內容	預定時間
國際	IEC 62282-3-150	Stationary fuel cell power systems - Small stationary fuel cell power system serving as a heating appliance	CD-2012.06; FDIS-2014.03; IS-2014.06
美國	UL Subject 2266	Electromagnetic Compatibility, Electrical Safety, and Physical Protection of Stationary and Portable Fuel Cell Power Systems for Use with Commercial Network Telecommunication Equipment	-
加拿大	CAN/CSA-IEC 62282-3	Fuel Cell Technologies -Part 3: Fuel Cells	-
韓國	KS C IEC 62282-3-1	Stationary Fuel Cell Power Systems - Safety	-
日本	JIS C 62282-3-1	Stationary Fuel Cell Power Systems – Safety	-
中國		Fuel Cell Back-Up Power Source	
	20077132-T-604	Stationary fuel cell power system - Part 1: Safety	-

資料來源：<http://www.fuelcellstandards.com/home.html>

(2) Fuel Cell Power Systems - Performance - efficiency, emissions, durability

國家	條號	內容	預定時間
國際	IEC 62282-3-201	Small stationary polymer electrolyte fuel cell power system – Performance test method	CDV-2011.11; FDIS-2012.06; IS2012.11
美國	NIST IR 7131	Test Methodology and Performance Rating Standard for Residential Fuel Cell Systems	-
日本	JIS C 62282-3-2	Test Methods For the Stationary Fuel Cell Power System – Performance	-
韓國	KS C IEC 62282-3-2	Stationary Fuel Cell Power Systems - Performance	-
中國	20090618-T-604	Stationary fuel cell power system - Performance test methods	-

資料來源：<http://www.fuelcellstandards.com/home.html>

(3) Fuel Cell Power Systems - Subsystems - Fuel Cell Modules

國家	條號	內容	預定時間
美國	CSA America FC4	Fuel Cell Modules	-
中國	20091653-T-604	Fuel Cell Modules	-

資料來源：<http://www.fuelcellstandards.com/home.html>

(4) Fuel Cell Power Systems - Subsystems - Fuel Cell Modules - Subscale Testing

國家	條號	內容	預定時間
國際	Working Group #11 / IEC 62282-7-2	Single Cell / Stack - Performance Test Methods for Solid Oxide Fuel Cells	CD-2011.06; DTS-2012.06; TS2013.03

資料來源：<http://www.fuelcellstandards.com/home.html>

(5) Fuel Cell Power Systems – Installation

國家	條號	內容	預定時間
英國	UK "industry/ government" working group	Installation Guide for Hydrogen Fuel Cells and Associated Equipment	-
日本	JIS C 62282-3-3	Stationary Fuel Cell Power Systems – Installation	-
韓國	KS C IEC 62282-3-3	Stationary Fuel Cell Power Systems - Installation	-
中國	20074705-T-604	Stationary fuel cell power system - Part 3: Installation	-

資料來源：<http://www.fuelcellstandards.com/home.html>

(6) Fuel Cell Power Systems - Electrical Interfaces - With Grid

國家	條號	內容	預定時間
美國	IEEE P1547.4	Draft Guide for Design, Operation and Integration of Distributed Resources Island Systems with Electric Power Systems	-
	IEEE P1547.5	Draft Technical Guidelines for Interconnection of Electric Power Sources Greater than 10 MVA to the Power Transmission Grid	-
	IEEE P1547.6	Draft recommended Practices for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Distribution Secondary Networks	-
	IEEE P1547.7	Draft Guide to Conducting Distribution Impact Studies for Distributed Resource Interconnection	-
	IEEE P1547.8	Recommended Practices for Establishing Methods and Procedures that Provide Supplemental Support for Implementation Strategies for Expanded Use of IEEE Standards 1547	-

資料來源：<http://www.fuelcellstandards.com/home.html>

3. 日本 SOFC 草案

國家	條號	內容	預定時間
日本	JIS Draft	<u>General Safety Code for Small Solid Oxide Fuel Cell Systems</u> Scope Output less than 10 kW. Status Draft in Progress	制定中
	JIS Draft	<u>Testing Methods for Small Solid Oxide Fuel Cell Power Systems</u> Scope Output less than 10 kW. Status Draft in Progress	制定中
	JIS Draft	<u>Performance Test for Stationary Solid Oxide Fuel Cell Stacks</u> Scope No limitation on output. Status Draft in Progress	制定中
	JIS Draft	<u>General Rules for Small Solid Oxide Fuel Cell Systems</u> Scope Output less than 10 kW. Status Draft in Progress	制定中
	JIS Draft	<u>Indication of Solid Oxide Fuel Cell Power Facility</u> Scope Nameplate Status Draft in Progress	制定中
	JIS Draft	<u>Safety Evaluation Test for Stationary Solid Oxide Stacks</u> Scope No limitation on output. Status Draft in Progress	制定中
	JIS Draft	<u>Testing Methods for Environment of EMC for Small Solid Oxide Fuel Cell Power Systems</u> Scope Output less than 10 kW. Status Draft in Progress	制定中
	JIS Draft	<u>Testing Methods for EMC of Small Solid Oxide Fuel Cell Power Systems</u> Scope Output less than 10 kW. Status Draft in Progress	制定中
	JIS Draft	<u>Testing Methods of Power Conditioner for Grid interconnected Small Solid Oxide Power Systems</u> Scope No limitation on output. Status Draft in Progress	制定中

資料來源：<http://www.fuelcellstandards.com/home.html>

(二) 台灣標準

表 23 係標準檢驗局以國際標準 IEC 為參考依據，並配合國內產業發展環境所制定之定置型燃料電池技術標準，雖然目前尚未有

SOFC 相關產品研發成功，但可結合國內產官學研，參考現有國際相關法規，配合國內產業發展，研擬一套適合台灣的 SOFC 性能與安全性相關技術標準，提升品質與性能，以增加我國產品之市場競爭力，期望能夠讓台灣相關產業技術能與國際接軌。

表 23：CNS 燃料電池技術標準之制定現況

分類	CNS 標準	IEC	現況
定置型	燃料電池技術-第 1 部：術語 CNS15026-1	IEC62282-1	已公告
	燃料電池技術-第 3-1 部：定置型燃料電池發電系統-安全	IEC 62282-3-1	準備公告
	燃料電池技術-第 2 部：燃料電池模組	IEC 62282-2	
	燃料電池技術-第 3-2 部：定置型燃料電池發電系統-性能測試方法	IEC 62282-3-2	
	燃料電池技術-第 3-3 部：定置型燃料電池發電系統-安裝	IEC 62282-3-3	完成草案，待技術委員會審查
	燃料電池技術-第 5-1 部：可攜式燃料電池發電系統-安全	IEC 62282-5-1	
	微型燃料電池發電系統安全	IEC 62282-6-100	預計 2011 年研擬
	微型燃料電池發電系統性能測試方法	IEC 62282-6-200	
	微型燃料電池發電系統燃料統互換性	IEC 62282-6-300	
	聚合物電解質燃料電池單電池測試方法	IEC 62282-7-1	

資料來源： 1.燃料電池技術國際標準網址：www.iec.ch
 2.工研院能環所，曹芳海，林祥輝，97.12
 3.台經院整理

六. 專利分析

本研究蒐集美國及台灣專利，且將蒐集之美國專利資料以附錄方式將近來各廠商在美國申請之專利數²(附錄二)以及各專利列表³(附錄三)呈現，供專利組織分析使用。

表 24：SOFC 專利申請量累積排行榜

排名	專利權人	件數
1	Mitsubishi Jukogyo	460
2	Kyocera Co.	381
3	Nissan Motor Co., Ltd.	286
4	Tokyo Gas Co., Ltd.	207
5	TOTO Ltd.	201
6	Mitsubishi Materials Co.	182
7	Kansai Denryoku	181
8	Nippon Telegraph & Telephone Co.	180
9	Toyota Jidosha	163
10	NGK Insulators, Ltd.	159
11	Siemens	135
12	Fujokura, Ltd.	121
13	Honda Motor Co., Ltd	118
14	Matsushita Denki Sangyo	118
15	Dainippon Printing Co., Ltd.	97
16	Delphi Technologies, Inc.	92
17	NGK Spark Piug Co., Ltd	90
18	Westinghouse Electric Co.	87
19	Dokuritsu Gyosei Hojin Sangyo Gijutsu So	84
20	Forschungszentrum Juelich GMBH	80

資料來源：卞志昕，固體氧化物燃料電池專利分析，上海情報服務平台，2009.12.8

² 美國 SOFC 專利資料庫中，最近 150 個專利申請公司排行。

³ 美國 SOFC 專利資料庫中，最近 550 個專利申請列表。

根據卞志昕利用 Derwent 專利數據庫(1961 年至 2008 年 6 月)在 2009 年所作的全球專利研究統計結果發現，SOFC 專利申請主要集中於日本。研發力量最強大的也多是日本公司，在專利擁有量排名前 20 的公司中，日本企業佔據了 16 項，美國和德國各有 2 家企業進入前 20。而前 10 家公司均為日本公司，可見日本公司在 SOFC 研究中的主導地位。

在這些日本公司中，有著歷史悠久的實力型公司，其在 20 多年前就已涉足 SOFC 燃料電池的研究，如：Mitsubish Jukogyo、Nippon Telegraph & Telephone Co.等，也有在近幾年才開始進入 SOFC 領域，但發展迅速的公司，如：Toyota…等。

而由表 25 可以看到，近來美國 Delphi Technologies 以 28 項專利排名第一，第二是日本的 Nissan Motor，以 10 項專利居於第二。前 20 名的專利申請者中，美國有 10 名，日本佔 7 名，另外分別為韓國 2 名、加拿大以及台灣各 1 名。由目前態勢看來，主要研發 SOFC 的領導國家仍以美、日為主，也可以發現台灣核能研究所及韓國的研究機構皆已投入 SOFC 研究，且有所斬獲，但目前這兩國在 SOFC 發展上仍以基礎研究為主，尚未拓展至產業界，因此專利申請仍以研究機構為主，踏出發展 SOFC 產業的第一步。

表 25：近來 SOFC 專利申請量排行榜

排名	專利權人	件數
1	Delphi Technologies, Inc.	28
2	Nissan Motor Co., Ltd.	10
3	Battelle Memorial Institute	6
4	Rolls-Royce plc	6
5	Alberta Research Council, Inc.	4
6	Corning Incorporated	4
7	Institute of Nuclear Energy Research	4
8	Mitsubishi Materials Corp.	4
9	Toho Gas Co., Ltd.	4
10	Adaptive Materials, Inc.	3
11	Devoe; Alan and Devoe; Lambert	3
12	Saint-Gobain Ceramics & Plastics, Inc.	3
13	Shinko Electric Industries Co., Ltd.	3
14	Tokyo Gas Co., Ltd.	3
15	Toto, Ltd.	3
16	Korea Advanced Institute of Science and Technology	2
17	Korea Institute of Energy Research	2
18	NanoDynamics Energy, Inc.	2
19	Nippon Shokubai Co., Ltd.	2
20	Pittsburgh Electric Engines, Inc.	2

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

在台灣專利資料庫裡，針對公告核准專利，如以「燃料電池」作為關鍵字在專利名稱或摘要或申請專利範圍三個欄位作檢索，則可以獲得 2,821 篇專利，其中包含 2,527 篇發明，281 篇新型專利，13 篇新式樣專利。歷年之公告專利之趨勢發展，可參考圖 24。



資料來源：黃炳照，我國氫能科技發展規劃，2010

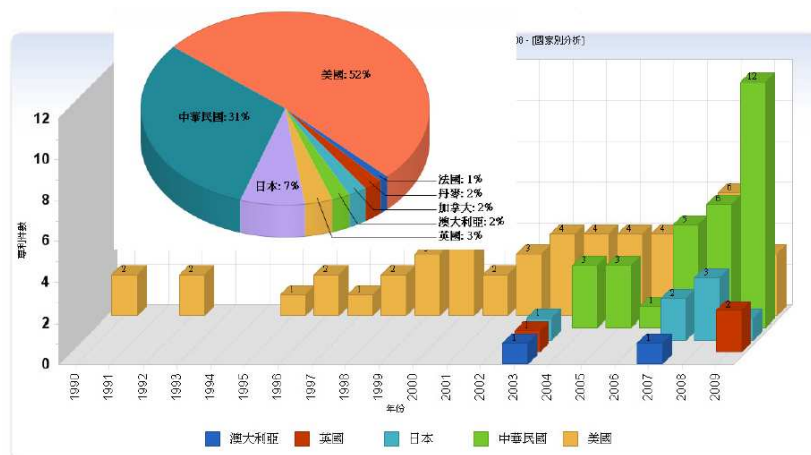
圖 24：台灣專利資料庫中之燃料電池專利公告歷年趨勢

SOFC 專利部分共有 98 篇，約佔所有專利的 5%，相較之下，該技術的發展又更緩慢，近幾年專利數才有明顯的增長。參考圖 25、圖 26，如果以主要專利國家來看，其中美國專利佔 52%，台灣約 31%，日本為 13%。美國企業也早在 90 年代即開始在台灣的專利申請佈局，足足領先台灣與日本企業十幾年。



資料來源：黃炳照，我國氫能科技發展規劃，2010

圖 25：SOFC 公告專利歷年趨勢



資料來源：黃炳照，我國氫能科技發展規劃，2010

圖 26：SOFC 專利之主要國家別統計

表 26：主要專利申請權人專利數量統計表

排名	專利權人	件數
1	行政院原子能委員會核能研究所	21
2	西門子西屋能源股份有限公司	12
3	康寧公司 Corning	14
4	金坦公司 ZTEK CORP.	7
5	惠普研發公司 HP	5
6	新日本石油股份有限公司 NIPPON OIL CORPORATION	5
7	財團法人精密瓷器中心	1
8	三菱綜合材料股份有限公司 MITSUBISHI MATERIALS COPR.	1
9	關西電力股份有限公司	1
10	英可有限公司 INCO LIMITED	2
11	國立台灣科技大學 NTUST	3

