

行政院原子能委員會
委託研究計畫研究報告

國際 SOFC 應用市場與標準之研析與策略規劃
International Application Market, Standards Analysis
and Strategic Planning of SOFC

計畫編號：1012001INER035

受委託機關(構)：台灣經濟研究院

計畫主持人：左峻德

聯絡電話：(02) 2586-5000 # 936

E-mail address：d22383@tier.org.tw

核研所聯絡人員：熊惟甲

報告日期：101 年 11 月 27 日

目 錄

中文摘要	1
ABSTRACT.....	2
壹、計畫緣起與目的.....	3
一、研究背景	4
二、計畫目的	5
貳、研究方法與過程.....	6
一、執行方法	6
二、工作項目/內容	7
參、主要發現與結論.....	8
一、研究與技術發展情況.....	8
二、政策與推廣補助措施.....	10
三、市場與產品行銷策略.....	14
四、標準與產品認證制度.....	17
五、發電成本比較	20
六、發展策略藍圖	25
肆、參考文獻	27
附錄一、燃料電池發電裝置推廣補助構想.....	28
附錄二、淨煤計畫產業關聯分簡析	39
附錄三、固態氧化物燃料電池國際現況分析	42
附錄四、日本 SOFC 標準彙編.....	62

表 目 錄

表一、SOFC 的用途.....	3
表二、SOFC 的市場統計【6】	14
表三、BLUEGEN 燃料電池發電機組規格【9】	23
表四 BLOOM ENERGY 公司 100 KW 發電機組規格.....	23
表五、發電成本比較表	24

圖 目 錄

圖一、CFCL 發電機組.....	12
圖二、BLOOM ENERGY 發電機組	13
圖三、日本廠商發電機組.....	13
圖四、日本燃料電池發電機組認證機制	20
圖五、SOFC 發展藍圖研議.....	26

中文摘要

本計畫係進行 SOFC 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，並進一步分析整體產業環境之發展，做為我國發展 SOFC 關鍵技術參考與依據。同時分析市場趨勢與產品應用方向，並研擬發展策略與藍圖，以協助帶動國內相關產業的未來發展。

關鍵字：固態氧化物燃料電池、應用市場、標準分析、策略規劃

Abstract

This project is involved in technology survey and industry analysis of SOFC, and the main purpose is to understand international standards and technical characteristics of the present products. Also, the analysis of environment and development of overall global industry can be used as a reference and basis of technology R&D. Finally, a development strategy and a blueprint of SOFC have been proposed to drive the development of domestic industry in the future.

Key Word: SOFC, Application Market, Standards Analysis, Strategic Planning

壹、計畫緣起與目的

燃料電池與氫能技術為新型能源科技，不但各國政府大力支持與推廣，而且產品發展日新月異已經開始進行初步商業化。雖然目前在市場上的推廣成績仍是有賴政府的高額補助，然而顯示產品技術已經逐漸成熟且被接受，未來有機會繼續降低成本與擴大市場。

SOFC 為高溫型燃料電池，由於處於高溫反應狀態，因此具有熱漲冷縮較大、材料選擇較難、啟動速率較慢等缺點，並不適合於需要經常啟動與關機的應用，例如車輛、備用發電機；但是具有發電效率較高、廢熱溫度較佳、燃料選擇較寬等優點，所以適合應用於熱電共生型家用型機組與分散型發電機組，也適合做為煤炭氣化結合燃料電池發電系統 IGFC，詳細的用途如表一。

我國因為資源有限與技術落後的緣故，在 SOFC 的研發係採取防禦式策略，因此每年研發經費不多，而且主要研究機構只有核能研究所的技術開發，以及一些學校教授進行的基礎研究。雖然如此，但是瞭解國外的技術進展、推廣策略、產業概況、標準認證等情況，以及研擬發展策略與藍圖，仍是值得重視的課題。

表一、SOFC 的用途

種類	家用型熱電共生發電機組	定置型（分散型）發電機組	煤炭氣化/燃料電池發電系統
發電容量	0.7-2 kW	50-500 kW	MW
發展階段	開始商業化	開始商業化	2020 年以後
未來發展	成本降低	成本降低	技術開發
已商業化地區	日本與歐洲	美國	——

一、研究背景

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。

固態氧化物燃料電池，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。SOFC 技術在發電領域具有特別大的潛力，其優點是元件結構的簡單性、低成本製造的能力不需以貴金屬（如 Pt）為觸媒、廢熱品值高，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%，惟因其在高溫環境下操作，材料選擇受到若干限制。

在國際上 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，目前也有三項針對 SOFC 的標準草擬中，相信在經過一段時間的示範補助之後，對於 SOFC 的技術標準，將如同之前實施的 PEMFC 1kW 家用型熱電系統，在經過實證階段後，可望產出許多應用面的 SOFC JIS 標準，在國際標準方面拔得頭籌。

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，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組、系統設計、分析研究。

二、計畫目的

- (1) 蒐集國際 SOFC 技術發展及政策發展方向，以瞭解國際發展趨勢。
- (2) 進行 SOFC 技術標準安規等資料蒐集，藉以瞭解現有產品的技術發展狀況及特點，作為我國發展 SOFC 關鍵技術參考。
- (3) 調查國內產學研 SOFC 研發現況，擬定相關發展藍圖及策略。

貳、研究方法與過程

本計畫以三年為期，進行國際主要國家、標準組織、與市場的 SOFC 資訊調查分析，有助於掌握台灣整體技術能量、特性與追蹤我國與先進國家之技術落差、研發速度，評估國內 SOFC 技術發展的未來趨勢以及潛在的市場機會等，並建議我國 SOFC 技術佈局與市場發展策略。

經由參與國際展覽及工作會議，深入瞭解及掌握國際氫能與燃料電池 SOFC 技術標準發展趨勢及未來市場發展，與國內 SOFC 技術發展連結，以發掘國際技術合作及共同開發新興市場的機會；及協助建置我國氫能與燃料電池技術標準與帶動相關產業之發展，並規劃 SOFC 發展藍圖與發展策略。

一、執行方法

1. 瞭解國際 SOFC 技術發展及相關政策實行。
2. 蒐集國際 SOFC 市場資訊，分析國際發展趨勢與利基市場。
3. 蒐集國際 SOFC 技術標準資訊，分析 SOFC 標準推動方向與國際接軌。
4. 調查國內產學研 SOFC 研發現況，規劃發展藍圖與發展策略，促進國內研發合作。
5. 歸納上述資料並提出研析報告。

二、工作項目/內容

1. 蒐集國際 SOFC 技術發展及政策。
2. 蒐集國際 SOFC 市場資訊。
3. 蒐集國際 SOFC 技術標準資訊。
4. 蒐集國內產學研 SOFC 研發現況。
5. 規劃 SOFC 發展藍圖與發展策略。

參、主要發現與結論

開發 SOFC 的國家，在歐洲係由歐盟推動，包括德國、英國、法國、義大利、瑞士、丹麥等，在美洲主要是美國，在亞洲則為日本與韓國，此外澳洲也有參與，但是中國大陸與台灣較不重視。

一、研究與技術發展情況

美國能源部開發燃料電池的主力為 PEMFC 電動車輛與氫能技術，並不是 SOFC。在 2000 年開始推動 SECA 計畫，2001 年成立第一個產業團隊，當時每年的研究經費都很少只有幾百萬美元，2002 年以後才增加至每年 3000-6000 萬美元，但是 2012 年又降至 2500 萬美元。SECA 剛成立時，強調核心技術的開發與生產成本的下降，並著重 5 kW 模組的研發，當時考慮做為卡車停車休息時使用的補助電力系統。2005 年以後改為發展煤炭氣化—燃料電池複循環發電系統，並選擇三個產業團隊參與。

在 2011 年 SECA 完成第二階段的計畫目標，亦即完成 25 kWe 的模組，性能衰退率小於 1%/1000hr，運轉時數大於 1500 hr，製造成本小於 700/kWe【1】。按照 SECA 的時程規劃，2015 年才會完成 MW 級的燃料電池組，2018-2012 年才有 MW 級的 IGFC 試驗電廠，因此這個計畫還有很長的路要走。

日本的 SOFC 技術開發係由 NEDO 負責推動【2】，主要項目有 SOFC 系統重點技術開發和 SOFC 實證研究。計畫中機組的目標為 2012 年底運轉時數達到 40,000 小時（電壓下降率 0.25%/1,000 hr），

起動次數為 250 次 (電壓下降率 10%/250 次) 等。SOFC 的實證研究自 2010 年累積裝置量為 233 台。2008 年以後設置的系統，電池組耐久性能已擴增一倍以上，可望達到 4 萬小時，目前累積運轉時數最高的系統已達 25,843 小時，運轉時間超過一年者有 37 組。

按照 NEDO 的計畫【3】，家用型 (kW 級)、商業型 (數十到幾百 kW 級) 與工業型 (MW 級)，以及電廠型 (數十與數百 MW 級) 都是未來的發展目標，2015 年的成本目標為 40 萬日圓/kW，2020-2030 家用型機組為 40 萬日圓/kW、商用型機組為 20 萬日圓/kW、工業型機組為 15 萬日圓/kW。

歐盟利用整合型的 SOFC 計畫結合研發與產業資源，自 FP5 (1998-2002) 即開始補助技術研發與商業化相關研究，補助項目包括材料研發、系統開發、可靠度提升與成本降低等。在 FP6 (2002-2006) 計畫則繼續改善材料以降低劣化、發展小型熱電共生系統、MW 級系統，以及量產技術，目前 FP7 (2007-2013)，有多個 SOFC 相關的計畫已經通過獲得補助開始進行，包括材料與製程發展、組件與附屬系統的簡化與最佳化，以及模擬、測試與特性研究等，長期目標為在 2020 年時達到商業化驗證【4】。

韓國政府扶植三星及 POSCO Power 進行家用型 SOFC 系統開發，2012 年的目標為發電效率 38%，熱能效益 48%，持續運行時間 40,000 小時，成本 20,000 美元；2030 年的目標為發電效率 40%，熱能效益 50%，持續運行時間 90,000 小時，成本 5,000 美元。為達成計畫目標，許多研發機構如 KAIST、KEPRI、KICET、KIER、KIMM、KIST、POSTECH、RIST 都參與開發行列【5】。

二、政策與推廣補助措施

美國在 2005 年的能源政法案明確規定能源部負責推動燃料電池與氫能技術的研發，2007 年的能源獨立與安全法案呼籲加重節能產品的研發與生產，2009 年的復興與再投資法案則提撥 4,000 萬美元推廣燃料電池產品。

美國聯邦政府對於購買發電效率 30% 以上且容量 0.5 kW 以上的 SOFC 發電機組，採行的優惠措施為減稅，額度為總價的 30%，但最高上限為 3000 美元/kW。此外各州另有優惠，以加州為例，根據自行發電獎勵計畫，SOFC 機組額度為總價的 60%，補助費用為 2.25 美元/W，若利用沼氣另加 2.00 美元/W，但以 3 MW 為限，其中第一個 1MW 可獲得 100% 的補助，第二個 1MW 為 50%，第三個 1MW 為 25%。

