

SOFC 產業政經環境掃描

綜計組能源策略研究室

柴蕙貞 副工程師、廖偉辰 副工程師

2019.9

1. 燃料電池技術及應用速覽

燃料電池的主要技術別依照電解質的不同，可區分為鹼性燃料電池 (Alkaline Fuel Cell, AFC)、質子交換膜燃料電池或固體高分子型燃料電池 (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC)、磷酸型燃料電池 (Phosphoric Acid Fuel Cell, PAFC)、溶融碳酸鹽燃料電池 (Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC) 及固態氧化物燃料電池 (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC) 與直接甲醇燃料電池 (direct methanol fuel cell, DMFC) 等 6 種 (能源局, 2007)，前述燃料電池的裝置容量大小不同、溫度不同、進料來源不同，因此應用之領域也有所不同，過去已有諸多文獻作詳盡的整理 (左峻德等人，2011；袁正達，2016)。E4tech 定期出版的 The Fuel Cell Industry Review 依燃料電池的應用方式將之區分為運輸工具應用、定置型應用和可攜式應用三大類，2014 年上述各種技術皆多被應用於定置型應用，2015 年為 PEMFC 和 DMFC 則在運輸工具應用上有明顯的進展，而 SOFC 除了定置型應用 (分散式電廠、家用熱電系統與備用電力等)，2018 年開始在可攜式應用上亦有些進展，原因在於特定用途的大型船隻需要輔助動力裝置 (Auxiliary Power Unit, APU)，如油氣運輸船、破冰船、遊輪、軍用船等，航行里程更長並需要熱能，SOFC 因為進料多元，如天然氣、柴油等，較容易找到補充進料的港口 (天然氣加氣港的建置成本較氫氣便宜)，因此新增多個案例 (E4tech, 2018)。運輸型的應用市場潛力雖大，但需引進多項關鍵技術與大量資金的投資，歐、美、日、中等內需市場龐大的國家皆已訂目標和並可利用既有之汽車產業優勢，我國在短期內似乎較難以與國際大廠抗衡；在定置型燃料電池技術方面，我國在電池堆有累積多年之研發能量，整套燃料電池發電系統所需的輔助設備，國內生產鏈亦已有供應國際大廠之實力 (左峻德等人，2011；左峻德等人，2014；石蕙菱，2019)，且國內對電力品質要求高的服務業，如醫院、旅館、賣場等，或電力成本較高的離島地區等，亦有定置型應用之需求 (袁正達，2016)，我國目前處於已有政策目標但細則尚不明確的階段，因此有進行燃料電池產業環境分析之必要及價值，因此本文以針對定置型燃料電池的二大主流技術 PEMFC 及 SOFC，分析其面臨的政策環境及經濟因素，作為技術研發投入及產業化之策略參考。

2. 國內外政策環境

2.1 國內政策目標

我國政府對氫能與燃料電池的研發支持已有多年，台灣經濟研究院於 2001 年在經濟部能源局支持下組成「台灣燃料電池夥伴聯盟」負責資訊交換、示範推廣、教育宣導、國際合作等產業推動工作。經濟部能源局於 2009 年到 2013 年之間開始執行「燃料電池示範運轉與推動計畫」，由政府補助業者各項燃料電池示範應用計畫，透過該計畫除了可讓業者研發的成果得以展現之外，同時也加速我國燃料電池產業商業化的進程。

我國新能源政策目標是在兼顧能源安全、環境永續及綠色經濟發展均衡下，建構安全穩定、效率及潔淨能源供需體系，創造永續價值，於 2025 年再生能源發電占比達到 20%，以實現非核家園目標，而再生能源的增加同時也帶動 SOFC 等燃料電池的發展。「沙崙綠能城」計畫中，燃料電池為重要示範技術之一(如圖 1 所示)。而在 2018 年經濟部的能源轉型白皮書初稿中指出，為了達成能源轉型的目標，政府在節能、創能、儲能及智慧系統上均提出規劃措施，其中 2025 年燃料電池發展目標為 60MW。經濟部在 2019 年推動定置型燃料電池發電系統補助，依設置容量每 kW 純予 7 萬元的補助費用。



資料來源:科技部 (2016.5) 綠能科技產業推動方案-沙崙(行政院第 3520 次會議)

圖 1 國內政策目標

¹ 經濟部網站: https://www.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/Law/Content.aspx?menu_id=7020

2.2 國際政策

A 日本

2005 年日本政府透過新能源基金會（New Energy Foundation；NEF）針對住宅用熱電聯產系統進行大規模示範驗證計畫。在 2009 年推動家用燃料電池「ENE-FARM」計畫，「ENE-FARM」是一種家用熱電聯產系統(CHP)，主要是利用天然氣提取氫氣，注入燃料電池中發電，且利用發電時產生的熱能供應暖氣或熱水，該計畫主要由主要能源供應商和燃料電池製造商組成的合作團體向日本客戶銷售 CHP，由日本政府提供補助金予安裝或使用燃料電池 CHP 系統之用戶，以及補助出租 CHP 系統予終端使用者之租賃業者，自 2009 年問世以來銷售量持續增高，「ENE-FARM」系統可以使用 PEMFC 和 SOFC 技術訂購兩種不同類型的燃料電池，目標為 2020 年達到 140 萬組家用燃料電池，2030 年達到 530 萬組 (2017 年的氫能基本戰略除裝置目標外，價格目標為 2020 年左右 PEMFC 下降至 80 萬日元，SOFC 下降至 100 萬日元²)。

2019 年日本政府對於家用型燃料電池的補助已經接近尾聲 (低溫型 PEMFC 售價已降至 95 萬日圓，故 2019 年將不再補助;高溫型 SOFC 發電系統售價則降至 120 萬日圓，2019 年僅補助 12 萬日圓; 張揚狀和周進益，2019)，同時開始啟動產業及業務用 SOFC 燃料電池安裝與補助計畫，在補助政策之下帶動廠商大量投資，截至 2018 年 ENE-FARM 已經達到家用型 26 萬套(182MW)，以及產業型 26 萬套(284kW)的安裝量。日本於燃料電池 CHP 歷經研發、示範、安裝補助等階段，已見推動成效並進入商業化階段，預計 2020 年終止補助 (石蕙菱，2019)。

