

第參章 節能減碳技術

- ▶ 第一節 冷凍空調
- ▶ 第二節 先進照明系統
- ▶ 第三節 能源資通訊
- ▶ 第四節 效率標準與指標
- ▶ 第五節 工業節能
- ▶ 第六節 住商節能
- ▶ 第七節 節能技術服務
- ▶ 第八節 二氧化碳捕獲封存與再利用

第參章 節能減碳技術

緩和與適應氣候變遷是全球人類所必須共同面對的議題，從地球環境生態的面向來看，在滿足民眾生活舒適與確保經濟發展需求下，再生能源應用、能源有效利用、耗能系統效能提升等，為全球政府在制定經濟發展政策時最高指導原則。國際間因應氣候變遷，已有多項國際協議，由《京都議定書》到「哥本哈根協定」(Copenhagen Accord)，代表了全球對抗地球暖化努力。

我國雖非締約國，但政府亦宣示減量目標與期程。行政院奉指示訂定10大標竿方案及35標竿計畫，藉由政策全面引導低碳之經濟發展，並形塑節能減碳社會，經濟部於2010年4月彙整完成國家節能減碳總計畫，並於2010年5月11日行政院核定，國家節能減碳總目標為：

- 一、節能目標：未來8年(自2008年起)每年提高能源效率2%以上，使能源密度於2015年較2005年下降20%以上；藉由技術突破及配套措施，2025年較2005年下降50%以上。
- 二、減碳目標：CO₂減量，於2020年全國二氧化碳排放量回到2005年排放量，於2025年全國二氧化碳排放量回到2000年排放量。

2011年11月3日行政院公布之新能源政策，則以「確保核安、穩健減核、打造綠能低碳環境、逐步邁向非核家園」作為總體能源發展願景與推動主軸，且在確保不限電、維持合理電價、達成國際減碳承諾等3大原則下，積極實踐各項節能減碳與穩定電力供應配套措施。

為達國家政策所訂定相關節能目標，必須進行各產業高效率節能技術研發與推廣應用。整體而言，目前在推動節能科技發展上，乃是以研究單位之技術開發為主，同時以業界合作、先期參與及技術授權等方式結合國內產業界，將各項研發成果授權業界生產各項高效率設備與器具；最後則透過能源查核、能源效率標準之管制、節能標章等政策手段來促進各項高效率產品之製造及應用。另一方面，則是進行各類工程技術規範及準則之

擬定，來促進能源技術服務業(ESCO)之發展，然後透過此類專業公司來促使各項技術之落實和應用，而達成節約能源目標。

我國發展節能減碳科技肩負著強化我國節能減碳成效，以及扶植相關產業發展之雙重任務，因此一方面持續發展科技之外，也需要相關之推廣政策配套，相輔相成。在科技研發方面，主要領域包括冷凍空調技術、照明技術、能源資通訊技術、住商建築節能技術、以及工業節能技術。在各領域均依據國內產業基礎，以及節能減碳效果篩選優先發展科技項目。而在配套推廣政策方面，主要藉由耗能設備效率標準與指標、工業耗能查核、耗能產業設備效率指標、節能技術服務等措施等，來推廣各項節能減碳科技，擴大應用內需市場，建立節能減碳產業發展基礎。本章將就上述各領域說明目前國內節能減碳技術研發方向、技術推動與發展時程，以及配合技術發展所必須推廣應用政策工具與做法。

第一節 冷凍空調

臺灣地處亞熱帶，夏季氣候普遍濕熱，更隨著工商業發達，民生需求提高，相對帶動冷凍空調產業之發展。冷凍空調產業所涉及範圍相當廣泛，從冷凍空調器具製造業、中央空調主機與系統設計施工、工廠及建築物之消防通風、高科技製程環境所需之無塵無菌室、醫療場所之特殊空調、產業製程所需之冷凍技術，乃至於電子產品散熱所需之微型冷卻系統，均為冷凍空調之範疇。

冷凍空調所涵蓋之技術領域包括關鍵零組件開發、設備製造、系統設計、工程設計施工、測試分析及調整、乃至最後之操作運轉維護等，其目的為在節能環保之要求下提供健康舒適之生活環境，以及營造產業製程所需之各項環境。近年來，冷凍空調發展之技術主軸乃以節能和環保為主要訴求，已成為我國推動綠色節能產業發展之重點項目。國內冷凍空調技術發展的歷程整理如圖3-1-1所示。

一、國內發展目標與策略

臺灣地區電力系統之夏季尖峰負載隨著生活水準提升、全球暖化影響而屢創新高。根據台電資料顯示，住商部門之耗電量自1980年代起穩定成長，至2001年已達總耗電量的31%(住宅20.1%，商業10.9%)，其中空調與照明耗電佔一半以上。

整體而言，空調型建築物中以空調用電佔建築用電最大比例，空調尖峰用電量在夏季佔了40~50%，而冬季也佔了20~30%。因此，2008年全國能源會議做出需優先推動空調節能及提升能源效率之結論；2009年全國能源會議能源科技與產業發展之結論，冷凍空調發展方向為提升冷凍空調系統節能及創新技術研發。2013年全國空調主機全年總耗電約為245.4億度，新空調設備需盡速提升效率，才有機會達到永續能源政策綱領之全國CO₂排放量於2025年回到2000年排放水準目標。

提升冷凍空調系統節能及創新技術研發之策略，可以由實施冷凍空調產品與系統效率管理，以及補助創新技術研發兩大方向來進行。政府投入

年度 1997	2001	2004	2009	2012	2016
空調系統省能技術 先進小型空調機 • 定頻分離式空調機 • 小型空調機設計軟體 先進小型壓縮機 • 迴轉式壓縮機技術 • 定頻渦卷式壓縮機 產業空調系統省能技術 • 除濕輪及除濕機量產技術 • 風機濾網機組(FFU) 全熱交換器及換氣機(窗型) • 窗閉型冷卻水塔(管排及板片式)	高效率空調設備技術開發 變頻空調機 • 一對一DC變頻空調機 • 一對多AC變頻空調機 變頻壓縮機 • 變頻渦卷式壓縮機 • DC/AC變頻控制器(含無感測驅動控制) 空調系統送風設備 • DC風機濾網機組及示範系統 • 全熱換氣機(壁掛及埋入) 中央空調系統省能技術研究 • 新冷媒水冷及氣冷式冰水機 • 密閉型冷卻水塔應用推廣	高效率空調設備技術開發 • 小型空調系統性能提升 • 變頻控制技術發展及關鍵零組件開發 • CO₂變頻多功能冷熱整合系統開發 高效率冰水機開發 • 容積式冰水機開發 • 離心式冰水機開發 • 送風系統效率提升 • 空調箱效率提升技術 • 離心式壓縮機開發	變頻控制與天然冷媒關鍵技術 • 中小型熱泵與空調系統性能提升技術開發 • 高效率電機弦波驅動技術平台開發 • 5~30kW渦卷式壓縮機族群設計技術建立 • 全電化冷熱多功系統及關鍵零組件 高效率離心機技術 • 廣域變頻離心式冰水機開發 • 廣域R二級離心式壓縮機開發 • 變頻控制器與系統控制技術開發 • 磁浮軸承先期性技術研究 高效率家電技術 • 高效率開飲機/飲水機開發 • 高效率熱泵型乾衣機開發 • 高效率家電產品檢測技術研究	離心機與熱泵空調機技術 • 磁浮無油離心式冰水機 • 磁浮無油離心式壓縮機 • 磁浮軸承軟硬體自主技術 • 高效率馬達與變頻器 • 替代稀土馬達材料研究 • 我國冰水機部份負載效率標準擬訂 創新節能空調系統示範 • 建築物節能分析模型開發 • 新型態熱泵除濕應用示範 • 吸附或吸收溶液熱流性質研究 • 吸附床熱交換器設計 • 高效率調濕空調設備研究 低溫室效應冷媒研究 • 低溫室效應冷媒熱流性質研究 • 冷媒之熱傳與壓縮特性研究 • 熱交換器與管路及系統小型化設計 • low-GWP冷媒在空調機之應用	
冷凍冷藏省能技術研究 高效率冰箱 • 冰箱壓縮機改善及性能提升 • 先進保溫技術 • 低溫倉儲及物流系統 變頻冰箱 • 先進保溫技術 • 商用冷凍冷藏技術 • 冰箱用變頻壓縮機					