日本在 2007 年發表基礎能源計畫，強調能源安全、環保與經濟效益；2010 年又發表新成長策略，包括加強燃料電池的發展與商業化。日本政府支持燃料電池汽車在 2015 年開始商業化，因此開始興建加氫站；同時也支持熱電共生型燃料電池發電機組在 2016 年就可不必仰賴補助，因此在此之前將會繼續提供補助，但是補助金額逐年減少。

就 ENE-FARM 發電機組推廣計畫而言，2009 年補助 140 萬日圓，安裝 5,030 組；2010 年補助 130 萬日圓，安裝 4,985 組；2012 年初期補助 105 萬日圓，安裝 8,585 組，追加經費後補助 85 萬日圓，安裝 9,410 組，為期三年的補助期間共安裝 28,010 組。此外，地方

政府也會提供額外的補助，以東京都為例，補助費用為 5-50 萬日圓。
(目前不含補助的售價約為 270 萬日圓)

歐盟在燃料電池與氫能的策略為 2020 年再生能源占所有能源的 20%，但是占運輸能源的 10%；新車將限制 CO₂ 排放量、推廣清潔與效率型運輸載具、2020 年溫室氣體減排 6%，以及減少建築物的能源需求。歐盟也提出 2020 地平線計畫，目標在建立安全、清潔與效率的能源體系。

在歐盟各國中，德國為燃料電池開發與推廣的領跑者，不但從 2008 年起推動 Callux 計畫，以大量促進熱電共生型燃料電池發電機組的展示與測試，目前已有兩百多個機組安於單戶或雙戶住宅。參與 Callux 計畫的 SOFC 機組生產廠商包括瑞士的 Hexis 與澳洲的 CFCL。

德國聯邦政府已經推動小型熱電共生機組的補助政策，補助政策從今年開始推行，機組容量最大限制為 20 kW，熱電共生的整體效率必須在 85% 以上；其中 1 kW 的小型機組補助額為 1,500 歐元，而 20 kW 的大型機組則補助 3,450 歐元。此項計畫的管理單位為經濟與技術部的經濟與外銷控制辦公室，補助費用係直接撥給購買的業主，整個計畫的目標為 2020 年時有 25% 電力係來自熱電共生系統。以 CFCL 公司生產的 1.5 kW 級 BlueGen 發電機組為例，可獲得 1,800 歐元的補助。

英國政府在本年二月提出包含 BlueGen 在內的 mCHP 產品的電力收購制度，計畫自 2012 年 10 月開始增加 mCHP 產品電力收購價格，從最高 14.2 便士增加為 15.7 便士。發電部分為每千瓦小時由

11 便士提高至 12.5 便士，加上每千瓦小時之出口電網費用為 3.2 便士。

韓國政府在 2008 年重新修正氫能經濟的願景，從 2009 年到 2012 年為燃料電池發電機組的市場開發時期，其中 3 kW 以下的家用型機組將推廣 10,000 組，3-10 kW 的產業型機組則為 80 組，250-1,000 kW 的分散型電廠將達到 400 MW。為達到計畫目標，因此採取補助購買者 50% 的獎勵方式。韓國在 2020 年時家用型機組的推廣目標為 100,000 組，產業型機組則為 2,000 組，散型電廠為 1,000 MW。韓國在開發 SOFC 機組的公司為 POSCO 與三星集團，同時 LG 集團在今年六月以 4,500 萬美元，併購 Rolls-Royce Fuel Cell System 在美國的分公司 51% 的股權，直接取得先進的 SOFC 電池組與機組技術。



圖一、CFCL 發電機組

<http://www.bluegen.info>



圖二、Bloom Energy 發電機組

<http://www.bloomenergy.com>

Manufacturer	JX	Osaka Gas/Aisin /Kyocera/Chofu /Toyota
		
Date of launch	Oct. 27 /2011	Apr. 27 /2012
Fuel	LPG / NG	NG
Rated electrical power	700 W	<-
Max. efficiency	45.0% LHV	46.5% LHV
electricity total	87% LHV	90% LHV
Boiler tank capacity	90 L	<-
Dimension (mm)	FC W563 xH900 xD302	W600 xH935 xD335
	Boiler W740 xH1,760 xD310	W740 xH1,760 xD310
Support period	10 year	<-
Price (including tax, excluding installation)	270 M Yen	275.1 M Yen

<http://www.noj.jx-group.co.jp/>

<http://www.aisin.co.jp/>

圖三、日本廠商發電機組

三、市場與產品行銷策略

根據 Fuel Cell Today 的調查報告【6】，2011 年時 SOFC 發電機組的銷售總數量為 600 組，占有所有燃料電池的 2.4%；銷售總容量為 10.6 MW，占有所有燃料電池的 10%，如表二所示。至於 2012 年的預測則是相當樂觀，銷售總數量將增加至 2,600 組，總容量將上升至 19.5 MW。

表二、SOFC 的市場統計【6】

年 度	2008	2009	2010	2011	2012
數量，組	—	100	100	600	2,600
容 量， MW	1.3	1.1	6.7	10.6	19.5

全球能夠生產與銷售 SOFC 發電機組的廠家並不多，目前大致只有四家，即為美國加州的 Bloom Energy、澳洲的 CFCL，以及日本的吉坤日礦日石能源公司與愛信精機公司。

Bloom Energy 創立於 2001 年，從事 SOFC 發電機組的產品開發，2006 年首度將 5 kW 機組送到現場測試，接著在 2008 年七月開始將四部 100 kW 的商業化機組賣給 Google 公司。2009 年時，銷售量開始急速增加，主要客戶有許多是前五百大的公司，例如可口可樂、Walmart、Fedex、AT&T、eBay、Staples 等，主要用途為數據中心的電源。該公司的產能約為日產一個 100 kW 機組，可使用天

然氣或沼氣為燃料，發電效率為 50-60%。Bloom Energy 近年推出另一種容量較大的機組，發電量為 200 kW。

由於加州具有最貴的電費與最大的補助，因此 Bloom Energy 的主要客戶都是在加州。該公司提供 100 kW 機組的售價為 10 美元/W 加上保證費用 2.5 美元/W，因此一部機組為 125 萬美元。聯邦政府減稅優惠 30%，即為 3.75 美元/W；此外，加州政府優惠補助為使用天然氣時 2.25 美元/W，使用沼氣時 4.25 美元/W。因此計算補助後，一部機組的費用變成 60 萬美元（天然氣）或 45 萬美元（沼氣）。如果安裝容量超過 1MW 時加州補助減半，超過 2MW 時則再減半，因此 Bloom Energy 對外宣稱安裝費用為 70-80 萬美元。

加州商業用戶的電費約為 14 美分/kWh，如果給客戶的電價優惠為 5-20%，則賣電價格為 11.2-13.3 美分/kWh。根據一些客戶端的運轉結果，發電成本約為 7-10 美分/kWh，例如安裝在 Adobe 的機組為 8.5 美分/kWh，因此 Bloom Energy 就有 3-6 美分/kWh 的利潤。美國全國商業與工業用電的平均電價為 10.6 美分/kWh，同時在西南地區等各州的電價低於 10.6 美分/kWh，因此 Bloom Energy 在加州以外地區並不容易獲利。

Bloom Energy 在 2011 年一月宣布成立 Bloom Electrons 負責行銷，採取供電模式，而且客戶可享受較低的電費，亦即與客戶簽署 10 年的供電合約，然後由 Bloom Energy 免費安裝發電機組與負責維修，客戶只要按期繳交電費即可。至於財務問題，則安排與 Credit Suisse 信貸及 Silicon Valley 銀行簽約。客戶大致可節省 5-20% 的電費，而且發電機組由 Bloom Energy 遙控運轉與負責維修。

澳洲 CFCL 公司長期從事 SOFC 發電機組的研發工作，並曾在日本與英國等地進行測試【7】。該公司在 2009 年初期推出商業化產品 BlueGen，發電量約為 2 kW，發電效率約為 60%，並可連接熱水儲槽以供應熱水。同年九月完成自動化燃料電池量產工廠，十月完成設於德國的燃料電池組裝工廠，並於年底進行第一個完全整合型機組的安裝。該公司已於英國設置氧化鋁粉末生產廠，並向德國 CeramTec 與 HC Starck 購買零組件，並由中國大陸潮州三環集團代工生產陶瓷基板。今年九月，CFCL 與三環達成 600 萬澳元的融資協議，資金將用於 CFCL 的日常營運與提升量產能力。

CFCL 的產品種類有兩種，一種為完整的機組 BlueGen，可直接安裝於用戶端；另一種為燃料電池組套件，須交由客戶自行組裝成機組。銷售的方式主要經由全球各地的代理商或經銷商，例如澳洲就有 Hills Solar 與 Harvey Norman 兩家經銷商。該公司的客戶有許多大型的瓦斯公司，如德國最大、法國最大、美國最大、兩家日本最大與英國第二大的瓦斯公司。至於自行組裝的公司，目前有德國、英國與法國的廠商參與。

從 2009 年七月至 2010 年九月，CFCL 賣給 7 個國家 17 個公司 50 組產品；2011 年則增加德國、英國與荷蘭的經銷與服務商，而且銷售量激增，BlueGen 機組的訂單超過 200 組，燃料電池套件的訂單也超過 200 組。BlueGen 在澳洲的售價每組約為澳幣 45,000 元（47,274 美元），安裝費用則另需約 2,000 元（2,100 美元）；至於燃料電池組套件，係包括重組器與熱交換器，根據去年德國 EWE 購買 200 組的價格為 490 萬歐元，則每組為 2.45 萬歐元（2.57 萬美元）。

吉坤日礦日石能源公司於 2011 年十月上市 SOFC 機組，發電使用的核心部件「電池單元」由京瓷公司供應，零售價為 270 萬日元（3.48 萬美元）。該機組以 LPG 和城市燃氣為燃料，最大發電功率為 700W，發電效率高達 45%，與利用廢熱製備溫水的熱水供應功能組合，總能量利用率可達 87%。大阪燃氣公司陣營於 2012 年四月推出家用 SOFC 系統，係與愛信精機、京瓷、長府製作所與豐田等企業共同開發，零售價為 275 萬日元（3.54 萬美元）。

雖然有日本政府的補助，但是仍然缺乏經濟效益，如要推廣必須通過大幅降低成本來實現目標，廠商希望在 2016~2019 年將價格下調至 50-80 萬日元，如此就可與互相競爭的普通熱水器的價差透過節省電費來回收。假如燃料電池系統的價格比熱水器高 30 萬日元，因為每年可望節省 5-7 萬日元的電費，所以用大約 5 年時間即可收回。由於燃料電池系統保修 10 年，因此剩餘 5 年時間還可節約 30 萬日元的電費。

四、標準與產品認證制度

SOFC 發電機組的國際標準主要為下列五項，各國的標準大都類似，但是其中 IEC 62282-7-2 與 62282-3-400 尚未完成。

IEC 62282-7-2	單電池 — SOFC 性能測試方法
IEC 62282-2	燃料電池模組
IEC 62282-3-100	定置型燃料電池系統—安全
IEC 62282-3-200	定置型燃料電池系統—性能測試方法
IEC 62282-3-300	定置型燃料電池系統—安裝

IEC 62282-3-400 定置型燃料電池系統－熱電共生小型系統

此外，日本積極研擬許多 SOFC 發電組的標準，目前已有數種出版，如下列；

JIS C 8841-1 Small Solid Oxide Fuel Cell Power Systems – Part 1:
General rules

JIS C 8841-2 Small Solid Oxide Fuel Cell Power Systems – Part 2:
General safety codes and safety testing methods