其它日本提出與燃料電池發展有關之政策如 2002 年至 2010 年透過「日本氫能與燃料電池示範計畫」(Japan Hydrogen and Fuel Cell Demonstration Project，JHFC)，設置 14 座充氫站以及一座氫氣液化廠、2013 年開始進行加氫站補助，2014 年日本產經省 (Ministry of Economy, Trade and Industry；METI) 氢和燃料電池戰略委員會(Council for a Strategy for Hydrogen and Fuel Cells) 推出「氫能與燃料電池戰略地圖」、2015 年新能源產業技術綜合開發機構 (The New Energy and Industrial Technology Development Organization；NEDO) 的「氫能白皮書」、2016 年推出為了促使 2020 年東京奧運能夠成功運轉的「氫能社會」規劃，2016 年進行了氫能與燃料電池戰略地圖」修訂，之後並制定並發佈了與氫有關的政策，即 2017 年 12 月的基本氫能策略 (Basic Hydrogen Strategy)、2018 年 7 月的第五次策略能源計畫(Fifth Strategic Energy Plan) 和 2018 年 10 月發佈的東京聲明 (Tokyo Statement)，為了確保實現上述基本氫能策略和第五次策略能源計畫中提出的實現氫能社會目標，2019 年 3 月 12 日更新了氫和燃料電池策略路徑圖的內容。更新的內容規定了：(1) 關於基本技術和細部成本的規範；(2) 實現這些目標的必

² <https://km.twenergy.org.tw/Data/share?cLklmgkrluCk51dJavK4sg==>

要措施；(3) 日本將召集一個由專家組成的工作團隊，以審查路線圖規定的每個領域之執行情況。

B 歐盟

歐盟訂定 2020 年達到大家熟悉的 20-20-20 目標：溫室氣體排放量相對於 1990 年減少 20%以上、再生能源占總能源使用的 20%以上、能源效率相對於基線提升 20%以上。2014 年 1 月，歐盟委員會公布了歐盟「2030 年氣候與能源政策綱要 (2030 Climate and Energy Policy Framework)」草案，目標為在 2030 年之前須削減 40% 的碳排放量，同時應確保再生能源在歐盟能源結構中的占比不低於 32%，以及能源效率提升 32.5%，顯示其對抗氣候變遷的決心。

為了達到上述目標，歐盟各國均積極發展綠能技術，其中的氢能及燃料電池研究主要是由 Framework Program (FP) 計畫進行，FP 為歐盟委員會經多次高峰會與歐洲議會等提案，通過審議得據以執行的「超國家級」科技研究、技術創新政策計畫架構機制。第 6 期 (FP6, 2002~2006 年) 投入 3.2 億歐元進行開發燃料電池技術的示範驗證計畫，FP7(2007~2013 年)投入能源研究總經費 23 億歐元，包含可促進燃料電池車發展的大規模氢能示範計畫。繼 FP6 以及 FP7 之後，Horizon 2020 (FP8) 延續 FP7 歐盟計畫之多邊合作科研計畫，於 2014 年 1 月 1 日起正式啟動，透過由歐盟委員會、燃料電池和氢能產業代表和研究代表三方所組成的燃料電池暨氢能聯合事業(Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking, FCH JU)³ 推動 Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Technology Initiative (FCH 2 JTI) 計畫，目標為使推動市場化，預計至 2024 年結束，預計經費共 13.3 億歐元，由歐盟出資 50%，民間企業出資 50%，目標為運輸用途的燃料電池系統成本下降至原本的 1/10，發電效率提升 10%，以及氢能與再生能源結合應用的大規模示範運轉⁴。

其它以專案方式推動燃料電池之計畫，還有 ene.field 計畫 (2012 年至 2017 年)，包括 10 個主要燃料電池製造商、研究團體、大學等機構組成，總成本為 5,200 萬歐元，是歐盟最大的微型熱電共生燃料電池(micro-CHP)示範項目，該計畫於 2017 年 8 月宣布已經於在 12 個歐洲國家安裝 1,000 套 micro-CHP 系統。2016 年歐洲熱電共生促進協會 (The European Association for the Promotion of Cogeneration, COGEN Europe) 發佈 PACE (Pathway to Competitive European micro-CHP market) 計畫，該計畫為期五年 (2016-2021 年)投入約 8,626 萬歐元，PACE 計畫將以 ene.field 的成果為基礎，目標是在 2021 年安裝至少 2,500 套 micro-CHP 系統。

C 美國

美國過去非常重視氢能與燃料電池的發展，尤其是加州是全球氢能和燃料電

³ <https://www.fch.europa.eu/page/who-we-are>

⁴ https://ec.europa.eu/research/press/jti/factsheet_fch2-web.pdf

池推廣最發達的地區之一，目前加州已超過 5,400 輛燃料電池汽車，60 座加氫站，另有 29 座加氫站正在建置。2016 年 11 月川普當選，所屬的共和黨在美國眾議院與參議院均取得多數席次，而共和黨對於再生能源發展原本就較為保守，2019 財年僅編列約 25.2 億美元經費，除削減能源效率和再生能源辦公室 (Energy Efficiency and Renewable Energy, EERE) 66% 的經費之外，更終止能源先進研究計畫署 (Advanced Research Projects Agency-Energy, ARPA-E) 計畫及部分貸款擔保計畫⁵，被終止的 ARPA-E 自 10 年前成立以來資助開發包含燃料電池的先進再生能源研究計畫，因此將不在 2019 年進行新的計畫撥款，舊有計畫會轉至部內其他單位繼續監管，預計在 2020 年中完全終結 ARPA-E 計畫，因此近幾年氫能與燃料電池發展較為緩慢。

