

台灣燃料電池商業化的潛力

萬其超(Chi-Chao Wan)

羅伯特·羅斯(Robert Rose)

這篇文章是架構在美台燃料電池先導計畫(U.S.- Taiwan Fuel Cell Initiative)下，而這個先導計畫是由威爾遜中心的中國環境論壇(Woodrow Wilson Center's China Environment Forum)與突破科技有限公司(Breakthrough Technologies, Inc.)，在藍月基金(Blue Moon Fund)的大力支持下，所共同在 2004 年秋天合力完成的。此文的編輯者是中國環境論壇的吳嵐博士(Dr. Jennifer L. Turner)。文章中所有意見由作者們共享。

目錄

前言	2
節約能源與清潔能源的相關科技發展	2
電動運載工具在台灣的發展	5
電化學能源工業在台灣的情況	6
燃料電池在台灣的發展及潛在應用	8
1. 初期發展及主要政策里程碑	8
2. 政府機關對於燃料電池的研究及支持	8
3. 學術研究機關的燃料電池相關發展	9
4. 台灣當地工業的燃料電池相關發展	12
燃料電池在北美洲、歐洲及日本的發展	17
燃料電池在中國及其給予台灣的機會	20
建議	22
名稱簡寫一覽	24

■ 前言

在此刻評估台灣燃料電池技術及潛在商業化可能性的現狀是非常合時宜的。台灣為燃料電池研究及商業化建立公-私部門合作機制的腳步，已經較許多國家快。為了成功推行這樣子的合作機制，政府必須主動出擊，打造基礎設施(例：建立安全規定、分擔初期投資風險或提供初期打入市場的支持)，以實現未來的商業化。儘管燃料電池技術發展的產官合作已經推行多年，台灣在燃料電池基礎設施的建立及商業化仍較一些國家落後。這份報告旨在刺激產生新的對話，討論政府、產業界及潛在海外投資夥伴之間的合作，藉此促進燃料電池技術在台灣市場的發展。

全球對於礦物燃料的高度依賴造成能源危機的警訊和環境污染，包括礦物燃料儲存量減少的悲觀預測、燃燒礦物燃料而造成全球空氣污染的惡化。因此如何加速新技術發展，研發出可行的替代清潔能源，成了每個國家都必須急迫面對的課題。

燃料電池有很高的能源效率及清潔排放，是很有前景的清潔能源，特別是針對像台灣這樣子的國家，因為台灣自身的礦物燃料儲藏量非常低，兩千三百多萬的人口擠在約一萬多平方公里的可居住地上，所有的能源只能仰賴進口，對於能源危機幾乎沒有防備能力。此外，台灣尚面臨要降低二氧化碳排放量的壓力。從 1993 年到 2003 年台灣二氧化碳的排放量平均每年增加約 6 個百分點。在 2003 年台灣全年的二氧化碳排放量每人平均超過 10 噸。為因應這些能源及環境污染的挑戰，台灣政府在過去十年加速努力於燃料電池的研發，並因此促使一些有前景私人企業的成立。

雖然台灣是個很小的國家，可是政府與產業界對於燃料技術研發的投資，幫助發展了新興且具潛在商業性的技術，像是電動機車與電動腳踏車。具體實例展現在於德州聖安東尼奧舉辦的“2004 年燃料電池論壇”。來自北美洲總共約有 160 個展示商，而來自亞洲的則只有台灣和日本兩個國家，而且台灣還有兩個展示攤位，所以台灣仍繼續會是燃料電池產業的區域要角，尤其是當要進軍中國市場。這份報告主要回顧台灣燃料電池的發展、商業化機會及檢視如何創造在中國市場的利基。此文旨在分析台灣可能推行的新政策及燃料電池商業化的國際合作。

■ 清潔能源與節約能源技術在台灣的發展

能源的急迫需求及環境污染的惡化促使台灣政府發展一系列的清潔能源政策並支持各種清潔能源技術，尤其是再生能源技術。在開始敘述台灣能源政策及清潔能源與能源效率的研究之前，筆者們首先敘述台灣面臨的能源挑戰，包括能源使用概況，及相關組織與技術的發展，藉此背景知識了解台灣的政策及研究工作如何支持著燃料電池的發展。

台灣能源組成

台灣在 2003 年約有 6 百萬輛汽車以及 1000 萬量機車。這個島國一年的電力消耗約是 16 萬(百萬度)(gwh)，其中約有 4%來自水力、75%的火力發電以及 21%的核能發電。有少量的風力發電，但量能逐漸提升。儘管有多樣的能源組成，但主要仍依賴礦物燃料，尤其在過去 20 年以來石油的消耗平均每年增加約 4.4% (關於石油消耗量請參考表一)。

表一：台灣石油消費的趨勢 (千公秉油當量 MLOE)

項目	民國 72 年		民國 82 年		民國 92 年		民國 72-92 年 成長率(%)
	千公秉 油當量 MLOE	%	千公秉 油當量 MLOE	%	千公秉 油當量 MLOE	%	
消費量	18,909	100.0	32,036	100.0	45,085	100.0	4.4
工業	7,752	41.0	10,374	32.4	18,985	42.1	4.6
運輸	4,036	21.3	10,764	33.6	14,981	33.2	6.8
發電	3,748	19.8	6,394	20.0	4,789	10.6	1.2
住宅	936	4.9	1,357	4.2	1,428	3.2	2.1
農業	875	4.6	952	3.0	1,051	2.3	0.9
商業	76	0.4	150	0.5	490	1.1	9.8
其它	1,035	5.5	790	2.5	1,590	3.5	2.2
非能源消費	452	2.4	1,254	3.9	1,771	3.9	7.1

資料來源：台灣經濟部能源局

表一的石油消費結構顯示工業與運輸的石油消費量約占台灣總石油消費量的 75%。總消費量以 4.4%的年成長率快速成長，促使政府積極採取各種措施以鼓勵能源節約及再生能源開發。

再生能源發展的回顧也與燃料電池潛在發展的討論息息相關，因為水力將是儲存再生能源的一項合適選擇。鼓勵節約能源的政策和再生能源技術不但能幫助減低台灣的石油消費量，對於建立燃料電池產業也意義深遠。

成功的能源節約計畫與政策

在能源節約方面，以下是一些根據台灣經濟部能源局的主要政策成就：

- 建立能源查核制度，並因此在 2003 年節省 660 百萬度(GWh)的電力，61,000 公秉(kiloliters)的石油及 161,000 噸的煤炭。
- 在 2003 年實施電器用品的節能標章管理，促使年平均尖峰用電節省 130 百萬瓦特(MW)。
- 在 2003 年實施新汽機車及漁船引擎的能源使用標準，節省 130,000 公秉(kiloliters)的燃料油。
- 倡導節約能源的技術服務，在 2003 年節省 130 百萬度(GWh)的電力、9000 公秉(kiloliters)的燃料油，以及尖峰電力的 27 百萬度(GWh)。

- 提倡尖峰至離峰時間的電力移轉，截至 2003 年底，總共擷取利用了 4,422 百萬瓦特(MW)的離峰電力。
- 提倡汽電共生系統(cogeneration system)，截至 2003 年底有 6,480 百萬瓦特(MW)。
- 提倡政府部門的能源節約，促使 2001 年至 2003 年維持 2.8%的政府電力使用年平均成長率，且低於 4.4%的全國成長率。

台灣政府的促進產業升級條例提供企業誘因去購置節約能源的設備，包括兩年的加速折舊計畫、13%的租稅優惠和低利融資。以下是相關成果：

- 從 1991 年至 2004 年推行的加速折舊，提供企業購置節省或替代能源機器設備，核准金額為新台幣 121 億元。
- 從 1994 年至 2004 年的低利融資，核准金額為新台幣 112 億元，促使企業加速購置節省或替代能源機器設備。
- 從 1995 年至 2004 年的租稅優惠，核准金額為新台幣 19.5 億元，促使企業加速購置節省或替代能源機器設備。

成功的再生能源計畫與政策

為了整合協調各項提倡再生能源的工作，台灣行政院在 2002 年 1 月 17 日採納再生能源發展計畫。經濟建設委員會負責協調政府各部門促進再生能源的工作。此外，行政院也著手討論再生能源發展法案，以建立再生能源發展的法制，並促進再生能源的永續利用。以下是台灣政府再生能源政策與補貼的相關重要成果：