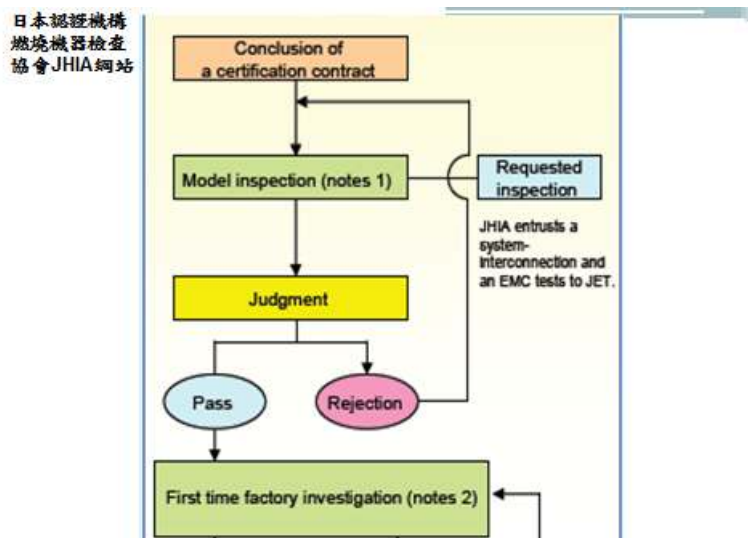
JIS C 8841-3 Small Solid Oxide Fuel Cell Power Systems – Part 3:
Performance testing methods and environmental testing methods

JIS 62282-7-2 Single cell and stack performance test methods for
solid oxide fuel cells

標準雖然類似，但是各個國家或地區則有不同的認證機構與規定。以美國為例，必須取得安全認證，認證機構為 UL、CSA International 或 Factory Mutual，檢驗標準為 ANSI/ CSA America FC1-2004，其中以 CSA 的經驗最多。在以歐洲為例，英國必須取得 MCS 認證，許多國家接受 CE 認證，在德國的認證機構為 TUV SUD，荷蘭則為 Kiwa Gastec。

日本的認證機構為燃燒機器檢查協會 JHIA，所根據的標準為 IEC/JIS 得相關標準，以及 JHIA N-7001 燃料電池系統檢查基準、JHIA N-5801 燃料電池系統防火性能檢查基準與 JHIA N-7002 燃料電池系統等給水器具的檢查基準。送檢的廠商在簽約後，開始進行形式驗證，不合格可取回修改；合格後再到工廠檢檢查生產體系與

品管措施，檢查方法按照歐洲 CENELEC 系統標準，檢查合格後才能發證。



圖四、日本燃料電池發電機組認證機制

五、發電成本比較

目前國際燃料電池發電機組的商品，主要有 PEMFC、MCFC、SOFC 等數種；其中在家用型機組方面，有日本廠商的 PEMFC 與 SOFC 機組，以及澳洲 CFCL 的 SOFC 機組；在現場型機組方面，主要有 Bloom Energy 的 100 kW 與 200 kW SOFC 機組與 FuelCell Energy 的 250 kW 機組。

根據日經能源環境網的專文【8】，2009 年日本的東京瓦斯、大阪瓦斯、東邦瓦斯、西部瓦斯、新日本石油及 Astomos 能源等六家公司發表聯合宣言「利用 ENE-FARM 實現環境立國的日本」，宣稱將在全球率先普及用燃料電池。ENE-FARM 備受關注的原因之一，是日本大地震引發的停電風險及電力短缺危機。不依賴現有電網，可在用戶現場發電的 ENE-FARM 作為自產自用型發電裝置寄予

厚望，因此積水建房、大和房建及三澤住宅等日本的大型住宅企業，相繼公佈裝設標配 ENE-FARM 的智慧住宅。

ENE-FARM 在日本銷售量仍處於較低的水準，但已有增長趨勢。2009 年九月開始銷售後，第一年度安裝 5000 台，其後銷量逐年穩步增長，東京瓦斯和大阪瓦斯等公司已經累計銷售 2 萬台左右，2012 年度預計將再銷售 2 萬台，並且在 2030 年時累計達到 250 萬台。

按照本年度第二期補貼申請登記情形，燃料電池主機（發電能力為 700 瓦）等設備為 270 萬日元，施工費為 50 萬日元左右，補貼前的成本超過 300 萬日元。從中扣除補貼上限 50 萬日元之後，用戶實際負擔額仍將超過 250 萬日元。可以看出，設備價格和施工費均未按照預期下降。

ENE-FARM 要實現全面普及，除了價格之外，還存在其他障礙，也就是日本住宅所存在的空間問題。由於燃料電池本身就非常大，需要相當大的設置空間，同時如要利用產生的熱量，還需要使用蓄熱槽和配管。

與從最初銷售的 PEM 燃料電池相比，2011 年十月開始上市的 SOFC 在削減燃料電池成本方面受到更大的期待。原因在於其發電效率高於固體高分子型燃料電池、結構簡單、易於實現大型化，以及無需高價觸媒轉換器材料等。有意見指出，「日本國內企業要實現 50 萬日元的燃料電池這一當前的目標，必須實現固體氧化物型燃料電池的實用化」。從這方面考慮，ENE-FARM 能否在日本得到全面普及，關鍵在於能否在技術方面出現突破性進展，以及進一步降低價格。

就現行市場上的銷售情況，以 CFCL 公司容量 1.5 kW 的 BlueGen 機組（規格如表三）與 Bloom Energy 公司容量 100 kW 的機組（規格如表四）價格較為有利，分別進行發電成本計算的結果如表五，其中天然氣費用係採用國內一般家庭或商業用戶的價格 20 元/M³ 計算，維修費用只估計為機組價格的 3%。

就 CFCL 的家用型機組而言，目前價格為新台幣 141 萬元，若無補助則發電成本為每度 18.51 元，加計熱能效益後為 17.64 元；如果補助機組費用 50%，則發電成本為每度 12.59 元，加計熱能效益後為 11.72 元。考慮 Bloom Energy 公司的現場型機組的情況，目前價格為新台幣 2,400 萬元，若無補助則發電成本為每度 7.72 元；如果補助機組費用 50%，則發電成本為每度 6.22 元。

就目前台灣的電價而言，則上述的計算結果都不符合經濟效益，此係台灣的電價相對較低所致。因此現階段的獎勵措施，除裝機補助一半之外，需要增加適當的發電補助才較為可行。

表三、Bluegen 燃料電池發電機組規格 【9】

Performance	
Electrical output	0.5-1.5 kW
Peak electrical efficiency	60% (at 1.5 kW)
Thermal output	0.3- 0.54 kW
Thermal efficiency	up to 25%
Total efficiency	85%
Connections	
Natural gas	1/2 inch BSP female
Water	1/4 inch quick connect John Guest
Electricity	Hardwired via junction box
Flue	Balanced flue with standard concentric flue 100/60mm
Communications	Standard Ethernet port
Heat recovery	3/4 inch BSP female
Operation	
Electrical	230V ± 10%, 50Hz (single phase AC parallel grid connected)
Noise level	~ 47 dBA @ 1m
CO2 emissions	340g/kWh
Maintenance	Minor service: air filters, water filters and gas cleaning Major service: fuel cell stack
Physical	
Dimensions	600 x 660 x 1010 mm
Installation	Indoors or outdoors (above freezing)
Approvals	
Australia	AGA, AS/NZS 4777, AS/NZS 60335-2-102, C-tick
United Kingdom	CE, GB 3/1-1, MCS
Europe	CE, VDE 0126-1-1, EN 50438

表四 Bloom Energy 公司 100 kW 發電機組規格

(<http://www.bloomenergy.com>)

Fuels	Natural Gas, Directed Biogas
Input fuel pressure	15 psig
Fuel required @ rated power	0.661 MMBtu/hr of natural gas
Nameplate power output (net AC)	105 kW
Base load output (net AC)	100 kW
Electrical efficiency (LHV net AC)	> 50%
Electrical connection	480V @ 60 Hz, 3 or 4-wire 3 phase
Weight	11 tons
Size	15' 6" x 8' 6" x 6' 9"

表五、發電成本比較表

廠 商	CFCL 熱電共生機 組	CFCL 熱電共生機 組	Bloom Energy 現場型發電 機組	Bloom Energy 現場型發電 機組
機 種	SOFC，1.5 kW	SOFC，1.5 kW	SOFC，100 kW	SOFC，100 kW
燃 料	天然氣	天然氣	天然氣	天然氣
價 格	4.7 萬美元 新台幣 141 萬元		80 萬美元 新台幣 2400 萬元	
機組費用補助	—	50%	—	50%
單 價	94 萬元 /kW	47 萬元/kW	24 萬元/kW	12 萬元/kW
假設使用 10 年，年使用 8,000 小時，折 舊費用	11.8 元 /kWh	5.88 元 /kWh	3.0 元/kWh	1.5 元/kWh
發電效率	60%	60%	50%	50%
燃料費用，天然 氣價格 20 元 /M ³ ，9,000 kcal	3.18 元 /kWh	3.18 元 /kWh	3.82 元/kWh	3.82 元/kWh
維護費，估計 3%	3.53 元 /kWh	3.53 元 /kWh	0.90 元/kWh	0.90 元/kWh
發電成本	18.51 元 /kWh	12.59 元 /kWh	7.72 元/kWh	6.22 元/kWh
熱能效益，70%	0.87 元	0.870 元	無	無

利用，取代電熱，電價 3 元 /kWh	/kWh	/kWh		
總合發電成本	17.64 元 /kWh	11.72 元 /kWh		

附註：1 kcal = 1.163 wh，US\$ 1 = NTD 30；熱能效率假設 25%。

六、發展策略藍圖

目前 SOFC 燃料電池產品的主要市場為美國加州 (Bloom Energy 的 100/200kW 機組)、德國 (CFCL 的 1.5kW 家用型機組銷售量 50%)，以及日本 (JX 與 Aisin 的 0.7kW 熱電共生機組)，這些都是高度科技化與政府大量補助的地區，台灣在可見的將來 (如五年內) 並無實際市場，只能進行引進、展示與學習的工作。

這些 SOFC 公司由於追求降低生產成本的緣故，因此生產基地有逐漸移向亞洲的趨勢，例如 Bloom Energy 的零組件來自台灣廠商，CFCL 也是委託中國大陸製作，因此零組件的供應可能成為台灣廠商的機會。如果我們觀察台灣與中國大陸現有供應商的成功模式，則可發現都是先期參與共同發展的結果，因此需要鼓勵廠商及早投入，尋找合作與代工機會，才能成功變成供應商。

根據上述的分析，台灣的研發策略應以引進、參與、學習、合作為主軸，並鼓勵與教育廠商盡量參與與投入，並尋找機會成為全球 SOFC 零部件供應鏈的一環。因此發展藍圖的建議如圖五所示，在研發方面分為基礎與應用研究，其中基礎研究則鼓勵學校教授參