雖然如此，也仍然有重要的相關進展，2019 年 1 月美國能源部 (Department of Energy, DOE) 公布幾項 2018 年完成的關於氫能與燃料電池重要政策與合作關係建立如下：(1) 燃料電池技術辦公室 (Fuel Cell Technologies Office, FCTO) 宣布與密西根經濟發展公司 (Michigan Economic Development Corporation, MEDC) 簽署備忘錄。該備忘錄將加強與密西根州的氫能與燃料電池研發合作，以促進私人投資和國內就業機會。通過此備忘錄，MEDC 將利用 DOE 國家實驗室的能力來加強分析和數據蒐集，以進行未來的研發。(2) 氢能和燃料電池計畫的年度績效評估和同行評審會議 (Hydrogen and Fuel Cells Program's Annual Merit Review and Peer Review Meeting, AMR) 首次納入一個由 FCTO、聯邦機構、州政府共同合作以實施氫能與燃料電池應用的專案小組。(3) 由歐盟委員會與其他 18 個成員國所組成的經濟中的氫能國際夥伴關係 (The International Partnership for Hydrogen and Fuel Cell in the Economy, IPHE) 選舉美國為主席。

美國相關燃料電池企業經過多年研發與示範計畫，已在全球市場上取得近 30% 的市占率 (石蕙菱，2017a)，此外美國自 2017 年開始實施投資稅減免 (Investment Tax Credit, ITC) 政策，企業和住宅可以燃料電池設備成本 30%~22% (逐年減少) 申請減稅之方案將持續至 2021 年，此政策將持續提供市場誘因。

D 韓國

為了加速推動新及再生能源的布建，早在 2012 年時韓國政府即決定用再生能源配比義務制度 (Renewable Portfolio Standards, RPS) 取代舊有的再生能源躉購費率制度 (Feed-in Tariffs)，希望藉此減輕財政負擔，讓再生能源回歸市場機制，激勵各類再生能源廠商之競爭，盼藉此推動技術發展以降低生產成本。RPS 政策要求國營電力公司及發電設備規模在 500 MW 以上之獨立發電業 (Independent Power Producer) 必須自 2012 年起需負擔自行生產或購買一定比率再生能源發電量之義務，2012 年起至少需有 2% 的電力來自再生能源，2024 提高至 10%，這項

⁵ <https://apecenergy.tier.org.tw/report/article45.php>

政策對 SOFC 等燃料電池的發展具有正面的效果。

2019 年 1 月韓國總統文在寅發布「氫能經濟發展路線圖」，宣布韓國將大力發展氫能產業，韓國將對用於發電、建築、交通等方面的氫能源產業給予支持，到 2040 年時，預計燃料電池年發電量擴大至 15GW，(這項計畫將帶動未來 SOFC 的發展)，約為 2018 年韓國發電總量的 7%-8% (氫能發電設備的容量占由現在的 0.3GW 擴增至 8GW)；此外還有分階段生產 620 萬輛氫燃料電池汽車也在目標之列。

E 中國大陸與其他地區

中國大陸在「十三五」計畫中，將氫能與燃料電池列為補助項目之一，具體目標規劃則著重在氫能，在其提出之氫能產業基礎設施發展藍皮書中包含了中國大陸氫能產業發展路線圖，目標為 2020 年加氫站數量達到 100 座，燃料電池車輛達到 10000 輛，以及氫能軌道交通車輛達到 50 列；2050 年完成加氫站網路，燃料電池車輛累積量達到 1000 萬輛⁶，目前之實現策略為採取「高鐵模式」，由中國各省政府與國內外企業合作建置⁷。其他國家如印度、東南亞、南美等國，技術落後上述日本、歐盟等國家相當大，仍有待政府相關政策已吸引更多投資，以精進技術。表 1 為綜整前述政策之簡要內容。

表 1. 國外燃料電池推動政策或計畫

國別	名稱	目標	工具
日本	ENE-FARM 計畫 (2005~)	2020 年達到 140 萬組家用燃料電池，2030 年達到 530 萬組。	2017 年開始日本政府對於家用型燃料電池的補助已接近尾聲，同時開始啟動產業及業務用 SOFC 燃料電池安裝與補助計畫。
歐盟	FCH 2 JTI 計畫 (2014~2024); PACE 計畫 (2016~2021)	FCH 2 JTI: 運輸用途的燃料電池系統成本下降至原本的 1/10，發電效率提升 10%，以及氫能與再生能源結合應用的大規模示範運轉。PACE:以 ene.field 的成果為基礎，2021 年安裝至少 2,500 套 micro-CHP 系統。	以專案補助方式進行研發及示範運轉。
美國	投資稅減免政策	未列有明確裝置目標，美國加州、康乃狄克州較為積極，目標多為氫能基礎設施。	早期由 DOE 和 ARPA-E 提供設備直接補助，目前僅有投資減稅政策。
韓國	氫能經濟發展路線圖(路線圖將在 2019 年下半年確定後)	到 2040 年時，燃料電池年發電量擴大至 15GW，達到 2018 年韓國發電總量的 7%-8%。(氫能發電設備的容量占 8GW)；分階段生產 620 萬輛氫燃料電池汽車。	RPS 制度將同時提升各項再生能源占比，並對用於發電、建築、交通等方面的氫能源產業給予支持，補助細則目前尚未公布。
中國	氫能產業基礎設施發展藍皮書	2050 年完成加氫站網路，燃料電池車輛累積量達到 1000 萬輛。	中國各省政府與國內外企業合作建置為主要手段（採取「高鐵模式」）。