資料來源：工研院整理，2013年12月

圖3-1-1 國內冷凍空調科技發展歷程

冷凍空調產業節能技術開發已逾20年，帶動國內產業建立具國際競爭力之冷凍空調產品技術，包括各式壓縮機、熱交換器、馬達與驅動控制、水泵風機等流體機械、自動控制等，大多數之冷凍空調設備製造廠皆已具有成熟技術與自主研發能力，提供國內外市場優質產品與節能實績。

政府將參考最新國際效率值訂定最低門檻，並制定與節能建築結合相關政策以及節能設備與系統設置補助，作為廠商未來產品發展規劃方向。並持續以現行商用產品最高能源效率，作為下一階段能源效率標準之最低門檻，促使廠商持續改善產品效率，達到節能之最終目標。

另外，臺灣屬於島嶼型獨立電力系統，電力供應吃緊時無法由國外支援，考量空調負載約占台電公司夏日44%尖峰負載現況，加上未來在電力供應來源可能限制和變化，未來國家在空調技術的研發方向上，可考慮讓空調系統扮演更積極角色。

在未來需求假設下，空調設備技術之研究創新應考慮此需求，同時，為大幅再降低空調系統的耗電，以往較少涉獵創新節能空調系統，例如乾溼分離系統等，可透過空調系統研究和示範計畫，整合國內產學研界來共同進行新系統設計觀念的推廣。

在創新空調技術研發方面，延續過去之研發成果，應更進一步協助國內相關產業，運用已建立技術基盤，進行技術深耕，特別是在全年用電量大的離心式空調主機、適合高濕環境之建築物空調系統、京都議定書管制下新冷媒空調機之開發，更是業界所企盼。因此，可從以下的主題進行應用來展開：

1. 高效率磁浮無油離心式冰水機技術開發。
2. 乾溼分離空調系統技術開發。
3. 低溫室效應冷媒技術研究。
4. 產業提出之具發展潛力之設備與系統節能技術開發。

整合產、學、研等單位之專業，加上家電、相關零組件及高科技等產業資源，加速建構亞太地區最具實力之住商節能空調系統產業技術團隊，拓展多項新興產業效益，開創冷凍空調產業另一波發展，成為全球冷凍空調設備、關鍵零組件與系統技術的主要供應者。

冷凍空調產品與系統效率管理之發展重點為：

1. 冰水機COP效率管制與訂定部份負載效率(IPLV)測算方法與管制值。
2. 訂定商用空調機之全年運轉效率(CSPF)測算方法與管制值。
3. 訂定商用建築空調用電基準線與獎勵辦法。

其中第3項有賴長期的產業用電資訊的量測、累積和分析，引導產業持續研發具國際競爭力之高效率設備與系統技術。

高效率磁浮無油離心式冰水機技術之發展重點為：

1. 高IPLV離心式冰水機開發。
2. 高速磁浮軸承技術開發。
3. 高效率馬達與驅動控制技術開發。

冰水機之節省運轉電費關鍵在部份負載效率高低，惟有變頻化與冷媒系統無油化方能提供高部份負載效率。特別是整合變頻控制、進氣導葉冷媒流量控制和熱氣旁通等，多重容量調節機制之離心式冰水機之設計，將可以滿足亞熱帶氣候之夏季高外氣溫度卸載，或秋冬季節低外氣溫度卸載等不同廣域操作工況條件，使其於不同場所之用途更加有彈性，可發展出具有區域性特色產品。

在創新之乾溼分離空調系統技術可發展之重點為：

1. 乾溼分離空調於建築物之節能分析模型研究。
2. 高性能乾溼分離空調系統開發。
3. 系統關鍵元件與控制技術研究等。

我國長年處理高濕狀態，高濕環境可能造成具有吸溼特性之材料腐敗或損壞，皆需運用空調系統進行區域環境之溫濕度管理，而空調通風耗能佔整體營運耗電超過30~50%以上，其中除濕所需消耗之冷量約可佔空調總冷量之30~50%，於空調系統能源使用上具有極重要影響性；因此以乾溼分離空調系統觀念進行設計、建造和管理建築物，可創造符合居住者需求之室內空氣品質環境，並具有相當節能潛力。

另外，根據國際能源總署IEA的統計，全球用於冷房空調耗能在2010年相對於2000年成長將近45%，主因為潮濕炎熱氣候地區國家經濟快速發展，因此除溼技術也可視為極具潛力產業發展方向。

在環保議題方面，HFC冷媒已經廣泛應用在冷凍空調設備上，HFC冷媒之ODP指數(臭氧層破壞指數)為零，但是GWP(地球暖化效應)指數仍高，對地球環境之破壞仍然很大。因此有越來越多研究與發展，在尋找「溫室效應係數」(Low-GWP)的冷媒，作為中期的替代冷媒。

然而，我國在冷媒工業上並無主導性，因此在冷媒應用研究僅需持續部分能量，以協助未來進行冷媒替換之技術能量，因此在低溫室效應冷媒空調機技術開發之發展重點為：

1. Low-GWP冷媒之特性研究，如R32、HFO-1234yf和HFO-1234ze等冷媒研究。
2. Low-GWP冷媒之熱交換器與管路及系統小型化設計。

3. 建立Low-GWP冷媒在空調機之應用技術，包括安全評估、性能測試、耐久試驗。

除在高效率空調設備國產化技術開發之外，無論是既有建築更新，或者新設建案之空調系統設計，均可考慮大幅導入許多已被驗證之節能方案，包括空調主機節能控制策略、儲冰空調系統、可變冷媒流量系統、外氣量控制和全熱交換器技術、外氣冷房技術、變風量和變水量系統、冷卻水塔節能技術、系統測試、平衡與調整、建築物能源管理系統技術等。事實上相關系統技術均已展示具有節能效果，未來可透過節能技術服務業者(ESCOs)或者綠建築獎勵的機制，來加速達成合理化空調節能目標。

更積極之作為，則可考慮藉由示範建築來進行相關產業創新技術整合，以了解相關次系統整合技術和介面，並驗證其節能效果後，再作為典範加以推廣，使系統節能技術可以更順利推廣於市場應用。

二、技術發展時程

冷凍空調產品與系統效率管理以及補助創新技術研發之發展時程如下表3-1-1及表3-1-2。

至於短中長期冷凍空調各項技術之發展規劃如以下說明。

表3-1-1 冷凍空調產品與系統效率管理技術發展時程

技術項目	2014 ~ 2015	2016 ~ 2017
冰水機COP效率管制與訂定部份負載效率(IPLV)測算法與管制值	1. 冰水機COP效率強制標示管制 2. AHRI冰水機IPLV效率值權重訂定方法研究 3. 我國冰水機IPLV權重與全年運轉條件研究	1. 冰水機COP效率強制標示管制 2. 制訂我國冰水機IPLV權重與測試條件建議值 3. 國產與進口冰水機IPLV調查測試 4. 公告國內冰水機IPLV管制值
訂定我國商用空調機之全年運轉效率(CSPF)測算法與管制值	1. 商用空調機之CSPF計算方法草案制定 2. 統計臺灣地區冷氣運轉期間之外氣溫度的發生時間和平均外氣溫度 3. 建立商用空調機CSPF測算程式	1. 進行國內現有商用空調機能效測試，建立資料庫 2. 舉辦業界座談會 3. 完成國內商用空調機CSPF測算草案，提交政府單位