與，以創新為主，人才培育為輔，題材可包括 SOFC 相關的材料、組件、系統、控制、模擬、應用等；應用研究責由核能研究所負責，進行電池組研製與組裝，以及外購燃料電池套件進行系統開發，前三年的目標為 1-2 kW，後三年的目標為 10-50 kW，最後兩年的目標為 100-500 kW。在展示推廣方面，前三年進行國外機組的展示，後三年進行國內機組的展示，最後兩年則為利用獎勵補助以推廣國內的應用。在產業輔導方面，可參考車輛零組件產業的輔導策略與措施【10】，前三年輔導零組件代工，後三年輔導設廠生產系統，最後兩年則輔導建立品牌。

圖五、SOFC 發展藍圖研議

工作項目	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
基礎研究 創新與人才 培育	材料、組件、系統、控制、模擬、應用等							
應用研究 電池研製與 組裝 引進組件開 發系統	1-2 kW		10-50 kW			100-500 kW		
展示推廣	國外機組展示			國內機組展示			推廣應用	
產業輔導	輔導零組件代工			輔導設廠 生產系統			輔導品牌	

肆、參考文獻

1. Daniel Driscoll, "SECA Program Overview - 2012." , Presented at 13th Annual SECA Workshop, Pittsburgh, PA, July 24-27, 2012.
2. "Fuel Cell RD&D in Japan", Published by Fuel Cell Development Information Center, Tokyo, Japan, 2011.
3. "Development of Fuel Cell and Hydrogen Technologies, 2009-2010", Published by New Energy and Industrial Technology Development Organization, Kanagawa, Japan, 2009.
4. "European Fuel Cell and Hydrogen Projects, Sixth Framework Programme", published by European Communities, Belgium, 2004.
5. Christian Wunderlich, "SOFC in Asia", Staxera GmbH, Dresden, German, 2010.
6. Dan Carter, Marge Ryan and Jonathan Wing, "The Fuel Cell Today Industry Review", Published by Fuel Cell Today, Hertfordshire, UK, 2012.
7. "Annual Report 2009, 2010, 2011", Published by Ceramic Fuel Cells Limited, Victoria, Australia, 2010, 2011, 2012.
8. 燃料電池“ENE-FARM”能否普及成為家庭新能源？日經能源環境網，<http://china.nikkeibp.com.cn/eco/murasawa>，2012年十月。
9. BlueGen, Next generation electricity, Published by Ceramic Fuel Cells Limited, Victoria, Australia.
10. "汽車零組件及車用電子之產業分析與投資機會"，經濟部投資業務處出版，台北市，民國九十七年。

附錄一、燃料電池發電裝置推廣補助構想

燃料電池具有低污染與高效率的優點，成為各國政府推動節能減碳與清潔能源的選項之一。目前主要採取的方式就是利用獎勵、補助、法規與教育等工具，以期達到推廣燃料電池的目的。燃料電池的發電應用雖然種類頗多，但是就能源與環保的觀點而言，只需考慮分散型、現場型與家用型機組三種應用情況。未來我國也需要加強研擬相關的獎勵與補助辦法，鼓勵與推動燃料電池的發電應用。

一、燃料電池發展現況

燃料電池係一種藉著電化學反應，直接利用含氫燃料和空氣產生電力和熱能的裝置。由於具有低污染、高效率等諸多優點，逐漸成為各國爭相研發和推廣的對象。目前發展中的燃料電池依電解質的不同，可以區分為鹼液型 (AFC)、磷酸型 (PAFC)、熔融碳酸鹽型 (MCFC)、固態氧化物型 (SOFC) 及質子交換膜型 (PEMFC) 與直接甲醇反應型 (DMFC) 等。

1960 年代時，燃料電池的發展主要做為太空船的發電裝置，1970 年代開始研發現場型發電機組的應用，1990 年代研究做為燃料電池電動車輛的動力裝置，2000 年後有些公司積極研製攜帶式燃料電池電力裝置。

1960 年代時只有美國在開發燃料電池技術，1980 年代日本政府主導投入研發行列，1990 年代歐盟各國開始積極參與。隨著全球氣候變遷公約的推動、節能減碳風潮的興起、綠色產業潮流的衝擊，2000 年以後，幾乎全球各國都已加入研究、開發與推動的陣營。

根據目前全球燃料電池的研發現況，燃料電池的應用主要可分為發電與運輸兩大項，但是還有一些其他的應用，如圖一所示。

在發電應用方面，早期偏重 PAFC 現場型機組，後來開發分散型電廠，種類包括 PAFC、MCFC 與 PEMFC，同時 SOFC 也是一種普受重視的選擇。現行的燃料電池發電應用大多集中於家用型機組、攜帶式機組與備用發電機。家用型機組使用天然氣為燃料，由於利用現有的天然氣管路，沒有燃料週邊系統建置的問題；而且可視為一種新的家電產品，如果推廣成功，市場當然是極為龐大。



圖一 燃料電池的應用

攜帶式機組的能量密度較高，可望取代鋰電池等傳統電池，而且使用小型燃料卡匣或容器，容易攜帶、運送與購買，顯然相當方便。備用發電機的燃料使用高壓儲氫瓶，可做為通信基地台的斷電備援，使用時間較傳統鉛酸電池高出數倍以上，在一些偏遠、海島、山間，或容易遭受水災或地震侵襲的地區，顯然有使用的必要性。

我國也有不少機構、學校與公司在開發燃料電池發電機組，例如工研院、核研所、中科院等，以及大同、中興電工、真敏、博研

等公司，產品種類包括家用型機組、攜帶型機組與備用發電機。這些機組大多使用純氫為燃料的 PEMFC 系統，少數為使用甲醇的 DMFC 系統。其中只有工研院與大同公司曾開發使用甲醇或酒精為燃料的發電機組，必須利用重組器將燃料轉換為含氫的重組氣，做為燃料電池的進氣。一般家用型機組大多使用天然氣，但是我國的天然氣重組器技術尚未成熟。

在運輸應用方面，全球主要車廠都有氫能燃料電池汽車在進行示範運行，但是加氫站的建置是一項非常巨大的工程，需要資金與時間才能解決。氫能燃料電池巴士也是各國開發的重點項目，由於運轉路線固定，因此加氫站的數量要求有限，似乎較容易商業化。其他在研發中的車種很多，包括大如火車、小如自行車與機車，甚至船艇與飛機等。其中有兩項產品的商業化較有機會，一種是物流中心使用的氫能燃料電池堆高機，只要與氣體公司簽屬協議，請其固定提供氫氣，即可解決燃料供應問題。另一項是貨運卡車、船艇或飛機在停車狀態使用的補助電力系統，不需啟動引擎即可獲得一些電力，供給司機或機艙人員使用。

我國研發的燃料電池車輛，除有一些研究機構與公司開發自行車外，主要為亞太燃料電池公司、台全電機公司與光陽公司開發燃料電池機車，並且開始或準備進行示範運行。此種機車採用合金儲氫罐做為充填氫氣的燃料罐，並且採用交換站做為補充燃料的方式，因此燃料週邊系統的建置較為容易。

在其他應用方面，歷史最久的為航太工業的太空船電力供應系統，後來也有使用燃料電池做為水下電力供應源的柴油潛艇，另外就是做為玩具或教具使用的小型燃料電池。最近小型燃料電池組被用來取代無人偵測飛機的鋰電池組，相同重量的飛行時間可有效提昇，因此具有商業化應用的價值。我國已往在燃料電池玩具與搖控

飛機都有產業基礎與實績，此種新的燃料電池無人偵測飛機直的重視與發展。

在各種應用中，對能源與環境影響最大者應是汽車與電廠，然而進入市場最快者可能是可攜式與家用型發電機組。目前較有潛力商業化者如下：

- 通信基地台用備用發電機
- 使用天然氣的家用型發電機
- 行駛市區的燃料電池巴士
- 物流中心使用的燃料電池堆高機
- 軍人隨身攜帶的小型電力組
- 無人偵測飛機的小型電力組

二、燃料電池發電應用

燃料電池的發電應用雖然種類頗多，但是可攜式機組與備用發電機使用的能源都非常有限，因此就能源與環保的觀點而言，只需考慮分散型、現場型與家用型機組三種應用情況。

有關燃料電池的發電應用如圖二所示，早期偏重開發 50 kW、200 kW 等容量的 PAFC 現場型機組，提供商業大樓或工廠使用，台電公司樹林電力綜合研究所在 1995 年也曾經安裝與測試一座 200 kW 的機組。經過長達二十多年的技術驗證，PAFC 現場型機組大致成功，但是由於價格無法下降，因此也就無法推廣。後來轉為展示 1 MW 以上的 PAFC 分散型電廠，目前也有使用 MCFC 與 PEMFC，其中以 MCFC 的安裝個案較多，技術也逐漸成熟，但是價格尚未達到商業化。由於我國燃料電池機組技術顯著落後先進國家，而且並

無研發分散型與現場型機組，因此現階段如要安裝與測試此種機組都需仰賴進口。



圖二 燃料電池發電應用現況

雖然有許多研發家用型發電機組的公司，產品也大致成熟，但是市場上主要積極推動者為美國的 Plug Power 公司，以及日本的一些家電公司，使用的燃料為天然氣，可同時提供電力與熱水。我國目前並無生產使用天然氣的家用型燃料電池機組，但是有 PEMFC 燃料電池組與甲醇重組器的技術基礎，只需整合國外的天然氣重組器技術，就會有生產此種機組的能力。

燃料電池由於具有低污染與高效率的特性，屬於一種綠色能源發電裝置。與傳統利用石化能源的鍋爐或引擎發電裝置比較，燃料電池發電效率比較高，因此係為一種節約能源與提升能源使用效率的發電裝置。至於燃料電池使用的燃料主要為氫氣，或者含有氫氣的混合氣體，例如將石化能源利用重組技術產生的重組氣（混合氫氣），也可使用煤炭氣化後的合成氣等。以天然氣為例，利用天然氣

重組器將燃料經過重組等反應，轉化為含有氫氣的氣體（重組氣），即可做為燃料電池組的反應物。

燃料電池的燃料除氫氣外，也可直接使用碳氫化合物，例如甲醇、甲酸、乙醇等，例如直接甲醇反應型、直接甲酸反應型或直接乙醇反應型燃料電池。此種燃料由於為液體型態，因此燃料儲存與攜帶較為容易，但是反應效率較差，單位成本較高，較適合做為小型玩具或可攜式電力使用，不適合做為家用型或現場型等發電方式使用。

如果考慮燃料的來源與種類，可將燃料電池發電裝置區分為再生能源型、節約能源型與資源再生型三種，如圖三所示。



圖三 燃料電池發電應用分類

再生能源型燃料電池發電機組使用的燃料，就是利用再生能源產生的氫氣，或是垃圾掩埋場與動物排泄物產生的沼氣。根據再生能源發展條例的用詞定義，所謂再生能源是指太陽能、生質能、地熱能、海洋能、風力、非抽蓄式水力、國內一般廢棄物與一般事業廢棄物等直接利用或經處理所產生之能源，或其他經中央主管機關

認定可永續利用之能源。再生能源發電後產生的電力可用於電解純水，因而即可產生與收集電解的氫氣做為燃料電池的燃料。至於沼氣則需收集後，先經過脫硫淨化後，再經過重組器將其中的甲烷反應成含氫的氣體，以做為燃料電池的燃料。此外，如將農業廢棄物直接氣化，以及利用細菌分解成甲烷或氫氣，使用此種燃料也可算是屬於再生能源型機組。