⁶ 經濟部綠色貿易資訊網：中國大陸氫燃料電池汽車產業發展報告

⁷ 台灣燃料電池資訊網：佛山如何煉成「氫能之城」：政策與戰術配合發力

3 經濟環境

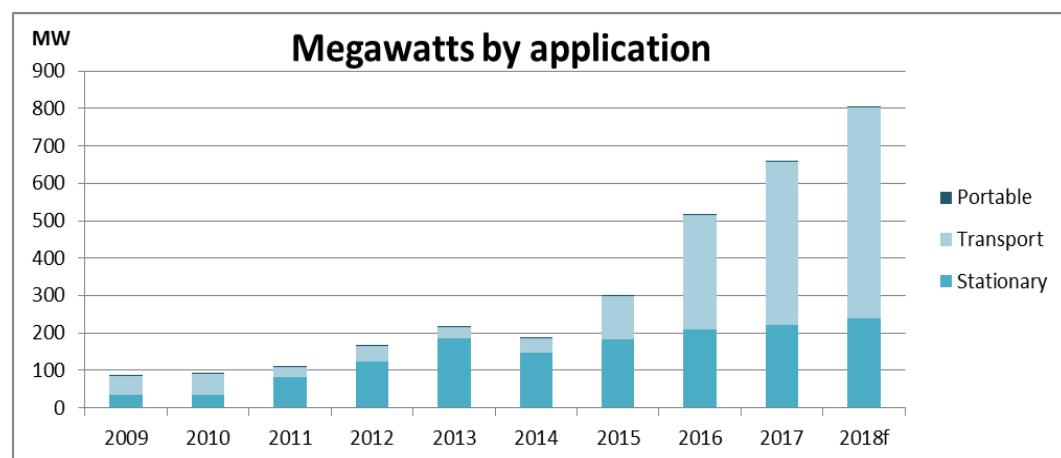
經濟層面影響因素很廣泛，本節將之大致區分二大面向，一為產業整體面臨的經濟成長、市場需求趨勢、投資相關的利率、通貨膨脹率、投資租稅獎勵等，這方面的經濟環境因素也經常和政策因素有關，如補助、減稅等市場需求面誘因。另一則為產品本身之成本因素，以及主要競爭產品之成本因素。

3.1 整體市場層面影響因素

根據 E4tech 出版的 The Fuel Cell Industry Review，燃料電池的整體市場由 2011 年開始明顯成長，2013~2015 年美日歐洲等主要市場受到景氣的影響，成長較為平緩(石蕙菱，2017a)，2015 年開始運輸用的燃料電池又再度快速成長，2018 年新增的運輸用的燃料電池約 562MW，是 2015 年 113 MW 的 5 倍之多，相較之下，定置型或移動式應用的成長幅度都較平緩 (圖 2)。

其中北美和亞洲自 2015 年後開始有明顯的成長，北美的經濟成長力道雖不如亞洲快，但因為重視備用電力的應用，在定置型的應用上屬於穩定成長。而亞洲的成長除定置型應用外，亞洲汽車市場整體成長對運輸用燃料電池成長有加速的作用，可預期的是除了中國大陸，其它亞洲地區 (如東南亞地區) 的經濟成長和運輸市場需求增加幅度較大，都可能是未來 5 年燃料電池的高成長市場。

由於 PEMFC 已是現今燃料電池電動車 (FCEV) 動力的主要來源，市場成長度快 (如圖 3)，許多世界知名的車廠，都積極開發以 PEMFC 系統為動力源的燃料電池電動車，曾先後推出各種類型的樣車，並進行 FCEV 的示範運行⁸。



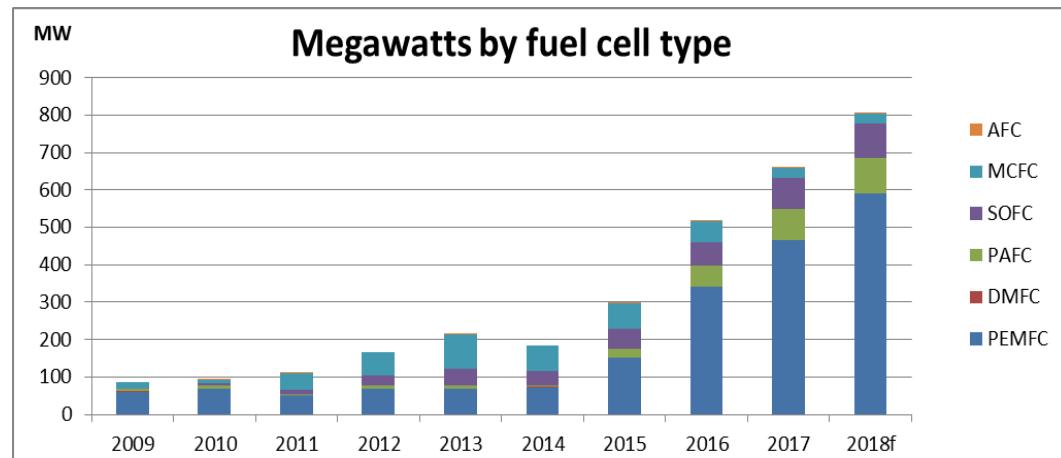
資料來源:The Fuel Cell Industry Review 2014, Fuel Cell Industry Review 2018; 核研所繪製

圖 2 燃料電池裝新增裝置容量成長趨勢-應用別

定置型方面市場則成長穩定，其中家用系統以 SOFC 和 PEMFC 為主流技術，分散式電廠之主流為 SOFC，而 PEMFC 因為開機時間短、低溫而成為備用電力之主流 (賴建銘，2018)。SOFC 生產廠商，主要有日本 ENE FARM 的主要生產廠商:松下、愛信精機，澳洲 CFCL，美國 Bloom Energy 及 FuelCell Energy。Bloom Energy 早期由政府政策支持，為目前全球市占率最高之廠商，並已於 2018 年上市。FuelCell Energy 早期則以 MCFC 起家，近期將 SOFC 視為與既有的 MCFC 互補之產品線，預期先進 SOFC 在應用上具有很高的靈活度，可提供多元的功能，除了

⁸ <https://www.materialsnet.com.tw/DocView.aspx?id=24414>

作為潔淨發電裝置、熱電聯產系統外，由於固態氧化物電解法 (solid oxide electrolysis) 較傳統電解系統更具效率，所產的氫也可被儲存並提供後續發電使用，可視為較長時間的儲能設備，能和再生能源併網系統互補⁹。FuelCell Energy 認為應用先進 SOFC，具有電廠地點選址容易、高電力密度 (土地面積小，發電量高) 及進料多元等優點，廣泛多元的應用，將使 SOFC 得以量產達到規模經濟。