資料來源：工研院整理，2013年6月

表3-1-2 創新技術發展時程

技術項目	2014 ~ 2015	2016 ~ 2017
高效率磁浮無油離心式冰水機技術開發	1. 開發高效率磁浮無油離心式冰水機，效率為100RT級：$COP \geq 5.5$、$IPLV \geq 10$；200RT級：$COP \geq 6$、$IPLV \geq 11$ 2. 開發100與200RT級磁浮無油離心式壓縮機用軸承軟硬體自主技術 3. 開發100與200RT磁浮無油離心式壓縮機用之高效率馬達與變頻器，效率93%以上	1. 開發高效率磁浮無油離心式冰水機其目標效率為300RT級：$COP \geq 6.1$、$IPLV \geq 11.5$；400RT級：$COP \geq 6.2$、$IPLV \geq 12$ 2. 開發300與400RT級磁浮無油離心式壓縮機用軸承軟硬體自主技術 3. 開發300與400RT磁浮無油離心式壓縮機用之高效率馬達與變頻器，效率94%以上
乾溼分離空調系統技術開發	1. 節能可行性分析 2. 乾溼分離空調於建築物之節能分析模型開發 3. 調濕空調設備性能驗證	1. 新型態熱泵除濕應用示範，提升冰水溫度提升5-8℃，提升冰水機性能20-30% 2. 吸附或吸收溶液熱流性質研究 3. 吸附床熱交換器設計 4. 高效率調濕空調設備研究
低溫室效應冷媒空調機技術開發	1. 具商業潛力之低溫室效應冷媒熱流性質研究 2. 特定低溫室效應冷媒之熱傳與壓縮特性研究	1. Low-GWP 冷媒之熱交換器與管路及系統小型化設計 2. 建立Low-GWP冷媒在空調機之應用，包括安全評估、性能測試、耐久試驗及商品化推出

資料來源：工研院整理，2013年12月

(一) 短程(~2017)

開發高效率磁浮無油離心式冰水機之產品群組，包括100~400RT級壓縮機，100~800RT冰水機，整合國內外之精密機械、電機、電力電子、控制商品技術，縮短商品開發時間。進行乾溼分離空調系統節能可行性分析與建立示範系統。具商業潛力之低溫室效應冷媒熱流性質研究，以及特定低溫室效應冷媒之熱傳與壓縮特性研究。

(二) 中程(~2021)

高效率磁浮無油離心式冰水機產品群組於國際市場推廣。訂定乾溼分離空調系統設計準則，以及空調箱、送風機、低壓比壓縮機、系統控制器等元件與設備開發。特定低溫室效應冷媒之壓縮機、熱交換器、膨脹裝置、系統控制等元件技術開發。

表3-1-3 冷凍空調技術發展時程

技術項目	短期(~2017)	中期(~2021)	長期(~2025)
高效率磁浮無油離心式冰水機技術開發	- 開發產品群組，包括100~400RT壓縮機，100~800RT冰水機 - 國際市場推廣		離心式空壓機、鼓風機、液泵、空氣冷凍循環應用技術
乾溼分離空調系統技術開發	節能可行性分析與建立示範系統	- 訂定乾溼分離空調系統設計準則 - 元件與設備開發	國際市場輸出元件、設備與系統工程技術
低溫室效應冷媒空調機技術開發	具潛力之冷媒熱流性質研究，以及特定冷媒之熱傳與壓縮特性研究	特定冷媒壓縮機、熱交換器、膨脹裝置等元件技術開發	開發低溫室效應冷媒空調機產品技術，供應全球市場

資料來源：工研院整理，2013年12月

(三) 長程(~2025)

磁浮軸承與高速馬達驅動於離心式空壓機、離心式鼓風機、液泵、空氣冷凍循環之應用技術開發。向國際市場輸出乾溼分離空調系統所需之元件、設備與系統工程技術。開發低溫室效應冷媒空調機產品技術，供應全球市場。

三、國內發展現況與成果

(一) 技術發展現況

長期以來，政府非常重視冷凍空調系統節能成效提升，透過產品與系統效率管理，以及補助創新技術研發兩個策略來進行。尤其投入在冷凍空調產業節能技術開發已逾20年，帶動國內產業建立具國際競爭力之冷凍空調產品技術，包括各式壓縮機、熱交換器、馬達與驅動控制、水泵風機等流體機械、自動控制等，大多數之冷凍空調設備製造廠皆已具有成熟技術與自主研發能力，提供國內市場優質產品與節能實績。

未來國家在空調技術的研發主軸定位上，可考慮讓空調系統扮演在夏季成為國家電力需量調節之可應用管理手段之一。以此需求假設，可進

行電力需量管理之建築、關鍵之機電和控制元件技術自主化，以降低空調系統耗電等3個因素為達成此情境之必要條件。其中在關鍵機電技術研發方面，可著重於磁浮無油離心式壓縮機之技術研發，使我國具有完整之壓縮機關鍵元件之製造能力。先進之磁浮離心機具有高部份負載效率、廣域運轉和無啟停限制等許多優點，將是進行需量調節不可或缺關鍵元件，再配合在智慧建築計畫所發展之建築負載預測，以及能源管理之智慧決策系統，將可賦予空調系統新功能。

在國產離心式壓縮機技術方面，國內已開發500~1,250RT高效率定頻與變頻二級離心式壓縮機與冰水機，提升壓縮機與冰水機製造廠之設計與製造技術。主機效率已超越國外主要品牌，且製造成本亦低於進口產品，具有相當大之發展潛力，可望能在國際品牌環伺局勢下，開創出優質高效率離心機產業。

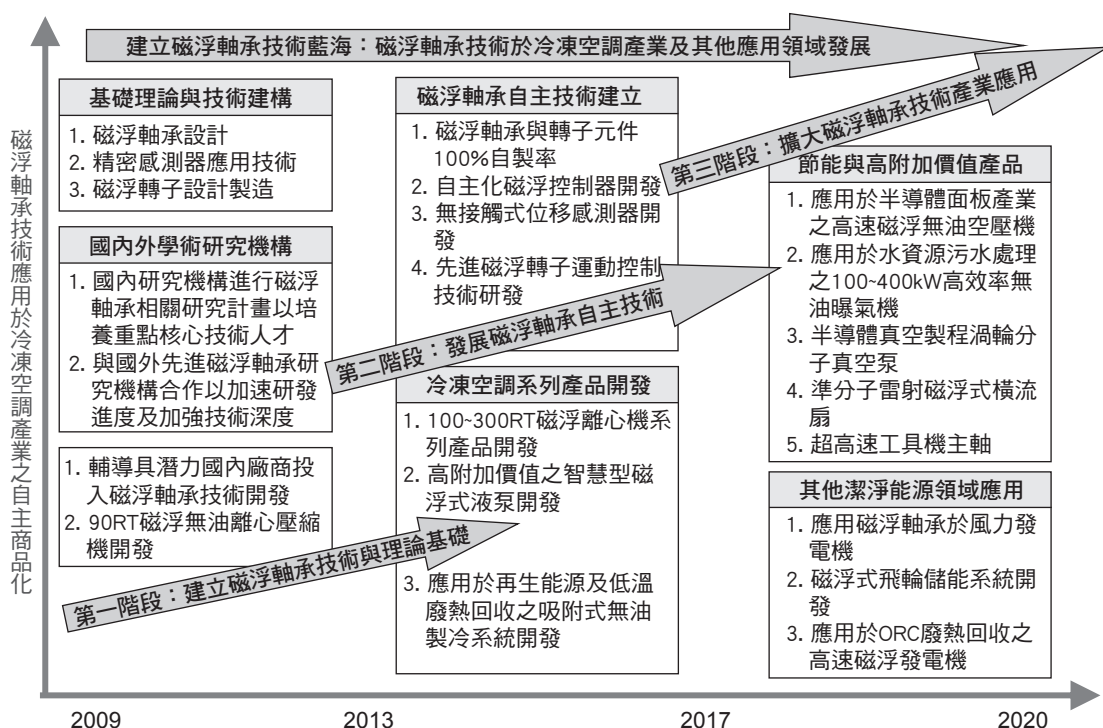
此外針對能源成本之逐年增加，螺旋式冰水機亦已逐漸導入變頻控制，以提升部分負載效率，並能符合實際應用之需求；已結合國內壓縮機製造廠及系統廠商完成原型機之開發及運轉，將持續進行變頻控制器之模組化。

