

第4章 先進綠能材料

一、生質材料開發與應用技術

(一) 技術研發目標

全世界正面臨石油蘊藏枯竭、溫室效應持續擴大的問題，歐、美、日等先進國家早已積極展開生質材料(Biomaterials)相關的各項政策推動與技術研究。國外對於石油的應用偏向作為汽車燃料，而台灣則是以石化產品的應用占最大宗，石油的枯竭將對國內產業造成極大衝擊，石化產業的轉型也成當務之急。再者，台灣為全球 ICT 生產王國，過去，具生物可分解特性的生質材料主要聚焦在包裝市場的應用，近年來結合減碳概念，生質材料已開始在汽車、電子、家電等領域獲得創新與應用的機會，更有利於朝向生質材料開發與應用技術的研發。

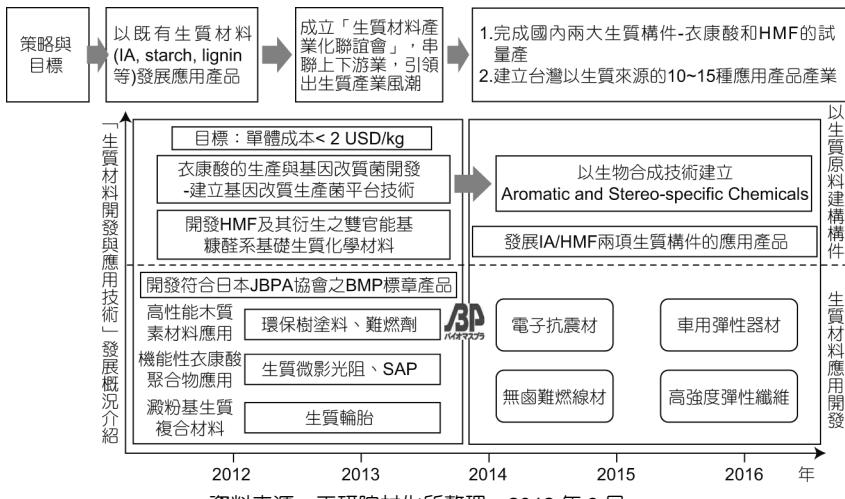
本技術分為兩大發展方向：1.建立以自然界生質物替代石油為原始原料，並往下製造化工基礎構件(Building Block)的技術-衣康酸(IA, Itaconic Acid)及 5-羥甲基糠醛(HMF, 5-Hydroxymethyl Furfural)，一方面可改變以低「化石碳」含量的生質基礎化工材料供應化工業中下游業者加工製造綠色產品之需，使原石化產業逐漸轉向低碳高值化的化學產業，扭轉國人對化學工業危害環境的負面印象，朝向支持發展低「化石碳」化工業，以維繫台灣經濟之發展；2.將生質材料做高價值的應用，選擇以資通訊產業的基板產業、模組/元件外裝材、建材及膠帶為應用標的，以非石化塑膠材料供應資通訊產業建立綠色低碳的產品品牌，以符合未來歐、美、日市場對消費性產品需符合環境永續發展的規定。2012 年度各項技術目標分別如下：