資料來源: The Fuel Cell Industry Review 2014, Fuel Cell Industry Review 2018; 核研所繪製

圖 3 燃料電池裝新增裝置容量成長趨勢-技術別

3.2 不同技術別之經濟影響因素-成本結構及規模化之下降趨勢

前面主要分析了燃料電池產業面臨之整體經濟因素，而對不同燃料電池產品而言，影響技術發展的關鍵經濟因素，莫過於生產成本。PEMFC 和 SOFC 是已商業化的二項主流技術，故本節將以這二種燃料電池的成本結構，以及規模量產時可能之成本下降幅度進行分析。由於生產成本的組成可能隨著燃料電池的容量不同而有差異，本節將聚焦於國內短期之研發目標: 5kW 定置型產品為主。

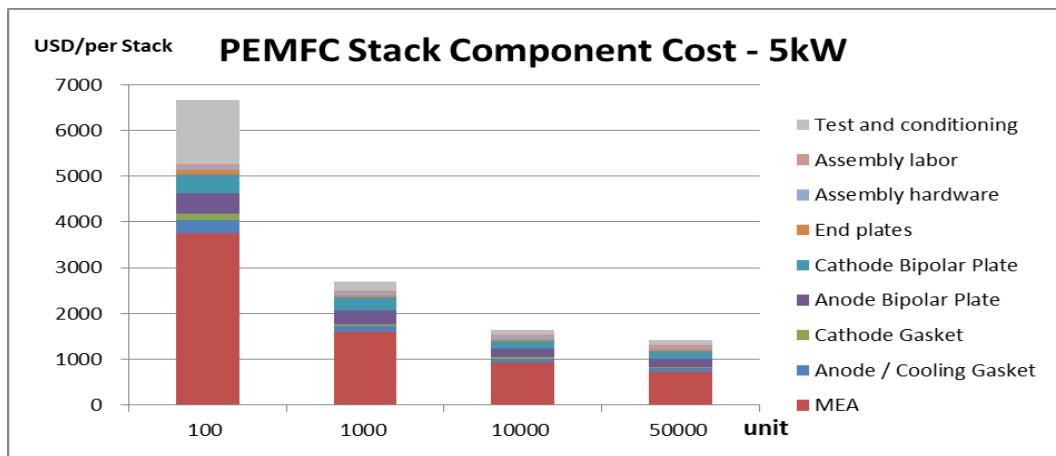
A. PEMFC 電池本體成本結構及規模化之下降趨勢

圖 4 將 PEMFC 生產成本以組成之元件區分，生產成本結構中占比最大的元件為薄膜電極組 (membrane electrode assembly, MEA)，隨著產量增加，下降幅度雖然不小，但其成本占比都在 50% 以上。MEA 的結構包含質子交換膜、陽極電極和陰極電極。陽極電極和陰極電極皆包含氣體擴散層 (GDL)，及氣體作用層 (即觸媒，Catalyst)。目前最常使用的質子交換膜是由美國杜邦 (DuPont) 公司生產的 Nafion 質子交換膜¹⁰，由於質子交換膜目前仍多被美國杜邦公司壟斷，成本居高不下；而觸媒則以鉑金作為原料，鉑金屬稀有價格昂貴，且 PEMFC 於運輸應用成長速度快，也帶動鉑金之需求。因此隨著產量增加，MEA 裡頭的質子交換膜和觸媒成本降低的幅度有限，生產規模擴大時，其它成本得以下降，但質子交換膜和觸媒在 MEA 的材料成本占比，將由小規模時的 30% 上升至 90% (Battelle Memorial Institute, 2017)。

⁹ <https://www.gasworld.com/fuelcell-energy-deploys-solid-oxide-fuel-cell/2016986.article>

¹⁰ 美國杜邦的壟斷之牆：中國氫燃料電池千億泡沫

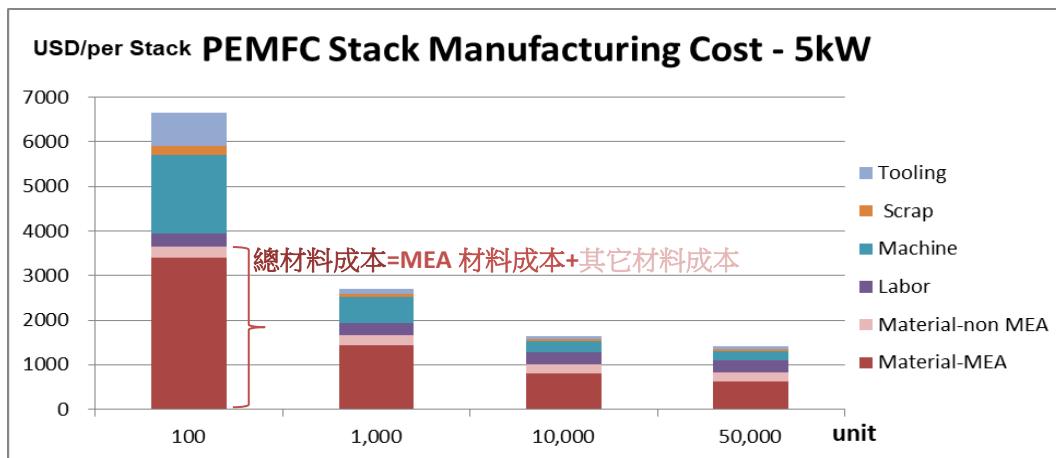
<https://finance.sina.cn/2018-06-20/detail-ihfphqk2409088.d.html?from=wap>



資料來源: Battelle Memorial Institute (2017); 核研所繪製

圖 4 PEMFC 電池本身之成本結構-依元件區分

圖 5 則將 PEMFC 的生產成本重新區分成材料成本、勞動成本、機器設備成本、廢料成本 (scrap cost)、加工成本 (tooling cost)，也可看出 MEA 材料成本不易降低的現象，可從不同生產規模的 MEA 材料成本占比看得出來，生產規模較小時，MEA 材料成本在總材料成本中占比高達 95%，生產規模擴大時，MEA 材料成本仍總材料成本中占比達 75%，並占電池本體總成本的 50%，表示大規模生產時，近 45% 的成本可能無法降低，不論是定置型應用或運輸型應用，這都是 PEMFC 電池本體製造商獲利的重大考驗。