在無油式離心機技術發展方面，主要是發展磁浮軸承應用為主軸。磁浮軸承及其相關技術為21世紀初提升產業能力關鍵技術之一，預計將以3個階段共約10~15年時程發展完成(如圖3-1-2)。

1. 第一階段(2009~2012)：工程技術發展階段

進行磁浮軸承先期性技術研究，發展磁浮軸承系統設計、驗證和開發技術與工具，建立主動式磁浮軸承機構設計、應力分析、轉子動力分析、電機與控制等學理與工程基礎，如徑向與止推磁浮軸承設計技術、轉子動態分析技術、磁浮軸承特性量測系統、主動式磁浮軸承數位控制邏輯與控制器開發工具等，並就磁浮軸承應用領域進行專利分析、市場調查與關鍵技術專利佈局。同時，一方面爭取與全世界具磁浮軸承研究領先地位學術和企業單位合作。

另一方面透過技術合作方式，應用國外較成熟先進磁浮軸承商品，進行產品合作開發，以縮短開發所需時程。在國內技術發展方面，將與具應用磁浮軸承潛力廠商合作，使磁浮軸承技術可以達到從下紮根向上結果目的。



資料來源：工研院整理，2013年12月

圖3-1-2 國內磁浮軸承技術全程發展藍圖規劃

2. 第二階段(2013~2016)：第一階段的技術應用與商品化

以第一階段中與國外技術合作開發磁浮無油離心壓縮機為目標，逐步取代國外所提供之磁浮軸承元件，以完成技術自主性高無油離心機之商品化工作，使具更有競爭力成本結構，並開發更高效率、更低成本磁浮軸承技術，應用於離心壓縮機技術發展方面。本階段預計在2016年完成高自主技術磁浮離心機設計開發。

3. 第三階段(2017~)：磁浮軸承技術的擴大應用

預計發展時程為4~7年，以國內可應用磁浮軸承技術產業為目標，如精密機械電主軸、半導體製程設備、生醫工程或航太工程等，全面推廣磁浮軸承應用，使國內高科技設備廠商得以不再仰賴國外技術，創造更高附加價值，全面提升我國精密工業技術水平，並挑戰國際市場。

在空調系統方面，如何再大幅降低空調系統耗電，大致有下列兩個可行方向：

1. 空調設備節能變頻化

包括冰水主機及水泵、風扇等週邊設備均可導入變頻控制和智慧控制。根據ASHRAE 90.1 2010標準的能源效率規定，變頻式冰水機之全年運轉能源效率相較定頻式機種平均可高出25%。在空調系統的變頻水泵和風扇使用，因季節變動因素也會有相當之節能效果，這部分節能技術在市場上已逐漸成熟，未來的重點在於如何降低成本，例如替代永磁馬達中昂貴稀土磁鐵，而仍能達成高效率並縮小體積，獲得市場上廣泛應用。此外也需藉由政策和廣宣來加強推廣工作。

2. 創新節能空調系統

創新系統設計觀念可以達到大幅節能效果，而且市場也有產品和技術發展當中，然而工程業界欠缺成功整合案例/典範可供依循學習，應可透過建立示範系統來推廣。例如，分開處理冷卻和除濕需求空調系統設計，可以提高冰水供應溫度，進而大幅降低冰水機為滿足除濕條件而在較低效率運轉情形。另外在空調設計時，也可綜合考量建築冷房/暖房/熱水等需求，發展多功且高能效之複合空調系統設計。甚至亦可考慮結合再生能源(太陽熱能或電能)或者地源式通風冷卻等，來輔助滿足建築物的冷熱供應需求。

對於成熟智慧電網調節建置、電力需量管理服務業之法規和鼓勵機制和其他環保(如冷媒溫室效應)等影響因素均為實現此情境之障礙。例如，目前台電公司可停電力之管理辦法，並未提供可集合許多棟建築中冰水機來共同達成降低用電需量目的管理措施和獎勵辦法，未來可考慮配合智慧電網建置修訂電力需量調節管理辦法，以利於推動電力管理服務業。

在冷媒環保議題方面，冷凍空調採用氫氟氯烷(HCFC)因具有臭氧層破壞性，將於2030年完全禁止使用。氫氟烷(HFC)雖然不具臭氧層破壞性，但有非常高之全球暖化潛勢(Global Warming Potential, GWP)，各國正尋求替代前項冷媒之產品。然採用新冷媒時為提高系統之性能，使其具有與既有冷媒之競爭性，需進一步量測該流體在各種熱交換器及不同工作條件下熱傳及壓降性能，以為設計之依據。另針對該流體之特性，進行壓縮機以及膨脹裝置等相關元件之模型建置及調配，以獲得最佳系統設計。

(二) 國內推廣應用

1. 在小型空調機方面，國內已開發直流變頻空調系統(一對一、一對二和一對三和VRF等機型)，不僅具研發人力，還有檢測設備及商品化能力。配合冷氣機季節性性能因數標準建立與推動規範，使國內直流變頻空調機市場占有率可提升至55~60%。可創造約新臺幣100億元產值。
2. 建構直流變頻箱型機，採用R410A直流變頻壓縮機，及熱交換器設計軟體，進行系統設計與元件匹配，搭配無感測弦波驅動模組，及搭配DC水泵馬達直驅及控制策略，進行最佳化運轉，符合國家能效標示2級以上(4.85以上)。估計未來有20萬台箱型機亟待汰舊換新為新機種，平均能力為6HP(16.8kW)，每年運轉1,200小時，開機率0.7計算，則導入變頻化技術，將可減少約2億度電力消耗，即減少12萬噸CO₂的排放。
3. 中央空調設備與系統方面，結合冰水機與大型感應馬達變頻控制技術，開發高運轉效率之冰水機組，產生效益為：
 - (1) 大幅降低冰水機運轉耗電量；2014年預估節能潛力達4.5億度/年。
 - (2) 提升冰水機、螺旋式壓縮機、大馬力變頻控制器產業之附加價值，促成國內產業投資新臺幣1億元，年產值約新臺幣4億元。2014年內外銷數可達每年1,000台，市場占有率10%。

此外，發展高效率二級壓縮離心式冰水機，建立我國離心式冰水機產業，成為全球重要離心式冰水機生產國之一。其效益為：

 - (1) 促成國內產業投資約新臺幣3億元，年產值約新臺幣12億元，至2016年內銷數可達每年50台，市場占有率達15%。
 - (2) 提高國內高科技產業所需潔淨室技術之自主能力(含關鍵冰水機及系統技術)；能協助產業成本之降低；2014年預估節能潛力達3億度/年。
4. 國內冷媒壓縮機(不含車用)之產量約只占全球市場需求2%，其產值則約只占全球市場需求1.7%。但近10年國內冷媒壓縮機生產量與外銷量分別以平均複合成長率7.11%及11.36%速度成長，可見只要國內冷凍空調產業具有完整之壓縮機技術，真正具有國際競爭力，將在國際相關市場佔據更高之地位。國內幾家壓縮機製造廠正積極開發包含AC變頻與DC變頻之壓縮機，以供應其新開發客戶群。