資料來源：黃炳照，我國氫能科技發展規劃，2010

表 26 為我國主要專利申請權人專利數量統計表。我國 SOFC 之專利來自於研究單位與學術單位，如核研所與台灣科技大學，國內廠商並未申請專利，顯示我國 SOFC 技術仍處於研發階段。核研

所專利包括如平板式、圓管式固態燃料電池模組設計與封裝結構，
以及其電極與電解質層製作、流道設計等；台灣科技大學之專利主
要來自顏怡文教授研發之金屬/陶瓷接合材料，以及周振嘉教授研發
之金屬雙極板材料與多孔性柱狀晶材料，皆屬於材料研發。

國外廠商以德國西門子集團為首，該集團已於 1997 年併購美國
西屋電器公司，因此將專利合併計算，該集團於國內申請的專利多
與具 ABO_3 鈣鈦礦(perovskite)結構之釧系合金電極材料有關，包括
其組成與製作方式。美國康寧公司(Corning Corp.)之專利則多屬電極
材料製作、固密封設計與材料研發方面。金坦公司(Ztek)之專利著重
於結合 SOFC 與渦輪機的複合動力系統，以及含硫烴燃料之轉化設
備。

七. 台灣產學研發展

(一) 產業界

1. 保來得

目前與美國 Bloom Energy 合作製造其燃料電池產品 Bloom Box 之連接板，接觸板是 SOFC 燃料電池的關鍵零件，全球可生產此種硬脆材料的業者極少，保來得為 Bloom Energy 連接板最大的供應商，供貨比重達五成。

保來得歷時五年才研發成功 SOFC 接觸板，根據保來得總經理朱秋龍表示，目前正積極配合 Bloom Energy 之需求，買下竹南廠旁的兩千坪土地計畫擴廠。在機械部分，保來得現有一部 1,600 噸成型機，第二部機器預定 2012 年置建完成，未來成型機的需求量多達數十部。

出貨量方面，2011 年出貨約 150 萬片，預估 2012 年之出貨量為 200 萬片，未來五年內更可達 1000 萬片，5 月底朱總經理赴美參加美國粉末冶金年會，並順道拜訪 Bloom Energy 高層，制定未來五年的接觸片的供應合約。9 月 Bloom Energy 高層來台訪視保來得，朱總經理提議 Bloom Energy 來台設廠，引進 Bloom Box 組裝，提升台灣產業進展。



資料來源：保來得公司網站

圖 27：保來得竹南廠



資料來源：經濟日報

圖 28：德國 DORST 公司 1,600 噸粉末成型機

保來得也與成功大學產學合作，創立粉末冶金講堂，從學界開始深耕人力與技術。從今年起除了提供成大材料系博士、碩士的高額「菁英獎學金」外，雙方進一步將於下學期共同開授以最新產業應用為導向之「粉末工程」課程，期建立產業與師生更多的互動。成大材料系也將組成含七名教授之研發團隊與保來得公司共同研發新產品。



資料來源：成功大學材料科學及工程學系

圖 29：於成功大學成立粉末冶金講堂



資料來源：成功大學材料科學及工程學系

圖 30：於成功大學成立產品展示中心

2. 高力

高力自 1970 年創立，自 1992 年起，高力以累積的熱處理、銅焊和真空硬鋸之專業技術與豐富經驗，研發生產板式熱交換器、仙吉米亞壓延輥輪等多項產業之關鍵零組件及系統設備。近年更致力與國際大廠合作開發，陸續生產及研發出多項節能、氫能、綠能產品，積極跨足綠色能源市場，朝綠能公司邁進。



資料來源：<http://www.kaori-taiwan.com/index-c.html>

圖 31：高力高雄工廠



資料來源：<http://www.kaori-taiwan.com/index-c.html>

圖 32：高力中壢工廠



資料來源：經濟日報

圖 33：高力與 Bloom Energy 簽約

其產品通過 Bloom Energy 品質確認，於 2009 年與 Bloom Energy 簽約生產燃料電池反應爐。據其總經理表示，2009 年年底出貨 100 套燃料電池反應爐予 Bloom Energy，2010 年出貨 1000 套。

由於 Bloom Energy 產品已陸續對美國 ebay、Google、Walmart、可口可樂和聯邦快遞等業界指標性業者完成供貨，且已掌握有基本的延續性需求。預期燃料電池反應爐(每台可負荷 25KW 電能)可為高力 2009 年營運挹注 4-5 億元的營收，較往年增加 3-4 倍之多。

為因應產品後續逐步擴量的供貨需求，高力已有裝設新爐的規劃。在廠房部分，目前已挪用中壢一廠來生產，其 2 座爐具暫時從板式熱交換器生產線調度過來，而新爐自 2010 年 5 月起可望正式加入生產行列，未來年度最大產能將可擴增至 1500-1600 台水準。高雄廠也已設立一座 SOFC 熱交換器系統生產工廠，預定年底啟用。

SOFC 熱交換器系統為高毛利產品，Google 對 SOFC 的需求達數百台，高力也投資 400 萬美元成為股東，深化彼此的合作關係。在此同時，經濟部通過高力熱處理工業開發創新板片式燃料重組器系統等 5 項業界開發產業技術計畫。透過計畫的執行，開發創新板片式燃料重組反應器關鍵技術，經由結合其他型式反應器建置使用天然氣的 kW 級燃料重組器系統，可將天然瓦斯轉換成氫氣，供應燃

料電池發電，提供家庭、醫院、股市及手機基地台等場合低成本、安全的備用電源。高力也將發展一般支援系統（Balance of Plant System）與控制技術，以利未來量產與製造所需。透過計畫之執行，所開發的產品將可供應國內外燃料電池系統廠商使用，將有助於我國燃料電池產業的發展。

3. 康舒



資料來源：康舒科技公司

圖 34：康舒科技淡水工廠

康舒與美國新能源公司 Bloom Energy 合作的燃料電池產品已於去年開始小量試產出貨，康舒所生產的產品屬發電機裡的電源轉換器(包括 Converter 與 Inverter)，一台發電機需 25 顆電源轉換器，重達 4 噸，且由於瓦數較高(達 2~3 千瓦)，技術門檻較高，故目前僅有 Bloom Energy 自家的電源公司與康舒出貨。2011 年 Bloom Energy 已與康舒合作第二代新產品研發，電力轉換效率更高，且體積更小、便於攜帶，然因單價仍高，普及化程度不易，仍鎖定政府

機關、企業用戶為主要出貨對象；康舒於第二季開始出第二代的電源轉換器，預估此產品將貢獻康舒營收 5.44 億元，佔營收比重 2.19%。

康舒證實目前訂單超過 10 億元，據了解，Bloom Energy 要求康舒製造的是機房和電源部分，整個機組的佔地約 1 個大型停車位，高度則逼近 2 公尺，總重 4.5 噸，內含 20 多個、每個重逾 8 公斤的電源供應器。由於 Bloom Energy 產品牽涉高度機密，因此嚴禁該公司赴大陸生產，而淡水廠區目前正在趕工擴建廠區，已於 2011 年 9 月份將正式量產交貨。

(二) 學術界

學術界於 SOFC 之研究經費主要來自原子能研究所，主要研究的方向為製程技術研發及材料研發。本研究整理 99 年研究補助計畫共 9 項，簡要說明如下。

1. 20kW 級微型渦輪發電系統實驗測試及 SOFC/GT 混成系統配置參數分析研究

清大動機系蔣小偉教授利用模擬分析，研究 SOFC / GT 混合系統之技術參數，模擬固態氧化物燃料電池結合氣渦輪機混成系統性能分析及最佳化，並進行實驗，完成引擎改裝規劃及點火測試及初步改裝。研究結果有以下結論：

- (1) 壓縮比：提高壓縮比能有效提升渦輪機之功率，但也需增加額外添加至燃燒室的燃料，使得系統效率有最大值，而發生效率最大值的壓縮比與熱交換器效率成反比。
- (2) 熱交換器效率：熱交換器效率高可減少輸入的燃料，使得系統效率提升，但因系統流量降低造成輸出功率下降。
- (3) 電池堆進口溫度：若 SOFC 電池堆進口溫度低於 800°C，則效率很低。
- (4) 在不改裝條件下，測試載具引擎在供氣壓力 0.5~1.2 kg/cm² 間皆可成功燃氣點火。
- (5) 增大霧化器孔徑後，進行引擎運轉測試及引擎燃氣/氫性能量測試。

2. SOFC 膜電極組特性模擬及數值分析工具之開發

台南大學綠能系郭振坤教授進行 SOFC 膜電極組 (Membrane Electrode Assembly, MEA) 之研究，以物理耦合軟體 COMSOL Multiphysics 作為分析工具，並提出合理可行之設計、分析方法與數值分析，探討對 SOFC 效能之影響。研究結果顯示，流場為同向流之 SOFC 整體電池效能較逆向流優異；在孔隙率 (Porosity) 方面，當孔隙率等於 0.7 與孔隙撓曲度等於 4.5 的比值，所達到的功率密度為最大值，可有效提升電池效能。

3. 高潔淨鐵鉻合金粉末金屬連接器的開發研究

台慶科技教育發展基金會連雙喜博士採用旋轉電極法，製造高潔淨度鐵鉻基合金粉末，並燒結成測試樣品，評估 SOFC 連接板的高

溫性質。鐵鉻基合金其熱膨脹係數與 SOFC 組件較匹配且抗高溫氧化，但研究發現，氧化層及基材間有裂紋或裂縫會影響其接觸電阻。此外，表面所生成 Cr_2O_3 中，若含有雜質(Fe 等)，將使導電度變差而影響其電池性質。該研究已製作 150~200 μm 之鐵鉻合金粉末，初步所得之氧化層主要為平滑的氧化鉻，未來若進一步得到最佳化的粉末燒結條件，對於金屬連接板之成本降低及性能提升將有很高有幫助。

4. SOFC 電池堆結構耐久性研究與壽命評估(III)

中央大學林志光教授研究探討玻璃陶瓷和金屬連接板間的接合強度及破壞模式，所使用的玻璃陶瓷為核能研究所開發代號 GC-9 之材料，金屬連接板則是使用代號 Crofer 22 H 之材料及 APU 的商用肥粒鐵系不銹鋼。藉由製作兩款三明治試片，分別量測接合件在室溫與 800°C 下的剪力及張力強度，並評估試片接合溫度、金屬連接板的預氧化處理、玻璃膠塗佈面的數量、時效處理、金屬連接板成分等因素對於接合件強度的影響。

研究結果顯示，在 900°C 下接合的試片，其張力強度和剪力強度皆高於在 850°C 下接合的試片，探究原因應是在較高的溫度下，玻璃陶瓷在金屬連接板上的潤濕性質較好，接合性也較佳。此外，金屬連接板在 900°C 下之預氧化處理無助於接合強度的提升，過多的預氧

化處理反而會造成接合強度明顯的下降。

5. 創新加壓型固態氧化物燃料電池設計測試及模擬分析

中央大學施聖洋教授研究高壓效應(1~5 大氣壓)對電池堆電池性能影響之實驗，該研究建立一創新加壓型平板式固態氧化物燃料電池(SOFC)之實驗測試平台，並進行實作測試及模擬分析，研究結果將對未來發展高效率 SOFC 與氣渦輪機發電系統之整合技術有所幫助。研究成果有以下 4 點：

- (1) 完成加壓型 SOFC 國際相關文獻之收集與彙整工作。
- (2) 完成加壓型 SOFC 單電池堆實驗測試平台之設計與製作，除了測試高壓高溫實驗流程外，正進行一系列高壓高溫單電池堆性能測試實驗。
- (3) 針對棋盤式流道尺寸效應，進行一系列單電池堆性能測試，找出棋盤式流道優化設計尺寸，將進一步執行高壓環境之測試。
- (4) 建立密封材料之洩漏率測試平台，並針對新式壓縮密封材料進行洩漏率測試。

6. SOFC 玻璃陶瓷封裝元件壓鑄製程之模具與鍍膜材料開發及選用

利用壓鑄製程製造 SOFC 封裝用玻璃元件時，除了適當的模具方案設計外，模具材料的選用及模具表面的鍍膜，皆會影響封裝元件

的尺寸和表面精度，及模具的使用壽命。因此，聯合大學林惠娟教授探討 TiN、TaN 及其多層膜，對於壓鑄環境下的鍍膜氧化的情形。由實驗結果發現 TiN(#2)試片對於 500°C 熱循環以及 500°C 氧化實驗下，具有良好的熱穩定性，而 Ti-Ta-N 三元成分的鍍膜與多層膜也具有良好的熱穩定性。

7. 多孔性燃燒室應用在高溫觸媒燒結之系統可行性研究

成功大學賴維祥教授研究探討多孔性燃燒室應用於對觸媒燒結 (Sintering) 製程之可行性，另外為利用多孔性燃燒室建立合適的觸媒燒結環境，藉由均勻可控制溫度環境，亦探討燒結溫度對生質氣體重組觸媒之影響。

燒結實驗結果顯示在氫氣體積百分比濃度為 10.4% 時，在不同多孔性介質之介面處可得到一溫度值為 800°C，較均勻且穩定供熱的火焰面。此外，在此相同的氫氣濃度條件下，混合燃氣之流速於 82.0cm/s 以下時，對於溫度值和介面溫度分佈之均勻性皆無明顯的影響，然而在相同的混合燃氣之流速之下，改變氫氣體積百分比濃度，則有可能發生回火或後燃現象，為較不理想的參數條件。

觸媒燒結製程實驗結果顯示，在一定當量比下可得到均勻溫度面，但溫度值已高達 800°C，改變下游多孔材為熱傳導係數與比熱值較高之碳化矽，並降低氫氣濃度，可降低溫度值至 650°C。經調校參