資料來源: Battelle Memorial Institute (2017); 核研所繪製

圖 5 PEMFC 電池本身之成本結構-依成本種類區分

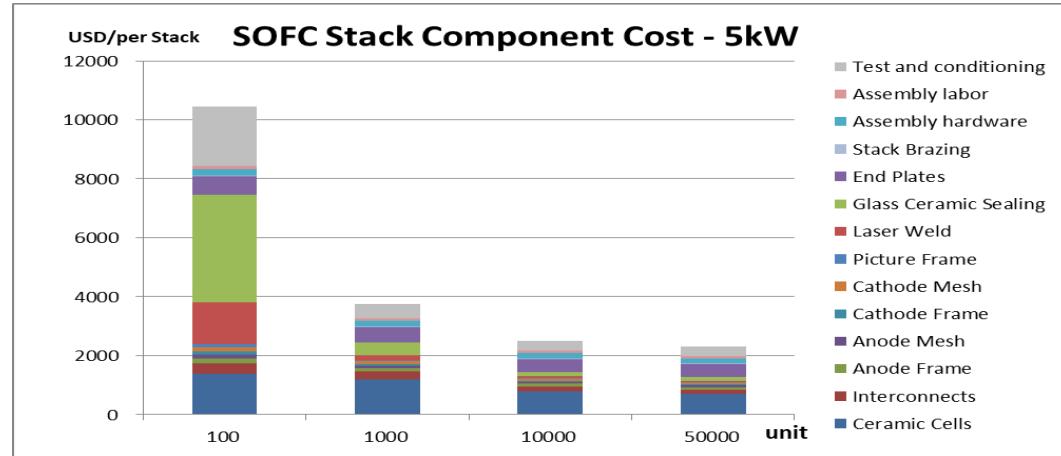
B. SOFC 電池本體成本結構及規模化之下降趨勢

SOFC 廣泛採用陶瓷作電解質、陰極和陽極材料¹¹，其成本結構中占比較大的為陶瓷單元電池(ceramic cells)、雷射鍛接 (Laser weld) 及玻璃陶瓷封裝 (Glass

11

[http://designer.mech.yzu.edu.tw/articlesystem/article/compressedfile/\(2005-04-28\)%20%E5%9B%BA%E6%85%8B%E6%B0%A7%E5%8C%96%E7%89%A9%E7%87%83%E6%96%99%E9%9B%BB%E6%B1%AA%E5%80%88%E5%88%A9%E6%AA%A2%E7%B4%A2%E8%88%87%E5%88%86%E6%9E%90%E5%A0%8B1%E5%91%8A.aspx?ArchID=757](http://designer.mech.yzu.edu.tw/articlesystem/article/compressedfile/(2005-04-28)%20%E5%9B%BA%E6%85%8B%E6%B0%A7%E5%8C%96%E7%89%A9%E7%87%83%E6%96%99%E9%9B%BB%E6%B1%AA%E5%80%88%E5%88%A9%E6%AA%A2%E7%B4%A2%E8%88%87%E5%88%86%E6%9E%90%E5%A0%8B1%E5%91%8A.aspx?ArchID=757)

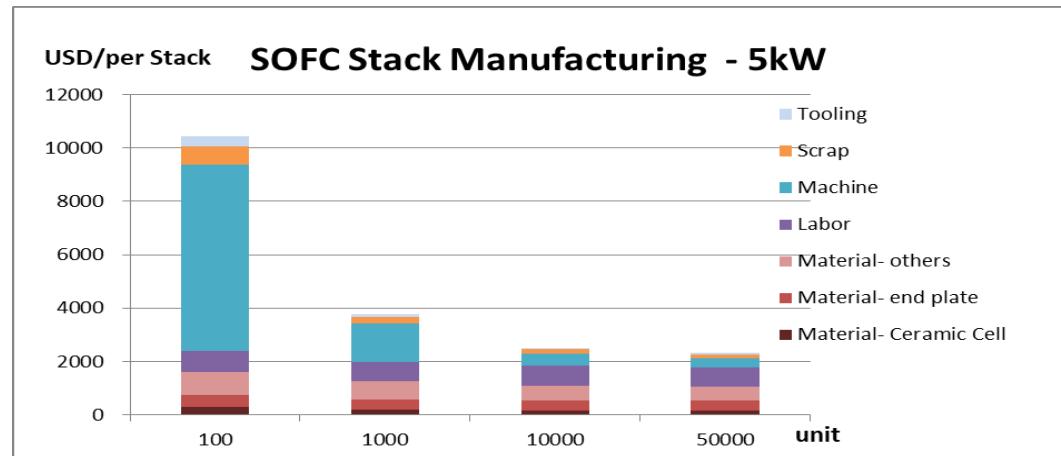
Ceramic sealing) (圖 6)，不過雷射鋸接 (Laser weld) 及玻璃陶瓷封裝 (Glass Ceramic sealing) 都會快速地隨產量擴增而降低，主要原因在於這二者的成本主要為機器設備的投資，材料投入幾近於零；產量較具規模化後，成本比較高的部分，還是在於陶瓷單元電池及端板 (End Plates)。



資料來源: Battelle Memorial Institute (2017); 核研所繪製

圖 6 SOFC 電池本身之成本結構-依元件區分

若將 SOFC 的生產成本區分為材料成本、勞動成本、機器設備成本、廢料成本、加工成本。看得出隨產量增加明顯降低的為機器設備成本，材料成本變化不大，材料成本的來源非常分散 (圖 7)，不過陶瓷單元電池中的材料成本並不高，端板的材料成本反而較高且無法隨產量增加而下降。