5. 協助業界建構提升無風管冷氣機新產品性能關鍵技術，以使業界所開發之新產品能符合經濟部訂定之2016年能源效率標準，整體新產品COP將可比現行產品提升25%，以國內市場平均每年需求100萬台小型空調產品，以平均耗電1kW及年使用時間為1,200小時計算，則2016年便可節電3億度/年，連續5年之推廣替換，則於2021年便可節電達15億度/年，折合約37.26萬公秉油當量/年，相當於減少95.39萬公噸CO₂排放量。
6. 國內已完成餐飲連鎖店之冷凍空調熱能回收系統，可節省其電熱耗能60%。以5年推廣至60%之主要商用場所如餐飲連鎖、大型賣場與便利店使用為計算基礎，可節電5億度電/年，約12.42萬公秉油當量/年，相當於減少31.79萬公噸的CO₂排放量。
7. 輔導國內相關業者開發高效能可調速馬達、渦卷式壓縮機及其DC變頻化、具主動功因電源轉換器及專用IC、具弦波無感測驅動之專用IC及控制器等具高效節能關鍵零組件技術產品，促使國內業者所開發新空調系統產品性能優於經濟部「無風管冷氣機能源效率比基準」之2016年COP目標值及對應之CSPF值，並協助及促成相關業者進行各項關鍵零組件商品化投產。同時，相關技術也可擴大衍生應用於各種機電整合設備，特別是住商及工業領域耗能頗大傳動產業。目前已協助建立產業聯盟，將於後續計畫進行各項技轉，以協助各盟友開發高節能效益新產品，不但可提升產業競爭力，同時可為國內節能減碳注入更多具體實用節能產品。
8. 建構提升空調系統性能之技術平台包含：國內市場技術所空缺冷房能力為5~30kW之低溫(冷凍)、中溫(冷藏)及高溫(空調)用之渦卷式壓縮機、變頻壓縮機用弦波可調速馬達、可變風量風速之風機與馬達驅動模組、適用HFC及天然冷媒之具高熱傳能力與小體積優勢之熱交換器、具主動功因之電流弦波無感測驅動控制器等設計分析工具及實作技術，以實質建立國內在高效能空調、熱泵及住商製冷設備新產品的開發能力與產業技術基礎。
9. 目前開發之R-134a 120RT變頻冰水機，75%負載效率為COP5.43，與我國效率管制值COP4.45進行比較，以主機能力之75%做為全年平均運轉能力，一般空調年運轉1,600小時，產業空調年運轉3,000小時，電費以每度新臺幣2.5元計算。一般空調每年可省新臺幣6.4萬元，產業空調每年可省新臺幣13萬元。若購置本高效率主機之成本需多花15萬元，僅

需2年即可回收。至於高效率冰水機技術推廣採漸進方式，預估至2020年將可達55%之普及率，其產業用與住商用高效率冰水機總節能之潛力約為每年1,723,387公秉油當量，見表3-1-4。

10. 為使所開發之製冷、空調、熱泵等設備，於配適國內高溫多濕使用環境下之節能效益更大，國內正進行多機組並聯冷熱多功系統整合，達成製冷、製熱空調等室內受控環境具多功多效系統群控創意設計，並結合業者進行實機開發與測試驗證。此外也同時開發群組設備之群控系統軟硬體，以為實現未來住商冷熱環境管控全電化之架構，建構良好之技術平台，而促使住商能源使用及管理更具節能效益與優質化。

表3-1-4 高效率水冷式冰水機推廣可能之經濟及節能效益

年度	產業用冰水機推廣		住商用冰水機推廣	
	當年推廣量(台)	可增加節能量(KLOE)	當年推廣量(台)	可增加節能量(KLOE)
2007	300	5,138	344	3,142
2008	320	6,793	409	4,631
2009	400	10,277	416	5,700
2010	450	13,695	457	7,418
2007~2010小計	1,470	35,903	1,626	20,891
2011	500	17,751	500	9,467
2012	520	21,221	577	12,558
2013	560	25,992	636	15,744
2014	580	30,289	719	20,026
2015	750	43,729	654	20,337
2011~2015小計	2,910	138,982	3,086	78,132
2016	800	51,651	713	24,552
2017	840	59,701	784	29,718
2018	860	66,851	879	36,441
2019	900	76,163	956	43,148
2020	950	87,067	1,027	50,199
2016~2020小計	4,350	341,433	4,359	184,058
2007~2020總計	8,730	516,318	9,071	283,081

資料來源：工研院整理，2013年12月

表3-1-5 離心式冰水機節能潛力估算

年度	離心式冰水機	
	當年推廣量(台)	可增加節能量(KLOE)
2009	1	4.5
2010	3	17.9
2011	6	54.6
2012	7	97.6
2009~2012小計	17	174.5
2013	15	189.5
2014	100	802.8
2015	170	1,845
2016	200	3,393
2017	230	5,173
2013~2017小計	715	11,403
2018	260	7,184
2019	290	9,427
2020	320	11,902
2021	320	14,377
2018~2021小計	1,190	42,891
2009~2021小計	1,922	54,468

資料來源：工研院整理，2013年12月

11. 目前全國每年新增空調能力總量約為198.5萬RT，其中離心式冰水機約佔14%(28.5萬RT)，雖然離心冰水機建置台數少，然其屬長時間運轉之使用形態，高效率機種之研發與推廣運用對節能措施之推動成效影響顯著(如表3-1-5所示)，亦將影響國內大型空調產業之發展及節能措施之推動與落實。其計算方式與表3-1-4同。
12. 配合2009年「能源管理法」部分條文修正，將有助於冰水機效率管理推動工作，由自願性轉為強制性機制，因此可預期將帶動另一波高效率冰水機技術需求，並擴大業者投入高效率產品技術研發之利基。冰水機效率管理機制經多年推廣，已廣被業界及公務部門所接受。本機制所認證之冰水機測試站已正式納入2010年行政院公共工程委員會施工綱要，對國內冰水主機能源使用效率及性能規範具有正面發展。

參考文獻

- [1] 經濟部能源局，2013能源統計月報。
- [2] 政府政策對空調產業影響與因應之道，IEK產業情報網，2013/06。
- [3] “變頻控制與天然冷媒應用技術開發”，經濟部能源科技研究發展計畫101年執行報告，工研院綠能所，101-D0302，2013/01。
- [4] “高效率製冷設備與關鍵元件開發計畫”，經濟部能源科技研究發展計畫101年執行報告，工研院綠能所，101-D0301，2013/01。
- [5] “既有建築空調節能改善彙編”，內政部建築研究所，2013年。
- [6] “Refrigeration & Air Conditioning Compressors,” JARN, Feb.25, 2009, Serial no.481-S pp. 53~76.
- [7] “Report of the Nineteenth Meeting of the Parties to the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer”, Montreal, 17-21 September 2007, United Nations.
- [8] “IEA Buildings Book (draft)”, International Energy Agency, United Nations, 2013.

第二節 先進照明系統

照明為住商領域除空調之外另一主要耗電設備，近年來因固態照明技術發展迅速，燈具效率相較於傳統照明有顯著之提升，為照明節電創造了廣大機會。另一方面，我國具備LED固態照明堅強產業實力，上游磊晶與元件產量居世界第二，為重要之高科技產業之一。但近年來遭遇韓國與中國大陸廠商強力競爭，產業欠缺出海口與通路品牌危機逐漸浮現，因此推動高效率固態照明科技研發，除有益於國內節能減碳工作之外，也肩負著扶植產業永續發展重要任務。

一、國內發展目標與策略

(一) 國內發展環境分析

依據2012年度對國內照明用電之調查結果顯示，2011年全國各類照明光源之總用電量達264億度，約佔全國總發電量12%，因此節能照明為施行節能政策的主要對象之一。目前國內照明普遍存在之不理想現象包括：

1. 照明系統平均能源效率偏低：

目前國內照明器具之平均發光效率約為50Lm/W，老舊高耗能光源與燈具之用量仍可觀，而成熟之燈具技術已可達70Lm/W以上。以國內之技術水準而言，照明系統發光效率至少應達到日本和中國大陸之間水準(約60Lm/W)，亦即效率提升20%使照明用電相對減少20%。

