

大型定置型 SOFC 發電系統產業運用情境與各國政策推廣之研析

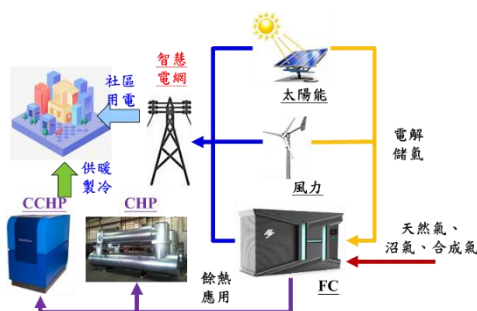
詹彥信 工研院綠能所研究員

摘要

定置型 SOFC 發電系統擁有高發電效率、低汙染排放與多元料源利用等優點，具有成為下世代大型發電系統選項之一。目前大型定置型 SOFC 發電系統仍處於研發與示範運轉之階段，且因 SOFC 系統之製作成本過高與操作壽命問題，導致大型系統無法達到普及。有鑑於此，各國對定置型 SOFC 系統之發展主要仍透過政府與產業合作進行推廣，進而達到產業推廣之功效，為了進一步了解各國政府與產業對於 SOFC 系統之政策目標與願景，本文將透過分析美、日、德、韓四個主要氫能發展國對於大型定置型 SOFC 系統之政策及推廣方向，進而探討定置型 SOFC 系統於台灣之應用情境。

一、緣起

氫能是近年來受世界各國重視之再生能源，其主要優勢為低汙染氣體之排放，當使用 SOFC-GT 作為定置型發電系統選項時，其二氧化碳之排放量為傳統燃氣渦輪機的 60%[1]，且可依據不同形式提供不同之能源用途，作為分散式電力系統之發電選項之一，如圖一所示。



圖一、氫能燃料電池結合再生能源於分散式電網之示意圖

目前市面上最常被使用的燃料電池為質子交換膜燃料電池(Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC)與固態氧化物燃料電池(Solid Oxide Fuel Cell, SOFC)，是近年來較受重視的定置型發電系統，其比較表如表一所示。由表一可知，PEMFC 雖然效率較低，但其低溫操作特性，可應用於載具。而 SOFC 擁有最高發電效率，結合燃氣渦輪機(Gas Turbine, GT)組成一個複合式發電系統，其總發電效率可以達到 70%[2]。

表一、高低溫燃料電池效率與應用比較

燃料電池種類	電解質	導電離子	運轉溫度	燃料	發電效率	應用
PEMFC	固態聚合物 (如 Nafion)	H ⁺	323-473K	氫氣	40-55%	運輸工具、可攜式電力、住家電源
SOFC	固態氧化物 (如氧化鋯)	O ²⁻	1073-1473K	氫氣、天然氣、煤氣等	50-65%	住家電源、CHP 發電、複合電廠

藉由前述說明可知，SOFC 系統擁有成為下一世代定置型發電系統之潛力。然而，目前燃料電池發電系統最主要問題仍在於製造成本過高，以及系統運轉壽命仍有待克服。因此，目前各國對於定置型 SOFC 系統之發展，仍處於政府補助與產業示範運轉之階段，下述將針對各國及產業界，對於定置型 SOFC 系統之政策推廣與產業應用進行分析，作為我國發展之參考。

二、各國對於大型定置型發電系統之應用情境

藉由前述說明可知，SOFC 擁有成為下一世代定置型發電系統之潛力，但其產業應用仍有待突破。因此，目前各國對於定置型 SOFC 系統之發展，仍處於政府補助和產業示範運轉之階段，下述將針對各國產業界，對於定置型 SOFC 系統之應用進行探討與比較，如表二所示。

表二、全球領先廠商對於定置型發電系統之應用

廠商	應用範圍	料源	預期建置量
BE	大型定置型發電系統	天然氣、生質能	4 MW
KSOE	船舶與重工業電力系統	天然氣	≤ 3 MW
三菱重工	大型複合式發電系統	天然氣	1 MW

Bloom Energy (BE) 為美國最大之 SOFC 系統製造商，致力於將 SOFC 系統應用於定置型發電系統。近年來 BE 主要目標在與各國企業及政府單位合作，建置以 250 kW 為基本建置單位之大型定置型發電系統。近年 BE 公司也將 SOFC 系統應用於多元料源中，例如：天然氣、沼氣與生質能等。圖三為 BE 公司於 2019 年所發表之系統建置示意圖，該公司預期與印度當地生質能公司合作，建置相當於 4 MW 之定置型 SOFC 發電系統，並認為使用 SOFC 系統可提升分散式電力的功率輸出可靠度，且減少 65% 以上之碳排放量。



圖三、BE 公司預期於印度建置 4 MW 之定置型發電系統

Korea Shipbuilding & Offshore Engineering (KSOE) 為全球最大造船公司，過去為現代重工集團之子公司。該公司於 2020 年 9 月宣布未來將投入 SOFC 系統開發與建置，並應用於船舶與重工業，且預計取代部分使用於大型油輪與重工業上電力系統等共 3 MW 之發電模組，其系統示意圖如圖四所示。該公司認為透過 SOFC 系統取代舊有發電模組可以提升整體發電效率達 43%，並減少 CO₂ 排放量達 40% 以上。