數，得知在氫氣體積百分比濃度為 9.2% 時，可得到一穩定且溫度值在 650°C 的溫度面，最後以此條件持溫 4 小時煨燒觸媒，成品交由核研所做化性鑑定。

8. 整合金屬支撐兼具燃料催化重整及疏導功能基板型之 SOFC 單片電池之研製

清華大學黃大仁教授研製整合金屬支撐兼具燃料催化重整及疏導功能基板型之 SOFC 單片。該研究分析金屬基板之燃料催化重整所需之觸媒成份，測試目標先以天然氣(甲烷)進行測試，再擴及其他需予催化重整之燃料。研究方法係以最新 SOFC 連接極配方之鐵鎳合金製作燃料催化重整及疏導用金屬基板，再以含浸法及粉末添加法加入各種新型燃料催化重整之觸媒成份，如 Bi₂O₃ 奈米粉末及 Bi₂O₃-GDC 奈米粉末等。陽極層將採用 Ni-YSZ 及 Ni-GDC 等。電解質層將採用 YSZ。陰極層將採用 LSCF-GDC、Cu-LSCF-GDC 等，並進行 LSCF:GDC 之各種比例配製之測試，尋求 LSCF-GDC 陰極材料之最佳配方。

9. 以電漿噴塗技術研製金屬支撐中低溫 SOFC 單片電池

台北科大楊永欽教授研究使用電漿熔射噴塗法製作的 SOFC 電池元件，經過循環氧化與還原處理過程，各元件膜層中的殘留應力狀態。主要目的為瞭解 SOFC 在實際操作過程中會遭遇到的循環氧

化還原過程對於電池膜層元件的影響。

研究結果顯示，使用金屬支撐之 SOFC 可以有效改善電池之機械性質，對於使用電漿熔射噴塗製備大面積 SOFC 有很大的幫助。此外，噴塗完成之各膜層試片(LSCM , NiO/LDC, LDC buffer, LSGM, LSCF)均呈現壓縮狀態之殘留應變，研判與噴塗機制有關，一般面層在經過試片冷卻過程都會呈現壓縮應變。將各噴塗後之膜層經氫氣還原、空氣氧化以及再次還原處理後，各膜層的應變狀態就會變的十分複雜。原本表現出壓縮應變狀態的 LSCM buffer 在噴塗上陽極塗層後可以反轉為拉伸應變狀態，而陽極塗層本身的應變狀態也會出現上半部表層與下半部界面層不同的情況，應變狀態為不連續的。所以當膜層一層層堆積時，對於底層之試片也會產生不同的應變作用，甚至造成單一膜層內部出現拉伸及壓縮狀態分層表現的情形。

(三) 研究界

國內燃料電池技術研究單位有核能研究所與工業技術研究院，其中核能研究所專攻 SOFC 燃料電池技術，而工業技術研究院則著重於 PEMFC 與 DMFC 技術研發。

1. 核能研究所

民國 92 年起，核能研究所開始推動整合型能源技術研發科專計

畫，並將固態氧化物燃料電池系統技術研發列為重點工作項目。核研所發展固態氧化物燃料電池(SOFC)，主要分下列五大項：(1)電解質、電極材料研製技術開發、(2)單電池研製技術開發、(3)電池堆設計、組裝及測試技術開發、(4)系統設計、組裝及測試技術開發、(5)電池堆模擬及發電系統模擬技術開發。

經過 9 年持續努力，所研發之 SOFC 單元電池在 800°C 運轉時，最大功率密度已達到 500 毫瓦/平方公分，具備國際競爭水準。核研所同時亦完成 1kW 發電驗證系統之設計及建置，經由結合電池堆實體進行各項系統控制功能測試，結果顯示系統可符合需求。

核研所在關鍵技術研發上，利用刮刀-共燒-網印技術(TCS)及大氣電漿噴塗技術(APS)分別成功研製出面積(10x10cm²)之 ASC 及 MSC，為提升單元電池功率密度之關鍵技術。其中 MSC 單元電池研發目標為滿足下一代 SOFC 中低溫(500~650°C)運轉之需求。目前正進行箱型化之 2kW 發電系統最佳化組件配置、整體系統熱電效率分析、及驗證系統運轉之控制策略邏輯研究。

近程目標設定為在 2012 年發展 1~5 kW 發電系統技術，長期目標為整合氣化複循環發電技術(Integrated Gasification Combined Cycle)應用於先進之燃煤發電廠。在研發 SOFC 發電技術過程中，同

時進行創新技術之專利佈局，為技術落實於國內產業鋪路，現正朝向 SOFC 長期耐久性能提昇、成本降低及操作簡易等方面努力，使發展之技術具有國際商業化之市場競爭力。相關專利技術研發成熟後將逐步轉移民間，促成國內 SOFC 產業鏈成形，助於燃料電池產業發展。

2. 工業技術研究院

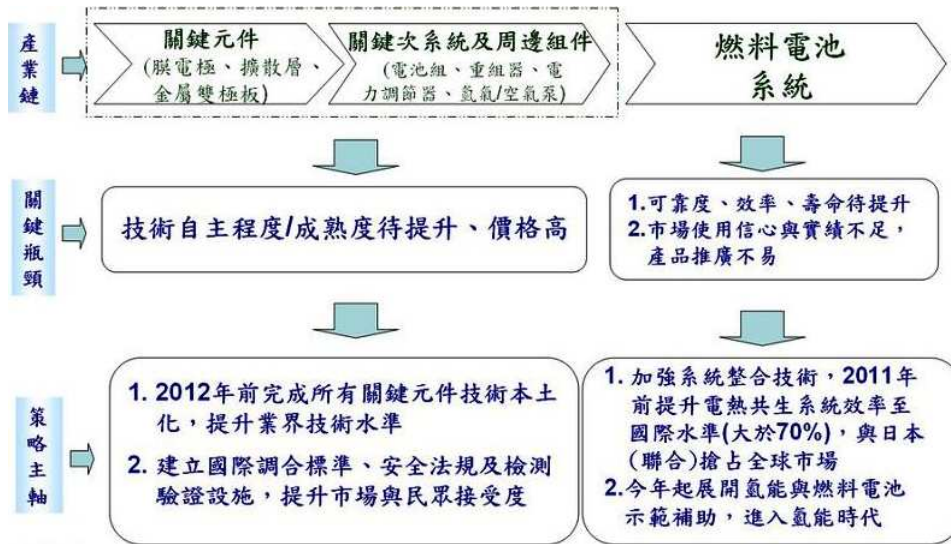
工研院主要研發的項目為 PEMFC，已成功發展 300W、1kW~5kW PEMFC 發電系統，可分別應用於可攜式電力裝置、備用電力裝置、熱電共生系統以及分散式電力系統等。其中 5kW 系統可選擇使用純氫或天然氣燃料，並同時產生電力與熱水，其能源轉換效率(電與熱合計)可達 75% 以上。但目前尚未投入 SOFC 研究，但已預訂計畫進行開發，期望工研院能利用先前發展 PEMFC 的經驗，順利研發 SOFC 相關系統與技術。

3. 能源局

政府已將燃料電池列入「能源風火輪」產業計畫，能源局也發起燃料電池示範運轉驗證補助計畫，一方面提供業者對自製產品進行示範運轉及驗證測試的經費補助，另一方也藉此協助業界掌握初期市場技術，促進新產品開發，加速我國燃料電池產業化的腳步。

本項計畫自民國 98 年起，至今已辦三年，總計補助 190 台發電

系統，總發電量達 545 千瓦。三年期間業者提出的計畫執行總經費需要約近新台幣 7 億元，能源局依立法院核定的預算補助金額為 3 億元，平均補助比例約 43%。



資料來源：<http://www.ey.gov.tw/ct.asp?xItem=57165&CtNode=3020&mp=97>

圖 35：能源「風火輪」燃料電池產業發展問題與策略

參、主要發現與結論

近來全球受到天災影響，工商業電源、備用電源產品需求量增加，SOFC 產品開始受到重視，產量逐漸上升，加上化石燃料缺乏、核災事件的雙重衝擊之下，可望拓展 SOFC 產品應用，期望未來相關材料及技術有所突破，中、大型 SOFC 發電裝置能與目前發電方式共存，減少化石燃料使用、降低核能發電需求，更甚者能取而代之，創造無污染的環境，屆時 SOFC 產品市場將非常龐大。

SOFC 產品商業化所面臨之挑戰包括：高製造成本、複雜製造技術、零組件產業之投資、產品效能衰減、延長使用期限及可靠度。第一代的 SOFC 操作溫度在 800-1,000°C，使得材料之選擇、電池堆的封裝技術、產品價格降低等均受到限制，全球均積極研發操作溫度 500-800°C 的高效能及低價格的 SOFC 產品。

綜觀國際最新技術發展，已有部分廠商之產品早期市場階段，如美國的 Bloom Energy(商用型發電機)、日本 ENEOS(家用熱電共生系統)與澳洲 Ceramic Fuel Cell(分散式發電系統)等，顯示 SOFC 技術已邁入商業化階段。在技術研發與成本降低方面，各國政府均積極投入補助經費，協助產業開發各種應用產品、提升系統效率與降低材料成本。系統發展方向除商用型發電機、分散式發電系統(搭配智慧型電網)與家用熱電共生系統外，也朝向微型化、低操作溫度、輔助

動力系統等方向進行研發，預料未來將有更多的 SOFC 系統應用問世，衝擊 PEMFC 技術市場主導地位。

國際上 SOFC 之技術標準與安規公告情形不多，大致上以 IEC 等國際標準組織公告之定置型燃料電池之技術標準與安規為參考對象。

由於日本自 2009 年開始補助家用型 SOFC 燃料電池，目前也有 9 項針對 SOFC 的標準草擬中，分別是：

1. General Safety Code for Small Solid Oxide Fuel Cell Systems
2. Testing Methods for Small Solid Oxide Fuel Cell Power Systems
3. Performance Test for Stationary Solid Oxide Fuel Cell Stacks
4. General Rules for Small Solid Oxide Fuel Cell Systems
5. Safety Evaluation Test for Stationary Solid Oxide Stacks
6. Testing Methods for Environment of EMC for Small Solid Oxide Fuel Cell Power Systems
7. Testing Methods for EMC of Small Solid Oxide Fuel Cell Power Systems
8. Testing Methods of Power Conditioner for Grid interconnected Small Solid Oxide Power Systems

相信在經過一段時間的示範補助之後，SOFC 技術標準將如同之前實施的 PEMFC 1kW 家用型熱電系統，可望產出許多應用面的 SOFC JIS 標準，供國際 SOFC CHP 家用裝置參考遵循。

國內相關研究尚處於萌芽階段，參與研究之單位較少，除核研所自材料至系統均有投入外，其他學術機構多偏重於粉末製程及材料特性之精進(包括清華大學、台灣科技大學、成功大學、及台灣大學等部份教授進行電解質、陽極、或陰極材料之開發)，對於元件製作，電池單元設計、組裝、乃至系統研製皆有待開發(台北科技大學、清華大學、成功大學、南亞技術學院、及台灣大學進行部份電池堆、系統設計、分析研究)。

表 27：SOFC 機組所需組件

系 統	組 件	功 能
電池組	氧化鋯基板	電解質層，並可塗佈陰極與陽級材料
	連接板	導電與傳送燃料氣及空氣
	組裝零組件	組裝使用
燃料與空氣系統	重組器	燃料反應
	尾氣燃燒器	燃料廢氣處理
	ZnO 吸附槽	燃料脫硫
	燃料氣廢熱回收熱交換器	回收廢熱
	空氣預熱器	回收廢熱
轉動設備	空氣泵	輸送空氣
	過濾器	清潔空氣
輔助配套組件 (BOP)	壓力、溫度感測器	偵測
	電力轉換器	直流變交流
	控制器	系統自動操作
	保溫與管道	組裝用

參考資料：鄭耀宗博士提供

表 27 為 SOFC 機組所需要的組件，目前 SOFC 機組所需的主要材料與關鍵技術仍掌握在歐、美、日與澳洲，領導廠商為美國 Bloom

Energy、澳洲 CFCL、日本吉坤日礦日石能源株式會社、德國 Staxera 等公司。台灣產業界並無 SOFC 機組技術，主要是缺乏電池組與天然氣重組器的製造與組裝技術，但是相關零組件仍是有相當良好的機會與表現。目前商業化最成功的 Bloom Energy 公司，其產品的連接板、熱交換器、電力轉換器、機箱等組件都是與台灣廠商合作開發，並由台灣廠商負責生產。現在 Bloom Energy 公司組件供應的廠商有三家，保來得供應電池組使用的連接板，高力供應熱交換器與機箱，康舒供應電力轉換器。**九豪目前規劃投入 SOFC 零組件生產線之建置**，高力與中興電工正在開發重組器，碧氫也有製造重組器的能力與實績，這些組件可成為台灣廠商努力的目標。

學校及研究單位對於 SOFC 之研發投入持續不斷，累積了不錯的成果，同時也產生許多技術專利。然而，缺乏產業的投入對於我國在 SOFC 的競爭上恐產生負面影響。探究原因可知，產業未能成型之原因來自於對於技術成熟度的信心不足，認為 SOFC 技術仍未達可商業化之階段，即國內不論學界或研究單位均尚未能發展出可靠的應用產品，致使廠商在引進技術、加強研發或增加投資之考量上，有所遲疑。

未來產品可朝 50W 以下的微型系統及低溫型系統進行發展，可作為便攜式電力，攻佔便攜式產品市場；另外低溫型系統為操作溫度約在 650°C 的 SOFC 電池組，溫度降低可減少啟動即停止時間，同時延長電池組壽命、增加循環次數，此項研究偏向材料研究，適合作為學術機構研發項目。