2. 照明用電密度(Lighting Power Density, LPD)偏高：

目前國內LPD平均值約為28W/m²，遠高於紐西蘭、澳洲、日本等國12~20W/m²之標準，顯然其照明效率仍有極大改善空間。

3. 照度偏高：

由於國內辦公場所或賣場空間照明設置常未依作業需求規劃，尤其輕鋼架天花板之室內照明幾乎千篇一律，而其作業面平均照度經常在600Lux以上，甚致超過800Lux，形成眩光效應，不但耗電且傷害眼睛健康。

發展固態照明技術整合智慧型照明管理系統，為全球節能照明主流策略。現階段LED照明燈具效率已經可超越大部分傳統照明產品，而研究顯示透過照明系統化管理控制，可再達成照明節能15~25%效益，同時能降低光環境LPD。然目前國內LED照明與智能控制普及率不高，其主要原因是成本過高及可靠性仍有疑慮，因此國內節能照明系統有很大技術發展空間。

固態照明技術是21世紀全球綠色照明希望，具有節能、環保、體積小及控制性佳、光色豐富等特點；固態照明包含LED與OLED照明2項技術。近3年白光LED技術迅速提升，發光效率已超過現有主流光源，2010年起LED照明商品大量問世，2011年日本311大地震以及節能減碳政策加速市場滲透率大增，目前我國將LED照明光電列為新興綠色能源產業重點項目。

由2010年到2012年政府透過旭升方案積極推動產業發展，2012年產值為新臺幣2,028億元，但全球市佔率不升反降。為因應當前經濟挑戰，行政院啟動一系列「財經議題研商會議」，於2012年8月18日進行「能源政策」議題討論，提報推動「綠色能源產業躍升計畫」，研提太陽光電、LED照明光電、風力發電、能源資通訊等主軸產業未來4年之執行方向與做法，期使LED照明產業永續發展，預估2016年產值將達到新臺幣3,180億元。

依據工研院產業經濟與趨勢研究中心2012年報告資料顯示，2012年全球LED照明光電市場規模達371億美元，較2011年成長14%。國內住家照明主流產品為安定器內藏型螢光燈泡，在商業照明系統中仍以螢光燈具與鹵素燈為主，隨著LED照明技術日趨成熟且成本大幅下降，預期LED照明將快速普及。

OLED照明具有節能、極薄、平面低眩光與可撓等特性，已趨近照明器具所能達到結構極致。在未來應用情境上，其可撓特性可使光源任意立體化，除了符合環境之美學需求，也可配合使用者進行客製化外型，將徹底改變使用者習慣，因此受到相當大矚目。預期OLED照明將與LED照明在市場上形成互補，前者提供高階利基型大面積應用，後者則提供一般照明用途。

OLED照明與AMOLED顯示器之產業鏈具有共通性，近幾年AMOLED市場蓬勃發展，亦帶動OLED照明技術研發。歐美最早投入OLED，我國與

韓國則在1995年投入研發。在2004年以前我國在美國核准之專利均超過韓國，雖然2006年後已落後，但OLED仍是在國內具發展基礎產業。尤其國內面板業已發展成熟，其LCD八代生產線或PM-OLED生產線皆可改裝為OLED量產線以降低成本。

（二）發展目標與策略

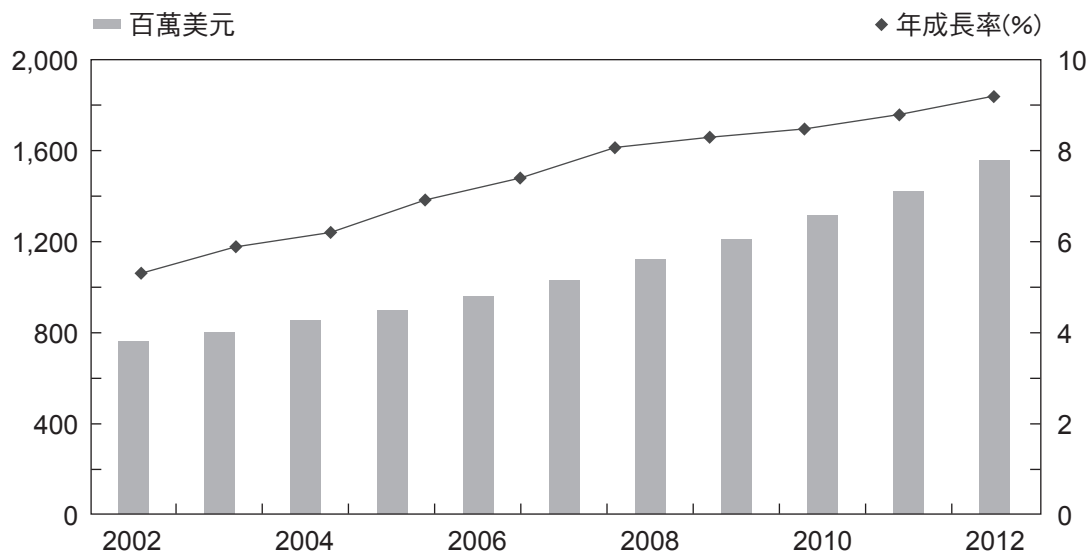
照明之節能方案可分3部份：照明設計、照明設備以及智慧照明管理系統。提升照明設備之能源轉換效率為普遍接受之節能方法，因此高效率電源、光源、燈具亦為技術研發重點。國內LED照明產業鏈完整，但缺乏LED核心專利，嚴重影響國際競爭力。

LED照明產業在取得HVLED專利後，關鍵零組件技術逐漸成熟，現階段全球大廠主力產品以取代傳統光源如LED燈泡及燈管為主，市場上能見度也快速提升，未來在LED成本持續降低下，滲透率也將逐年提高。然而，國際LED大廠爭食市場大餅，我國LED照明產業必須挑戰美日大廠高效率，又要面對中韓價格競爭；因此，發展策略在提高LED照明光源的性價比，同時發展利基型應用LED照明燈具系統，以確保我國LED照明產業全球市佔率。

LED封裝技術朝向高效率及低成本為近期LED技術最重要主要目標，除元件本身之效能提升以外，其中自動化生產以及模組化架構，以降低LED照明產品成本與售價，為產業提高競爭力之核心，其中關鍵將是高整合度模組封裝搭配製程技術開發。

LED照明的另一項優勢為智慧型之系統整合，由燈具開始，加入通訊與資料處理技術整合，將智慧化控制系統導入使用者生活，建構智慧化家庭以及城市智慧化，配合系統端管理與使用情境，將進一步提升能源運用效率。目前智慧道路照明已經開始大量試行，此外創新應用場域如農漁業、生醫、軍事等市場也已浮現商機，皆為我國產業可努力方向。

結合資訊、電子技術所形成之智慧照明管理系統產業正逐漸在市場上嶄露頭角，尤其在先進國家之發展更加迅速。2010年北美照明控制產業之年產值接近13億美元，年成長率則超過8%且持續上升中，如圖3-2-1所示，顯示系統化照明控制已成為趨勢。國內在資訊、電子方面均具有明顯技術優勢，若能趁此局勢發展照明控制產業，將是照明產業實現技術升級、開拓新市場良機。



資料來源：Frost & Sullivan, 2013年12月

圖3-2-1 北美照明控制產業之產值

目前智慧型照明管理系統在市場上推展並不理想，主因為成本過高及使用者信心不足。因此開發低成本、高性價比之照明管理系統產品，並透過實際案例呈現效益，為促進其市場發酵的關鍵手段。智慧照明管理系統可分為系統軟體、系統硬(韌)體與照明電子3個次領域，國內目前並無單一廠商同時跨足這3個領域，因此以聯盟方式進行產業化佈局是最佳策略。在發展策略上可從軟、硬體方面分別著手進行產品技術開發，以及開發與既有平台與系統整合運用之介面技術，以降低管理系統之設置成本。