1. 在衣康酸的生產與基因改質(Modification)菌開發技術方面，運用合成生物技術為概念主軸，整合基因庫資訊、基因合成技術、系統性細胞代謝訊息以及關鍵基因表現調控設計等，建構全新工業生產用途菌種。針對大量生產目標產物「衣康酸」，透過基因工程與合成生物學(Synthetic Biology)，將順烏頭酸脫羧酶(CAD, Cis-aconitic Acid Decarboxylase)的基因轉殖到大腸桿菌，配合最適性之發酵製程建構，使新菌種具備大量生產衣康酸的能力。另外，使用生質柴油主要副產品-粗甘油(Crude Glycerol)為主要碳源(價格為葡萄糖三分之一或更低)，以有效降低成本，初估轉化率>40%即具市場競爭力(<2 美元/公斤)，透過降低碳源成本及提高生產製程效率，達到降低衣康酸生產成本之目標。2012 年技術目標為開發工業型衣康酸生產菌株，以 75 L 酵釀槽生產衣康酸，達到轉化率 $\geq 50\%$ 、產量 ≥ 60 克/升。
2. 在 5-羥甲基糠醛方面，由於糠醛系化合物為 5 環狀化學結構，糠醛系聚合單體所合成之高分子材料，具有高度分子排列不對稱的特性，在高分子材料的結構設計與應用上可產生創新的價值。研發的主軸是透過觸媒系統的篩選與設計，結合化工強化整合應用技術，開發具經濟效益之 HMF 生產技術，同時進行下游衍生產品之應用技術驗證，導入新穎生質化學材料，帶動傳統化學相關產業的轉型和產品技術之高值化，以實現技術成果之產業價值。2012 年技術目標為建立 HMF 合成純化技術：產能 ≥ 2 公斤/天，HMF 純度 $\geq 97\%$ ；建立 HMF 衍生單體分離純化技術：收率 $>90\%$ ；建立 HMF 衍生聚酯品質控制技術。

- 3.在輪胎用之生質複合材料方面，台灣輪胎產業排名已進入全球前十大，是大中華地區首先打進全球十大輪胎的國家。本技術導入澱粉基生質材料於輪胎系統，不但是一種環境友善新素材，親水性的澱粉用於輪胎還具有提高濕抓地力並滿足低能耗等特殊需求。根據歐洲生物塑膠協會(European Bioplastics Association)最新的研究報導，將澱粉高分子(Starch Polymer)作為輪胎的補強劑，可使輪胎具有許多的優異功能，包括可控制輪胎的剛性、增進胎面濕抓地性能、減少輪胎重量以及降低輪胎滾動阻力。降低輪胎滾動阻力有助於減少輪胎在使用階段的碳排放量，若澱粉高分子取代 20 wt%的碳黑(Carbon Black)作為輪胎的補強劑，由於輪胎輕量化可減少約 0.03 g CO₂/km 的排放量，而最顯著的因素為澱粉對輪胎滾動阻力因子的貢獻，澱粉基生質輪胎可降低 3.53 g CO₂/km 的排放量，約可減少整個轎車 2%的碳排放量。2012 年技術目標為：建立高濕抓力生質複合材料，其澱粉含量≥ 10 phr、拉伸強度：130~170 kgf/cm²、300% 抗拉模數≥ 100 kgf/cm²，並建立快速預測生質複材流變黏彈性模擬技術。
- 4.鹽水中具高吸水率的衣康酸系超高吸水性樹脂(SAP, Superabsorbent Polymer)，利用衣康酸的特殊物性，解決目前 SAP 遇到鹽水溶液時吸水率大幅下降約七分之一倍的缺點，應用於衛生/照護用紙尿布/褲等產品時，可使用較少的 SAP 即能達到原先的吸水量，使紙尿布/褲具有重量更輕、厚度更薄、體積更小、舒適性更高、行動更方便、更換次數更少等優點。2012 年技術目標為：衣康酸含量>30%、吸水力>80 克/克、吸水速率<40 秒、單體殘存量<400 ppm。
- 5.在木質素生質環氧底漆開發方面，利用木質素具有芳香環剛性結構，透過木質素環氧化改質技術及配方技術的調整，開發木質素之生質環氧底漆，其具有機械特性好、耐化學性佳之特性，並可進一步取代現有雙酚 A (Bisphenol A)型環氧樹脂塗料，開發無雙酚 A 之環氧樹脂，應用於各種金屬基材的底漆塗料。2012 年技術目標為：環氧值≥ 0.5 mmol/g、鉛筆硬度≥ F、百格接著 100/100、耐屈曲性：經 6 mm 屈曲試驗，無龜裂及剝離現象。