針對我國 SOFC 產業發展之優缺點與可能發展機會進行分析，表 28 為我國 SOFC 產業 SWOT 分析結果。

表 28：我國 SOFC 產業發展 SWOT

優勢(S)	弱勢(W)
<p>1. 具高發電效率、環境友好、高可靠性、高比功率值及適應能力強的能量轉換設施，可結合渦輪機發電系統及生質酒精，使用多元化之進氣燃料可提供分散式發電系統之基載電力。</p> <p>2. 我國在 SOFC 產品相關之電子陶瓷、精密陶瓷及發電機系統零組件產業技術精良，擁有全球一流之競爭力，並已有廠家規劃進入 SOFC 零組件製造研發工作。</p> <p>3. 配合國內產業專長的機動力及系統整合力，將我國優勢量產技術能量引進平板型 SOFC 技術，可加速製造成本之下降，拓展及佈局全球市場，為我國建立一新興明星級產業。</p>	<p>1. 新能源科技專業人才培育仍嫌不足。</p> <p>2. 國內新能源市場規模仍待強化，上、中、下游產業尚未建立完備，產品國際競爭力有待提升。</p> <p>3. 需立法將排放限制標準逐步提升以創造燃料電池利基市場。</p> <p>4. 我國在 SOFC 技術之發展上，遠較其他先進國家起步為晚；而以往學術界投入 SOFC 研究的人力較分散，研究題目著重於基本學術理論的探討，實際應用面較為缺乏。</p> <p>5. 初期開發階段，開發成本仍然偏高，亟需政府擬定完整的策略規劃，推動產品示範計畫，並提供相關的補助措施，加速建立本土 SOFC 之產業夥伴，以利此一產業的發展。</p>

資料來源：經濟部,能源產業技術白皮書,2010

表 28：我國 SOFC 產業發展 SWOT(續)

機會(O)	威脅(T)
<p>1. 京都議定書於 2005 年 2 月 16 日生效，主要國家已(欲)施行新能源配比規定，新能源之國際市場需求快速成長。</p> <p>2. 我國能源 99% 以上需仰賴進口，能源使用有 90% 以上為含碳能源，使得能源產業成為二氧化碳排放的最主要來源。為提升能源使用效率及抑制 CO₂，發展 SOFC 發電系統，有利於在經濟穩定成長及環境永續。</p> <p>3. 目前國際石油價格暴漲，雖然燃料電池的成本仍然偏高，商業量產及成本降低，未來仍有相當大的市場需求及潛力。</p> <p>4. 參考國際 SOFC 3~10kW 居家及汽車輔助電力之市場需求，及我國產學之特色，宜集中資源發展 k W 級之 SOFC 發電技術，致力於量產成本之降低及電池組性能之提升。</p>	<p>1. 歐美日等先進國家從事 SOFC 的研發皆已有 15 年以上的經驗，並持續積極投入研究，已進入展示測試階段，大部分上游材料、關鍵性零組件、研發設備、專業人力均佔優勢，預期在未來幾年間 SOFC 小型發電系統，會達商業量產的階段。</p> <p>2. 中國大陸及韓國在近幾年，也積極投入大量的人力及物力進行 SOFC 之發展研究；尤其中國大陸稀土元素的蘊藏量居世界首位，為 SOFC 單元製作所必要的元素，且人力資源豐沛，未來發展潛力相當大。</p>

資料來源：經濟部,能源產業技術白皮書,2010

大陸工資與生產成本雖然較低，但是現階段台灣廠商的生產品質、能力與商譽較佳，成為國外廠商理想夥伴。因此台灣可善用此種優勢，繼續擴展 SOFC 零組件的市場，未來尚可爭取整體機組組裝與的業務，可協助國外廠商進一步進低成本與售價，加速產品商業化。

本研究參考國外研究發展 SOFC 之進程，輔以我國發展 SOFC 產業之 SWOT 分析，規畫之 SOFC 發展策略及藍圖，分四個發展方向、四個階段，發展方向為系統研發、關鍵技術、成本降低、示範運行，發展階段為先期接納階段、短程產品研究階段、中程商業化準備階

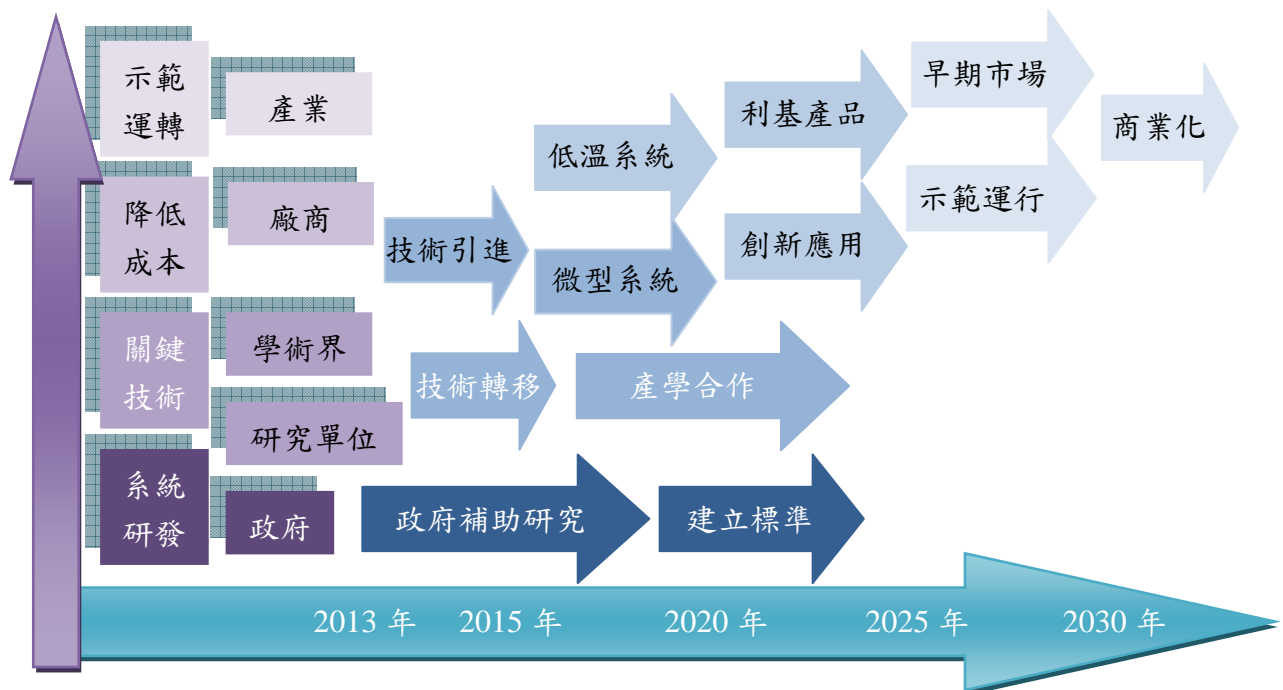
段、長程產品商業化時期。

目前為先期接納階段，潛在市場為研究機構、大學、政府單位等；短程目標為產品研究階段，專注研究系統結構，垂直整合國內上游、中游及下游 SOFC 研發能量，聚焦產品核心技術之創新。中程為商業化準備階段，潛在之先期驗證市場為研究機構、車輛電力輔助系統、政府建築物等；長程為 SOFC 燃料電池商業化時期，功率在 1-100 kW 可作為獨立運作之分散式發電系統，減少中央供電系統在電力輸送過程中之能源損耗；並繼續研發展結合 SOFC 與淨燃煤氣化之發電技術，將發電功率提升到 100MW 以上，作為高效率及低污染之基載發電廠。

- 短程目標為系統與應用產品之研發，同時持續進行關鍵技術與成本降低之研究，此階段政府部門與學、研單位扮演重要角色，政府部門應主導系統研發方向，整合國內研究資源並推動整合型研究計畫，建立 SOFC 系統應用之基本能量；產業方面，應鼓勵廠商技術引進，或與學研單位進行技術轉移，扶植國內廠商及產業鏈成形，擴散 SOFC 研發成果。
- 中程目標為產學合作，發展策略建議依循國際發展趨勢，推動利基產品、創新應用、微型系統與低溫系統之研發，為進入早

期市場做準備；基礎研究方面如關鍵技術、成本降低等研發投入，仍須持續進行，此亦有賴政府部門整合研究資源與持續投入。

- 遠程目標為示範運行及開發早期市場。示範運行為廠商布局早期市場的重要階段，此時大型廠商可與企業合作推動示範運轉，而小型研發廠商仍須仰賴部分政府補助，同時政府與產學研界應共同努力建立相關產品安全檢測標準，如能加速國內研發速度，整體期程將可加速進行，提前進入商業化階段。



資料來源：台經院彙整

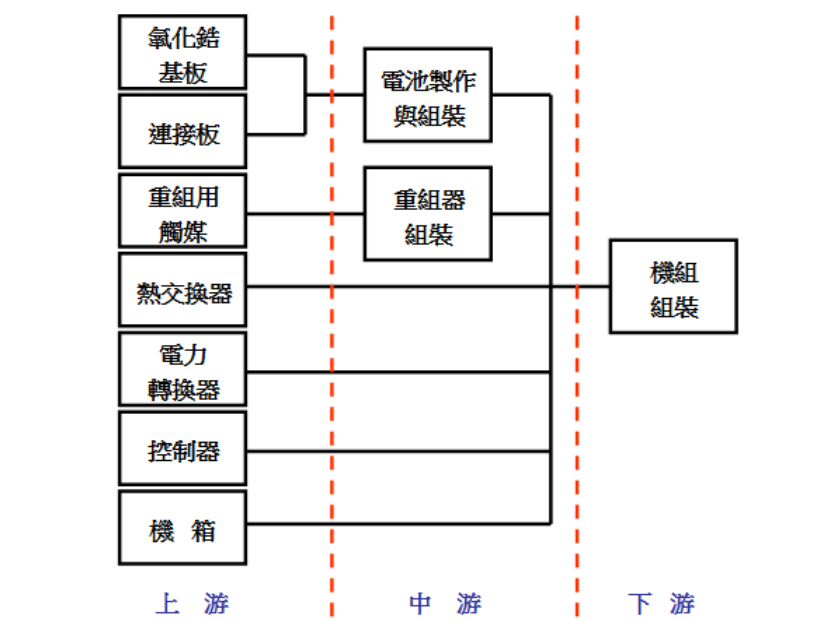
圖 36：台灣 SOFC 發展進程參考

多國政府目前均積極投入 SOFC 技術及產業研究，我國零組件廠商也已進入其產品供應鏈，若未來在 SOFC 機組電池堆及組裝等技

術發展有明顯突破，SOFC 勢必替我國帶來可觀商機。因此本研究以提出之藍圖為基礎，對 SOFC 產業發展提出以下幾項建議：

- 加強基礎材料組件以及電池、重組器製作研究

有關 SOFC 產業的結構可分為上游、中游與下游，上游為材料與組件，中游為電池製作與組裝，以及重組器組裝，下游為機組組裝，詳如圖 37。



資料來源：鄭耀宗博士提供

圖 37：SOFC 發電機組產業架構

在 SOFC 產業發展當中，技術突破是最重要的因素，其中最關鍵的部分仍是在在上游材料開發與關鍵元件的設計，而非下游系統。故在電池開發方面首要重點為基礎材料及元件的研究，如美國 SECA 與日本 NEDO 特地成立相關計畫與聯盟，結合國家級研究室、學界

以及產業界力量共同研發。目前政府已透過計畫補助高力進行重組器研究，但仍建議政府協助以及加強研究單位、學界針對 SOFC 基礎議題的研究，加速 SOFC 商品的成形。

- 學研技術轉移

經由 SOFC 基礎研發，經政府由研發單位將技術轉移給產業，也可透過產學合作，協助廠商進行 SOFC 開發，降低技術門檻，鼓勵廠商進入產業，使產業日漸茁壯。

- 重視 SOFC 應用面的發展，規劃商業化進程

在發展材料、技術的同時，也需考慮未來我國主要 SOFC 應用市場發展方向。首先分析未來應用產品需求方向，針對需求研發、擴大應用市場，促進廠商投入生產。再者精進製造技術，加強提升台灣 SOFC 產品品質，嚴密規劃產品商業化進程，研擬國外市場進軍藍圖。如此一來才能如同高科技產業一般，真正刺激帶動台灣 SOFC 產業起飛，創造產業產值。

- 擴大 SOFC 產業補助，鼓勵研發、降低生產成本

我國 SOFC 產業尚未成形，僅有數家廠商以原有深厚基礎技術吸引國外廠商合作製造 SOFC 產品之零組件，也有廠商如安炬因市場過小、獲利不足而無法繼續進行相關材料之研發。為避免有發展機

會但無法承受研發資金壓力之廠商退出 SOFC 產業，除了針對 SOFC 產業發展進行補助，政府可仿效美、日等國，將廠商延攬至計畫中共同研發，避免產業萎縮。另外，協助廠商提升技術水準，進而降低生產成本，加速產品開發及市場導入，使廠商有誘因進入產業並且投入研發。

- 研擬產業補助、銷售補助以及電價配套措施

以上所提之產業補助、示範運轉計畫銷售補助，都須經過審慎評估，補助的金額多寡、是否參照國外補助方式、補助產業之條件、補助所造成的經濟影響以及是否能達到基本收支平衡…等，都是進行補助需要考慮的層面。另外我國電價水平明顯低於其他國家，對於推動新能源發電十分不利，加上台灣地區石油及天然氣價格差距較大，使得 SOFC 拓展之路更顯顛簸，因此在推動 SOFC 產業發展的同時，勢必要調整現有電價規劃政策，以利 SOFC 產業，甚至所有新能源產業之發展。

- 成立示範運轉計畫

產品應用初期階段，政府可仿效日本進行示範運轉計畫，補助示範運轉規畫有二：考慮遠距輸配電源造成浪費，利用 SOFC 特性，將 SOFC 分散式電源應用於政府或民營觀光景點，如山區、偏遠地