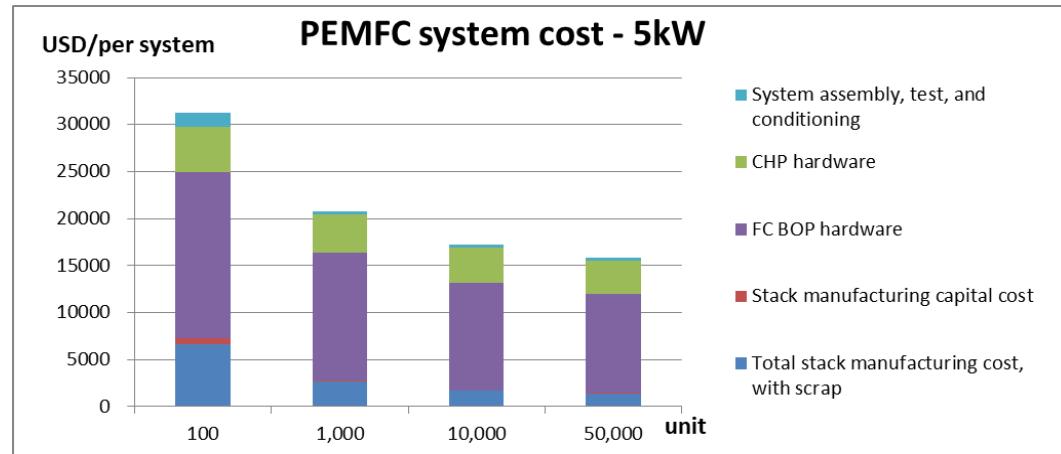
資料來源: Battelle Memorial Institute (2017); 核研所繪製

圖 7 SOFC 電池本身之成本結構-依成本種類區分

C. PEMFC 及 SOFC 系統成本結構及規模化之下降趨勢

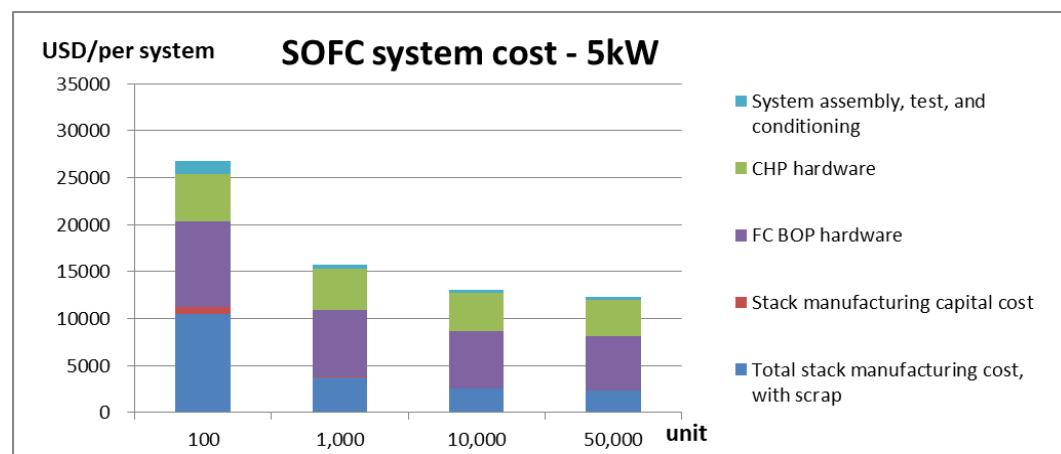
除了電池本體，輔助配套組件 (Balance of Plant, BOP, 或稱平衡組件) 是在應用燃料電池時重要的成本項目，包括燃料處理系統、熱管理系統、空氣處理系統及電力轉換與控制等元件。再者因為燃料電池使用時，透過氧化還原反應將燃料中的化學能轉換為電能，除了發電還會產熱，則是若要作為熱電聯產應用也需要額外的成本。不論對於 PEMFC 或 SOFC 來說 BOP 的成本都大於電池本體(圖 8 及圖

9)，而隨著電池規模量產成本下降，BOP 的成本比例將提高，甚至超過電池本身。不過因為 PEMFC 的 BOP 相較 SOFC 來得複雜，所佔成本的比例更高，因此雖然 SOFC 電池本身的成本略高於 PEMFC，成本隨量產規模下降的幅度也較慢，但系統的成本卻可隨著產量上升而低於 PEMFC。



資料來源: Battelle Memorial Institute (2017); 核研所繪製

圖 8 PEMFC 系統成本結構-依系統組件區分



資料來源: Battelle Memorial Institute (2017); 核研所繪製

圖 9 SOFC 系統成本結構-依系統組件區分

4. 結論

由於可攜式應用之市場成長潛力較定置型應用及運輸型應用來得有限，而運輸型應用之技術似乎已以 PEMFC 為主流，歐、美、日、中等國除了有明確目標外，也有足夠的內需市場和成熟的汽車產業鏈支撐，我國在短期內似乎較難與國際大廠抗衡。反觀定置型應用則處在 PEMFC 及 SOFC 皆有機會之階段，特別是我國在電池本體已有研發能量，國內產業亦有供應國際大廠 BOP、CHP 等系統設備組件之實績（例如：參與 Bloom Energy 公司組件供應商包含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。另外九豪的氧化鋯陶瓷基板，高力與中興電工正在開發重組器，碧氳也有製造重組器的能