節約能源型燃料電池發電機組使用的燃料，就是利用石化能源做為燃料，或者石化能源的衍生物。例如利用天然氣、甲醇、LPG、柴油等，搭配重組器產生含氫氣體做為燃料；利用石化能源發電廠的離峰電力，進行純水電解製成的氫氣；利用天然氣、甲醇、重油裂解製成的氫氣；或者利用煤炭氣化產生的含氫合成氣等。由於這些燃料的來源都是使用石化能源，因此只具有節能或環保效益，或是產生能源使用效率提升的效果，並無法真正的取代石化能源。

資源再生型燃料電池發電機組使用的燃料，就是利用鹼氣廠或石化廠的廢氫氣，加以純化或淨化處理後，所得到的含氫氣體。有些工廠與製程所排放的廢氣中，氫氣的濃度相當高，就可能具有利用做為燃料電池發電裝置燃料的價值。此種應用屬於資源回收與利用，但是只有在少數特定的工廠才有機會。

三、燃料電池發電補助

目前世界各國都將燃料電池技術開發與推廣列為重點工作，並利用獎勵、補助、法規與教育等工具，以期達到推廣燃料電池的目的。以美國加州為例，就曾經採取下列辦法，推廣燃料電池發電機組：

- (1) 加州電力公司委員會的自用發電計畫，補助商業建築與大型

機構等電力用戶安裝再生能源式燃料電池發電系統，安裝容量為 30kW-1MW，補助金額為 US\$ 4.50/Watt，上限為安裝費用的 50%。

- (2) 加州能源委員會的補助計畫，包括大型與小型系統，第一種補助對象為 1MW 以下的再生能源式燃料電池發電系統，補助金額為 US\$ 4.50/Watt，上限為安裝費用的 50%；第二種補助對象為 1.5MW 以下的熱電共生型燃料電池發電系統，補助金額為 US\$ 2.50/Watt，上限為安裝費用的 40%。

根據上述的補助規定，再生能源型與節約能源型機組的補助標準顯然不同，前者安裝補助費用為 US\$ 4.50/Watt，而後者為 US\$ 2.50/Watt；同時補助費用的上限也不同，前者為 40%，而後者為 50%。雖然再生能源型機組的燃料費較低（或者是免費能源），但是整體系統效率也較低；同時再生能源型機組需要增加能源轉換裝置，例如再生能源發電裝置與純水電解設備等，因此系統費用較高，因而造成補助費用的差異。

已往我國燃料電池的發展只在研發階段，去年（2009 年）才開始進入示範運行階段，未來將會進入推廣與商業化階段，因此研擬燃料電池發電補助就成為需要開始研究的課題。目前進行的示範運行計畫，主要是利用氫氣運轉的發電機組，補助費用大致為機組製造費用的 50%，同時幾乎全額補助燃料費用。未來技術較為成熟後，補助費用與方式應當與示範運行的標準有所不同。

去年我國通過再生能源發展條例，接著通過電能躉購費率，相關標準如表一所示。在各種類別的補助中，不考慮融資因素時，以 1 瓩以上至 10 瓩太陽光電似乎對安裝者最為有利，除提供 5 萬元/瓩的設備補助外，躉購電價約為 13 元/度。燃料電池不像再生能源屬於技術成熟的產品，同時再生能源型機組需要較高的安裝費用，

節約能源型機組則需要支付燃料費用，因此上述的補助標準也不見得就具有足夠的商機，此為非常值得研究與分析的課題。

表一 各種再生能源電能躉購費率

再生能源類別	電能躉購費率(元/度)
1 瓩以上至 10 瓩太陽光電*	11.1883
10 瓩以上至 500 瓩太陽光電	12.9722
500 瓩以上太陽光電	11.1190
1 瓩以上至 10 瓩風力	7.2714
10 瓩以上風力	2.3834
風力發電離岸系統	4.1982
川流式水力	2.0615
地熱能	5.1838
生質能	2.0615
廢棄物	2.0879
其他	2.0615
* 基於國內融資體系尚未完備之前，就 1 瓩以上至 10 瓩太陽光電設置案， 另外提供 5 萬元/瓩設備補助。	

燃料電池發電機組就是一種汽電共生系統，顯然適合使用汽電共生系統推廣辦法。根據如表一所示。根據汽電共生系統實施辦法的規定，汽電共生系統必須符合有效熱能比不低於 20%，總效率不低於 50%者，得向經濟部能源局申請登記為合格汽電共生系統，並

享有相關獎勵優惠措施，此種措施如表二所示，包括融資優惠、租稅減免、燃料價格優惠與電力收購價格等。

參考台電公司營業規則及施行細則，「合格汽電共生系統所產生之電能除自用外，剩餘電能得由本公司收購之，購電費率標準依本公司與合格汽電共生系統經營者相互購電辦法計算」。此種購電費率低於一般買電費率，對燃料電池發電機組而言，顯然幫助不大，但是融資優惠、租稅減免與燃料價格優惠還是有所助益。

由於燃料電池發電機組尚未成為真正商業化的產品，因此各公司的產量都非常有限，不能達到經濟規模，因此現階段的價格都是偏高。如果就現有的購置費用計算，具有誘因的補助費用應該不是合理的數目，必須等到產量與成本降到某種程度，才可達到政府、產業界與消費者皆可接受的程度，這是各方必須共同努力的工作。

表二 汽電共生系統優惠措施

獎勵措施	相關規定
融資優惠 (行政院開發管理基金)	汽電共生用戶購置汽電共生設備得向政府機關指定銀行(交通銀行與 29 加工民營銀行)申請辦理低利融資貸款
租稅減免 (促進產業升級條例相關規定)	汽電共生股份有限公司購置汽電共生裝置，可以使用二年加速折舊，同時支出金額的 5%-20% 得以抵減當年應繳納營利事業所得稅
燃料價格優惠 (汽電共生推廣辦法第四章)	一、中國石油公司直接供應者，按主管機關核定之汽電共生系統用氣優惠價格計價。 二、由各地區公用氣體燃料事業供應者，其基本氣費比照中國石油公司直接供應者外，另加收由該事業代為供氣之輸氣費，該輸氣費由合格系統經營者與各地區公用氣體燃料事業個別議定。若雙方無法取得協議時，得申請主管機關調處。
電力售價價格 (汽電共生推廣辦法第六章)	一、合格系統所產生之電能除自用外，剩餘之電能由電能供應事業收購 二、剩餘電能之購電費率得另按主管機關核定之優惠價格計價。

資料來源：當前汽電共生法規問題研討會(2001,10/5)

四、未來研究方向與建議

本文說明燃料電池發電應用與補助的關資料，根據此種現況分析與檢討，未來研究方向與建議如下：

- (1) 收集國外燃料電池發電裝置研發與推廣進展狀況，以及補助政策與經驗。
- (2) 研究國內現行燃料電池發電裝置開發與示範運行狀況，瞭解商品化的售價、時程與潛力。
- (3) 燃料電池發電機組常用的燃料是天然氣，國內目前並無較為成熟的天然氣重組器技術，需要設法引進。
- (4) 未來補助方向的提議可能分為兩種，非再生能源型燃料電池發電系統採用安裝補助，再生能源型則增加購電補助。
- (5) 就兩種應用情況，分別選定一個個案進行系統研究、經濟效益分析與環保效益評估。

附錄二、淨煤計畫產業關聯分析

一、上中下游產業關連分析

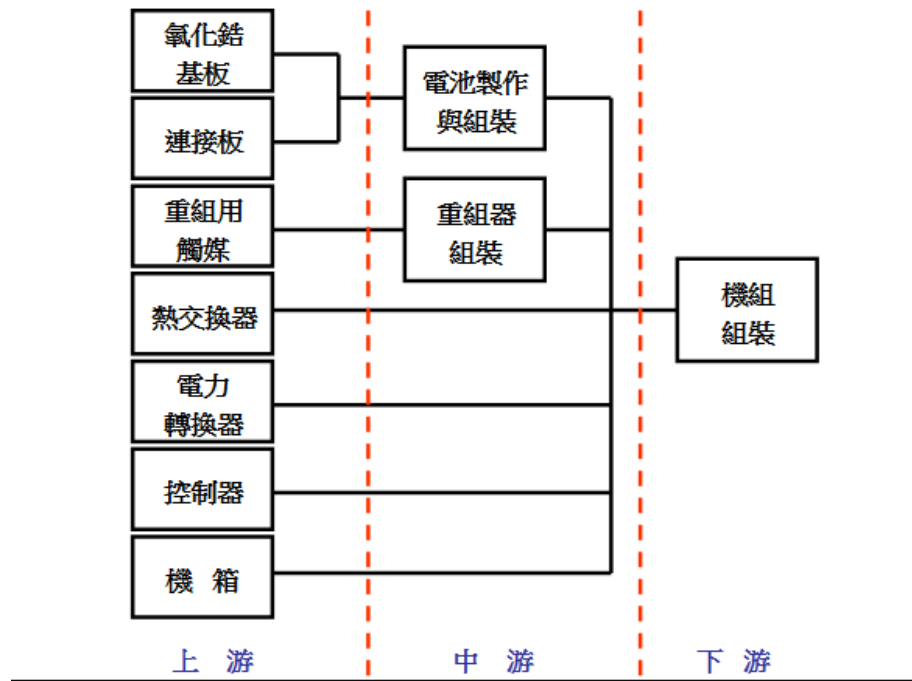
固體氧化物燃料電池屬於第三代燃料電池，為一種可直接將儲存在燃料和氧化劑中的化學能轉化成電能的固態化學發電裝置。單體燃料電池主要由電解質、陽極（燃料極）、陰極（空氣極）組成；電池組則由單體電池和連接板（雙極板）組成。

早期開發出來的 SOFC 的工作溫度較高，一般在 800~1000°C，目前已經研發成功的中溫固體氧化物燃料電池，工作溫度一般在 800°C 左右。一些實驗室也正在努力開發低溫 SOFC，工作溫度更可以降低至 650~700°C。

實際操作時，在陽極側通入燃料氣，例如氫氣、甲烷、城市煤氣、液化石油氣 LPG 等，具有催化作用的陽極表面吸附燃料氣體，並通過陽極的多孔結構擴散到陽極與電解質的界面。在陰極側通入氧氣或空氣，具有多孔結構的陰極表面吸附氧氣，由於陰極本身的催化作用，使得氧氣分子得到電子變為氧離子。在化學勢的作用下，氧離子進入固體電解質氧離子導體，然後到達陽極的界面，與燃料氣體發生反應，失去的電子通過外電路回到陰極，因此可持續產生電力。

一個完整的 SOFC 機組，必須搭配燃料處理系統與電力轉換及控制系統。如果採用自熱性重組器較為簡單，但必須引入部分空氣進行燃燒，以提供重組反應所需的熱源。目前整個機組係用一個機組組裝，一般稱為熱箱（Hot Box），即可將所有組件安裝於內，以方便搬運與現場安裝。

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，詳如下圖。



圖一 SOFC 發電機組產業架構

SOFC 機組的詳細組成，可分為電池組、燃料與空氣系統、轉動設備與輔助配套組件，詳如表一。

台灣雖仍無 SOFC 電池組與機組組裝的能力，但是卻具有燃料電池零組件製造的實力，也是廠商可以參與及發展的機會。目前參與 Bloom Energy 公司組件共應的廠商有三家，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。