區等地。另外政府目前規劃興建國民住宅，也可規劃統一於住宅內安置 SOFC 熱電聯產系統，推廣 SOFC 產品應用的同時也可促進產業發展。

肆、参考文献

1. "CE Safety Approval for Ceres Power CHP Product." *FuelCell Today*. 12 20, 2010.
2. "Ceres Power commences residential CHP field trials in consumers' homes." *FuelCell Today*. 2 1, 2011.
3. "Ceres Power Holdings Demonstrate Wall-mounted Natural Gas CHP Product." *FuelCell Today*. 10 1, 2010.
4. "Ceres Power Reports Progress in Resolving Field Trial Issues." *FuelCell Today*. 7 28, 2011.
5. "Challenge the Commercialization of the Residential SOFC CHP." AISIN, 3 1, 2011.
6. "Delphi awarded funding for SOFC development." *FuelCell Today*. 6 6, 2008.
7. *Development of Fuel Cell and Hydrogen Technologies*. NEDO, 2011.
8. "European Project to Optimise Technology for Large SOFC Systems." *FuelCell Today*. 4 14, 2011.
9. Föger, Dr. Karl. "Challenges in Commercialising an Ultra-efficient SOFC Residential Generator." Ceramic Fuel Cells Limited, 3 1, 2011.
10. Hiroshi, Takami. "Development of fuel cell at JX." JX Nippon Oil & Energy Corporation, 2 17, 2011.
11. Kei Hosoi, Masanori Ito, and Mamoru Fukae. "Status of National Project for SOFC Development in Japan." *ECS Transactions*. 2011. 11-18.
12. Materials, Ceramic Fuel Cells Licences its SOFC Coating to NexTech. "FuelCell Today." 6 29, 2010.
13. "Rolls-Royce considering SOFC commercialisation." *FuelCell Today*. 2 4, 2008.
14. Saxman, Donald. *Solid Oxide Fuel Cells: Technologies and Global Markets*. BCC Research, 2011.
15. *Solid Oxide Fuel Cell, A Global Strategic Business Report*. GIA, 2010.
16. Steinberger-Wilckens, Dr. Robert. "Status and applications of SOFC technology." Institute of Energy Research IEF-PBZ Forschungszentrum Jülich, 8 23, 2010.
17. Steinberger-Wilckens, Robert. "European SOFC Technology -Status and Trends." *ECS Transactions*. 2011. 19-29.
18. "Topsoe and Wartsila Start Operation of SOFC Onboard Ship." *FuelCell Today*. 7 1, 2010.
19. "Versa Power SOFC Stacks Surpass 5000 Hours of Operation in Scale-Up to

- Commercial Size." *FuelCell Today*. 3 24, 2009.
20. Vora, Dr. ShaileshD. "Office of Fossil Energy Fuel Cell Program -Solid State Energy Conversion Alliance (SECA)Clean Economic Energy for a Carbon Challenged World." National Energy Technology Laboratory, 10 19, 2010.
 21. Vora, S. D. "Recent Developments in the SECA Program." *ECS Transactions*. 2011. 3-9.
 22. "Wärtsilä and Versa Power Systems to Jointly Develop Commercial SOFC Systems." *FuelCell Today*. 6 6, 2011.
 23. Wunderlich, Dr. Christian. "SOFC in Asia." Staxera GmbH, 12 9, 2010.
 24. 卞志晰. "固態氧化物燃料電池專利分析(一)國內外整體發展態勢對比." 上海情報服務平台. 2009 年 12 月 4 日.
 25. 一. "固態氧化物燃料電池專利分析(二)區域分布." 上海情報服務平台. 2009 年 12 月 4 日.
 26. 一. "固態氧化物燃料電池專利分析(三)競爭對手分析." 上海情報服務平台. 2009 年 12 月 8 日.
 27. 一. "固態氧化物燃料電池專利分析(四)技術布局與發展趨勢." 上海情報服務平台. 2009 年 12 月 23 日.
 28. "吉坤日石日礦能源將上市固態氧化物燃料電池之熱電聯產系統." 日中環保生態網. 2011 年 9 月 21 日.
 29. "燃料電池：高效率 SOFC 投入商用，為擴大普及競相削減成本." 日中環保生態網. 2011 年 11 月 8 日.
 30. "SOFC 與 PEMFC 激戰正酣，家用燃料電池 2015 年邁向全面普及(上)." 日中環保生態網. 2011 年 9 月 22 日.
 31. "SOFC 與 PEMFC 激戰正酣，家用燃料電池 2015 年邁向全面普及(下)." 日中環保生態網. 2011 年 9 月 23 日.
 32. 林天行. "燃料電池產業現況與分析(上)." IEK 產業智庫. 2006 年 11 月 3 日.
 33. 一. "燃料電池產業現況與分析(下)." IEK 產業智庫. 2006 年 11 月 9 日.
 34. 尤如瑾. "燃料電池產業區動力分析." IEK 產業智庫. 2009 年 12 月 4 日.
 35. 王威閔. "日本大規模推廣家用燃料電池實況初探." IEK 產業智庫. 2007 年 10 月 24 日.
 36. 曲新生. "能源產業發展規劃." 能源報導, 2009: 19-22.
 37. 吳慧珍. "核能短缺的冬天." 工商時報. 2011 年 11 月 20 日.
 38. 足立圭司. "T O T O における家庭用 S O F C の開発状況." 固体酸化物形燃料電池実証研究. 日本, 2011. 109-124.
 39. 南條敦. "J X 日鋇日石エネルギーにおける S O F C システムの開発と設置運転状況." 固体酸化物形燃料電池実証研究. 日本, 2011. 117-124.

40. 倪世傑. “德國廢核後的國內外反應.” 台灣立報. 2011 年 9 月 5 日.
41. 唐鵬. “固態氧化物燃料電池-商業化進程.” 上海情報服務平台. 2007 年 6 月 28 日.
42. 翁永全. “台灣保來得綠能產業豐收 增設 1,600 噸成型機.” 經濟日報. 2011 年 8 月 16 日.
43. 一. “高力佈局綠能產業 訂單供應不求 Bloom Energy 之 SOFC 熱交換器系統 營收佔一半.” 經濟日報. 2011 年 10 月 19 日.
44. 能源科技研究發展白皮書. 經濟部, 2007.
45. 能源產業科技白皮書. 經濟部, 2010.
46. 康志堅. “SOFC 技術發展近況分析.” IEK 產業智庫. 2010 年 6 月.
47. 一. “SOFC 應用於家用燃料電池系統之現況與展望.” IEK 產業智庫. 2010 年 10 月 22 日.
48. 一. “主要國家燃料電池政策動態.” IEK 產業智庫. 2011 年 6 月 27 日.
49. 一. “全球燃料電池產業回顧與展望.” IEK 智庫. 2011 年 1 月 25 日.
50. 一. “全球燃料電池發電廠發展現況.” IEK 產業智庫. 2010 年 12 月 20 日.
51. 一. “我國燃料電池產業現況分析.” IEK 產業智庫. 2011 年 3 月.
52. 一. “歐盟氫能與燃料電池發展概況.” IEK 產業智庫. 2010 年 9 月 20 日.
53. 一. “燃料電池產業近期發展重點-小型定置型應用.” IKE 產業智庫. 2010 年 5 月 20 日.
54. 曹佳琪, 李娟萍. “德國廢核, 炒熱新能源.” 聯合新聞網. 2011 年 6 月 1 日.
55. 許博爾. 燃料電池專利技術探勘與專利佈局. 元智大學燃料電池研究中心委託計畫, 2009.
56. 陳怡潔. “康舒 Q2 營收看增 2 成; 今年燃料電池跳躍式成長.” 理財網財金知識庫. 2011 年 6 月 20 日.
57. 黃炳照. 我國氫能科技發展規劃. 行政院國科會補助專輯研究計畫, 2010.
58. 奧田誠. “固体酸化物形燃料電池實証研究平成 22 年度成果報告.” 固体酸化物形燃料電池實証研究. 日本, 2011. 33-62.
59. 管淑平. “德國 10 年後關閉所有核電廠.” 自由時報. 2011 年 5 月 31 日.
60. 綠色能源產業旭升方案. 台灣: 經濟部, 2009.
61. 劉靜君. “美能源部刪除預算, 翻案成功.” 經濟日報. 2009 年 12 月 18 日.

伍、附錄

附錄一：國際主要廠商應用產品及研發進度狀態

廠商名稱	應用裝置	研發狀況
Acumentrics Holding	CHP Generators, Remote, and APU	Development Shipping
Adaptive Materials (Ultra)	Generators, Remote, and APU Military	Development Shipping
Adelan U.K.	Portable	Development
Advanced Materials	Components and Materials	Shipping
Advanced Measurements	Vendor/Facilitator	Shipping
Alpps Fuel Cell Systems	Generators, Remote and APU	Development
Alstom Technology	CHP	Development
Altair Nanotechnologies	Components and Materials	Development Shipping
BTU International	Components and Materials	Development Shipping
The Babcock & Wilcox (McDermott International)	CHP	Development
BHP Billiton	Components and Materials	Development
Bloom Energy	Generators, Remote, and APU Exotic	Development
CellTech Power	Components and Materials	Development Shipping
Ceramatec	Components and Materials	Development
Ceramic Fuel Cells	CHP Generators, Remote, and APU	Development Shipping
Ceres Power	CHP	Development Shipping
Chevron Technology Ventures	Vendor/Facilitator	Shipping User
Chubu Electric Power	CHP	Development User
CMR Prototech	Generators, Remote, and APU	Development
Cummins Power Generation	Generators, Remote, and APU	Development
Dana Canada	Components and Materials	Development Shipping
Delphi	Generators, Remote and APU Military	Development

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

廠商名稱	應用裝置	研發狀況
Digital Gas	Components and Materials	Development
EBZ Entwicklungs	Components and Materials	Development Shipping
Edison Electric Institute	CHP	User
Elcogen ASs	Generators, Remote and APU	Development
Emprise Corporation	Vendor/Facilitator	Development Shipping
Energiened	Vendor/Facilitator CHP	Development
ENrG	Components and Materials	Development Shipping
Entwicklungs Und Vertriebsgesellschaft Brennstoffzelle	CHP Components and Materials	Development Shipping
FEV Motorentechnik	Generators, Remote and APU	Development
Fideris	Vendor/Facilitator	Development Shipping
Forschungszentrum Juelich	Exotic Generators, Remote and APU	Development
Franklin Advanced Materials	Exotic Generators, Remote and APU	Development
Fuel Cell Technologies	CHP Generators, Remote and APU	Development Shipping
FuelCell Energy	Military CHP	Development Shipping
Fuel Cells (Scotland)	Generators, Remote and APU	Inactive
General Electric	Generators, Remote and APU	Development
George Westinghouse Research and Technology Park	Generators, Remote and APU CHP	Development User
Global Thermoelectric	Generators, Remote and APU	Development
Goeta Technology	Components and Materials Generators, Remote and APU	Development
HABCO	Components and Materials	Development Shipping
Topsoe Fuel Cell	Components and Materials Generators, Remote and APU CHP	Development Shipping
HC Starck	Components and Materials	Development Shipping
Hexis	Components and Materials Generators, Remote and APU	Development Shipping
Htceramix	Generators, Remote and APU	Development

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

廠商名稱	應用裝置	研發狀況
Hosokawa Powder Technology Research Institute	Components and Materials	Development Shipping
Intertec Southwest	Components and Materials	Development Shipping
K-Style Advanced Ceramics	Components and Materials	Development Shipping
Kainos Energy (NanoGram)	Components and Materials	Development
Kansai Electric Power	Generators, Remote and APU	Development
LOGANenergy	Generators, Remote and APU	Development
Materials & Systems Research	Generators, Remote and APU	Development
Meridian Energy	Generators, Remote and APU	Development User
Merloni Termosanitari (Ariston Thermo Group)	Generators, Remote and APU	Development
Mesoscopic Devices	CHP	Development
Morphic Technologies	Portable Generators, Remote and APU	Development
NanoDynamics	Generators, Remote and APU Components and Materials Military	Development Shipping
National Fuel Cell Research Center	Vendor/Facilitator	Development
NexTech Materials	Generators, Remote and APU Components and Materials Military	Development
Ngimat	Components and Materials	Development
NGK Insulators	Generators, Remote and APU	Development
Nippon Shokubai	Components and Materials	Development Shipping
Nippon Telegraph & Telephone	Generators, Remote and APU	Development Shipping
Noah Technologies	Components and Materials	Development Shipping
Ontario Power Generation	Generators, Remote and APU CHP	Development User
Plansee	Components and Materials	Development Shipping
Plug Power	Generators, Remote and APU Military	Development

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

廠商名稱	應用裝置	研發狀況
Pohang Iron and Steel (Posco)	Generators, Remote and APU CHP	Development User
Precision Flow Technologies	Vendor/Facilitator	Development Shipping
Presidio Components	Components and Materials	Development
Protonex	Military Generators, Remote and APU	Development Shipping
Ragan Technologies	Components and Materials	Development Shipping
Risø National Laboratory	Components and Materials	Development
Rolls-Royce Fuel Cell Systems	Components and Materials Generators, Remote and APU Exotic	Development Shipping
Safcell	Exotic	Development
Sandvik	Components and Materials	Development Shipping
Shell Hydrogen	Generators, Remote and APU Vendor/Facilitator	Development
Siemens Power Generation	Generators, Remote and APU Vendor/Facilitator Exotic	Development Shipping
SiEnerg Systems (Allied Minds)	Potable	Development
SOFCpower Slc	Generators, Remote and APU Vendor/Facilitator	Development Shipping
Solid State Energy Conversion Alliance	Generators, Remote and APU CHP	Development
Stanford Materials	Components and Materials	Development Shipping
Statoil Asa	Generators, Remote and APU Vendor/Facilitator	Development
staxera (Sunfire)	Generators, Remote and APU CHP	Development Shipping
Sulzer Hexis	Generators, Remote and APU CHP	Development Shipping
Sumitomo	Generators, Remote and APU CHP Vendor/Facilitator	Development
Tokyo Gas	Generators, Remote, and APU CHP User	Development

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

廠商名稱	應用裝置	研發狀況
Tosoh Ceramics Division	Components and Materials	Development Shipping
Toto	Components and Materials	Development Shipping
Toyota	Generators, Remote, and APU CHP	Development Shipping
Vaillant	Generators, Remote, and APU CHP User	Development
Versa Power Systems	Generators, Remote, and APU CHP Military	Development Shipping
Violet Fuel Cell Sticks	Generators, Remote, and APU Portable	Development
Wärtsilä	Generators, Remote, and APU CHP Components and Materials	Development Shipping
WATT Fuel Cell	Generators, Remote, and APU Components and Materials Military	Development
Webasto	Generators, Remote, and APU	Development Shipping
Worldwide Energy	Generators, Remote, and APU Portable	Development
ZTEK	Generators, Remote, and APU Military Exotic	Development