(二) 技術發展藍圖

技術藍圖之規劃有二大主軸：1.以生質原料建構構件技術-開發具經濟效益之衣康酸及 HMF 生產技術，目標於 2013 年生質材料單體成本低於 2 美元/公斤；2.以生質材料開發高價值應用-如生質輪胎、生質環氧底漆、彈性體、難燃劑、生質光阻等。所開發之應用產品，需符合日本生物塑料協會(JBPA, Japan BioPlastics Association)之生質產品(BMP, Bio-mass Plastics)標章(生質含量大於 25%)，可協助業者建立自主性生質基高分子化學工業技術，擢升國際競爭力，並能增加生質原料之價值。產業發展策略初期將以既有生質材料如衣康酸、澱粉(starch)、木質素(lignin)等發展應用產品；中期成立生質材料產業化推動聯誼會，串聯起上下游，引領出產業風潮；長期完成二項新構件產品及其衍生應用材料，以建立生質產業。發展藍圖見圖 2-2-4-1。



資料來源：工研院材化所整理，2012年9月。

圖 2-2-4-1 生質材料開發與應用技術發展藍圖

(三) 產業效益

台灣石化工業供應著民生用途的塑膠、紡織與橡膠製品材料，以及光電、電子及汽車等產業所需高級化學材料之上游石化基礎原料，形成上中下游緊密的產業鏈。隨著政府積極推動石化產業高值化政策之際，如何引導石化產業朝向產業永續、綠色與高值化發展則為重要課題，此時，新材料的開發將攸關傳統石化產業技術升級，並持續提供國內已發展的光電、電子及汽車等產業所需的綠色高級化學材料，以維持國內產業鏈結構的完整性，為石化製品找到替代能源為原料之新材料，而生質材料的研發，不僅可開創多元化來源外，同時以非石化塑膠材料供應資訊產業建立綠色低碳產品的特殊品牌，以切合未來歐、美、日市場對消費性產品需符合環境永續發展的規定。

1.衣康酸的生產與衍生物開發-從台灣上下游完整的聚酯與紡織產業優勢出發，提供國內業者開發衣康酸衍生物與相關聚合物原料。以衣康酸為原料可發展包括聚酯熱熔膠、彈性體、SAP、智慧型材料等多種新型高分子材料。使用生質系衣康酸替代商品的石化系壓克力原料，更具成本競爭力。目前此傳統產品已呈現紅海市場，國內化工/紡織廠商若使用本技術之新原料，極具國際競爭力，全球拋棄式尿布使用的SAP量預估在2015年為1.9百萬噸(市場產值約7億美元)。除了開發主要的衛生用產品外，尚可擴展的應用產品包括：(1)農業 SAP，提高農業用水的效益及解決國內農田遇缺水即休耕的問題；(2)植物作物的育種、栽培、植物工廠等使用的保水、養分肥料釋放控制劑；(3)廢水、汙泥處理劑；(4)涼爽舒適性的衣著、敷材；(5)阻水包、填縫材、阻燃輔助劑等。

2.生質輪胎複材應用-根據橡膠塑膠新聞(Rubber & Plastics News)最新公布，2010年全球輪胎產值達1,284億美元，台灣正新輪胎挾著品牌與擴廠的優勢，2010年營收約32.93億美元，成為全球第12大輪胎廠。開發兼具安全特性與低成本之節能輪胎為目前全球大廠所致力與發展的目標，導入全球產量豐富且價廉之澱粉於輪胎

複材中，此種新穎的生質輪胎材料，不但是可取代合成/石化材料的環境友善材料，親水性的澱粉用於輪胎還具有提高濕抓地力、耐磨耗性以及降低能耗等特殊性能，有效降低輪胎在使用階段的二氧化碳排放量。可協助國內輪胎製造大廠如正新、台橡、建大、泰豐等發展具國際水準之自由品牌生質輪胎，並符合目前政府發展低碳經濟的策略，為業者打造綠色企業新形象，有助台灣輪胎廠在全球市場的開拓與布局。