- 台灣太陽能熱水系統的裝置區域已經普及到 1.23 百萬立方公尺。截至 2004 年底將會達到 1.27 百萬立方公尺。
- 光伏打(太陽能電池其中的一種發電形式)示範系統(photovoltaic demonstration systems)的核准補貼容量為 870 瓩。截至 2004 年底希望可以達到 1 百萬瓦特(MW)。
- 關於風力發電，政府核准容量為 30.64 百萬瓦特(MW)，包括特別設備及電力消費補貼。截至 2004 年底核准容量達約 76 百萬瓦特(MW)。
- 關於地熱，能源局與地方政府合作，建立多功能的示範系統，目標是在 5 年內達到至少 5 百萬瓦特(MW)的地熱能源。
- 關於小型水力發電，累積總能量為 166 百萬瓦特(MW)，並預估在近期未來可以再有效增加 200 百萬瓦特(MW)。
- 關於生物瓦斯發電，目前約有 20 百萬瓦特(MW)的能量，希望未來可以在增加符合經濟效應的額外 30 百萬瓦特(MW)。

在過去兩年內，美國以“氫能經濟國際夥伴”(International Partnership for the Hydrogen Economy)在全球推行氫能經濟，所以促使許多國家思考將氫能列為未來可能能源之一。儘管台灣不是會員，但台灣仍展開關於這項再生能源的研究。舉例來說，台灣的大葉大學協助建立以風力產生氫能的展示系統。此外，台灣電力公司也著手建立一個結合光電與風力發電來產生氫能的展示系統。

接下來篇幅的重點是台灣政府如何成功推行清潔能源和節約能源，包括電動車的 success 發展(可作為燃料電池的潛在應用)，並檢視電化能產業的現狀，以作為接下來討論燃料電池發展的基礎。之後將討論台灣政府對於燃料電池的政策及支持計畫，及產學界對於燃料電池的研究。為了將台灣放在全球燃料電池發展的架構下，筆者也將簡短描述燃料電池的國際發展，以及在中國的發展。本文的結論將有一些提供台灣政府及研究部門的建言(包括獨立研究部門及國際合作的研究部門)，以推展燃料電池在台灣商業化。

■ 電動運載工具在台灣的發展

因為燃料電池的一項主要潛在應用是在運輸交通領域，取代傳統的內燃機運載工具(internal combustion vehicles)和摩托車，所以必須先了解電動車(EV)在台灣現況。如果燃料電池車(FCV)在未來可以商業化，最有可能的情形是以油電複合動力的形式加上電池或超級電容器(super-capacitor)以符合車子性能的需求。這些油電複合動力的交通工具都用電力推進系統，以取代燃料，並在馬達、控制系統與車體技術上有許多相似之處。

1970 年代初當台灣發生能源危機時，清華大學與台灣湯淺電池和 Tanyon Iron 合作，開發台灣第一項燃料電池計畫，希望可以發展一種鉛酸燃料電池，並主要用於郵政運輸服務。大約製造了 200 輛鉛酸蓄電池的交通工具並維持約十年，直到能源危機告一段落。

第二階段的清潔能源交通工具約開始在十年前，為了因應全世界因為空氣污染而對於電動車(EV)的重新關注。台灣作為機車王國，機車密度有可能全球居冠，所以台灣政府遂認為，研究機關從事關於電動機車的研究比較務實。因應政府推動電動機車的優先考量，台灣環保署在 1997 年公佈實施一項鼓勵購買使用電動機車的政策。這個補助案促成超過五家以上電動機車企業的成立，並刺激當時的機車工業開始研發電動機車，不幸的是，無法維持固定的品質水準和維修服務，澆息許多消費者原本對於電動機車的熱情。

電動機車的國內消費在 2000 年達到顛峰的約 10,000 輛，但到 2002 年很快就降到低於 3,000 輛(請參見表二)。台灣環保署在 2003 年取消了補助措施，聲稱電動機車的數目無法實質減緩空氣污染，雖然環保署仍繼續維持對於電動腳踏車的補助，每購賣一輛補助 3000 元新台幣。於是台灣的電動機車工業將重心移轉機車和其他相關電動交通工具的出口。事實上從表三我們可以看到台灣在製造輔助殘障者使用的交通工具上，位居世界領導，包括有超過 50% 的電動輪椅都是台灣製造。

表二：台灣電動機車與電動腳踏車的產量

年	電動腳踏車 出口	電動機車 出口	國內 電動腳踏車	國內 電動機車	總產量
1998	6,209	214	300	1,508	8,231

1999	18,110	1,038	300	5,132	24,580
2000	37,018	8,407	500	13,257	59,182
2001	19,462	43,359	4,733	3,806	71,360
2002*	42,819	6,762	4,373	2,266	56,220
2003	11,811	86,514	3,173	0	101,498

*電鍍機車與電動腳踏車出口量的變動主要因為製造商有時在申報出口量時，混合使用兩個名稱。然而從總產量看，我們仍可以觀察到總體的提升。

資料來源: 台灣工業技術研究院

這些電動交通工具都是倚賴改良的鉛酸蓄電池，然而在未來階段的模型中，也有以鋰電池、鎳氫電池和燃料電池作實驗。電動腳踏出是另外一項市場性漸增的商品，尤其是在中國越來越受歡迎，在過去兩年大約增加一百萬輛。因為台灣早就擁有世界知名的一些腳踏車品牌，包括捷安特，所以很自然地這些公司也進入電動腳踏車的市場，並建立自身品牌。這些成就都顯現台灣有深厚的基礎發展以電池或燃料電池為基礎的輕型電動車(LEV)。

表三: 台灣電動輪椅的出口

年	仟元(新台幣)	數量
1998	846,931	26,622
1999	1,221,948	52,184
2000	2,073,666	78,666
2001	3,512,895	132,541
2002	4,925,423	199,758
2003	7,259,274	302,274

*1 美金約兌換新台幣 32.5 元/ 資料來源: 台灣工業技術研究院

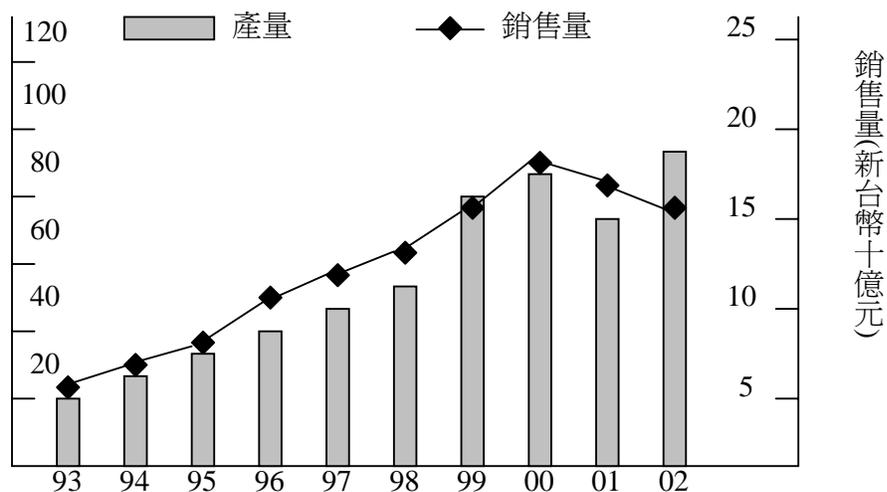
■ 電化學能源工業在台灣의現況

理論上燃料電池是一種將化學能轉換成電能的工具，所以燃料電池的發展與該國電化學工業的水準息息相關，包括電化學工業對於一次電池(primary cells)、充電電池和超級電容器的生產。台灣電化學工業的水準能力對於台灣未來是否有足夠能力發展燃料電池工業有很大的指標性。

台灣主要的簡單化學電池生產都已經移至中國，傳統電池工業只剩下鉛酸蓄電池。有些

鉛酸蓄電池公司是部份日資或與日本公司有合作關係，像是台灣湯淺，但大部分仍是台灣當地獨立的公司。這些電池製造公司供應當地汽車、機車和其他工業應用，每年年平均產值將近新台幣 200 億元，如圖一。

圖一 台灣鉛酸蓄電池的產量及銷售量



資料來源: 經濟部能源局

過去十年來，台灣的研究機關及業界一直對於電池的近一步發展深感興趣，包括鎳氫電池和鋰電池。台灣原本生產鎳氫電池的 NINEX 公司和台達能源系統公司已經將大部分的產線移至中國，鋰離子電池生產，包括鋰高分子電池，在台灣仍十分活絡，包括約 10 個活躍的廠商以及計畫加入市場的新進者。鋰離子電池產業最具規模的一間公司為能元科技(E-One Moli Energy)，在 2003 年達到充分量產，雖然在 2002 年前有一些生產問題。業績的提升反應全球鋰電池生產的潮流，包括鋰離子電池與鋰高分子電池，從 2002 年的 8.6 億增加至 2003 年的 12.5 億。因為台灣生產全球超過 60% 的筆記型電腦，台灣當地對於鋰電池的需求自然非常高，在 2003 年達到 2.7 億。