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

附錄二：美國廠商專利申請數

Assignee	Number of Patents
Delphi Technologies, Inc.	28
Nissan Motor Co., Ltd.	10
Battelle Memorial Institute	6
Rolls-Royce plc	6
Alberta Research Council, Inc.	4
Corning Incorporated	4
Institute of Nuclear Energy Research	4
Mitsubishi Materials Corp.	4
Toho Gas Co., Ltd.	4
Adaptive Materials, Inc.	3
Devoe; Alan and Devoe; Lambert	3
Saint-Gobain Ceramics & Plastics, Inc.	3
Shinko Electric Industries Co., Ltd.	3
Tokyo Gas Co., Ltd.	3
Toto, Ltd.	3
Korea Advanced Institute of Science and Technology	2
Korea Institute of Energy Research	2
NanoDynamics Energy, Inc.	2
Nippon Shokubai Co., Ltd.	2
Pittsburgh Electric Engines, Inc.	2
QuestAir Technologies, Inc.	2
Shell Oil Company	2
Siemens Energy, Inc.	2
Technical University of Denmark	2
University of Houston	2
Versa Power Systems, Ltd.	2
Atomic Energy Council	1
Bloom Energy Corporation	1
BMW Aktiengesellschaft	1
BTU International, Inc.	1
Central Research Institute of Electric Power Industry	1

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

Assignee	Number of Patents
Ceramic Fuel Cells Limited	1
Ceres Intellectual Property Company, Limited	1
Curators of the University of Missouri	1
Dai Nippon Printing Co., Ltd.	1
ExxonMobil Research and Engineering Company	1
Gas Technology Institute	1
General Electric Company	1
Haldor Topsoe A/S	1
Howmet Corporation	1
HTceramix S.A.	1
Hyundai Motor Company ND Korea Institute of Science and Technology	1
Ikerlan Coop	1
Illinois Institute of Technology	1
Kansai Electric Power Co., Japan Fine Ceramics Center, Mitsubishi Materials Corporation	1
Keefer; Bowie	1
Leland Stanford Junior University, Board of Trustees of the	1
Modine Manufacturing Company	1
Motorola, Inc.	1
Nano CP, LLC	1
NASA	1
Ovonic Fuel Cell Company, LLC	1
Pirelli & C. S.p.A.	1
Seimi Chemical Co., Ltd.	1
Technology Management, Inc.	1
Topsoe Fuel Cell A/S	1
U.S. Navy	1
University of Chicago Argonne, LLC	1
University of Maryland, College Park	1
UTC Power Corporation	1
Worldwide Energy, Inc. of Delaware	1

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

附錄三：美國專利申請內容

Patent #	Title
7,932,634	Fuel cell hybrid power supply
7,931,997	Multimaterial high-temperature fuel cell seals
7,931,990	Solid oxide fuel cell having a buffer layer
7,931,707	Regenerable method and system for desulfurizing reformat
7,931,683	Articles having ceramic-coated surfaces
7,931,086	Heating systems for heating subsurface formations
7,928,015	Solar cell fabrication using extruded dopant-bearing materials
7,927,762	Fuel cell cathode manufacturing method and fuel cell manufacturing method
7,927,757	High-temperature fuel cell with mixed anionic and protonic conduction
7,927,755	Ceramic thin plate member
7,927,754	Pressure relief feature for a fuel cell stack
7,927,751	Fuel cell power system
7,926,793	Mixing in wicking structures and the use of enhanced mixing within wicks in microchannel devices
7,926,650	Interface for flexible fluid enclosures
7,923,167	Polymer electrolyte membrane, method of manufacturing the same, and fuel cell using the polymer electrolyte membrane
7,922,471	Extruded structure with equilibrium shape
7,919,212	Separator for fuel cells
7,919,070	Multizone reforming methods and apparatus for conversion of devolatilized biomass to syngas
7,919,068	Method for making metal oxides
7,915,466	Process for the conversion of natural gas to hydrocarbon liquids
7,915,465	Process for the conversion of natural gas to hydrocarbon liquids
7,915,464	Process for the conversion of natural gas to hydrocarbon liquids
7,915,463	Process for the conversion of natural gas to hydrocarbon liquids
7,915,462	Process for the conversion of natural gas to hydrocarbon liquids
7,915,461	Process for the conversion of natural gas to hydrocarbon liquids
7,914,941	Solid oxide fuel cell and manufacturing method thereof
7,914,939	Multifunction solid oxide fuel cell bundle and method of making the same
7,914,937	Fuel cell and fuel cell stack
7,914,877	Ceramic thin plate member

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

Patent #	Title
7,914,683	Particles of spilled oil-absorbing carbon in contact with water
7,914,636	Synergistic process and recipe for fabrication of a high integrity membrane electrode assembly of solid oxide fuel cell
7,913,572	Integrated multimeasurement system for measuring physical properties of gas diffusion layer for polymer electrolyte fuel cell with respect to compression
7,911,618	Holographic interferometry for nondestructive testing of power sources
7,910,262	Solid-electrolyte-type fuel cell and air electrode current collector used for the same
7,910,261	Cell voltage measurer for fuel cell stack and fuel cell system using the same
7,910,253	Reformer for fuel cell and fuel cell using the same
7,910,250	System and method for recharging a metal-air converter used for vehicle propulsion
7,910,158	Method for fabricating an array of electrode and electrolyte materials for use in solid oxide fuel cells
7,909,975	System for recovering gas produced during electrodialysis
7,909,911	Carbon dioxide permeable membrane
7,909,899	Method and apparatus for automated, modular, biomass power generation
7,906,722	Concentrating solar collector with solid optical element
7,906,559	Conversion of carbon dioxide to methanol and/or dimethyl ether using bireforming of methane or natural gas
7,906,450	Photocatalytic electrode and fuel cell
7,906,014	Methods of recovering hydrocarbons from hydrocarbonaceous material with reduced non-arbonaceous leachate and CO ₂ and associated systems
7,904,167	Telemetry system for use with microstimulator
7,902,792	Simulator of SOFC for electric characteristics
7,902,111	Supported catalyst for fuel cell, method of preparing the same, electrode for fuel cell, including the supported catalyst, and fuel cell including the electrode
7,901,940	Method for measuring recovery of catalytic elements from fuel cells
7,901,837	Structures for dense, crack-free thin films
7,901,834	Fuel cell supply, including information storage device and control system
7,901,824	Colorant-treated ion exchange resins, method of making, heat transfer systems and assemblies containing the same, and method of use
7,901,820	Solid oxide fuel cell stack assembly and method for fueling
7,901,817	System for flexible in situ control of water in fuel cells
7,901,814	High-temperature fuel cell system and method of operating same

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

Patent #	Title
7,897,650	Ionically conductive polymers for use in fuel cells
7,897,530	Glass-ceramic sealant for planar solid oxide fuel cells
7,897,294	Nano-material catalyst device
7,897,292	Fuel cell apparatus and methods
7,897,290	Device and method for determining the operating parameters of individual cells or short stacks of fuel cells
7,897,289	Stackable high-temperature fuel cell
7,897,135	Carbon combustion synthesis of oxides
7,896,952	Cartridge adsorber system for removing hydrogen sulfide from reformat
7,896,934	Hydrogen-generating fuel cell cartridges
7,896,436	Office components, seating structures, methods of using seating structures, and systems of seating structures
7,893,119	Polymer electrolyte membrane, method of preparing the same and fuel cell, including the same
7,893,117	Ion-conducting crosslinked copolymer and fuel cell comprising the same
7,892,698	Electrically conductive fuel cell contact material
7,892,691	Solid oxide fuel cell component and a method of manufacturing a solid oxide fuel cell component
7,892,690	Methods for controlling fluid delivery in a micro fuel cell system
7,892,689	Pressure relief control system for a fuel cell system having a pressurized fuel flow
7,892,687	Fuel cell shutdown with steam purging
7,892,685	Fuel cell system
7,892,684	Heat exchanger for fuel cell stack
7,892,681	System of distributed electrochemical cells integrated with microelectronic structures
7,892,599	Surface functionalization of nanomaterials for improved processing into devices and products
7,892,417	Catalyst for reforming hydrocarbon and method for preparation thereof, and process for reforming hydrocarbon using said catalyst
7,887,976	Paste for solid oxide fuel cells, anode-supported solid oxide fuel cells using the same, and fabricating method thereof
7,887,975	Clad copper wire having environmentally isolating alloy
7,887,971	SOFC system with non-noble metal electrode compositions
7,887,959	Fuel cell module with flexible interconnects

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

Patent #	Title
7,887,958	Hydrogen-producing fuel cell systems with load-responsive feedstock delivery systems
7,884,567	Fuel cell system and method for controlling operation of the fuel cell system
7,883,820	Ion conductive composite membrane using inorganic conductor and method of manufacturing the same
7,883,816	Solid oxide fuel cell device and system, method of using and method of making
7,883,813	Fuel cell system ventilation scheme
7,883,803	SOFC system producing reduced atmospheric carbon dioxide using a molten carbonated carbon dioxide pump
7,881,070	Circuit board having power source
7,879,971	Multiblock copolymer, method of preparing the same, polymer electrolyte membrane prepared from the multiblock copolymer, method of preparing the polymer electrolyte membrane, and fuel cell employing the polymer electrolyte membrane
7,879,754	Sulfur-tolerant catalyst systems
7,879,506	Solid polymer electrolyte membrane, method for manufacturing the same, and fuel cell using the solid polymer electrolyte membrane
7,879,474	Solid oxide electrolytic device
7,878,280	Low-pressure hydrogen fueled vehicle and method of operating same
7,877,120	Battery-operated wireless-communication apparatus and method
7,875,403	Solid oxide fuel cell system
7,875,402	Proton-conducting solid oxide fuel cell systems having temperature swing reforming
7,875,401	Fuel cell system
7,875,398	Fuel cell system
7,875,396	Membrane humidifier for a fuel cell
7,875,090	Method and apparatus to protect synthesis gas via flash pyrolysis and gasification in a molten liquid
7,874,432	Protected alloy surfaces in microchannel apparatus and catalysts, alumina supported catalysts, catalyst intermediates, and methods of forming catalysts and microchannel apparatus
7,871,957	Catalyst support of mixed cerium zirconium titanium oxide, including use and method of making
7,871,735	Ceramic laminate structures

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

Patent #	Title
7,871,734	Micro fuel cell
7,871,730	Fuel cell and fuel cell stack having a filter mechanism
7,871,459	Apparatus and methods for nonregenerative and regenerative hot gas desulfurization
7,871,147	Image forming apparatus and method for humidifying in head cap
7,870,723	System and method to operate fuel cell in the exhaust of an internal combustion engine
7,867,668	Electrolyte layer for fuel cell, fuel cell, and method of manufacturing electrolyte layer for fuel cell
7,867,647	Hydrogen generation device and fuel cell system including same
7,867,301	Pre-reformer
7,867,000	Stack height tolerance compensating busbar structure
7,866,388	High-temperature methods for forming oxidizer fuel
7,866,386	In situ oxidation of subsurface formations
7,864,322	Optical methods and systems for detecting a constituent in a gas containing oxygen in harsh environments
7,862,957	Current collector plates of bulk-solidifying amorphous alloys
7,862,947	Fault management in a fuel cell-based system
7,862,938	Integrated fuel cell and heat engine hybrid system for high-efficiency power generation
7,862,922	Polymer electrolyte membrane for fuel cell and fuel cell system comprising same
7,862,706	Methods of recovering hydrocarbons from water-containing hydrocarbonaceous material using a constructed infrastructure and associated systems
7,862,705	Methods of recovering hydrocarbons from hydrocarbonaceous material using a constructed infrastructure and associated systems
7,862,331	Catalytic microcombustors for compact power or heat generation
7,858,550	Method of making a nanostructured electrode
7,858,261	Systems and methods for stacking fuel cells
7,858,260	Polymer electrolyte membrane and method of producing the same
7,858,259	Fuel cell stack clamping structure and solid oxide fuel cell stack
7,858,256	High-temperature fuel cell system with integrated heat exchanger network
7,858,250	Methods of removing contaminants from a fuel cell electrode
7,858,249	Power supply apparatus and method for line connection type fuel cell system

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

Patent #	Title
7,858,214	Method and apparatus for light internal reforming in a solid oxide fuel cell system
7,857,244	Shape engineering of nanoparticles
7,855,030	Inhibitor for prevention of braze migration in solid oxide fuel cells
7,855,024	Compartmentalized storage tank for electrochemical cell system
7,855,018	Microelectromechanical systems phosphoric acid fuel cell
7,855,004	Midsectional fuel distributor for fuel cells
7,855,003	Ceramic and alloy anode solid oxide fuel cell
7,854,253	Corrosion inhibitors, corrosion inhibiting heat transfer fluids, and the use thereof
7,851,693	Passively cooled solar concentrating photovoltaic device
7,851,103	Solid oxide fuel cell with lanthanum-gallate oxide and having high output performance
7,851,102	Fuel cell stack compression retention system using overlapping sheets
7,850,937	Catalytic system for removing carbon monoxide, and processor and fuel cell system using the same
7,850,873	Polymer electrolyte and fuel cell employing the same
7,849,922	In situ recovery from residually heated sections in a hydrocarbon containing formation
7,849,730	Device for testing the performance of a sealant for SOFC stacks
7,846,981	Polymer electrolytic membrane, and fuel cell employing the same
7,846,978	Selective oxidative conversion of methane to methanol, dimethyl ether and derived products
7,846,605	Pump having noise-proof and vibration-proof structure and fuel cell system using the same
7,846,600	Adaptive purge control to prevent electrode redox cycles in fuel cell systems
7,846,599	Method for high-temperature fuel cell system start up and shutdown
7,846,595	System and method to operate a fuel cell in the exhaust of an internal combustion engine
7,846,568	Power supply and control method therefor
7,846,400	Substrates for nitric oxide releasing devices
7,845,411	In situ heat treatment process utilizing a closed loop heating system
7,842,645	Desulfurization adsorbent for fuel cell and desulfurizing method using the same
7,842,645	Desulfurization adsorbent for fuel cell and desulfurizing method using the same
7,842,634	Blended catalyst with improved performance