3.木質素生質環氧底漆開發-2006 年全球環氧樹脂消費量達 160 萬噸，預估 2015 年將會突破 200 萬噸，其中在金屬基材上的塗料應用約占 50%以上。2008 年台灣合成樹脂產業總體銷售值為新台幣 811 億元，其中環氧樹脂以 232 億元的銷售值居首，生產量 36.6 萬公噸，預估 2015 年銷售額將會到達 250 億元。隨著高油價時代來臨，環氧樹脂成本已突破每公斤 100 元，加上雙酚 A 的問題逐漸被國際重視，因此產業主要發展替代現有環氧樹脂技術，而未來環氧樹脂於金屬基材塗佈之全球市場在 2015 年產值將達 400 億元以上，其應用標的涵蓋範圍廣泛，包括橋梁、造船、碳鋼材質之設備、儲槽、管線、鋼架、鐵捲門、鋼門窗、防火門窗、變電箱、儀控箱、消防栓等金屬基材。

二、可攜式電能與熱電發電材料應用技術

(一) 技術研發目標

1. 可攜式電能材料與應用系統之開發

近年來由於行動智慧電子產品風靡全球，產品朝向薄型化、多功化、網路化之發展趨勢，不僅提供便利性同時也改變了消費者習性，使得用戶端對電池電量與不斷電需求日益遽增，引領行動電源裝置之新趨勢，微型燃料電池(Fuel Cell)亦成為全球熱門之研究主題之一。2011 年 10 月美國專利局公告之專利申請顯示，蘋果公司正積極布局燃料電池與行動智慧電子產品整合，以提供永續電力滿足不斷電電力之需求。而甲醇具有高能量密度(能量密度達 6,000 Wh/kg、4,800 Wh/l)，使直接甲醇燃料電池(DMFC, Direct Methanol Fuel Cell)成為微型發電機之最佳選項之一。惟近年來鋰離子電池因高能量密度之新材料成功導入提升了單位電容量，而行動智慧電子元件之電源管理技術亦朝向低功率、低耗能發展，因而造成微型燃料電池的應用領域進展受到極大之競爭壓力，也使得微型燃料電池落實產業化之時程一再展延。

目前 DMFC 主要應用領域可分為三大方向：(1)可攜式應用(如手機、筆電、平板、超薄個人電腦等智慧行動電子產品，3~25 W)；(2)定置型應用(Auxiliary Power Units, 750 W~1 kW)；(3)運輸工具(DMFC Powered Vehicles，以 250 W 為單位所組成的高功率燃料電池模組)。根據 MarketsandMarkets 最新之 DMFC 市場分析報告，顯示 DMFC 之利基市場應用正逐步擴大中，2011 年 DMFC 的出貨量為 14,200 部，較 2010 年的 4,975 部成長約三倍，而 2011~2016 年之年複合成長率約為 45.3%，據此，2016 年 DMFC 出貨量可達 92,000 部，其中可攜式應用約占 83%，達 74,600 部，由此可見，雖然 DMFC 之產業化歷程尚待加強，但利基市場已逐步形成，將有機會建立新的能源產業，解決行動電子裝置之電力需求。

整體而言，DMFC 面臨最大之產業化瓶頸仍是成本過高、材料耐久性、周邊附屬元件(BOP, Balance of Plant)可靠度及膜電極組(MEA, Membrane Electrode Assembly)之發電效率有待進一步提升，因此將針對小瓦數 DMFC 在可攜式應用發展趨勢及 kW 級 DMFC 在輔助電力系統之應用發展趨勢做深入研究。而在 DMFC 材料端之技術發展方面，低甲醇滲透質子交換膜、高效率陽極觸媒、低成本高效率非鉑觸媒及耐化學性佳(抗蝕性佳)之金屬雙極板技術，皆是提升直接甲醇燃料電池膜電極組性能及耐久性之重點研發方向。透過非白金觸媒及低成本薄型金屬雙極板之技術進行研發，將使未來直接甲醇燃料電池之性能、材料耐久性及成本可符合消費者之需求，結合國內產業界、學術界、研究單位持續完成直接甲醇燃料電池技術及應用之建立，將可共同建構屬於台灣的 DMFC 產業化技術。