因為大部分的鋰離子電池都是供應手機和筆記型電腦，所以電池能量是以瓦特小時計，不足以供應挑供運輸工具。然而有幾間台灣廠商，包括台灣超能源公司和太電電能，都著手進行運輸應用的大型電池，並逐漸吸取設計千瓦小時計電池的經驗。

可充電電池對於日後燃料電池的生產也大有幫助。設計有重組器的燃料電池系統需要一些時間才能達到完全的效能，所以一些需要立即達到完全效能的應用就必須包括可充電電池。對於燃料電池在運輸工具的應用上亦然，即使沒有重組器。電池或超級電容器常常被設計在系統中，以彌補常常在燃料電池上發生之放電功率密度不足的問題。

成本是燃料電池市場化最大的阻礙。美國能源部和其他相關機關都在追求可以降低成本

的燃料電池科技。雖然台灣是一個小國家，台灣在電池、相關控制設備和輕型電動交通工具的生產上有很悠久的歷史和穩固的基礎。這些生產條件的配合上台灣成爲生產燃料電池的合適地點，並有能力顛較低的成本生產。

■ 燃料電池在台灣的發展及潛在應用

初期發展及主要政策里程碑

2000 年在台灣第六屆國家科學科技會議上，有參與者向政府提出建言，希望政府能規劃燃料電池在台灣發展的準則及藍圖。主要目標是希望可以提倡地方產業之間的合作，建立實際能運作的制度及基礎設施，讓台灣在全球燃料電池產業中，擁有具競爭力的立足點。

在 2001 年，行政院科技顧問團(Science and Technology Advisory Group (STAG) of the Executive Yuan)在年度會議中作出以下結論：

- (1) 在行政院科技顧問團(STAG)下設立一個推廣燃料電池的工作小組，從事與 3C(command, control and communications)產品相關、或關於電動機車、配電系統相關的研發工作。環保署也應鼓勵在私部門的合作結盟。
- (2) 國科會的研究補助上應該著重針對燃料電池設備或材料的創新研究，以及人力資源的訓練。經濟部應負責科技與產業發展，建立燃料電池的規格和標準。環保署應負責提倡燃料電池的應用並有示範計畫。
- (3) 所有相關部會應提撥足夠財政資源給予燃料電池發展。

近來政府發展燃料電池的工作路徑圖主要開始於 1980 年代中期的台灣，當經濟部與台電(台灣最主要的電力公司)開始挹注資金在燃料電池發展上。儘管開始頗早，但到了 2000 年唯一仍持續致力於燃料電池發展的只有工研院的能資所，能資所是台灣最大的應用研究機構，資金主要來自經濟部。能資所主要從事磷酸燃料電池的研究，並在台北縣設有展示站。除了能資所以外，從 1980 年代以降，也在大學有一些零星的學術研究，但過去三年以來當政府重新對燃料電池研究感興趣後，這吸引私部門和相關政府部門對於燃料電池發展投注更多關心。

支持或投入燃料電池研究發展的相關政府部門

- (1) 環保署：訂定製造工業與汽車工業的污染排放標準，並以部分補助來鼓勵提倡低排放量的電動車。

(2) 經濟部：主要是經濟部轄下的能源局來負責提倡清潔能源研發與應用。另外一個部門是經濟部的工業發展處，主要管轄各個領域的工業發展。工業發展處也在最近更加努力協助台灣當地燃料電池工業的發展。最後，還有經濟部的技術處，主要幫助私部門產業和國家實驗室進行長期的研發工作。現階段，技術處提供資金予直接甲醇燃料電池和直子交換膜燃料電池的研究。

(3) 長期研發方面，主要提供研究資金的國科會在 2003 年成立一個針對燃料電池研究的特別計畫。到了 2004 年這個計畫已經在台灣的大學促成超過 60 個燃料電池相關的研究案，研究資金也從 2000 年的新台幣 1,100 萬元增加到 2003 年的新台幣 6,200 萬元以上。國科會的補助支持漸漸為燃料電池領域培養為數可觀的人才。

(4) 另外一個最近加入的角色是原子能委員會，之前主要長期負責監督台灣三座核電廠及施工中的核四廠的營運，但隨著中央政府逐漸倡議非核家園，原委會開始將重心轉移至新替代能源的發展，尤其是燃料電池。目前的主要關注是固態氧化物燃料電池(SOFC)和直接甲醇燃料電池(DMFC)。

(5) 國防部所屬的中山科學研究院也在最近開始燃料電池研究，有約新台幣 1,500 萬元的年度預算，重心在燃料電池重組器的技術。

表四：2003 年政府給予燃料電池研究的補助

政府部會	補助金額 (新台幣百萬元)
國科會	30
環保署	1
能源局	105
經濟部工業發展處	10
經濟部技術處	74
原子能委員會	30
國防部	15

資料來源：燃料電池伙伴聯盟

台灣政府給予燃料電池的補助總共約新台幣 2 億 5 千萬元，其中約佔 62%的質子交換膜燃料電池(PEMFC)研究經費，第二位是約 27%的直接甲醇燃料電池(DMFC)。這總額約佔台灣年度能源研究經費的 10%，也由此可見政府對於燃料電池作為清潔能源重要技術的重視程度，然而如果希望有具體成果，政府仍應該付出更多努力。

學術研究機關的燃料電池研究發展

從 1990 年開始，台灣的大學開始進行燃料電池的基礎研究，包括質子交換膜燃料電池(PEMFC)、固態氧化物燃料電池(SOFC)和直接甲醇燃料電池(DMFC)。此外，有一些研究機構甚至將燃料電池研究定位為研究主軸。舉例來說，元智大學組織了質子交換膜燃料電池(PEMFC)和直接甲醇燃料電池(DMFC)的研究團隊，在經濟部 and 國科會的經費補助下，大學的研究者得以發展一項質子交換膜技術，而且有令人雀躍的成果。另外，銘傳大學也著重燃料電池研究並希望將學校本身創造成為燃料電池使用的展示園區。

其他大學，像是台灣大學、清華大學和成功大學也取得國科會補助進行燃料電池研究，這些大學的主要研究領域包括流道設計模擬、新觸媒配方與鑑別。

有系統的研發則主要在國家實驗室進行，因為國家實驗室有長期專職的人員及資金來支持研發工作。以下是國家實驗室的三個重要例子來呈現台灣對於燃料電池研發的技術投入程度：

工研院材料研究所

在台灣，工研院的材料研究所從事可攜帶能源相關設備的研究，是最著名的研究中心之一。在燃料電池方面，工研院材料研究所選擇的是直接甲醇燃料電池(DMFC)的系統，因為它被認為是下一代可攜帶能源中最有潛力的一種。研究所裡有約 70 名研究員在電化能實驗室，而超過 20 名進行直接甲醇燃料電池(DMFC)的研究。

工研院材料研究所針對直接甲醇燃料電池(DMFC)，有下列三個主要研究領域：(1) 低甲醇穿透膜；(2)高性能膜電極組；以及(3)最有效能的直接甲醇燃料電池(DMFC)系統。關於第一個主題，燃料電池的研究專家普遍都知道甲醇穿透會造成陰極電位降，而降低燃料電池的性能。所以工研院材料研所發展了一套系統，稱作 MRL-436，其甲醇穿透率僅為 Nafion 117 的五分之一，而且仍具相當得導電度。

第二個研究領域是關於膜電極組(MEA)。工研院材料所的主要研究是觸媒漿料的分散性、更有效的結構設計、和大量製造的方法。由於在陰極和陽極的反應都很緩慢，傳統電極上的觸媒量往往要高達每平方公分 4 毫克至 8 毫克，這也就是說觸媒漿料的分散會非常重要。工研院材料所最近有突破性發展，提高了觸媒的被利用率，所發展的膜電極組在 40°C 下使用體積百分比 10%之甲醇水溶液做為燃料時，其放電功率達到每平方公分 50 毫瓦特以上，而且觸媒的被利用率達到 55%以上。此外，也發展出大規模生產的方法。

在第三個主要研究領域，工研院材料研究所針對可攜帶式的直接甲醇燃料電池(DMFC)，希望將它設計作筆記型電腦的供電源。這個實驗室發展了一種直接甲醇燃料

電池(DMFC)和鋰離子電池(Li-ion)的複合系統。因為堆積密度的提升也很重要，所以工研院材料所也發明了一種平面式膜電極組堆疊設計。

工研院能源與資源研究所(簡稱能資所)