力)，因此本文以針對定置型燃料電池的二大主流技術 PEMFC 及 SOFC，分析其面臨的政策環境及經濟因素，作為技術研發投入及產業化之策略參考。

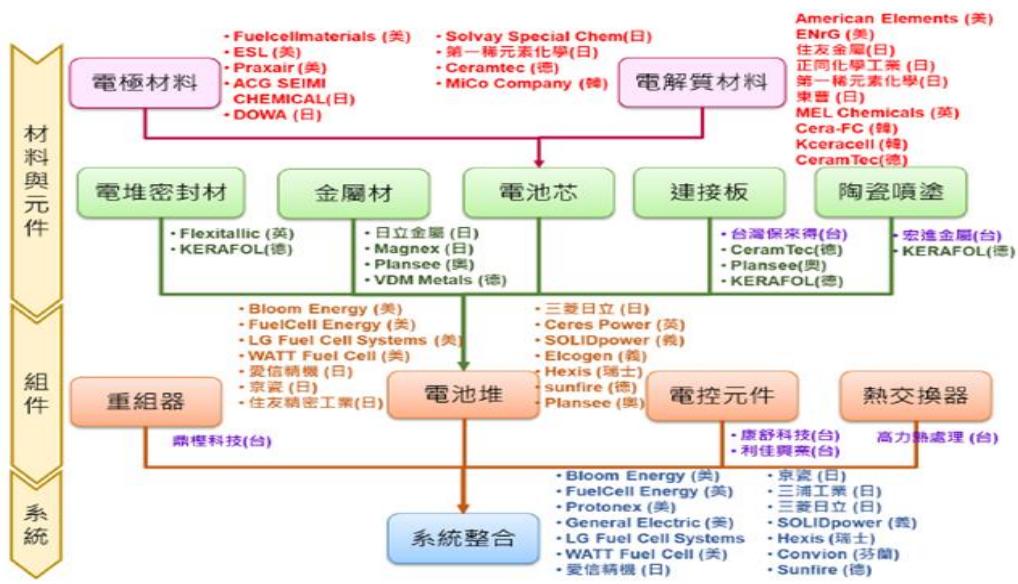
我國的「沙崙綠能城」計畫，燃料電池 SOFC 為重要示範技術之一，在 2018 年經濟部的能源轉型白皮書初稿中指出，2025 年燃料電池發展目標為 60MW，國際政策方面，日、美、歐、韓皆仍有或多或少之政策支持。

若將整個燃料電池系統的成本區分成：電池本體、BOP 及 CHP 三大部分，BOP 和 CHP 之成本不亞於電池本體，特別是當電池本體的成本隨著生產規模下降時，BOP 將成為整個燃料電池系統占比最高的部分，特別是 PEMFC，原因在於 PEMFC 的 BOP 相較 SOFC 來得複雜。隨著產量提升，SOFC 電池本體、BOP 和 CHP 三者的成本占比相近，SOFC 燃料電池整體系統的成本可能低於 PEMFC。

再近一步聚焦電池本體，PEMFC 電池本體中，不論生產規模大小，MEA 材料成本中的質子交換膜和觸媒，目前分別因為由美國專利壟斷及鉑金材料昂貴而無法有效下降，大規模生產時，近 45% 的成本無法降低，且鉑金價格向來昂貴，即便近年有些下跌，但因為運輸用途的 PEMFC 市場成長快速 (石蕙菱, 2017b)，像是日本已有長期儲存鉑金的計畫，因此未來仍很可能是供不應求之態勢，不論是定置型應用或運輸型應用，都是 PEMFC 電池本體產業獲利的重大考驗，因此就 PEMFC 來看，電池本體以外才是整體價值鏈中較有獲利空間的部分。

而 SOFC 材料雖然也占 SOFC 電池本體成本的 50%，但組成的元件較為分散，陶瓷單元電池的材料雖是進口的稀土，但成本占比不高，澳洲 CFCL 和美國 Bloom Energy 目前皆由中國大陸潮州三環集團代工生產陶瓷基板，但中國大陸的稀土可能成為中美貿易戰的籌碼而漲價，反觀越南、巴西、俄羅斯等地區蘊藏量也不少¹²，可作為避險的選項。換言之，SOFC 的材料供應較不會受限於少數廠商，產業獲利也較不受制於單一的進口材料。再者，SOFC 電池本體需要大量的機器設備投入進行雷射銲接及玻璃陶瓷封裝，這二項投入在量產時都有成本下降速度快的特性，我國先進的機械設備產業和穩定的電力都是此生產環節的經濟優勢。不過這也指出，SOFC 電池本體產業化除滿足國內推動目標外，進入國際市場供應鏈 (如圖 10)，才得以達到量產規模來降低成本。

¹² 環保署 (2017)，稀土元素-關鍵物料調查報告



資料來源: 石蕙菱 (2019)

圖 10 SOFC 國內外產業鏈

參考文獻

- APEC 能源國際合作資訊網，<https://apecenergytier.org.tw/>
- Battelle Memorial Institute, Manufacturing Cost Analysis of 1, 5, 10 and 25 kW Fuel Cell Systems for Primary Power and Combined Heat and Power Applications (for U.S. DOE), 2017
- E4tech, The Fuel Cell Industry Review 2014, 2014
- E4tech, The Fuel Cell Industry Review 2018, 2018
- Ene.field website, <http://enefield.eu/>
- EU, Fuel Cells & Hydrogen 2: developing clean solutions for energy transport and storage, 2019
- European Commission, Fuel Cells & Hydrogen 2 Initiative: developing clean solutions for energy transport and storage, 2018
- IEA, Technology Roadmap-Hydrogen and Fuel Cells, 2015
- Ministry of Economy, Trade and Industry, New Era of a Hydrogen Energy Society, 2018
- U. S. Department of Energy, <https://www.energy.gov/>
- IEK, 石蕙菱, 全球燃料電池市場發展現況與趨勢, 2017a
- IEK, 石蕙菱, 燃料電池產業環境掃描, 2017b
- IEK, 石蕙菱, 全球固態氧化物燃料電池(SOFC)應用與廠商發展趨勢, 2019
- 工研院, 賴建銘, 定置型燃料電池發電應用之發展現況(上), 材料世界網, 2018
- 工研院, 賴建銘, 定置型燃料電池發電應用之發展現況(下), 材料世界網, 2018
- 台經院, 左峻德等人, SOFC 技術標準與安規及應用市場研析, 2011
- 台經院, 左峻德等人, 我國投入新興能源技術之機會分析, 2014
- 台灣燃料電池資訊網, <http://www.tfc.org.tw/>
- 台灣中油股份有限公司, 張揚狀和周進益, 參加「第 15 屆日本東京國際氫能與燃料電池博覽會」出國報告, 2019
- 科技部, 五大科技產業創新研發計畫綠能科技產業推動方案- 建構沙崙綠能科學
洪永杰, 質子交換膜型燃料電池膜電極組(MEA)－專利地圖與專利分析, 2005
- 城創新綠色產業生態系(行政院第 3520 次會議簡報), 2016
- 能源局, 2007 年能源科技發展白皮書, 2007
- 經濟部, 能源轉型白皮書, 2018
- 核研所, 袁正達, 燃料電池技術產業化策略分析與建議, 核研所報告, 2015
- 環保署, 稀土元素-關鍵物料調查報告, 2017