2.熱電發電模組(Thermoelectric Generator Modules)及節能應用技術

地球暖化危機與國際油價飛漲的雙重因素影響下，能源短缺問題日趨嚴重，節能減碳相關技術的開發更是刻不容緩。國內鋼鐵、石化、水泥及金屬等產業的耗能與二氧化碳排放比率居全國前五名之列，雖然上述產業已利用各種方式進行廢熱回收(Waste Heat Recovery)，但目前整體回收比率平均只有三成左右，關鍵在於許多大量的中低溫廢熱(<500°C)及輻射熱，目前尚無經濟有效的廢熱回收技術。以一貫作業鋼廠為例，尚未能回收利用的廢熱高達 25,000 GKcal/年，等同於 1,850 萬噸/年之 CO₂ 排放，不利於台灣永續環境之發展。

針對鋼鐵及石化等產業的中低溫廢熱回收再發電需求，開發多管式熱電(Thermoelectricity)晶棒長晶技術、具奈米結構之熱電材料技術及開發環境相容之中溫用熱電材料。在模組部分開發高效率之熱電發電模組反擴散接合技術及組裝技術，其技術水平均已達國際水準。熱電發電技術係靠材料本身的內涵特性(Intrinsic Properties)，不需任何運動組件即能將熱能直接轉換成電能，因此具有空間需求小、可靠度高、無傳動部件、無噪音、無汙染、維護成本低廉、可 24 小時全天候操作及發電電力可加乘等優點。同時可視熱源種類，設計大、中、小型熱電發電系統，安裝規模具有相當大彈性，尤其適合在中小型、分散式廢熱回收發電及目前較難回收的 300 °C 以下之工業廢熱使用，恰可彌補目前大型汽電共生及鍋爐與預熱回收之不足，提高整體廢熱回收比例，在餘熱回收及工業節能上極具高度發展潛力，是目前全球極力發展的綠能科技。

總言之，熱電技術應用在餘熱回收及工業節能之目的，在於改善目前國內產業 CO₂ 排放的狀況，而高效率低成本熱電材料之研發，即是技術發展與應用的重要核心，將對台灣民生社會及環境安全永續發展作出重要貢獻。目前已與國內鋼廠、石化廠、水泥廠及壓鑄廠合作陸續安裝示範性熱電發電系統進行運行測試，同時逐步解決系統整合及模組效率問題，對環境安全永續將具有重要影響。

(二) 技術發展藍圖

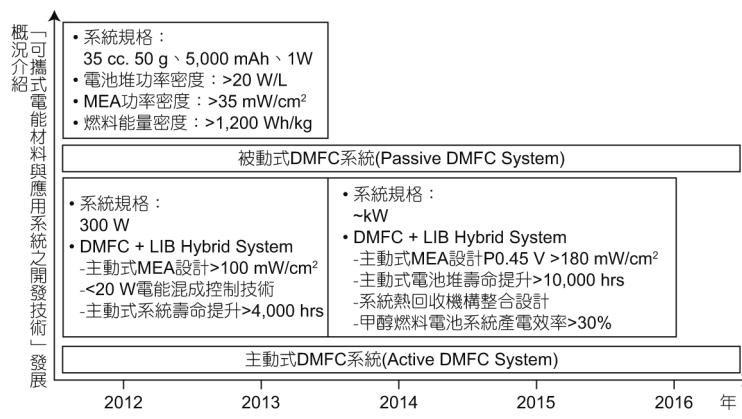
1.可攜式電能材料與應用系統之開發

微小型燃料電池系統的發展，輸出功率介於 0.1~10 W 之間，主要應用於 3C 電力供應，以使用燃料種類區分，可概分為使用氫氣的質子交換膜燃料電池(PEMFC,