台灣主要的燃料電池研究發展開始於 1987 年，由台灣電力公司出資贊助研究建設一座燃料電池發電廠的可行性。這項研究依照當時技術發展的程度，選擇磷酸燃料電池，但也將其他種類的燃料電池列入考量。因此從 1988 年，經濟部的能源委員會(現在的能源局)補助工研院能資所一項主要燃料電池計畫，目標是發展燃料電池的相關零件和系統本身，並將燃料電池技術應用推廣公眾。計畫最後與台電的發電研究所共同完成一座燃料電池發電廠，總發電量約超過一百萬千瓦，並在三年內有 16,333 千瓦小時的運作。¹

在 1997 年，工研院能資所開始進行質子交換膜燃料電池系統，有 3 至 5 瓩的發電量，可以提供一般家庭電能與熱能。因為天然氣在台灣的住宅區很普遍，所以選作為燃料。因此這座系統包括天然氣重組器(natural gas reformer)、燃料電池堆(fuel cell stack)、DC/AC 變流器(DC/AC inverter)，以及控制子系統，再加上也是儲氫子系統利用儲氫合金作為儲存媒介的電池，這個燃料電池系統就成為一座不斷電的電源供應系統。這項計畫是工研院轄下各個實驗室共同努力的成果：(1)化工所研發天然氣重組器；(2)材料所開發以儲氫合金作為儲存媒介的儲氫材料；(3)能資所負責各項技術的整合。伴隨工研院的燃料電池研發，在 2001 年建造一座測試中心，來測試工研院或是其他單位(包括國內外的賣商)所研發的燃料電池。目前在這座測試中心，共有七座燃料電池的測試站，規模從 300 瓦到 12 瓩。每一座測試站都有建立標準作業程序，這樣子才能一致性地測試是否達到國際標準。氫能和燃料電池的標準或規格也能利用這座測試中心的測試儀器進行研究。

核能研究所

核能研究所建立於 1968 年，是台灣唯一進行核能科技研究的研發中心。從 2002 年開始，核能研究所將部份研究重心放到新興能源的研究。這不但是配合台灣能源多元發展的國家目標，也為本身研究所導引出新方向。

從 2003 年至 2007 年核能研究所(INER)發展一項五年計畫，希望可以加速以 III-V 族元素為基礎的氫能與太陽能電池應用。第二個五年計畫從 2004 年到 2008 年，著重未來研究發展的特殊領域。

在氫能製造方面，核能研究所進行了幾種電漿重組器的研究，並展示那些有超過 93% 天然氣轉換率且一氧化碳低於 100ppm 的電漿重組器。而利用水溶性纖維(bio-fiber)之製程途徑，將乙醇轉化產生氫氣的技術仍在研究當中。在氫能儲存方面，由觸媒催化熱分

¹ This plant has now ceased operation since its technology became fairly standard without any new R & D value. 這座發電廠已經停止運作，因為這項技術已經很普及，沒有研發價值。

解天然氣所合成的多壁碳奈米管(multi-walled carbon nanotubes)，在純化及活化後，其儲氫能力可達 3.3 個重量百分率(3.3wt%)之成果。

在燃料電池研究方面，核能研究所發展兩種系統。針對直接甲醇燃料電池系統，在直接甲醇燃料電池系統(DMFC)方面，已組裝出可呼吸空氣（被動式）設計的系統，使用 1.5 毫升甲醇可提供 75 分鐘的通話時間。目前目標是組裝含 10 個單電池可輸出 17 瓦特電能之電池堆，可應用在 3C 產業上之能源替代方案。

在固態氧化物燃料電池研究方面，核能研究所進行一系列廣泛的研究，包括系統設計發展、性能監測模擬、以及零件製造和組件。有一套進行電化能與熱能性能分析的電腦軟體系統(e.g. INER-SOFC)可以分析各種操作情形與設計。根基於固態氧化物燃料電池的展示發電站目前正在建造當中。

台灣當地工業發展

因為私部門很在意近期商業化的可行性，所以所有參與燃料電池研發的公司都投入質子交換膜燃料電池類型的產品，而直接甲醇燃料電池(DMFC)與固態氧化物燃料電池(SOFC)則較有挑戰性。儘管如此，跡象顯示台灣仍有一些公司進行關於直接甲醇燃料電池(DMFC)在 3C 的應用。

至目前為止，大概有兩間製造公司已經通過雛型測試階段(prototype state)，因此已經有一套可銷售的系統或子系統，包括亞太燃料電池公司 (Asia Pacific Fuel Cell Technologies, Ltd.)和大同公司。亞太燃料電池公司主要在將儲氫合金儲存純氫之系統，應用在發電裝置以及電動機車等。大同公司則以甲醇作為氫能來源，並將該系統鎖定在定置型發電裝置上。有一間叫做勝光科技(Antiq Technologies)的新公司發展一種直接甲醇燃料電池(DMFC)的雛型產品。關於這三間公司更詳細的介紹將會在下文中進行，以更了解台灣現有的技術能力。

特別值得一題的是除了上述三間進行燃料電池研發的公司以外，台灣有漸蓬勃發展的鋅空氣電池工業(zinc air battery)。至少有兩間製造商，包括異能科技(eVionyx)和世梓科技股份有限公司(Century Zinctec Electric)，都努力促成鋅空氣電池產品的商業化，以下也會有專文介紹。鋅空氣電池可視為燃料電池的一種簡化的衍生物(simplified derivative)。在陰極，它就像一般燃料電池利用空氣作為燃料，但在陽極，它則用金屬鋅(metallic zinc)取代氫氣作為燃料，因此可以減少氫能處理和重組器運作的問題。雖然有其他的技術問題，但是鋅空氣電池仍可視為廣義的燃料電池，且頗適用於像是台灣具中程技術能力的國家。這項發現也說明雖然台灣可能永遠不能成為燃料電池工業的全球要角，但可以在燃料電池子系統中找到一種特殊類型的燃料電池作為利基點，尤其是其應用或原始設備製造(OEM)。

大家都認知到燃料電池工業的建立有賴各個角色的緊密配合，包括政府部會、研究機關和工業界，所以台灣政府鼓勵創立一個包含各種角色的聯盟，也就是以下會介紹的“台灣燃料電池夥伴聯盟”。

中國石油，台灣最大的石油供應商，對於氫能供應與配達的生意也非常感興趣，因為它擁有大量加油站。中國石油也有處理天然氣的經驗。另外一間公司是氣體產品(Air Products)擁有的三福化工公司(San-fu)，也進行關於儲氫罐(H₂-storage canister)及其相關科技的研發。其他支援燃料電池零件或設備的公司也漸漸產生，形成台灣發展燃料電池工業更堅實的基礎，包括 (1) 碳材料開發的永裕應用科技材料公司(Yonyu Applied Technology Material Company); 以及(2) 開發氧化觸媒應用技術和氫氣純化的碧氫科技(Green Hydrotec)。

台灣燃料電池夥伴聯盟 (Taiwan Fuel Cell Partnership, TFCP)

台灣燃料電池夥伴聯盟(TFCP)成立於 2001 年 7 月，主要任務是配合行政院燃料電池研究發展的團隊，重點發展台灣燃料電池產業。環保署和能源局也都資助此聯盟。這個聯盟結合產業界、政府部門和學術研究機構，共同致力促展台灣燃料電池的技術及產業。

台灣燃料電池夥伴聯盟(TFCP)成立一個執行委員會，主要由政府代表組成，監督聯盟運作，設有秘書處和工作團隊，以及任務導向的政策工作小組。目前的工作小組分組與其目標請見下表五：

在相關政府部門與企業的支持下，台灣燃料電池夥伴聯盟(TFCP)建立台灣燃料電池資訊的網站(請見本文後)，將燃料電池相關報告以電子郵件寄送給大家，此外也舉辦會議來促成意見交換和工業研究。台灣燃料電池夥伴聯盟(TFCP)並邀請專家學者與政府部門討論台灣燃料電池產業未來的政策和方向。最近也在國中小進行教育推廣，希望可以讓更多公眾了解這項新興能源。除此之外，台灣燃料電池夥伴聯盟(TFCP)也希望可以參與國際市場以協助推廣台灣的燃料電池產業。

表五：台灣燃料電池伙伴聯盟之中的政策工作團隊成員

團隊	成員 s		目標
	主要	次要	
電池團隊	中國石油公司	聯華氣體工業股份有限公司(BOC LienHwa Industrial Gases Company, Ltd.)	發展政策與後勤物流來支持燃料電池能源。
燃料電池團隊	核能研究所	大同公司 (Tatung Company)	燃料電池研發。燃料電池應用的展示與提倡。
發電機團隊	台灣電力公司	中山科學研究院材料暨光電研究所光電組 (Materials &	發電機的研發、提倡和行銷。