九豪曾供應美國一家 SOFC 公司所需的氧化鋯陶瓷基板，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。

表一 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

附錄三、固態氧化物燃料電池國際現況分析

全球氫能燃料電池產業日漸蓬勃，其中又以固態氧化物燃料電池(Solid Oxide Fuel Cell，簡稱：SOFC)為主，是所有燃料電池中發電效率最高、製造成本相對較低的一種，除此之外，SOFC 運轉時的高溫也可應用在增加發電效率或暖氣供應，適合定置型使用，如：家用獨立發電系統、發電廠等，應用範圍及市場極為廣大是未來燃料電池市場的主力之一。

本文主要目的以了解各國 SOFC 的目前市場、政府對於 SOFC 政策之推行、銷售市場現況及預測以及各國驅動與障礙為主。台灣 SOFC 的發展與各國相比，在進程上有相當的落差，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。相較之下，目前台灣 SOFC 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、市場及廠商有助於政府制定相關政策，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，加速固 SOFC 的產出，有助於增加台灣產業在 SOFC 市場的立基。

一、美國

美國在全球 SOFC 市場具有領導地位，自 SOFC 使用於 NASA 時就對於 SOFC 非常有興趣，也致力於發展 SOFC 相關產品。由於較早進行 SOFC 開發，許多 SOFC 主要廠商皆位於美國，如：Siemens Westinghouse, Cummins Power Generation, Delphi Corporations。這些公司在 SOFC 領域投資數十年之久，另外美國也有許多相對小型的

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，也確保美國在 SOFC 市場的競爭優勢，為發展潛力最高的國家。



圖 1、美國參與 SOFC 研究、開發廠商分布。

資料來源：美國 SECA 網站

美國能源局(DOE)成立 SECA(Solid State Energy Conversion Alliance)支持 SOFC 的研發，經由此計畫鼓勵許多廠商在 SOFC 領域參與研究和發展工作。SECA 負責監督及協調各項活動的組織；產業團隊經由公開招標程序徵求參與者共同合作、資助計畫，充分利用產業基礎設施來降低燃料電池的生產成本，同時利用政府資金進行研發；核心技術團隊則包含境內各大專院校、國家級實驗室與以研究為目的之組織，團隊目標為解決 SOFC 在材料、使用時限以及系統等，各方面的技術問題。藉由產業團隊突顯出產品使用上的需求以及障礙，轉化為核心技術團隊的研究主題，SECA 期望完成具成本效益，且在價格上能為一般民眾所能接受的 SOFC 產品。



圖 2、SECA 組織結構

資料來源：美國 SECA 網站

SECA Mission

- *Enable the generation of efficient, cost-effective electricity from domestic coal with near-zero atmospheric emissions of CO₂ and air pollutants (99% CO₂ capture) and minimal use of water in central power generation applications.*
- *Provide the technology base to permit grid-independent distributed generation applications.*

60% Efficiency (Coal HHV)	≥ 99% CO ₂ Capture	Environmental: <0.5ppm NO _x , low H ₂ O use	Low Cost, similar footprint to IGCC	Modular Technology	Fuel-Flexible: Syngas, NG, H ₂ , Diesel, etc.
---------------------------------	----------------------------------	---	---	-----------------------	---

圖 3、SECA 主要任務

資料來源：美國 SECA 網站

SECA 產業上的具體目標是在 2011 年 SOFC 產品能以每千瓦 400 美元的價格發電，另外預計研發 5kW 的裝置，將 SOFC 應用於家庭、

手機與軍隊使用之可攜式產品。技術上的具體目標則為降低 SOFC 的製造成本，並加速 SOFC 產品的商業化進程。SECA 計畫進行後，許多 SOFC 之領導廠商都參與其中，各自在其研究領域有所成果，並且陸續完成 SECA 定下的多項目標，是該計畫最引以為傲的成果。

美國 SOFC 市場自 2007 年起至 2010 年的銷售狀況，2007 年 SOFC 的銷售額為 543 萬美元，2010 年的銷售量成長至 1527 萬美元。而 2011 年至 2015 年之數值是以目前狀況推估之銷售量，預計在 2015 年時，銷售量將達到 4680 萬美元。接著為美國市場中，不同發電量產品之市場份額，由表可觀察到，2004 年 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)之佔有率分別僅有 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%。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，加上石化燃料缺乏、核災事件之雙重衝擊之下，SOFC 產品的應用可望拓展，期望未來相關材料及技術有所突破，中型、大型 SOFC 發電裝置能與目前發電方式共存，減少石化燃料的使用、降低核能危機，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。

表 1、美國 2007 年至 2015 年利潤及走勢預測(單位：百萬)

Year	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Sales	5.43	7.91	11.1	15.2	20.6	26.4	32.9	39.9	46.8
			2	7	6	9	1	7	

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

表 2、美國 SOFC 市場：各容量產量比重(單位：百分比)

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

在美國仍有相當動力驅使 SOFC 研究的進行，首先，全球對於 SOFC 定置型電源的需求仍在擴大當中；第二，各家廠商為了拓展 SOFC 的市場，持續 SOFC 之研究，提高產品性能、延長其使用時間；第三，預測未來五年內會有大型電力公司參與 SOFC 的研究，嘗試使用 SOFC 代替原有發電方式，驅使 SOFC 電廠之發展；第四，美國是 SOFC 領導廠商的大本營，如同前述：Siemens Westinghouse, Cummins Power Generation, General Energy Company 等，其他如 Acumentrics, Global Thermoelectric, Fuel Cell Technology 等較小廠商，都至少有一項產品在市場上流通，相互競爭的狀況下，迫使各家廠商產品不斷精進。

在發展上有動能，相對也一定會有其阻礙，首先是技術障礙，SOFC 裝置運轉時產生的高溫，讓電解質以及週邊材料產生衰退現象，降低 SOFC 裝置使用壽命，使 SOFC 的發電價格上升；第二是價格障礙，如同第一項所述，SOFC 發電價格居高不下，除非在政府補助之下，其發電價格才具有競爭力，在未來沒有政府補助的狀況

況下，發電價格勢必使 SOFC 裝置窒礙難行；第三，昂貴的製造技術以及 SOFC 系統的複雜性，會嚇阻新開發商及製造商的進入，無法提升整體競爭力；第四，美國政府日前在國會打算刪減 SECA 的預算至 0，雖然在國會議員的努力之下，未將預算完全刪除，但未來 SECA 在美國能源發展之路可能會有些微顛簸，另外，許多州撤銷能源災害管制規定，不利 SOFC 產品的銷售；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，影響中小型廠商生存，如：SOFC-EFS Holdings LLC 與 ZTEK Corporations，這些公司專注於 SOFC 商品的開發，使他們在計畫組織、資金運用上更為重要。

二、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，歐盟發展策略的第一步為確立整體能源政策長期目標，再以各種技術致力達成。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。

遲至 2003、2004 年，歐洲才將 SOFC 的性能及商品公諸於世，歐洲 SOFC 產品尚未進入大規模示範實證，但在歐洲科技列強原有的基礎之下，可以預見歐洲是一個 SOFC 產品極具發展潛力的市場。在高技術及高資金風險之下，只有少數公司進行研發，與北美市場比較，歐洲的競爭狀況較為緩和。雖然目前歐洲各國政府針對 SOFC 資助力道不如美國來的強勁，但在全球競爭之下，可能改變政府在 SOFC 發展的政策。

歐盟對於氫能與燃料電池發展根源自歐盟能源政策。歐盟能源發展目標，短中期以 1990 年為基期，希望在 2020 年達成 2020(三個 20)目標，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。

歐盟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，現階段此計畫已經執行至第七期，簡稱為 FP7(執行期間為 2007~2013 年)，在 FP7 中包含許多發展項目，氫能與燃料電池為其中之一。FP7 中氫能與燃料電池統合由 FCH JU(Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking)負責各計畫的協調。

Topic No.	Topic	Acronym	Project goal
S01	Fundamentals of fuel cell degradation for stationary power application	ROBANODE	anode development with improved coking behavior
		SOFC-Life	analysis and modeling of electrode and contact degradation
S02	Materials development for cells, stacks and balance of plant (BoP)	SCOTAS	redox stable anodes
		RAMSES	metal supported cells
S03	Next generation stack and cell design		(*)
S04	Operation diagnostics and control for stationary applications	GENIUS	systems control avoiding degradation
		DESIGN	
S05	Component improvement for stationary power applications	ASSENT	anode gas recycling concepts
		FC-DISTRICT	BoP components for small scale CHP units
S06	Proof-of- concept fuel cell systems	ASTERIX 3	small scale CHP unit
S07	Validation of integrated fuel cell systems readiness		(**)
S08	Market capacity build and field demonstration of stationary fuel cell systems		(**)

(*) not called for in 2008/09

(**) not called for in 2008, no SOFC applications in 2009

圖 4、歐盟研發計畫主題

資料來源：Steinberger-Wilckens, R. (2011). European SOFC Technology – Status and Trends. ECS Transactions, 35 (1) 19-29.

表 3：歐洲各國 2007 年至 2015 年利潤及走勢預測

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 (單位：百萬)

整體歐盟市場於 2007 年之收入為 12.85 萬美元，至 2010 年時，市場銷售為 35.67 萬美元，成長了 2.7 倍，並預估在 2015 年時達到 102.16 萬美元，預估成長約為 2007 年的八倍之多。2007 年至 2015 年間的複合年增長率為 29.6%。

在歐盟市場中，又以德國、英國、法國以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%，上升了五個百分點，而英國 26.38%，下降了 1.87 個百分點。可以觀察到歐盟市場主要以德國為主，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%，主導了歐盟的成長，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 4：歐洲固定式 SOFC 市場：各容量產量比重

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 (單位：百分比)

表 4 為不同發電容量的產品在歐盟市場中的比重，由表 4 數據上可以了解，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，歐盟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，出現之後銷售市場份額便超越 10-50kW 的產品，其市場份額為 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 裝置可能是應用範圍恰巧介於小型家用裝置以及中型企業裝置之間，故其應用之範圍受到夾擠，致使市場份額一直無法擴大。

SOFC 製造成本過高的問題相同存在於歐洲，運轉時的高溫高壓使 SOFC 在材料的選擇上需要非常謹慎，在採用耐高溫高壓的材料時，其價格也相對提高，進而增加 SOFC 的整體成本。燃料電池技術在歐洲相較於美國較具有價格彈性的意識，在其他再生能源紛紛推出與其競爭時，歐洲更致力於降低其產品價格，嘗試以減少 SOFC

運轉溫度來降低成本，並利用價格便宜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，然而在低溫下的能量轉換效率仍受到質疑，需要進一步研究相關議題。再者，歐洲地區發電公司目前多以傳統方式發電，並且其發電設備精良，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很難生存。但 SOFC 在位處於寒帶的歐洲也存在相對優勢，由於地域關係，需要大量暖氣供應，SOFC 的優點之一就是能在運轉時提供熱能，進而轉換成暖氣供應系統，同時進行發電及暖氣的供應，為一市場發展優勢。

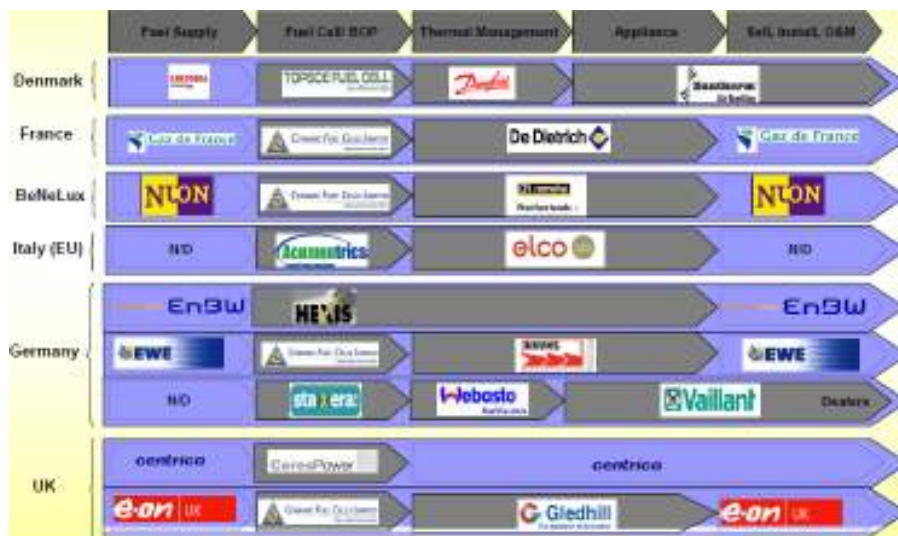


圖 5、歐盟各國參與研究之廠商

資料來源：Steinberger-Wilckens, R. (2011). European SOFC Technology – Status and Trends. ECS Transactions, 35 (1) 19-29.