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

Patent #	Title
7,842,434	Interconnects for solid oxide fuel cells and ferritic stainless steels adapted for use with solid oxide fuel cells
7,842,430	Nanocomposite, nanocomposite electrolyte membrane, including the same, and fuel cell including the nanocomposite electrolyte membrane
7,842,429	Solid oxide fuel cell device and system
7,842,428	Consumption-based fuel cell monitoring and control
7,842,424	Multiple stage combustion process to maintain a controllable reformation temperature profile
7,842,422	Membrane-electrode assembly for fuel cell and fuel cell comprising the same
7,842,410	Polymer electrolyte membrane and fuel cell including the polymer electrolyte membrane
7,842,260	Reaction vessel and reaction device
7,842,252	Reaction vessel including fielding apparatus
7,842,200	Solid oxide fuel cell (SOFC) anode materials
7,842,110	Steam reforming process and apparatus
7,841,843	Valveless micro air delivery device
7,841,425	Drilling subsurface wellbores with cutting structures
7,841,408	In situ heat treatment from multiple layers of a tar sands formation
7,841,401	Gas injection to inhibit migration during an in situ heat treatment process
7,839,018	Method and system of hybrid power management
7,838,166	Method for fabricating solid oxide fuel cell module
7,838,162	Fuel cell system and method of computing fuel level
7,838,161	Reformer and fuel cell system using the same
7,838,141	Cerium-modified doped strontium titanate compositions for solid oxide fuel cell anodes and electrodes for other electrochemical devices
7,838,137	Solid oxide fuel cell device and system
7,837,975	High purity, high-pressure hydrogen production with in-situ CO ₂ and sulfur capture in a single stage reactor
7,837,968	Carbon nanosphere with at least one opening, method for preparing the same, carbon nanosphere-impregnated catalyst using the carbon nanosphere, and fuel cell using the catalyst
7,837,964	Method for removing sulfur compounds from gases containing hydrocarbons
7,837,765	Systems and methods for supplying auxiliary fuel streams during intermittent byproduct discharge from pressure swing adsorption assemblies

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

Patent #	Title
7,833,674	Method for improving robustness of solid oxide fuel cell stacks
7,833,668	Fuel cell system with greater than 95% fuel utilization
7,833,665	Polysiloxane compound containing sulfonic acid groups, method of preparing the same and fuel cell including the same
7,833,642	Forming an impermeable sintered ceramic electrolyte layer on a metallic foil substrate for solid oxide fuel cell
7,833,496	Plate type preferential oxidation reactor
7,833,469	Preparation of yttria-stabilized zirconia reaction sintered products
7,833,326	Systems and methods for regulating heating assembly operation through pressure swing adsorption purge control
7,833,316	Doped supported zinc oxide sorbents for regenerable desulfurization applications
7,833,311	Temperature-based breakthrough detection and pressure swing adsorption systems and fuel processing systems including the same
7,832,737	Multi-layer seal for electrochemical devices
7,832,484	Molten salt as a heat transfer fluid for heating a subsurface formation
7,832,433	Hydrogen generating fuel cell cartridges
7,829,620	Polymer-zeolite nanocomposite membranes for proton-exchange-membrane fuel cells
7,829,241	Flexible bipolar plate
7,829,235	Fuel cell production method and fuel cell
7,829,213	Planar electrochemical device assembly
7,829,051	Production and uses of carbon suboxides
7,828,864	Steam reforming fuel processor, burner assembly, and methods of operating the same
7,824,813	Fuel reforming system having movable heat source and fuel cell system comprising the same
7,823,570	Process for operating a compression ignition internal combustion engine in combination with a catalytic reformer
7,820,332	Electrolyte sheet with regions of different compositions and fuel cell device including such
7,820,331	Fuel cell and fuel cell system
7,820,140	Thermo-neutral reforming of petroleum-based liquid hydrocarbons
7,818,969	Enhanced efficiency turbine
7,818,959	Clean power system

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

Patent #	Title
7,816,055	Compact fuel cell
7,816,051	Fuel cell system
7,815,843	Process for anode treatment of solid oxide fuel cell--membrane electrode assembly to upgrade power density in performance test
7,811,965	Platinum-copper-nickel fuel cell catalyst
7,811,717	Electrically conductive member for solid oxide fuel-stack
7,811,716	Fuel cell
7,811,442	Method and apparatus for anhydrous ammonia production
7,810,319	Catalytic device with fuel cell portion and catalytic conversion portion
7,808,129	Fuel-cell based power generating system having power conditioning apparatus
7,807,544	Solar cell fabrication using extrusion mask
7,807,316	Fuel cell stack compression retention system with external springs
7,807,313	Compact fuel cell package
7,807,312	Portable electrical energy generation equipment
7,807,130	Fuel processor dewar and methods
7,807,129	Portable fuel processor
7,803,498	Materials and structures thereof useful as electrocatalysts
7,803,495	Polymer electrolyte membrane for fuel cell, method for preparing the same, and fuel cell system comprising the same
7,803,494	Stress reducing mounting for electrolyte sheet assembly in a solid oxide fuel cell
7,803,493	Fuel cell system with separating structure bonded to electrolyte
7,803,489	Hydrogen mobile power plant that extracts hydrogen fuel from water
7,803,488	System for removal of inerts from fuel cell reactants
7,803,473	Integrated power plant and system and method incorporating the same
7,803,264	Electro-catalysts for the oxidation of ammonia in alkaline media
7,803,263	Thin-film support substrate for use in hydrogen production filter and production method of hydrogen production filter
7,799,482	Stack of generators and fuel cell system having the same
7,799,481	Fuel cell, including bypass circuit for interconnecting fuel cells
7,799,472	High-temperature direct coal fuel cell
7,799,452	Solid polymer electrolyte membrane and production method of the same
7,799,451	Post-reformer treatment of reformat gas
7,799,452	Solid polymer electrolyte membrane and production method of the same

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

Patent #	Title
7,799,451	Post-reformer treatment of reformat gas
7,799,419	High-temperature gas seals
7,799,371	Extruding/dispensing multiple materials to form high-aspect ratio extruded structures
7,799,315	Thermochemical hydrogen produced from a vanadium decomposition cycle
7,798,221	In situ recovery from a hydrocarbon containing formation
7,798,220	In situ heat treatment of a tar sands formation after drive process treatment
7,794,894	Multi-layer seal for electrochemical devices
7,794,886	Fuel cartridges for fuel cells and methods for making same
7,794,690	Carbon sequestration and dry reforming process and catalysts to produce same
7,794,689	Method for steam reforming carbonaceous material
7,794,557	Tape casting method and tape cast materials
7,794,170	Joint with application in electrochemical devices
7,793,675	In-line gas purity monitoring and control system
7,790,332	Fuel cells and methods of manufacturing the same
7,790,331	Fuel cell with film having nanowires therein
7,790,328	Single cell for fuel cell and solid oxide fuel cell
7,788,048	Apparatus and method for integrating a fuel supply and a fuel level sensing pressure sensor
7,785,752	Fuel cell electrode and method for producing the same
7,785,749	Manufacturing method of anode for solid oxide fuel cell
7,785,748	Nano-based gas diffusion media
7,785,747	Stack configurations for tubular solid oxide fuel cells
7,785,744	Fuel cell water purification system and method
7,785,725	Compound for a solid oxide fuel cell stack gasket
RE41,577	High power density fuel cell stack using micro structured components
7,781,912	Uninterruptible power supply with opto-electric couplers for detecting the status of each source
7,781,695	Inductively coupled plasma/partial oxidation reformation of carbonaceous compounds to produce fuel for energy production
7,781,123	Method and apparatus for forming electrode interconnect contacts for a solid oxide fuel cell stack
7,781,120	Thermo-mechanical robust solid oxide fuel cell device assembly
7,781,119	Flow shifting in each individual cell of a fuel cell stack

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

Patent #	Title
7,781,117	Fuel cell stack preheating
7,781,116	Apparatus for thermal simulation of fuel cell
7,781,115	Recuperated atmosphere SOFC/gas turbine hybrid cycle
7,781,112	Combined energy storage and fuel generation with reversible fuel cells
7,781,109	Hydrogen storage and integrated fuel cell assembly
7,781,085	Monomer compound, graft copolymer compound, production method thereof, polymer electrolyte membrane, and fuel cell
7,781,045	Electrolyte sheets for solid oxide fuel cell and method for manufacturing same
7,780,936	Process for manufacturing an electrochemical device
7,780,812	Extrusion head with planarized edge surface
7,779,873	Method and apparatus for filling a fuel container
7,779,856	Fuel cartridge of a fuel cell with fuel stored outside fuel liner
7,776,785	Catalyst for carbon monoxide conversion and method of carbon monoxide modification with the same
7,776,491	Separator unit and fuel cell stack
7,776,484	Separator for fuel cell, method for producing separator, and solid oxide fuel cell
7,776,483	Method and system of activating fuel cell stack
7,776,479	Micro-electro-mechanical systems phosphoric acid fuel cell
7,776,386	Method for forming a micro fuel cell
7,776,201	Electrochemical regeneration of chemical hydrides
7,774,894	Micro powered floor cleaning device
7,771,886	Fuel cell
7,771,884	Solid oxide fuel cell stack having an integral gas distribution manifold
7,771,676	Preferential oxidation reactor integrated with heat exchanger and operating method thereof
7,771,519	Liners for ion transport membrane systems
7,768,800	Multiphase converter apparatus and method
7,767,359	Device for producing water on board of an airplane
7,767,358	Supported ceramic membranes and electrochemical cells and cell stacks including the same
7,767,357	Reactor
7,767,329	Solid oxide fuel cell with improved current collection
7,767,326	Water controller system having stable structure for direct methanol fuel cell
7,767,324	Direct methanol fuel cell electrode catalyst

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

Patent #	Title
7,767,004	Functionalized adsorbent for removal of acid gases and use thereof
7,766,251	Fuel injection and mixing systems and methods of using the same
7,765,949	Extrusion/dispensing systems and methods
7,764,160	Variable-resistance element
7,763,393	Fuel cell having electrode channel member with comb-teeth shape
7,763,392	Integrated fuel-air delivery system
7,763,371	Solid oxide fuel cell electrolyte and method
7,763,368	Efficient micro fuel cell systems and methods
7,763,217	Rapid start fuel reforming systems and techniques
7,762,495	Solar powered aerial vehicle
7,762,278	Valves for fuel cartridges
7,759,453	Multiblock copolymer, method of preparing the same, polymer electrolyte membrane prepared from the multiblock copolymer, method of preparing the polymer electrolyte membrane, and fuel cell employing the polymer electrolyte membrane
7,759,016	Unit cell of flat solid oxide fuel cell and fuel cell stack comprising the same
7,758,993	Tubular solid oxide fuel cell current collector
7,758,992	Copper-substituted perovskite compositions for solid oxide fuel cell cathodes and oxygen reduction electrodes in other electrochemical devices
7,758,990	Fluid recycling apparatus and fuel cell system using the same
7,758,989	Modular fuel cell cassette spacers for forming a solid oxide fuel cell stack
7,758,987	Fuel cell system
7,758,986	Proton conductor, polymer electrolyte comprising the same and fuel cell employing the polymer electrolyte
7,758,983	Fuel cell disassembly method and fuel cell
7,758,822	Reactor device
7,758,751	UV-cross-linked membranes from polymers of intrinsic microporosity for liquid separations
7,757,676	Reforming of GTL for marine applications
7,754,644	Noble metal particle and process of producing the same
7,754,371	Fuel cell disassembly method
7,754,367	Solid bonded interconnect system in a lightweight solid oxide fuel cell stack
7,754,359	Solid oxide fuel cell

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

Patent #	Title
7,754,168	Concentrate of fine ceria particles for chemical mechanical polishing and preparing method thereof
7,754,164	Reformer and fuel cell system having the same
7,753,973	Process and system for converting carbonaceous feedstocks into energy without greenhouse gas emissions
7,749,628	Thermally integrated SOFC system
7,749,626	Fuel cell power generating system with two fuel cells of different types and method of controlling the same
7,749,465	Reformer module
7,748,259	Systems and methods for solid oxide fuel cell surface analysis
7,745,948	Emergency pitch drive unit for a wind turbine
7,745,064	Oxidation facilitator
7,745,063	Fuel cell stack
7,745,060	Fuel cell system and method of operating the fuel cell system
7,745,036	Direct oxidation fuel cell system and membrane electrode assembly thereof
7,745,035	Separator and fuel cell using thereof
7,745,034	Fuel cell system and fuel cartridge having fuel buffer module
7,745,033	Polymer electrolyte fuel cell and separator for polymer electrolyte fuel cell
7,745,031	Solid oxide fuel cell
7,745,029	Ferritic steels for solid oxide fuel cells and other high-temperature applications
7,745,028	Fuel cell system
7,745,027	Catalytic dehydrogenation of amine borane complexes
7,745,026	Direct carbon fueled solid oxide fuel cell or high-temperature battery
7,744,990	Thin-film support substrate for use in hydrogen production filter and production method of hydrogen production filter
7,744,830	Catalyst for microelectromechanical systems microreactors
7,744,824	On-board fuel desulfurization unit
7,744,751	Method of generating hydrocarbon reagents from diesel, natural gas and other logistical fuels
7,744,664	Compact counterflow fuel reformer
7,743,861	Hybrid solid oxide fuel cell and gas turbine electric generating system using liquid oxygen
7,740,968	Ion-conductive binder membrane-electrode assembly and fuel cell