Proton Exchange Membrane Fuel Cell)與使用甲醇的 DMFC 兩類系統，其中使用氫氣來源之 PEMFC 系統，輸出功率達 250 mW/cm^2 以上，燃料電池堆模組技術也漸臻成熟，惟氫氣儲存與攜帶便利性上，一直是攜帶型產品應用的罩門，尤其在儲氫罐或儲氫合金小型化，並無重大突破進展前，如欲應用於體積與重量要求嚴苛之攜帶型產品上，並無明顯之優勢。雖然在相同系統體積下，小型化 PEMFC 的電池堆輸出功率超過 DMFC 系統甚多，且可以最大輸入電流進行智慧型手機充電，但由其搭載使用之燃料罐能量密度分析，並未有明顯優勢。其燃料罐尺寸 H 28.8 x W 53.5 x D 15.5 mm，體積接近 24 ml，另外還需加入 5.5 ml 的水，總輸出能量約 3 Wh，相較於 DMFC 系統，目前甲醇能量密度約 1 ml 燃料產出 1 Wh 電量，在燃料體積能量密度上，仍以 DMFC 占有較大優勢。

目前國內已成功研發出掌上型被動式 DMFC 充電器，可供應智慧型手機等 3C 產品進行充電，每天可供應 10 Wh 的電力，相當於三顆智慧型手機的鋰電池電量。而且國內已策略性布局 DMFC 模組的薄型化技術、膜電極組設計及混成電路控制邏輯等關鍵智權專利，有助於該項產品產業化之競爭力。另外該研究所發展的液態甲醇燃料濃度偵測技術，可直接應用於 DMFC 系統中，不需額外搭配感測元件，使用時也不會受到陽極燃料流動或氣泡等影響，該方法具有極高的解析度與穩定度。

DMFC 相對氫氣 PEMFC 系統雖具有較高系統效率之優勢，但因觸媒負載量高，且發電功率較低，在成本與發電性能考量上，較適合 100 W 以下之系統，kW 級系統設計之難度較高，但因特定應用領域之需求，加上膜電極阻技術發展之突破，有助於系統成本之改善。針對 DMFC 技術發展應用，電能是較直接之使用方式，可延長系統運作的時間，如物料搬運與遙測監控等領域。另外，以 1 kW 之 DMFC 系統發電，將產生 3 kW 的熱能，如能在特定領域善加利用，將有助於系統效率之提升，如純電動車輔助電源等，可改善電動車冬天暖氣開啓之電力消耗，達到電動車延距之目的。現階段 DMFC 系統的發展仍以 1~100 W 功率範圍為主流，未來如朝向 kW 級輸出功率系統發展，首要克服膜電極組觸媒使用量過高且單位面積發電量低等缺點，才有機會在系統成本競爭上取得優勢。另一方面系統具備燃料取得便利且系統配置簡易等特點，已嘗試導入於物料搬運領域中，如能再加入廢熱回收考量及其應用，將有助提升市場應用之接受度，相關技術標示見圖 2-2-4-2-1。

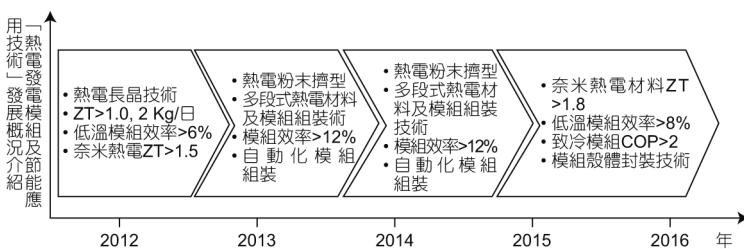


資料來源：工研院材化所整理，2012 年 9 月。

圖 2-2-4-2-1 可攜式電能材料與應用系統之開發技術發展藍圖

2. 热电发电模组及节能应用技术

热电发电技术在全球节能减排的潮流下，其重要性愈加显著，过去十年来欧、美、日等先进国家致力发展高效率热电材料技术、模组技术及系统整合应用技术。过去国内对热电发电技术的发展及认知有限，相关核心技术及基础设施均尚未建立，几年来经济部技术处已投入热电发电技术之研发，目前已成功开发 Bi-Te 系大尺寸(24 mm 直径)晶棒长晶技术，每日产能达 4 kg，材料热电优值(ZT, Figure of Merit)最大值达 1.1，已达国际商业化生产水准；而在热电模组部分亦成功开发出 40 x 40 x 3 mm 热电发电模组，在冷热端温差 $\Delta T=210^{\circ}\text{C}$ 时，模组热电转换效率达 5.5%，模组发电量达 6.5 W，其性能优于美国 Hi-Z、Marlow 公司、加拿大 Thermo Electric 公司及俄罗斯 Kyratherm 公司之模组产品，相关技术指标见图 2-2-4-2-2。