		Electro-Optics Research Division of Chung-Shan Institute of Science and Technology)	
3C 應用團隊	工研院材料所	漢氫科技股份有限公司 (H Bank Technology Inc.)	3C 應用的研發、提倡和行銷。
電動車團隊	工研院材料所	亞太燃料電池公司 (Asia Pacific Fuel Cell Technologies, Ltd.)	電動車燃料電池產品的研發、提倡和行銷。政策與規格的發展。
法規與測試團隊	工研院能資所	財團法人車輛研究測試中心(Automotive Research & Testing Center)	燃料電池產品的規格和標準設定，像是燃料電池電動車與 3C 產品，並進行測試。
產業促進團隊	台灣經濟研究院		燃料電池市場分析(像是燃料電池電動車與 3C 產品)。燃料電池產業的市場開發。
學術團隊	銘傳大學	台灣經濟研究院 (Taiwan Institute of Economic Research)	燃料電池理論與技術的研究，並推廣其研究。
政策工作團隊	台灣經濟研究院		匯集各個團隊意見以針對燃料電池發展策略向政府提出建言。

大同集團

大同集團的重電(Heavy Power)部門是台灣重電生產最大且悠久的製造廠(2004 年的年收入有 70 億美元)，專長有傳統高壓高能量的柴油發電。後來考量環境以及擴充生意，從 2001 年開始大同公司進行替代電力的研發，尤其是燃料電池的定置型發電應用。

大同公司的燃料電池研發團隊與工研院密切合作，發展一系列的燃料電池產品，包括量身訂製的燃料電池堆(1~5 瓩、1 瓩及 5 瓩的具變流模組的轉換器)，1 瓩燃料電池發電的後備系統以及 2 瓩的甲醇燃料處理系統(methanol fuel processing system)。大同公司也會持續發展更有效能、精巧、耐久且低成本的燃料電池產品，以在近期取得市場利基。

2004 年在德州聖安東尼奧舉辦的燃料電池論壇中，大同公司展示一座新開發之 1 瓩的變流器，吸引一些潛在客戶。這座直流轉交流的變流器有良好性能，可以用合理價格應用在燃料電池系統。目前大同公司努力研發，希望可以將變流能力提升至 5 瓩。相較於其他類似產品，大同公司的設計更精巧，或許能藉此協助他們打入國際市場。

亞太燃料電池公司 (Asia Pacific Fuel Cell Technologies, Ltd., APFCT)

亞太燃料電池公司(APFCT)在 2000 年三月由 Dr. Jefferson Yang 和他的核心團隊共同組成。一開始，楊博士將重心放在 3C 或其他可攜帶燃料電池的應用。但是在他完成燃料

電池機車的可行性評估後，他了解到質子交換膜燃料電池(PEMFC)對於輕型大眾運輸工具有革命性影響潛力，也能夠幫助亞太區域環境的保護。所以亞太燃料電池公司(APFCT)在台灣成立，希望可以促進燃料電池科技的早期商業化以及對於小型雙輪交通工具的應用。

自從成立後，亞太燃料電池公司(APFCT)致力於燃料電池技術的機車應用和技術提升。在 2001 年 6 月台灣政府給予亞太燃料電池公司(APFCT)一項研發補助金，從事燃料電池應用於機車的先期研究，並在 2002 年 1 月成功執行。在這期間，APFCT 完成燃料電池機車的雛型：ZES II, ZES II.5 and ZES II.6。而且最值得一提的成果是 ZES II.6 是全世界第一輛公開亮相的燃料電池機車，且經過政府設立實驗室的認證。

在 2002 年 8 月，亞太燃料電池公司(APFCT)接受另一項補助--質子交換膜燃料電池(PEMFC)堆應用的發展，是工業發展局所屬的領先產品發展計畫(Leading Product Development Project program)。這項重要的補助案顯示台灣政府對於燃料電池的高度興趣和支持。這個計畫到 2004 年 7 月，亞太燃料電池公司(APFCT)成功完成燃料電池系統的設計，並展示世界第一作自動燃料電池量產系統(fuel cell volume production system)。這座系統是燃料電池進步的重要里程碑，ji 繼續向商業化邁進一步。

從 2002 年到 2004 年，亞太燃料電池公司(APFCT)繼續發展可市場化的燃料電池機車，包括 ZES III, ZES IV and ZES IV.5。這些燃料電池機車在年度國際燃料電池論壇(international Fuel Cell Seminar)作展示並提供試乘。亞太燃料電池公司(APFCT)計畫在未來的展示場合中引進更精進的燃料電池機車。

除了燃料電池機車以外，亞太燃料電池公司(APFCT)也發展將質子交換膜燃料電池(PEMFC)應用在推高機。在這個領域，亞太燃料電池公司(APFCT)是加拿大 Cellex 電力公司電池堆與增濕器(stacks 和 humidifiers)的唯一供應商。Cellex 電力公司所發展的混合燃料電池發電系統的目標是希望可以在 2005 年初在 Wal-Mart 的倉庫作實際測試，並朝初期商業化邁進。亞太燃料電池公司(APFCT)也發展出一種混合系統，是利用空氣冷卻的燃料電池和濕化機，並成功應用於日本栗本實業(Kurimoto Corporation)的輪椅。依靠燃料電池的輪椅可以持續在不充電的情形下使用超過十個小時。亞太燃料電池公司(APFCT) 和栗本實業(Kurimoto Corporation)也將共同發展新一代整合性的輪椅，設定目標在 2006 年達到商業化。

在 2005 年，亞太燃料電池公司(APFCT)便已經很積極向台灣政府提出草案來設計燃料電池機車的旗鑑展示。這項展示主要有亞太燃料電池公司(APFCT)發展的燃料電池機車，內建氫氣燃料儲存和氫能基礎設施模型。目標是希望可以藉由此模型來提升燃料電池科技對於輕型交通工具的應用能力，也象徵燃料電池能源在台灣邁向商業化的一個重要里程碑。

勝光科技 (Antiq Technologies)

在 2003 年成立，勝光科技是一間新的研發公司，致力於直接甲醇燃料電池(DMFC)的技術，它自己設計並製作，有一項可將零件似的甲醇燃料電池(DMFC)模組插入筆記型電腦之光碟機標準插槽內以提供電源的專利技術，體積是 190x128x30 mm，重量是 435 grams。這雛形元件使用 10% 甲醇水溶液的燃料卡匣，可輸出 10 瓦特的電能。這元件具有的三層結構，是由電子業常用的印刷電路板所組成的。

台灣異能科技(eVionyx Taiwan, Inc., EVT)

台灣異能科技(eVionyx Taiwan, Inc., EVT)由美國異能科技(eVionyx, Inc. USA)的 Dr. Sadeq Faris 和台灣誠信創投公司的李正明博士共同成立於 1999 年，主要理念是精進金屬燃料技術並促成其商業化。台灣異能科技(EVT)和美國異能科技(eVionyx, Inc. USA)共同擁有超過 200 項在金屬燃料應用的專利。台灣異能科技(EVT)追求一系列應用，包括運輸、電力供應和儲存、國防用、儲電備電、便攜式用電供電和電動工具。台灣異能科技(EVT)致力於關鍵零件的生產、產品設計、金屬燃料模型的製造和金屬燃料的再生產。台灣異能科技(EVT)於 2001 年在台灣中壢設立大規模製造的工廠，目前已經具備以下能力：(1)製造所有主要零件，包括空氣陰極、金屬燃料和固態離子交換膜；(2) 製造各種鋅電池的模組以作為便攜式用電設備和運輸工具的供電來源； (3)電動腳踏車、電動機車和電動汽車的動態測試實驗平台實驗室(Roller Bench Lab)。

台灣異能科技(EVT)成功開發各種可攜式供電，包括長儲存性備用電源產品；可攜式交流電源供應器(a portable AC power source)；可攜式的持續燈組(portable long-service lamp sets)；多功能照明組；單次用、性能好的可充鋅空氣電池(a high performance, one-time use zinc air battery for charging)；以及可重複使用之環保 D 型電池(an environmentally benign reusable D size battery)。台灣異能科技(EVT)也與台灣電力研究院開發可移動的儲電系統，這是用來測試金屬燃料技術是否有儲電功能以應用於可更新能源發電站的可能性。