在OLED照明方面，美、日、韓、歐洲等各國政府，與Philips、OSRAM、Panasonic與LG等國際大廠皆投入大量資金研發相關技術。以美國能源部為例，其2013年第4輪為期2年研究補助金額為1,010萬美元，各廠商也需投入約1,010萬美元資金。希望降低固態照明製造成本，同時兼顧照明品質。

另外德國聯邦教育與研究部也資助為期3年OLYMP計畫(Organic Light emitting systems based on energy and cost-efficient Materials and Processes)，至2015年為止總經費3,400萬歐元。旨在建立節能和成本效益優化OLED照明系統，促使OLED普及於一般照明市場。各國大量投資顯示LED與OLED之市場地位同等重要，在未來將各佔有不同市場區別，並依照其不同發光特性共存於照明市場。

根據美國能源部(DOE)預估，2030年OLED照明發光效率、價格將與LED照明趨於一致，顯示未來OLED與LED照明都將被納入一般照明市場。由於目前成本仍高，初期將針對利基市場發展。根據IDTechEx “OLED vs LED Lighting 2013~2023” 報告指出，OLED照明將優先應用於醫院、購物、建築等利基市場。

OLED照明要朝商業化發展仍需解決3大問題，包括發光效率、產品壽命以及成本。觀察國外OLED照明研發策略，為由政府投入經費進行研發，其目標為節能與低成本技術，同時需兼顧照明品質與市場需求。其研發計畫之補助對象涵蓋上游OLED材料、中游照明面板製造與光效提升、至下游市場應用端創新燈具與電子驅動裝置之整合模組等。在架構上相當重視各廠商之間協調和溝通，其研發策略可供國內參考。

我國OLED照明研發策略短期內將以前瞻研發建立核心技術，發展上位專利為最重要目標，策略上以發展OLED關鍵材料及製程技術為主軸，縮短我國與國際先進大廠差距。

二、產業技術發展指標與時程

(一) 國內外技術發展指標

有關固態照明與智慧照明管理系統之國內外技術發展，詳見表3-2-1

(二) 國內技術近期發展重點

LED照明應用發展至今，技術已經逐漸成熟，各項照明取代式光源與燈具已經逐漸齊備，未來只要等成本與售價降低，LED照明技術滲透率將會急遽上升。然而，LED照明技術與傳統發光技術迥異，因此在應用上應該要有更先進之設計方式，才能完全發揮LED照明技術優勢。

表3-2-1 固態照明國內外技術發展指標

技術項目		國外發展指標	國內發展指標
LED照明	光引擎封裝	積體化光引擎效率70%	能專計畫建立1W積體化光引擎封裝，國內業界已有LED電控IC，但尚無系統級封裝技術與散熱結構
	驅動電源	2020年轉換效率90%	2020年轉換效率92%
	智慧化LED照明系統	國外已有高成本之初步技術，尚未普及	自動調光及調色溫燈具與控制系統開發
智慧照明管理系統	系統軟體	數位照明系統時程、模式、場景及照度等管理	網絡控制平台、光環境設計與控制技術、照明管理系統資訊化
OLED照明	OLED元件	Panasonic發光效率114Lm/W，其發光面積為1cm×1cm	目前發光效率可達110Lm/W
	大面積技術	Lumiotec發光面積12.5cm×12.5cm	目前發光面積達10cm×10cm
	封裝技術	Vitex公司之蒸鍍有機/無機多層膜，阻水氣率(WVTR)： $<1 \times 10^{-6} \text{g/m}^2 \text{day}$	目前低溫ALD製程阻水氣率(WVTR)： $<1 \times 10^{-3} \text{g/m}^2 \text{day}$ 及阻氣率(OTR)： $<5 \times 10^{-2} \text{cc/m}^2 \text{day}$
	驅動電源電路	2020年轉換效率93%	2020年轉換效率93%薄型化

資料來源：工研院整理，2013年12月

模組化為近代硬體開發趨勢，而積體化則是電控技術提高性價比策略之一，積體化之照明模組，或稱積體化光引擎，將是LED照明技術演進之下一步。光引擎之開發門檻主要是各項關鍵元件技術，在驅動電控方面，開發重點為交流市電直接輸入單晶片驅動架構，以及能夠實現此架構之高壓半導體製程，其次要搭配高導熱基板技術，至於光學部分則要透過一次光學取代部分二次光學，以降低成本、提高效率；最後為整合感測與通信元件，為智慧照明奠定基礎。

在封裝方面，其關鍵為高性能封裝材料，以及符合模組化需求封裝結構，以確保光引擎效率及成本。此外，由於光引擎熱源集中特性，散熱技術為光引擎實用化先決條件。光引擎之發展進程與方向，將會是LED下一波產業進步重點，也是LED照明進一步提升生活品質未來方向。

人因照明為21世紀照明科技發展願景，LED照明優越的調控性，更被產業界視為照明產品決勝關鍵因素之一，未來固態照明系統將會更強調符合人性需求，人因照明基礎研究將是發展重點；另環境變遷導致糧食短缺危機越趨明顯，植物工廠與農業照明為另一項產業目前看好之新應用。

在照明節能需求上，要達到先進國家標準單位空間耗電密度，除了使用高效率光源、安定器與燈具外，改善照明設計、強化照明控制管理皆為重要之關鍵。良好照明控制管理亦是節省照明用電一大利器。在一般使用者習慣中，光照不足時會將燈光打亮；但光照太多時卻會自動適應，不會主動關閉多餘燈光，經常造成大量能源浪費。

教育與宣導固然可以部分解決上述問題，但在現代人分秒必爭生活步調中，隨手關燈經常只淪為口號，而智慧型照明管理系統乃應運而生。智慧型照明管理系統不但可提高使用者方便性，透過照明管理控制，還可將環境維持在最適量照度，提升光環境舒適性，減緩人眼疲勞程度，甚至依使用者意願，調整照明色溫與亮度，以營造光環境的氛圍，此即所謂情境調光功能。

另外除照明節能議題外，近年來優質光環境議題在先進國家已受到普遍關注，並具體歸納出6項需求：可視性、活動性、健康和安全、心情和舒適、社交和溝通，以及美感。因此技術發展需同時考量環境、功能性、心理、生理、及能源5個不同層面。再結合晝光引入裝置，能使空間照明達到低耗能、低眩光、適當照度與均勻度之目標，這種結合情境照明、居家保全以及晝光應用照明管理控制技術，除了減少能源浪費外，並能同時提升生活品質，達到照明系統節能、環保、人性化、精緻化與資訊化願景。

OLED照明技術發展也有類似需求，除了高發光效率節能技術與長壽命的基本要求外，在應用上也應善用其輕薄與可撓獨特性，以健康與舒適為基礎，發展高演色性或全頻譜光源，並發展大面積化模組製程，藉此降低成本加速市場發展。透過發展自有技術與專利佈局，開發創新的照明應用並切入利基應用市場，同時建立適合照明標準與管理系統以提升光環境品質。

未來採用OLED各式應用將不斷出現，白光OLED照明將在人們日常生活中創造新價值，除了展現舒適之外，對新生態的生活方式也有很大潛力，最終目標即為將OLED光源普及於一般照明。

（三）國內技術發展時程

國內先進照明技術發展，分為以系統化技術為主智慧照明管理與高效率光源燈具之固態照明技術兩部分，其中固態照明又可分為LED照明與OLED照明。智慧照明管理系統如表3-2-2所示，LED照明技術整理如表3-2-3所示，OLED照明技術整理如表3-2-4所示，分別說明如下：

1. 節能照明管理系統

照明管理系統重點有：

- （1）照明管理系統技術開發，建立系統化網絡控制平台，並研發光環境設計與控制技術，賦予照明管理系統全面性資訊整合與決策能力，同時能符合未來國內照明空間用電密度之法規限制。
- （2）照明器具控制技術研發：研發安定器數位定址調光技術，並開發可調控燈具，使照明設備能貫徹執行管理系統之調控指令。