资料来源：工研院材化所整理，2012 年 9 月。

图 2-2-4-2-2 热电发电模组及节能应用技术发展蓝图

(三) 产业效益

1. 可携式电能材料与应用系统之开发

携带型燃料电池技术经过数年来的发展，逐渐进展至可商品化的阶段，而国内在 3C 产品与可携式燃料电池(Portable Fuel Cell)技术布局上，已可与国外技术相互抗衡。尤其所开发之膜电极阻可随客户需求进行客制化之设计与处理，除了可用於 DMFC 系统上，也可应用於 PEMFC 系统，让国内燃料电池产业具备基础材料开发及膜电极阻设计製作能力，逐步建构完整产业链。并且透过所建立之电能转换材料及混成电源技术，可加速关键材料开发与模组应用验证，促使国内上中下游厂商之技术整合，建立完整燃料电池系统验证平台，才能在相关应用产业成型时，有機會快速切入维持产业竞争力。对此，DMFC 系统利基市场将朝两大方向进行产业化推广：(1) 小型化系统，可应用於地震包、紧急救灾备用电力、登山电源等，其目标成本为 40~70 美元/部；(2) 25~300 W 系统，未来将可应用於无人飞机、游艇、休闲产业加值等，量产後之目标成本为 5 美元/W。2020 年预期促进投资额达新台币 10 億元，年产值达新台币 20 億元，占全球产值之 25%。另一方面，中大型(~kW 级)直接甲醇燃料电池系统亦有其利基市场存在，其可应用於需较高安全考量之场所，如密闭空间、室内环境，另外燃料、电力输送不易地方，例如客机机艙、仓储厂房、离岛、山区等，亦为其应用范畴，其可产生源源不绝之电力以供使用。直接甲醇燃料电池较其他电源方案，更可改善原有方案电源供应不易或是安全性不佳之问题，替人类带来更便利的生活。

2. 热電發電模組及節能應用技術

面對能源短缺困擾之時代，全球莫不重視未來可能之替代能源科技，熱電發電為新能源的取得方式。對照替代能源，太陽能科技雖是發展至成熟階段，但仍屬熱帶國家專屬，而熱電溫差發電技術則不同，可 24 小時不斷地擷取廢熱進行發電，只要有溫差便能發電，而且不需占據大空間及高維修成本，熱電替代能源為亞熱帶及寒帶曰照較少國家可以發展之科技。熱電發電屬於綠色科技之一環，對環境安全永續經營幫助很大，顯著的例子是熱電聯合供應系統，即工業排放的熱氣可再生為工廠替代能源之一，對企業成本、永續經營、社會及環境成本，具有正面肯定意義。目前全球熱電模組產值達新台幣 120 億元左右(4 億美元)，熱電發電市場約為新台幣 30 億元(1 億美元)，主要分散於中國大陸、日本、美國、俄羅斯、烏克蘭等國家，而中國大陸囊括七成之消費性中低價產品，台灣在全球製造供應鏈上幾乎微乎其微。在熱電發電部分隨著汽車廢熱及工業廢熱之應用逐漸成形，根據日本小松製作所之市場預估，2016 年全球熱電發電模組之需求將達 3,000 萬個模組，整體產值為熱電製冷市場的 3~4 倍，達新台幣 500 億元以上。本技術將促進國內企業投資於熱電材料之製造生產技術、元件模組之組裝技術及將產品設計應用技術落實至產業界，並適度整合上中下游廠商形成一完整的垂直供應鏈，發揮台灣之製造優勢，在未來全球持續成長的熱電市場占有一席之地。而經由廢熱熱電發電產生之電力預估每年可達上億度(預計可回收廢熱為 95 GKcal/年)，可節省產業之耗電量，並創造新台幣 20 億元之產值，包括產電價值，發電模組及系統產值，以及相關生產與量測設備產值等。