在運輸部門，台灣異能科技(EVT)已經進行一系列的電動車試跑、包括不同的距離、馬力、加速度和總重，並甄選參與 2003 年由工業發展局所贊助的“高性能電動機車的公路試跑”。在三個月內，台灣異能科技(EVT)將十輛電動機車裝備有鋅空氣燃料電池，以 3 匹的馬力上路，且可以加速至 100 公里。從目前蒐集而來的數據顯示台灣異能科技(EVT)所製造的電動機車有很大的潛力進入市場作商業化應用，此外美國和台灣的異能科技也共同開發一個鎳鋅電池和鋅空氣電池複合系統，所應用的電動車可以達到零污染排放。

世梓科技股份有限公司(Century Zincatec Energy Inc)

鋅空氣燃料電池可以視為經濟型的燃料電池。在台灣世梓科技股份有限公司(Century

Zincatec Energy Inc., CZEI)在明鑫科技股份有限公司(Advance Nanopower Inc)的支持下，在技術上突破這種電池以往快速充電時電力不足的問題。這項成就展示鋅空氣燃料電池作為電動車供電來源的潛力。目前這種電池的放電密度(density of discharge)可以達到每平方公分 370 毫安培。

世梓科技股份有限公司(CZEI)目前也著手進行公車與輕型汽車的路跑，皆備有鋅空氣燃料電池，並與國際汽車製造商合作。世梓科技股份有限公司(CZEI)的鋅空氣燃料電池可以在一般大氣壓力下運作，而且不需要其他壓力平衡的系統設計，使得電池系統的設計更簡單便宜。有了這些特質，鋅空氣燃料電池可作為 150-180 瓩電動公車的主要供電來源。在 2005 年世梓科技股份有限公司(CZEI)也計畫要進行鋅空氣燃料電池中型電動公車的路跑測試。

■ 台灣燃料電池研發的總結

上述對於燃料電池研究與政策的回顧歸結出以下兩個重要結論：

1. 雖然台灣作為一個國家面積很小，但是燃料電池相關研發活動相當平衡，而且在學術領域、國家應用實驗室和產業界的產品發展都有進行大部分的基礎研究。
2. 製造商都很積極在追求燃料電池技術商業化。有一些公司，像是大同公司，完全掌握利用自己在電力和控管的內部優勢，為變流器模組(inverter module)發展競爭力基。其他像是亞太燃料電池或是異能科技，讓台灣從國外得到核心技術並製造專門產品。因此，雖然大部分公司都還在初期階段奮鬥，可是在製造商業化產品上已經有一些成果，而且這些公司很快累積著經驗。

■ 燃料電池在北美、歐洲和日本的發展與商業化

目前至少有約 22 個國家正進行氫能與燃料電池轉換的研究，而且大部分都有政府資助。舉例來說在美國，突破科技股份有限公司(Breakthrough Technologies, Inc.)估計在 2005 年來自聯邦政府與州政府關於燃料電池研究、展示、購買和裝置的預算會超過美金四億元。與私部門出資的比例約 2 比 1。在歐洲與日本也有很可觀的投資，包括在德國、加拿大、新加坡、韓國、澳洲、中國和其他國家。有一些國際上的例子請見下表六。

- 歐盟的“第六框架”(Sixth Framework)的能源研究計畫，有 20 億歐元的預算來特定支持可更新能源和氫能與燃料電池的研究。
- 加拿大政府公佈一項之 5 年共 3 億 5 千萬的燃料電池計畫。
- 日本政府每年對於燃料電池的研究估計約 300 億日幣，並訂定至 2030 年的商業化達成標竿。
- 德國政府與邦聯內各州都有燃料電池計畫，估計一年約 8 百萬至 1 千萬歐元。

- 韓國公部門的燃料電池投資估計在 2004-2011 年之間達到約 5 億 8 千 6 百萬美金。

透過國際能源局(International Energy Agency)和氫能經濟國際夥伴聯盟(International Partnership for a Hydrogen Economy)許多國家都在追求燃料電池的合作開發活動。

表六：特定燃料電池車的研究與展示專案

國家	投入資金
加拿大	
加拿大運輸燃料電池聯盟	來自加拿大政府的 2,300 萬加幣展示燃料電池車各種可能性。
氫能早期採用者計畫(Hydrogen Early Adopters (“h2EA”) Program)	來自加拿大政府的 2 億 1500 萬加幣來開發新觀念，包括氫能高速公路。
加拿大燃料電池氫能社區夥伴(Fuel Cells Canada Hydrogen Village Partnership)	在多倫多展示氫能基礎建設。
溫哥華燃料電池專案(Vancouver Fuel Cell Project)	超過三年共 580 萬加幣。
複合燃料電池運輸公車專案，並與 Hydrogenics Corporation 合作。(Hybrid Fuel Cell Transit Bus Project with Hydrogenics Corporation)	800 萬元加幣。(加拿大天然資源(Natural Resources Canada) 第一期 100 萬元加幣、第二期 100 萬元加幣，其他參與夥伴會負擔其餘部分)。
中國	中國政府承諾一年 2 千萬元以進行為期五年燃料電池車研究。中國科學研究院超過三年投資 1,200 萬元於氫能科技，另外全球環境設施(Global Environment Facility)會提供另外 1,200 萬元作為燃料電池公車發展，中央與地方政府提供 2,000 萬元，私有企業也會提供 400 萬元。
歐洲	
歐盟(EU)	至 2015 年 28 億歐元的氫能投資，至 2007 年共 5 億歐元，從 2007-2012 年共 12 億歐元。
歐洲的都市清潔運輸(Clean Urban Transport for Europe, CUTE)	歐盟投注 1850 萬歐元在九個城市於燃料電池公車和基礎建設(每個城市三輛車)。
<i>法國</i>	超過五年投資於清潔交通車的 4000 萬歐元，其中 580 萬歐元投資於燃料電池。
<i>德國</i>	聯邦與各州發電與電動車發展與展示的 5,500 萬 -6,000 萬元。
<i>義大利</i>	每年近 1,500 萬歐元，並在接下來三年中加倍至 3000 萬歐元。
冰島	
城市環保運輸系統(Ecological City Transport System, ECTOS)	三輛燃料電池公車的展示、氫能基礎建設。總共約 950 萬歐元，其中 280 萬歐元來自歐盟，670 萬歐元來自企業夥伴((Shell, VistOrka hf, Norsk Hydro, and

	DaimlerChrysler)
日本	
日本氫能與燃料電池展示專案 (Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project)	多間公司參與的上路展示。日本政府 20 億日幣於 2002 年，25 億日幣於 2003 年。
甲醇燃料電池車專案(Methanol Fuel Cell Vehicle Project)	國際貿易與工業部(MITI)將投注 3 億日幣，且總計畫 成本是 10 億日幣。
美國	
自由的車/氫能燃料電池先導計畫 (Freedom Car/Hydrogen Fuel Initiative)	總共投資 17 億元從事氫能燃料電池、氫能基礎建設 與尖端車輛科技的發展。
國家燃料電池公車科技先導計畫 (National Fuel Cell Bus Technology Initiative, NFCBTI)	提議撥款 1 億 5 千萬美元給美國聯邦政府的運輸基 金來從事燃料電池公車的發展和配發。
加州燃料電池公車計畫(California Fuel Cell Bus program)	在三個行政區的七輛公車，預算是 1,845 萬元。
世界銀行/全球環境設施(World Bank/ Global Environmental Facility)	巴西、埃及、中國、印度和墨西哥的公車展示，並 於 2003 年 12 月作出 2,420 萬元的資金。

資料來源：2003 年燃料電池車，突破科技學院股份有限公司(Breakthrough Technologies Institute, Inc.)，華盛頓特區，2004。

燃料電池車市場

儘管燃料電池的種類及應用不斷被開發，但最具有潛力的市場仍是燃料電池車(fuel cell vehicles, FCV)。下表七呈現燃料電池在全球的各個種類及應用，並勾勒出台灣可以參與投入的技術及市場。加拿大巴拉德電力系統公司在 1980 年代後期展示燃料電池應用於運輸工具的潛力。許多公司，包括通用汽車、豐田、福特、和戴姆勒克萊斯勒都很快進入燃料電池車的研發，不論是獨自發展或與其他公司合作。初期目標是利用液態碳氫化合物燃料與現存石油配達系統結合。然而內建重組器的技術難度讓許多研發者開始考慮只單純利用氫能作為燃料，儘管這樣仍會有其他問題。豐田 Prius 油電複合動力車的成功讓更多製造商創造靈感，了解可以把混合的研發模型當作過渡時期的商品。大部分的燃料電池開發者所製造的燃料電池車都控制在 35 瓩或更多。所以對台灣有利基的市場是為這些產品提供零件或是發展低於 20 瓩的小型電動車。