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

外多年前發生於歐洲東部之車諾比事件，以及日前發生之日本福島核災事件，都對歐洲的能源政策造成相當衝擊，就德國能源政策來看，德國於今年五月三十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，這些國家都已開始積極實施大規模運轉，待其計畫完成後，進行相關標準與法規制定程序，儘管歐盟步調略遜一籌，在廢核政策的推動下，可望加速 SOFC 技術的研發。

三、日本

發展過程與歐洲雷同，日本也是一個較慢開始發展 SOFC 技術的新興市場，但發展起因卻與歐盟大相逕庭，日本多數能源以及石化燃料皆仰賴進口，易因石化燃料價格造成國家經濟波動；與歐洲不同的是日本為單一國家，亦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，因此該國能源政策便是以燃料電池替代原有石化燃料發電，降低石化燃料的依賴程度。因此日本政府為了降低能源進口的依賴度，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)，結合政府與學、產界力量共同研究新能源等相關議

題，而 SOFC 正是其中一項，加上日本政府傾向利用效率高同時顧及環境保護的方式來發電，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 有非常樂觀的預測。

日本政府目前發展 SOFC 的主要目的著重於家用 SOFC 熱電共生系統之商業化，為了推動 SOFC 的研發及拓展其市場，於 2007 年實施「SOFC 示範研究(FY2007-FY2010)」計畫及於 2008 年進行「SOFC 系統及基礎技術之發展(FY2008-FY2012)」計畫。

與內燃機和其他燃料電池相比，SOFC 具有產電效能高的特性，並且能使用多種不同的燃料發電，如天然氣、煤氣。除此之外，SOFC 有較少的氮氣排放量，所以對於將系統應用於小型分散系統至大型發電廠寄予厚望。另一方面，SOFC 有技術上的問題，如：改進耐久性、可靠性以及降低成本。因此 NEDO 在此計畫中促進基礎研究與初級技術，就是為了解決這些問題。此計畫執行期間自 2008 年至 2012 年，共五年。過去三年的總預算大約為 4 千 3 百萬元，各年經費使用狀況如表 5 所示：

表 5：「SOFC 系統及基礎技術之發展(FY2008-2012)」計畫經費預算

年份	使用經費(百萬)
2008	18
2009	16
2010	9

資料來源：Hosoi, K., Ito, M. and Fukae, M. (2011). Status of National Project for SOFC Development in Japan. ECS Transactions, 35 (1)

11-18.

圖 6 為計畫項目，共有 15 個組織 (2 個研究機構，6 個大學及 7 間公司)參與此計畫。而 NEDO 委任 Harumi Yokokawa 教授作為先進工業科學與技術研究院之領導人。此外，NEDO 另外邀請六位外部專家，定期舉辦諮詢會議。計畫中分為兩個項目，分別為：常見問題之研究與發展、改進實際效能之技術發展，這兩個項目又各自由兩個子議題構成，計畫介紹如下：

首先常見問題之研究與發展分為耐久性與可靠性之基礎研究以及應用技術降低電池堆成本，第一個子議題研發的具體目標為 40000 小時的運行(1000 小時內，伏特下降率少於 0.25%)，研究減少衰退的機制如：熱力學、化學分析、機械分析儀、三相邊界及微結構變化、耐久性測試、微雜質之影響等。第二個子議題主要目的在於減少材料之成本。在電池堆製造商(TOTO, MMC, MHI)及材料供應商(Hitachi Metals, AGC, KCM)的合作之下，開發更進一步的技術，來降低金屬互連成本與電極成本，目標在計畫期限內將電池棧成本降至\$625/Kw。

再來是改進實際應用效能之技術發展，底下的兩個子計畫稱為改進啟動技術之操作度問題以及高壓運行技術。SOFC 系統安裝於商業設備需要對於啟動-停止週期操作性以及負載量變化之彈性。因此，為了運行的平順與安全，TOTO 與 MMC/KEPCO 致力於維持啟動-停止技術與電池堆及模組結構之高可靠性。第一個子議題的最終目標為預期 5-10Kw 的系統或熱能維持系統模組能夠運行 40000 小時以上。第二個子議題針對系統在高壓運行之下，期望能使天然氣 SOFC 混和燃料動力系統之發電效能能達到 70%以上、煤氣化聯合循環燃料電池有超過 60%發電效能，並且要確保在高壓下，結構之耐久性及容忍度，還要確保混和動力系統的保護連鎖系統能在啟動過程、正常運行以及緊急停止過程的狀況下能運作。

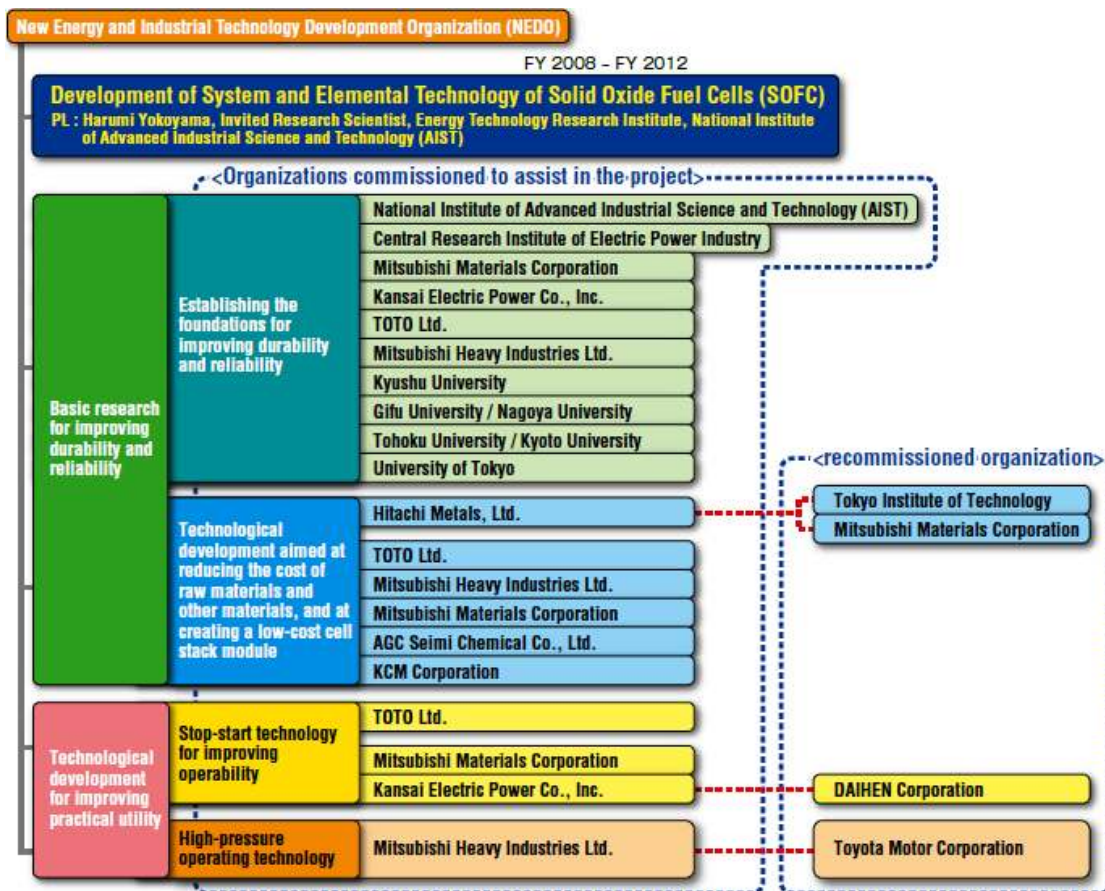


圖 6、日本 NEDO 計畫

資料來源：日本 NEDO 官方網站

第二個計畫是 SOFC 示範研究 (FY2007-FY2010)，SOFC 系統在實際乘載環境下運行，利用所獲得之測量數據資料進行分析和評估，以了解固態氧化物燃料電池系統在商業化之前要解決的技術問題，如圖 7 所示。

這個研究自 2007 年開始，結束時間為 2010 年，四年計畫之總預算共 3 千 7 百萬元，各年經費使用狀況如表 6 所示。

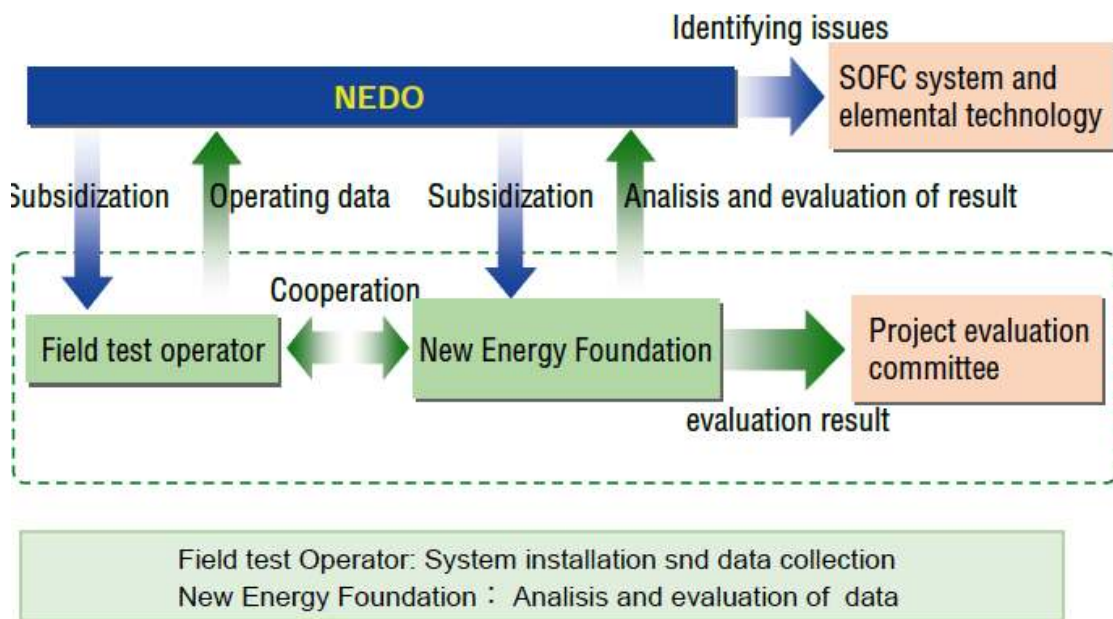


圖 7、日本 NEDO 計畫

資料來源：日本 NEDO 官方網站

表 6：「SOFC 系統及基礎技術之發展(FY2008-FY2012)」計畫經費預算

年份	使用經費(百萬)
2007	10
2008	10
2009	9
2010	8

資料來源：Hosoi, K., Ito, M. and Fukae, M. (2011). Status of National Project for SOFC Development in Japan. ECS Transactions, 35 (1) 11-18.