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

Patent #	Title
7,740,966	Electrochemical cell stack assembly
7,740,772	Ceramic anodes and method of producing the same
7,740,670	Catalyst for partial oxidation reforming of fuel and fuel reforming apparatus and method using the catalyst
7,740,669	Reformer for fuel cell system, fabrication method therefor, and fuel cell system comprising the same
7,736,817	Method of forming an interface between components having different rates of expansion
7,736,788	Pattern molding of polymeric flow channels for micro fuel cells
7,736,787	Ceramic membranes with integral seals and support, and electrochemical cells and electrochemical cell stacks including the same
7,736,786	Composition for fuel cell bipolar plate
7,736,784	Injection nozzle assembly and fuel cell system having the same
7,736,782	Proton conductive solid polymer electrolyte and fuel cell
7,736,774	Solid oxide fuel cell system
7,736,772	Tubular solid oxide fuel cell stack
7,736,724	Fabrication of nanobaskets by sputter deposition on porous substrates and uses thereof
7,736,596	Self-regulating feedstock delivery systems and hydrogen-generating fuel processing assemblies and fuel cell systems incorporating the same
7,736,547	Method of synthesis of proton conducting materials
7,736,399	Electrically heated metal vaporizer for fuel/air preparation in a hydrocarbon reformer assembly
7,735,935	In situ thermal processing of an oil shale formation containing carbonate minerals
7,735,918	Office components, seating structures, methods of using seating structures, and systems of seating structures
7,732,737	Micropowered warming container
7,732,084	Solid oxide fuel cell with internal reforming, catalyzed interconnect for use therewith, and methods
7,732,082	Fuel cell module
7,732,076	Heating solid oxide for fuel cell stack
7,732,075	Solid oxide fuel cell component and a method of manufacturing a solid oxide fuel cell component
7,731,491	Fuel storage devices and apparatus including the same

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

Patent #	Title
7,730,947	Creating fluid injectivity in tar sands formations
7,730,946	Treating tar sands formations with dolomite
7,730,945	Using geothermal energy to heat a portion of a formation for an in situ heat treatment process
7,727,662	Low-temperature alkaline fuel cell
7,727,661	Fuel cell system with gold gasket
7,727,653	Polymer electrolyte membrane and fuel cell using the same
7,727,650	Interconnected, 3-dimensional fuel cell design
7,727,293	Hydrogen generating fuel cell cartridges
7,722,980	Solid oxide fuel cell directly utilizing flame
7,722,687	Methods for the deposition of electrocatalyst particles
7,722,685	Process and device for producing a fuel cell stack while applying a controlled force to the assembled stack
7,718,304	Electrode for fuel cell, method of producing the same, and fuel cell including the electrode
7,718,295	Method for preparing an interconnect
7,718,113	Gas delivery substrate
7,717,404	Humidifier
7,717,171	Moving hydrocarbons through portions of tar sands formations with a fluid
7,717,167	Switchable power allocation in a downhole operation
7,713,899	Method of producing membrane electrode assemblies for use in proton exchange membrane and direct methanol fuel cells
7,713,650	Method for reducing degradation in a fuel cell
7,713,649	Fuel cell stack with internal fuel manifold configuration
7,713,645	Conductive connecting members and electrochemical systems
7,713,642	System and method for fuel cell operation with in-situ reformer regeneration
7,709,124	Direct hydrocarbon fuel cells
7,709,122	Proton conductive electrolyte membrane, solid polymer fuel cell and method for producing proton conductive electrolyte membrane
7,709,121	Method and apparatus for recirculating unused fuel in fuel cells
7,709,120	Method to maximize fuel cell stack shorting resistance
7,709,118	Recuperated atmospheric SOFC/gas turbine hybrid cycle
7,707,987	Hydrogen G-cycle rotary internal combustion engine
7,707,817	Fuel processor

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

Patent #	Title
7,705,490	Integral stack columns
7,705,059	Selective oxidative conversion of methane to methanol, dimethyl ether and derived products
7,704,918	Synthesis of metal-metal oxide catalysts and electrocatalysts using a metal cation adsorption/reduction and adatom replacement by more noble ones
7,704,618	High-temperature fuel cell system and method of operating same
7,704,617	Hybrid reformer for fuel flexibility
7,704,483	High surface area tetragonal zirconia and processes for synthesizing same
7,704,383	Portable fuel desulfurization unit
7,704,369	Electrolysis of carbon dioxide in aqueous media to carbon monoxide and hydrogen for production of methanol
7,703,513	Wax barrier for use with in situ processes for treating formations
7,703,445	Fuel supply system
7,700,521	Platinum-copper fuel cell catalyst
7,700,217	Electrolyte migration control for large area MCFC stacks
7,700,215	Clad current carrier for a solid oxide fuel cell stack
7,700,210	Increasing thermal dissipation of fuel cell stacks under partial electrical load
7,700,206	Fuel cell system
7,700,070	Process and apparatus for catalytic conversion of hydrocarbons for generating a gas rich in hydrogen
7,700,005	Oil-based thermoneutral reforming with a multi-component catalyst
7,699,909	Systems and methods for extraction of carbon dioxide from air
7,699,102	Rechargeable energy storage device in a downhole operation
7,698,936	Fuel gauge for fuel cartridges
7,698,119	Simulator of fuel cell on gas phase reaction
7,696,121	Photocatalytic electrode and fuel cell
7,695,865	Method of manufacturing a solid electrolyte battery having particle ink layers
7,695,842	Fuel supply device for direct methanol fuel cells
7,695,841	Solid oxide fuel cell tube with internal fuel processing
7,694,550	Apparatus for measuring permeability rate of anode of solid oxide fuel cell
7,691,770	Electrode structure and methods of making same
7,691,523	Method of preparing fuel cell comprising proton conducting solid perovskite electrolyte membrane with improved low temperature ion conductivity, and membrane electrode assembly of fuel cell prepared by the method

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

Patent #	Title
7,691,521	Solid oxide fuel cell
7,691,516	Fuel cell system and stack used therein
7,691,514	Polymer-zeolite nanocomposite membranes for proton-exchange-membrane fuel cells
7,691,507	Combination fuel cell and ion pump, and methods and infrastructure systems employing same
7,691,501	Fuel cell system and controlling method thereof
7,691,271	Filamentous carbon particles for cleaning oil spills and method of production
7,687,424	Photocatalytic electrode and fuel cell
7,687,173	Process for making a ceramic composite device
7,687,172	Fuel cell system
7,687,170	Fuel cell system
7,687,166	Process for generation of electricity from a solid oxide fuel cell auxiliary power unit using engine exhaust gas
7,687,090	Fuel cell device assembly and frame
7,686,937	Separator plates, ion pumps, and hydrogen fuel infrastructure systems and methods for generating hydrogen
7,683,232	Production of olefins having a functional group
7,683,098	Manufacturing methods for nanomaterial dispersions and products thereof
7,682,724	Use of metal supported copper catalysts for reforming alcohols
7,682,528	Oxide ion conductor
7,681,647	Method of producing drive fluid in situ in tar sands formations
7,678,486	Separator for fuel cell and fuel cell containing the separator
7,678,484	Electrochemical device and methods for energy conversion
7,678,481	Fuel cell system with a fuel tank configured to store a fuel at a pressure higher than atmospheric pressure
7,678,351	High-temperature CO ₂ capture using engineered eggshells: a route to carbon management
7,678,181	Hydrogen permeable membrane, fuel cell and hydrogen extracting apparatus equipped with the hydrogen permeable membrane, and method of manufacturing the hydrogen permeable membrane
7,678,180	Integral fuel cartridge and filter
7,677,884	Burner
7,677,314	Method of condensing vaporized water in situ to treat tar sands formations

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

Patent #	Title
7,677,310	Creating and maintaining a gas cap in tar sands formations
7,674,735	Glass-ceramic seals for use in solid oxide fuel cells
7,674,546	Metallic separator for fuel cell and method for anti-corrosion treatment of the same
7,674,543	Solid oxide fuel cell of multiple tubular electrodes
7,674,542	Fuel cell system
7,674,540	Fuel cartridges for fuel cells and methods for making same
7,674,538	Apparatus and method for high-efficiency operation of a high-temperature fuel cell system
7,673,681	Treating tar sands formations with karsted zones
7,670,987	Reforming catalyst for hydrocarbon, method for producing hydrogen using such reforming catalyst, and fuel cell system
7,670,713	Fuel cell electrode and membrane-electrode assembly and fuel cell system
7,670,711	Cerium-modified doped strontium titanate compositions for solid oxide fuel cell anodes and electrodes for other electrochemical devices
7,670,710	Fuel cell and fuel cell stack with pressure chambers
7,670,703	Solid electrolyte fuel cell supported by an integrated reformer
7,670,701	Apparatus and method for heating fuel cells
7,670,679	Core-shell ceramic particulate and method of making
7,670,475	Fluorine separation and generation device
7,670,118	Hot gas blowing fan
7,667,085	Process for the conversion of natural gas to hydrocarbon liquids
7,666,809	Electrode catalyst for fuel cell, electrode for fuel cell, and fuel cell
7,666,539	Heat efficient portable fuel cell systems
7,666,534	Electro-catalytic oxidation device for removing carbon from a fuel reformat
7,666,533	Determination of the lambda value of reformat
7,665,460	Micropowered gas-forming device
7,663,384	Method and apparatus for measuring metallic area-specific resistance
7,662,740	Platinum-chromium-copper/nickel fuel cell catalyst
7,662,503	Fuel cell, disassembly method thereof, and separators used therein
7,662,497	Solid oxide fuel cell with a metal bearing structure
7,662,496	Fuel cell cooling system and method for controlling circulation of cooling liquid in fuel cell
7,662,435	Method for reducing coking in a hydrogen generation reactor chamber

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

Patent #	Title
7,662,304	Corrosion inhibitors, corrosion inhibiting heat transfer fluids, and the use thereof
7,662,194	Binder composition for fuel cell, membrane-electrode assembly for fuel cell, and method for preparing the membrane-electrode assembly
7,661,562	Micro powered dispensing device
7,659,027	Fuel cell and fuel cell stack
7,659,025	Electrode-supported solid-state electrochemical cell
7,659,022	Integrated solid oxide fuel cell and fuel processor
7,659,021	Power generating apparatus using solid oxide fuel cell
7,659,019	Thermally primed hydrogen-producing fuel cell system
7,659,016	Fuel cell with a device for storing water
7,659,015	Combined fuel cell system
7,658,892	Pipe shaped reformer having rugged internal surface
7,655,346	Electrode material and fuel cell
7,655,337	Micro fuel cell thermal management
7,655,333	Sub-micron solid oxide electrolyte membrane in a fuel cell
7,655,331	Fuel cell supply including information storage device and control system
7,655,195	Undulated-wall honeycomb structure and manufacturing method thereof
7,655,147	Method of removing ions from a fuel cell system
7,655,056	Hydrogen generating apparatus
7,654,658	Consumable product container and image forming apparatus
7,652,089	Nanocomposite, nanocomposite electrolyte membrane and fuel using the same
7,651,810	Interconnect supported fuel cell assembly, preform and method of fabrication
7,651,809	Channel member for providing fuel gas to separators forming a plurality of fuel gas fields on one surface
7,651,801	Current bus and power lead assemblies for solid oxide fuel cell generators
7,651,797	Electrochemical cells comprising laminar flow induced dynamic conducting interfaces, electronic devices comprising such cells, and methods employing same
7,651,669	Microsystem process networks
7,648,792	Disposable component on a fuel cartridge and for use with a portable fuel cell system
7,648,789	Fuel cell gas separator plate with paths of electrically conductive material of a silver- glass composite
7,648,785	Clean power system

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

Patent #	Title
7,648,784	Method and apparatus for controlling a fuel cell system having a variable number of parallel-connected modules
7,648,652	Polymer electrolyte and fuel cell employing the same
7,648,541	Desulfurization of fuel
7,645,537	Multi-cell fuel cell layer and system
7,645,535	Method and materials for bonding electrodes to interconnect layers in solid oxide fuel cell stacks
7,645,532	Solid oxide fuel cell system having an upstream reformat combustor
7,645,529	Fuel cell characteristic recovery method and apparatus
7,644,765	Heating tar sands formations while controlling pressure
7,642,742	Fuel cell system with fuel supply monitoring system and method of use
7,642,217	Pt/Ru alloy catalyst for fuel cell
7,642,213	Method of producing membrane electrode assemblies for use in proton exchange membrane and direct methanol fuel cells
7,642,000	Fuel cell electrode, membrane-electrode assembly, and fuel cell system
7,641,997	Design and synthesis of guest-host nanostructures to enhance ionic conductivity across nanocomposite membranes
7,641,994	Fuel processing method and system
7,638,227	Fuel cell having stack structure
7,638,226	Apparatus and method for controlling kinetic rates for internal reforming of fuel in solid oxide fuel cells
7,637,967	Stepped gradient fuel electrode and method for making the same
7,637,263	Method of controlling body temperature with an electrochemical device while providing on-demand power to an electrical device
7,635,533	Fuel cell electrocatalyst of Pt-Mn-Co
7,635,531	Self contained fuel system for solid oxide fuel cell
7,635,024	Heating tar sands formations to visbreaking temperatures
7,632,599	Separator for fuel cell and fuel cell using the same
7,632,596	Distributed feed fuel cell stack
7,632,595	Compliant fuel cell system
7,632,594	Solid oxide fuel cell with improved gas exhaust
7,632,593	Bipolar plate supported solid oxide fuel cell with a sealed anode compartment
7,632,590	System and a method for manufacturing an electrolyte using electrodeposition

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011

Patent #	Title
7,632,588	Electrochemical cell having gas flow channels surrounded by solid electrolyte and interconnector
7,632,586	Solid oxide fuel cell positive electrode--electrolyte--negative electrode
7,632,584	Systems including replaceable fuel cell apparatus and methods of using replaceable fuel cell apparatus
7,632,582	Method and apparatus for maintaining high voltage in a fuel cell
7,632,384	Multi-functional sensor system for molten salt technologies
7,632,322	Hydrogen-producing fuel processing assemblies, heating assemblies, and methods of operating the same
7,632,321	Fuel processing systems, fuel cell systems, and improved feedstocks therefor
7,631,690	Heating hydrocarbon containing formations in a spiral startup staged sequence
7,629,072	Membrane-electrode assembly for fuel cell and fuel cell system comprising the same
7,629,069	Solid oxide fuel cell system
7,629,067	Hydrogen-producing fuel processing systems and fuel cell systems with a liquid leak detection system
7,629,065	Fuel cell system with a first and second electrically conductive casing
7,628,951	Process for making ceramic insulation

資料來源：BCC Research, Market Research Report. 2011