表七：全球燃料電池種類與應用現狀

燃料電池種類	電解質	運轉溫度	應用	現狀
磷酸燃料電池 (Phosphoric Acid)	液態磷酸	~450C	發電、氣電共生	以權利金(premium price)價格進行商業買賣，可以達到 280 個單位

固體電解質 燃料電池 (Molten Carbonate)	碳酸鹽混合物	~625C	發電、氣電共生、有 渦輪混合組態的應用 潛力(Potential for hybrid configurations with turbines)	以權利金(premium price)價格進行初期 買賣
質子傳導膜 燃料電池 (Solid Oxide)	無孔陶瓷混 合物 (Nonporous ceramic compounds)	~800-1000 C	發電、氣電共生、住 家和運輸的應用潛 力、有渦輪混合組態 的應用潛力(Potential for hybrid configurations with turbines)	住家應用與發電的 展示/氣電共生的應 用.
鹼性 燃料電池 (Alkaline)	液態矽酸鉀	~50C	發電、特殊應用	在專門市場的販賣
質子交換膜 燃料電池(高分 子膜) (Proton Exchange Membrane, solid polymer)		~65C	備用電力、小型分布 式電源、住家、運輸 工具及電池置換	電池組在教育市場 已商業化。備用電力 和小型攜帶能源市 場中進行出其買 賣。各種交通工具的 大規模展示。住家應 用上也是展示階段。
直接甲醇 燃料電池 (Direct Methanol, solid polymer)		~65c	備用電力、小型分布 式電源、住家、運輸 工具及電池置換	在電池置換市場達 到初期販賣階段

■ 燃料電池在中國的發展及其帶給台灣的機會

儘管中國有自己的石油儲存，中國仍無法應付持續攀升的石油需求，並從 1994 年開始進口石油。中國政府了解到這個戰略弱點，因此從十年前積極進行可替代能源的研究發展。燃料電池發展，尤其是交通方面的應用，一直是主要項目之一。

從1990年初期中國政府開始支持在大學進行電動車研發，主要重心在電池技術和電動馬達。北京的清華大學是主要領導角色，統籌國家研究的時程表。他們很快就意識到這個產業因為需要複雜龐大的基礎設施及多種科技的合作，所以從早期就需要產業界的大量參與投入。所以在中國國家研究的第二階段，汽車製造業與其他相關產業開始更積極參與並受政府補助。學術圈在清潔電動車方面有很大的發展，主要因為中國的科技部(MOST)訂定從2001年到2005年的第十屆五年計畫，核准8億8千萬人民幣(約1億6百萬美金)的研發計畫來發展進階的氫能科技、複合電力和燃料電池車。在超過三十間的相關研究機構中，大連理化研究院(Dalian Physicochemical Institute)是燃料電池研究最著名的一間。主要目標是發展可與Nafion相抗衡之薄膜，亦即一般符合工業標準的質子交換膜

(PEM)系統。

政府除了補助兩個主要計畫從事基礎燃料電池應用與燃料電池車研究以外，從2000年開始政府也補助幾項特別針對氫能與燃料電池的研習專案。

(1) 氫能的大規模製造、儲存和運輸以及相關種類的燃料電池(2000年至2005年)。這個計畫由科技部(MOST)主導，有十個研究領域來解決關於氫能生成、儲存、應用和標準的問題。

(2) 氫能製造對大規模太陽能應用的基礎研究(2003-2008年)。這個計畫由科技部(MOST)主導，有六個次研究專案研究持續氫能生產穩定反應系統的理論與原理。

- (1) 後石油時代關於氫能技術的專題研究計畫 (Post-Fossil Thematic Project on Hydrogen Technology)
- (2) 後石油時代關於高溫燃料電池技術的專題研究計畫 (Post-Fossil Thematic Project on High-Temperature Fuel Cell Technolgy) (2001-2005年)。
- (3) 關於電動車具特定目標的關鍵研究 (2001-2005年)。
- (4) 中國科學研究院對於中國永續能源發展的策略性研究 (2003-2004年)，其中包括兩個關於燃料電池的重要子研究。

一個促使中國加緊從事燃料電池研究的因素是其2008年的奧運舉辦。北京的空氣品質令人無法接受，所以中央政府和市政府目前很努力在改善。其中一項計畫是在2008年前在北京街頭有零排放污染的兩萬輛公車。這可以讓中國在接下來十年內成爲主要的清潔能源要角。一個很振奮人心的計畫是由科技部(MOST)、全球環境系統(Global Environment Facility)和聯合國開發計畫(United Nations Development Programme)共同合作，一項總共三千兩百萬元的計畫，希望可以促使燃料電池公車的コスト降低、應用於中國主要城市的公共運輸系統並促使技術交換轉移，這主要是透過支持北京和上海的公車和氫能燃料基礎設施的展示。在2008年奧運時，這些燃料電池公車將正式於中國大眾與全世界登場介紹。

在中國提供給“氫能經濟的國際夥伴”(International Partnership for the Hydrogen Economy, IPHE)的報告中，指出一個目標，希望國家在二十一世紀中期可以向氫能經濟發展。爲了達到這個長程目標，中國政府列出一系列必須達成的技術標竿時點。

- 2008年--成立質子交換膜燃料電池和其他電力系統的技術平台，希望可以透過商業展示，提升核心技術。
- 2015年--爲質子交換膜燃料電池車而設計的氫能源動態系統(hydrogen-fueled dynamic system)進入市場。

- 2020年--在超過十個主要城市引進氫能的大規模工業利用和氫能生產與儲存的商業化展示。
- 2040年--設立全國性的氫能基礎設施，而且是根據大規模氫能生產科技，可多重供應(multi-feedstock)及零二氧化碳排放，藉此協助燃料電池車的商業化。

或許這些目標看起來很有很有野心，但是中國也漸漸在燃料電池開發上逐漸有成果並建立基礎。電動腳踏車在過去三年內每年增加約一百萬輛。政府也在中國南部的汕頭成立電動車的測試廠，以進行短期或長期的測試，包括像豐田(Toyota)和通用汽車(GM)都在這個測試廠有新的電動車模型。

人民願意作新嘗試的意願對於燃料電池開發也很重要。中國的政府與人民已經漸漸了解嚴重空氣與水污染對於國家經濟成長的嚴重威脅。隨著能源短缺越來越嚴重，政府對於替代能源的投資也持續增加。舉例來說，在 2004 年夏天許多沿海城市經歷經常性斷電，迫使許多工廠必須減低生產量。所以中國政府除了對於天然氣基礎設施的大量投資外，政府也大力支持風力與太陽能發電的先期展示計畫。在都市與郊區的太陽能發電板也越來越普及。幾乎所有的新公寓也都有照明自動控制。

如果燃料電池產品能夠以某種形式在中國確立一個市場的話，台灣能夠在很好的利基點上，提供關鍵零件，尤其是機械控制(electric control)，因為中國在電機製造上仍不夠強，而且許多現代化製造廠都是台商擁有或部分擁有。中國與台灣合起來的燃料電池市場以及台灣電機製造的能力很有可能可以產生一個燃料電池完全成功市場化的例子。

■ 建議

Michael Binder 博士在 2004 年燃料電池論壇上提到，當今燃料電池產業迫切需要商業化成功的例子。台灣有潛力能夠回應 Dr. Binder 的呼籲，在近期達到燃料電池的商業化。台灣因為先天能源的限制，一直繼續在新興清潔替代能源領域專研。此外，台灣以其製造能力著名，尤其是透過國際合作在研發階段，將新科技以合理價格研發製造出輕薄短小的產品。台灣產業也有一些令人鼓舞的成果，像是轉換器組件和千瓦級質子交換膜燃料電池(PMFC)模組的生產。

然而，此時仍需要政府、業界和研究部門更多的努力。這份報告的結論歸納出台灣燃料電池產業發展的四個核心問題，並包括以下可以改善或解決這些問題的建議。

問題一：缺乏足夠的測試、確認和提倡的措施

燃料電池是個新興產業。為了振興此產業，必須設立很多規格、法律規範和標準。除了透過文宣或媒體教育大眾以外，也必須讓大眾實際接觸燃料電池應用。因為大部分的台灣公司都是中小型企業，他們沒有辦法處理這些環節。我們已經目睹許多地方企業失敗