計畫中使用的 SOFC 為 0.7Kw 系統，一台補助金額約七萬五千元，須符合以下研究規格：

- 相關電力輸出需介於 0.5kW 至 10kW
- 系統之耐久性需要能運行超過六個月
- 系統能同時使用電力及熱能(熱電聯產系統)

調查至 2010 年 12 月，共安裝了 132 台 0.7-8kW 之系統，在接下來計畫中，將會安裝 101 台 0.7 kW 之系統。示範運轉結果頗有成效，如早期安裝之系統中，已有系統完成兩萬五千小時之運轉，接著安裝之裝置也有能力運轉至四萬小時，水泵及其控制系統也有顯著改善；在產能效率方面，平均效率接近 35%，而在接近額定輸出量時，平均產能約為 40%；另一項顯著的貢獻是主要能源使用量與二氧化碳排放量的下降，假設每月使用 500Kw 之客戶，主要能源使用減少約 16%，平均二氧化碳排放量下降接近 34%，對電量有大量需求之客戶，主要能源使用量降低約 30%，而二氧化碳降低量約 45%。

另外日本 SOFC 上中下游廠商也合作研發，主要有三股研發勢力：首先是 Kyocera，Kyocera 與 TOYOTA、AISIN、Osaka Gas 共同研發小型高效率 SOFC，Kyocera 擔任關鍵組件之開發、Osaka Gas 發展熱交換與儲水裝置、TOYOTA 和 AISIN 負責系統整合，共同合作除了加速開發進度，更可以分擔研發成本，預計在 2014 年將其共同研發產品商業化。

第二是 TOTO，TOTO 原本主要業務即為製作陶瓷產品，因此利用其原有基礎開發 SOFC 電池組，與其合作之廠商有 Mitsubishi Heavy Industry、Mitsubishi Material、Kansai Electric Power，共同參與 NEDO 的 SOFC 開發計畫，目標是提升產品的耐久度。

Demonstrative research

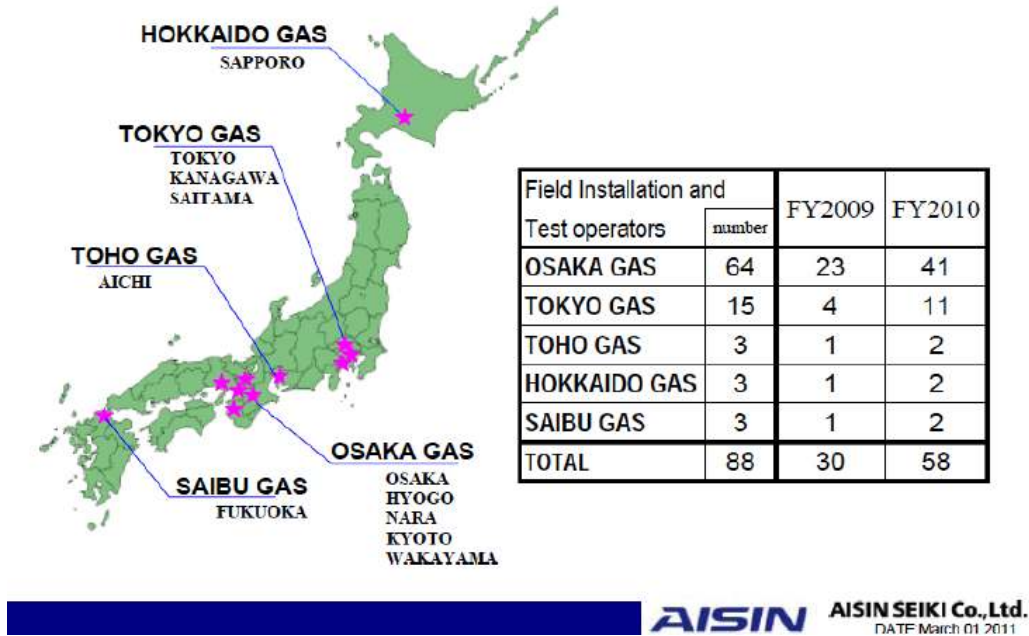


圖 8、日本 NEDO 示範運行廠商

資料來源：<http://www.aisin.com/>

最後是 ENEOS，ENEOS 目前是日本 PEMFC 家庭用燃料電池系統市佔率最高的廠商，以其原有研發 PEMFC 的技術為基礎，應用於 SOFC 的研發，並且實行 SOFC 運轉測試，收集實際資料、改善電池操作溫度等。

表 7、日本 2007 年至 2015 年利潤及走勢預測(單位：百萬)

Year	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Sales	6.33	8.67	11.7	15.7	20.6	26.1	32.4	39.3	45.6
			3	8	3	8	8	5	2

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 年至 2010 年銷售額成長了 2.5 倍，以目前狀況推估再 2015 年時，售量將達到 46.62 萬美元。

九州是日本四個主要島嶼之一，也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都進行資助及研究燃料電池的發展，另外在該地區進一步發展基礎設施，以便更多燃料電池相關技術的倡議發展並且研究學者提供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，更可以藉此吸引外國投資。

日本能巧妙融合傳統與現代技術，也就難怪該國擁有 SOFC 廣闊的市場前景。另外在日本，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 SOFC 的發展瓶頸之一。國家發展的速度及快速的開發腳步，吸引國外公司的投資，特別是北美的公司，在日本市場砸下重金。此外，許多日本企業與外國公司合作努力生產可銷售之 SOFC 產品，以早日達到商品化階段。跨國聯盟與技術的合作是目前 SOFC 發展的常態，例如日本 Ebrara 公司與加拿大 Ballard 電力系統公司合資，成立一家 Ebrara Ballard 公司，專門研究及將 SOFC 商品化，Ebrara 公司持有該公司 51% 的股份，而 Ballard 公司則持有 49% 的股份。

日本在經歷福島核災後，雖無法立即廢核，但可以預見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。另外，日本目前是全球示範運行規模最大的國家，目前示範運行計畫也快告一段落，預估 2014 年將會是第一個開始制定相關標準的國家，雖然日本研究 SOFC 的時間較慢，但在政府支持及產業合作下，相信未來發展性絕不遜色於美國和歐洲。

四、廠商動態

在廠商動態部分，本文主要介紹美國 Bloom Energy 以及澳洲 Ceramic Fuel Cells Limited。這兩家廠商是目前市面上唯二推出實際產品的廠商，其產品分別為 ES-500 以及 BlueGen。

Bloom Energy 於去年 2 月正式發表 SOFC 產品，但其實早在 2008 年起，Bloom Energy 便已陸續讓 Google、Ebay、Wal-Mart、Coca-Cola 等知名大廠試用，自產品發表後，Bloom Energy 在美國各地陸續取得許多訂單，依據其上游供應商之敘述，其訂單仍在持續增長當中。其產品 ES-500 主要規格為：(1)輸出功率為 100Kw(2)尺寸為 567*213*206 公分(3)工作溫度為 800 度 C，發電效率可達 50%以上，使用年限可達 10 年以上，售價(含維護費用)約為 70~80 萬美元之間。規劃未來將推出 1KW 的設備，主要用於家庭用電，目標售價為 3000 美元，但目前尚未公佈銷售時程。

澳洲政府對於 SOFC 雖然沒有提出具體政策，但目前有一家澳洲的 SOFC 製造廠商 Ceramic Fuel Cells Limited，也已開始銷售產品 BlueGen，其產品 BlueGen 主要規格為：(1)輸出功率為 2Kw(2)尺寸為 97*60*66 公分(3)發電效率可達 60%，加上熱能效率可達 85%，工作溫度為 780 度 C。在今年五月時，CFCL 與 Res On-Site 簽署 BlueGen 的銷售合約，預備開啟英國市場，而英國 CE 電力公司也將 BlueGen 選入低碳智慧型電網計畫的一員；六月時 Ausgrid 向 CFCL 購買 25 部 BlueGen 機組，安裝於 Newington 市，作為智慧型電網示範計畫的發電設施之一；最後再九月時，Zestiq 成為 BlueGen 機組的荷蘭經銷商，已向 Ceramic 訂購 100 台 BlueGen 機組，預定於 12 月開始對商店及家庭用戶銷售小型 SOFC。

目前企業用 SOFC 裝置僅有 Bloom Energy 一家廠商，日本廠商吉坤日礦日石能源在 10 月 17 日加入家用型 SOFC 戰場，目前未能

取得其銷售資料。短期來看，成長狀況可能不如早期開發的 PEMFC 以及 MCFC，但其擁有廉價觸媒以及固態電解質的優點，只要改善其材料及關鍵元件的開發，以長期而言，SOFC 不論在企業或者家用的市場上都有一定的發展潛力。

附錄四、日本 SOFC 標準彙編

Japanese Standards Association Solid Oxide Fuel Cells	
<hr/>	
Identification	JIS Draft General Safety Code for Small Solid Oxide Fuel Cell Systems
Scope	Output less than 10 kW.
Status	Draft in Progress
<hr/>	
Identification	JIS Draft Testing Methods for Small Solid Oxide Fuel Cell Power Systems
Scope	Output less than 10 kW.
Status	Draft in Progress
<hr/>	
Identification	JIS Draft Performance Test for Stationary Solid Oxide Fuel Cell Stacks
Scope	No limitation on output.
Status	Draft in Progress
<hr/>	
Identification	JIS Draft

	General Rules for Small Solid Oxide Fuel Cell Systems
Scope	Output less than 10 kW.
Status	Draft in Progress
<hr/>	
Identification	JIS Draft Indication of Solid Oxide Fuel Cell Power Facility
Scope	Nameplate
Status	Draft in Progress
<hr/>	
Identification	JIS Draft Safety Evaluation Test for Stationary Solid Oxide Stacks
Scope	No limitation on output.
Status	Draft in Progress
<hr/>	
Identification	JIS Draft Testing Methods for Environment of EMC for Small Solid Oxide Fuel Cell Power Systems
Scope	Output less than 10 kW.
Status	Draft in Progress
<hr/>	

Identification	JIS Draft Testing Methods for EMC of Small Solid Oxide Fuel Cell Power Systems
Scope	Output less than 10 kW.
Status	Draft in Progress
Identification	JIS Draft Testing Methods of Power Conditioner for Grid interconnected Small Solid Oxide Power Systems
Scope	No limitation on output.
Status	Draft in Progress