圖四、KSOE 之 SOFC 發電系統模組示意圖

日本三菱重工於 2015 年成功以城市管路天然氣(NG)為燃料，完成系統規格為 250 kW 級之 SOFC-MGT 長時間運轉驗證，電效率為 50.2% (LHV)[3]。2019 年，與日本特殊陶業、J-Power 若松、九州大學合作，於長崎工廠建置 1MW 大型定置型 SOFC 複合式發電系統。



圖四、日本三菱重工於日本九州大學所建置之 250 kW 定置型 SOFC 發電系統

三、各國對於 SOFC 定置型發電系統之政策方向

由前述美國、韓國與日本三間大型 SOFC 發電系統製造商，對於 SOFC 發電系統之應用可知，目前大型定置型 SOFC 發電系統仍處於示範運轉與政府計畫推廣階段，因此各國政府對於 SOFC 之政策方向即為影響 SOFC 發展之主要關鍵，下述也將針對美、德、日與韓國四國政府對於定置型 SOFC 系統之政策進行探討與分析，如表三所示。

表三、各國對於定置型燃料電池系統之政策比較

國家	政策名稱	補助項目	應用範圍	預期成效
美國	小型定置型 SOFC 複合式發電系統補助計畫	1~25 kW 發電/電解技術	分散式與家用系統	建立商用發電與電解產業技術
德國	KfW 433	0.25~5 kW CHP 系統	家用系統	降低系統成本至~NT 35 萬/kW
日本	Ene-Farm	0.4~3 kW CHP 系統	家用/商用	降低系統成本至~ NT 30 萬/kW
韓國	韓國氢能戰略路線圖	定置型系統與載具	分散式與家用系統 載具與加氫站	建置量 1.5 GW@ 2022 年

Department of Energy (DOE)為美國主要針對能源發展之計畫補助單位，該單位於 2020 年 9 月發表最新一期對於定置型 SOFC 系統補助計畫，有別於過去之補助，該單位於本年度針對 1-25 kW 之定置型 SOFC 發電系統，提出 3 千 4 百萬美金之計畫補助需求。其主要目的在於開發小功率之定置型發電系統結合熱電共生模組，並應用於家用型發電系統，擴大 SOFC 系統之應用，以加速商業化之目的。

NOW GmbH 為德國主要推廣氫能產業之政府單位，近年來協助德國對於推動氫能產業，主要目標在於產氫與運氫等相關技術。該單位協助德國政府推動 KfW 433 計畫，2017 年以來，主要補助對象為家用定置型 SOFC 發電系統[4]。KfW 433 主要協助廠商降低家用定置型 SOFC 系統之建置成本，提升相關系統商投入之意願，進而加速家用定置型發電系統之普及化。

日本政府於 2017 年開始補助不同類型之定置型燃料電池發電系統，其主要分成大型定置型發電系統與小型家用型發電系統[5]。其中，大型定置型發電系統其發電功率需 ≥ 200 kW，每 kW 可補助 45 萬台幣，而小型發電系統則依靠 Ene-farm 計畫，促使成本降低至 NT 30 萬/kW，目標在於降低系統成本，協助廠商加速產品商業化以及民眾對於氫能的接受度。

韓國政府於 2019 年對外正式發布「氫能戰略路線圖」，旨在大力發展氫能產業，並引領全球氫燃料電池車和燃料電池市場發展，主要圍繞於氫能生產、運輸、存儲、使用等領域。短期目標為 2022 年達到定置型裝置量 1.5 GW，同時，政府也積極利用石化工程中產生的氫氣，積極擴建相關基礎設施[6]。

透過分析前述美、德、日、韓四國政府對於定置型 SOFC 發電系統之政策推廣可知，四國政府不論透過技術類型之計畫補助或產品類型之產品補助，主要目的都在於降低定置型發電系統之製造成本，提升民眾對於 SOFC 發電系統之接受度，進而使燃料電池可以於現今社會中普及化。

五、結論

大型定置型 SOFC 發電系統主要用於分散式發電系統與再生能源之電力調節等用途，優勢在於低污染排放以及高發電效率。然而定置型 SOFC 發電系統之製作成本過高，因此，各國政府透過計畫或商用產品之補助計畫，協助廠商降低發電系統之製作成本，並透過補助不同類型之定置型發電系統，近一步提升民眾對於家用或大型定置型 SOFC 發電系統之接受度，加速定置型 SOFC 系統商業化進程。

六、參考文獻

1. M.A. MacKinnon, J. Brouwer, S. Samuelsen, “The role of natural gas and its infrastructure in mitigating greenhouse gas emissions, improving regional air quality, and renewable resource integration”, Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 64, pp. 62-92, 2018.
2. S.C. Singhal, “Advances in solid oxide fuel cell technology”, Solid State Ionics, Vol. 135, pp. 305-313, 2000.
3. S. Imano, Alloy Design and Innovative Manufacturing Technology of High-Strength Ni-base Wrought Alloy for Efficiency Improvement in Thermal Power Plants, Mitsubishi Heavy

Industries Technical Review, Vol. 52 No. 2, 2015.

4. 德國 NOW GmbH 德國氫能政策推廣單位 網站：<https://www.now-gmbh.de/en/news/pressreleases/kfw-433-programme/>
5. 日本 燃料電池普及促進協會(FCA) 網站：<http://www.fca-enefarm.org>。
6. 韓國產業通商資源部：<https://reurl.cc/odjKng>