的例子，生產不夠成熟的綠色能源產品，這不只是投資損失，也減損大眾的信心和熱情。

建議一

政府可以選擇一個工業區作為“綠色能源科學園區”。如此一來可以提升台灣在環境改善及清潔能源的形象，這也可以營造新產品上市或對於大眾進行教育/提倡的環境。除了燃料電池的發電或交通工具外，這個科學園區也可以提供環境予其他能源相關科技，像是太陽能、電動車和其他油電複合動力產品。另設特別工作小組，根據國際上的資訊和地方需求與經驗，設計燃料電池的發展規格及標準。

中央政府也應提供誘因讓地方政府建立示範計畫。舉例來說，目前高雄捷運系統與燃料電池車(FCV)，可以大力改善台灣南部的空氣污染問題。

問題二：政府相關部會、私部門及國家實驗室和學術研究單位之間，缺乏足夠的合作。在台灣接受國科會燃料電池研究補助的教授，大部分都是出自於個人學術興趣，像是流道設計模擬、新觸媒配方和聚合材料，但是與國科會的關係不緊密。在大學、國家實驗室和產業之間的關係也很鬆散而且沒有一貫機制。國家實驗室的經費主要來自經濟部，而政府只有少部分經費投入發展能源相關科技的企業。所以當前政府經費補助的優先順序是大學、實驗室及最後的企業。對於企業缺乏足夠支援是台灣要達到燃料電池商業化的一大阻礙，因為即使是美國或日本比台灣都更具規模的燃料電池產業，也都還需要政府的支持，如果台灣燃料電池補助優先順序能有所調整，企業不但可以從政府得到他們所迫切需要的資金，也可以再委託國家實驗室或大學從事相關研究，如此一來整個燃料電池的研究和應用網絡可以更活絡且緊密，並產生更具體的成果。

建議二

相關機構的所有研發活動都應該要緊密組織在一起，而且主要經費應投注在產業建議，且有實際目標導向的議題，這樣一來地方產業才能從大學及學術研究機關得到具體技術支持。為此可以成立國家計畫或是強化國科會、經濟部和環保署之間的合作。

台灣能源局也可以參考美國能源部每年固定補助美國公司的做法，提撥特別經費給予台灣產業。這項措施沒有法律障礙，因為經濟部轄下的其他部門也有類似計畫，只是都不是針對能源科技，所以一項針對地方產業能源科技研發的補助計畫是非常適時合宜的。政府應該特別鼓勵市場上具有利基的燃料電池應用，以建立未來大規模發展的信心和經驗。

問題三：缺乏根據台灣能力及市場的近期商業化目標

有一個論點說燃料電池完全取代內燃機工業是最終目標，所以任何這期間的進展都不是徹底解決方案，而且只會延長現今的工業結構，這也就是為何美國主要的汽車製造公司全力專注在燃料電池汽車的研究。然而豐田的 Prius 油電複合動力車卻打亂改變了他們

的策略，所以台灣應該投注一部分的資源，根基於現有能力和技術，達到近期商業化的目標，而且台灣也不應該重複美日已經進行過的燃料電池研發，有效運用台灣燃料電池發展的寶貴資源。

建議三

研發應該也要包含一系列的清潔能源科技以及技術之間的整合，因為燃料電池的目標是支援清潔能源，所以只要其他技術發展的目標一樣，都應該包括其中，所以燃料電池的研發者不應該將其他清潔能源科技視為競爭敵手，重點是讓一般大眾可以漸漸將對於傳統發電系統的依賴轉移至替代能源方案，而這需要所有清潔能源研究參與者的共同努力。只要任何新清潔能源科技可以打進市場，對於大家都有好處，因為可以因此得到更多來自政府與公眾的支持。商業化後的燃料電池可以提升大多數清潔能源的表現。台灣目前的研發包含了絕大部分不同特性的燃料電池，像是直接甲醇燃料電池(DMFC)、質子交換膜燃料電池(PEMFC)和固態氧化物燃料電池(SOFC)。然而，因為資金有限，市場競爭非常激烈，而且沒有很多空間給予尚未成熟但具有潛力的技術。因此，一定程度的資金應該投注在新興具市場發展潛力的清潔能源科技研發活動。

問題四：國際合作的不足

如果燃料電池在未來能夠成功商業化，就現實考量，台灣應該將自己定位成區域的重要成員，但不一定是全球要角。目前的燃料電池研發假定台灣當地的製造商能提供一切必要零件和技術，但這個假設不切實際且有風險。台灣當地的汽車製造業已經發展三十年且頗具競爭力，台灣現地組裝的汽車表現良好且供應大部分的當地市場，但引擎及其他一些重要零件仍倚賴進口。燃料電池的發展應該學習汽車工業，專心投注某些選定的領域上。此外，與國際企業合作可以幫助台灣瞭解自己的弱點，並強化整體的燃料電池產業。

建議四

台灣應該好好運用自身的製造能力以及對於國際合作的良好適應能力。政府應該支持台灣當地公司與國際伙伴的合作，因為這種來自政府的支持可以加速台灣的國際合作參與，尤其是當台灣當地公司的規模都還不大，且在國際網絡上不夠具知名度的初期發展階段。台灣可以利用政府管道來促進合作。

台灣與國際合作可以創造雙贏，因為一方面外商在台灣能降低研發成本並進行初期的技術商業化，而台灣當地公司可以從這個合作關係學習，增進自身能力。

■ ACRONYMS 簡寫一覽表

APFCT	Asia Pacific Fuel Cell Technologies, Ltd	亞太燃料電池公司
BE	Bureau of Energy	能源局
CZEI	Century Zincatec Energy Inc.	世梓科技股份有限公司
DIT	Department of Industry Technology	經濟部技術處

DMFC	Direct Methanol Fuel Cell	直接甲醇燃料電池
EPA	Environmental Protection Agency	環保署
ERL	Energy and Resources Laboratories of ITRI	工研院能源與資源研究所
EV	Electric Vehicle	電動車
EVI	eVionyx Inc. USA	異能科技(美國)
EVT	eVionyx Taiwan, Inc.	異能科技(台灣)
FCV	Fuel Cell Vehicle	燃料電池車
ICV	Internal Combustion Vehicle	內燃引擎車
IDB	Industrial Development Bureau	工業發展局
ITRI	Industrial Technology Research Institute	工業技術研究院
MEA	Membrane Electrode Assembly	膜電極體
MOEA	Ministry of Economic Affairs	經濟部
MRL	Materials Research Laboratories of ITRI	工研院材料研究所
NSC	National Science Council	國科會
PAFC	Phosphoric Acid Fuel Cell	磷酸燃料電池
PEMFC	Proton Exchange Membrane Fuel Cell	質子交換膜燃料電池
SOFC	Solid Oxide Fuel Cell	固態氧化物燃料電池
TFCP	Taiwan Fuel Cell Partnership	台灣燃料電池夥伴聯盟

感謝

本文作者群向大葉大學的助理研究教授鄭耀宗博士(Y.C. Cheng)致謝，感謝鄭博士對於此文“建議”部分所提供的寶貴意見。本文作者群也要向下列所有參與的個人與組織，致上誠摯感謝，謝謝你們在各個專業領域的分享：

作者介紹

萬其超博士：1947年畢業於國立台灣大學。1974年於哥倫比亞大學取得電機博士學位。現任台灣清華大學教授。專文出版超過170篇專業著作。電化學學會(electrochemical)會員。美國電鍍處理學會台北分會會長(Taipei Branch President of American Electroplaters Society)。聯絡方式：cwan@mx.nthu.edu.tw。

羅伯特·羅斯(Robert Rose)：成立突破科技學院(Breakthrough Technologies Institute, BTI)，並現任執行長。突破科技學院(BTI)是一個獨立的非營利組織，旨在提倡環境與能源科技，並從公共利益的出發點。突破科技學院(BTI)在1993年開始燃料電池教育計畫“燃料電池2000”(Fuel Cell 2000)並獲得國際認可。羅伯特·羅斯(Robert Rose)也成立美國燃料電池理事會(U.S. Fuel Cell Council)並任執行長。美國燃料電池理事會(U.S. Fuel Cell Council)是一個燃料電池產業的商業協會，成立於1998年，總共有超過120名會員。羅伯特·羅斯(Robert Rose)也是“燃料電池與氫能—走向未來的路”(Fuel Cells and Hydrogen: The Path Forward)一書的作者，內容倡議燃料電池研發與商業化的公-私部門

合作機制並支持氫能基礎建設。此外也有眾多專文出版與演講經歷，並是經常性的媒體來源提供者。聯絡方式：brose@fuelcells.org。

相關網站

台灣異能科技 www.evironyx-taiwan.com

台灣燃料電池夥伴聯盟 www.tfci.org.tw

亞太燃料電池公司 www.apfct.com