2. LED照明技術

LED照明技術推動重點有：

- （1）高性價比光源模組關鍵技術：以建立專利LED元件與模組封裝技術為主，協助產業突破國際專利約束，增加與國外交互授權談判籌碼，包含大面積Si基板 LED、光電熱控整合之單一封裝光引擎以及R2R面光源封裝為主要目標，開發關鍵元件模組技術與其製程及設備。
- （2）智慧型高值化LED照明系統：人因照明系統及利基型應用兩大方向，以人因、農漁業照明基礎研究搭配智慧型資訊回授調控來加值系統，同時開發低成本通訊協定，差異化的設計，藉以提高系統的性價比。
- （3）固態照明產業環境建構：以示範案領頭推廣，並降低導入LED照明技術之初期成本。

表3-2-2 智慧照明管理系統技術發展時程

技術項目	短程(~2015)	中程(~2020)	長程(~2025)
照明管理系統技術	發展情境照明管理系統	發展節能照明管理系統	發展人因照明管理系統
光環境設計技術	高效率光環境演算技術	環境機動式光環境設計技術	人因互動式光環境設計技術

資料來源：工研院整理，2013年12月

表3-2-3 LED照明技術發展時程

技術項目	短程(~2015)	中程(~2020)	長程(~2025)
光引擎關鍵技術	• 高整合光引擎封裝 • R2R 面光源封裝 • 全積體化驅動電路 • 光引擎製程與設備開發	• 高可靠度、高性價比光引擎照明技術 • 光引擎系統效率 200Lm/W	• 智慧化泛用型光引擎設計平台 • 固態照明半導體製程整合
智慧型高值化LED照明系統	• 低色偏、低眩光自我補償調控燈具 • 低成本高可靠之照明用通訊協定	• 開發智慧型光環境調控技術 • 人性化LED照明系統	• 智慧型人性化照明系統示範應用
固態照明產業環境建構	• 建立固態照明ESCO模式 • 固態照明示範應用與推廣計畫	• 推動固態照明普及率 50%	• 建立人性化照明產品測試驗證能力

資料來源：工研院整理，2013年12月

表3-2-4 OLED照明技術發展時程

技術項目	短程(~2015)	中程(~2020)	長程(~2025)
OLED照明元件技術	高效能白光OLED照明技術	低成本照明技術照明標準與應用	大面積低成本照明模組
OLED照明應用技術	創新照明應用	利基型設計應用	一般照明

資料來源：工研院整理，2013年12月

3. OLED照明技術

國內的OLED照明技術推動重點有：

- (1) 高效能白光OLED照明元件技術開發，包括自有材料、光取出結構、元件結構設計等。
- (2) 低成本製程技術：包括大面積模組製造、長壽命薄膜封裝技術。
- (3) 創新型應用技術：以利基市場為目標之應用技術，包括發展高演色性、全頻譜與創新應用之照明技術。
- (4) 照明標準制定與認證制度推動：藉由標準認證與建立創新指標，促進OLED照明產品之推廣應用，帶動相關產業之發展，並在市場發展中建立領先契機。

三、國內發展現況與成果

(一) 技術發展現況

1. 節能照明管理系統

主要分為系統軟體、系統硬(韌)體與照明電子三個領域，目前已有具代表性之廠商透過聯盟方式，共同推動智慧型照明管理系統之產業化。其發展包括以下之技術整合：

- (1) 建構節能光環境設計服務系統，已完成室內燈具資料庫，包含產品光源特性、電氣規格等詳細資料，可提供產品IES檔支援光環境模擬，以及提供網頁介面連結資料庫內容與操作功能。
- (2) 開發光環境應用輔助技術，已完成光環境情境模擬技術之嵌入式平台建置，包括使用者控制單元、通訊傳輸伺服器及照明控制模組等。後續將透過實驗分析進行人因照明資料庫建置，以及照明舒適度評估方式研究。
- (3) 晝光感測技術及晝光動態預估技術研究，已在量測場域內完成晝光量測系統，以無線晝光感測模組進行晝光量測，配合系統程式進行資料定時自動讀取，將完成4,000小時晝光資料庫建立，並建立晝光照度預估之演算法。

- (4) 智慧型照明管理系統案例效益分析與管理策略研究，期透過大型案例實施成果，彰顯智慧型照明管理系統之節能效益，以利技術應用推廣。目前已完成可調光燈具配置、照度感測器設置，同時亦完成光環境參數自動收集程式之整合測試，後續將進行系列智慧型照明調控策略實驗，並將研究成果移植到大型建物中進行效益量測評估。

2. LED照明技術

(1) 光引擎關鍵技術

光引擎為照明模組，整合光學、電控、散熱等技術於單一模組中，並以積體化封裝降低模組組裝成本，藉以提高性價比，並需要整合測試技術來確保系統效能。其個別的技术現況簡述如下：

A. 系統級封裝技術：

單一封裝光引擎不僅節省元件個別封裝及組裝成本，也將運用封裝體本身一次光學做光型控制，減少二次光學硬體的開發與製造成本，因此具系統成本優勢。目前在封裝材料上，已開發出高透光度(@450nm可達91.3%)、高折射率($n=1.602$)配方與製程技術，可強化LED取光效率及控光設計範圍。在封裝結構上，也開發出較小光束角(60°)封裝結構，並在其上作微結構處理，提高色空間均勻度，去除光暈。目前技術開發已進入試製階段，進行設計量產製程中。

B. 積體化電控技術：

針對LED所開發積體化驅動晶片商品已為成熟技術，而在光引擎應用之關鍵為單晶片交流市電直接輸入驅動IC，目前各大廠已開發相對應商品，未來交流輸入光引擎模組產品能見度將逐漸提高。此外為因應智慧化照明系統趨勢，積體化電控技術也增加訊號處理的能力，包括感測回授自我調控功能與內建標準通訊協定。此外積體化電控技術開發重點尚有提升LED晶片利用率，以及對電源品質和LED順向電壓之容忍度。

C. 光引擎散熱技術：

光引擎高度整合造成元件距離過近，尤其是LED晶片與電控晶片同時工作造成熱點集中之問題，將伴隨光引擎之微型化與功率需求上升而日益嚴重，故市場急需一高導熱產品以解決此問題。相較於其他大型散熱結構與技術，矽基微均熱板藉由微米結構提升其毛細力，並提升微均熱板散熱能力，所開發之散熱模組技術可將LED晶片直接

與微均熱板接合，而減少傳熱途徑之熱阻，並藉由降低接面溫度可有效提升LED模組的壽命及穩定性。目前矽基微均熱板試製，以及高分子均熱板密封結構設計與製作已經完成，並開始投入光引擎系統整合開發。

D. 光引擎整合測試技術：

本技術研發在於建立LED光引擎之光電熱耦合分析技術，針對COB模組或使用LED光引擎組裝燈具的廠商，提供一可預估LED光引擎在任何溫度下之光電特性，環境溫度不同而產生的電功率、光流明、色度座標和相關色溫。目前已經完成測試燈具開發，並針對市售光引擎模組做各項參數的溫度修正參數。後續將進一步利用這些光譜測試資料進行光譜曲線擬合與演算公式推導，以提高預測準確度。

(2) 智慧型高值化LED照明系統

目前現有平面光源燈具多採用側發光導光板式之導光技術，雖然厚度可低於20mm，但是由於導光板之傳遞路徑較長，因此能量在傳導過程中就被損耗，造成整體效率較低，影響流明輸出且受限於光學架構，僅能以朗伯光型輸出，使得工作面之均勻度需要增加安裝燈具數量才能提升。因此開發Air lightguide技術與無導光板架構，可提高效率，並採用頻譜調控之混光技術，克服現有4,000K光源之演色性不足之問題，搭配琥珀色光源並且經過演算可將演色性75之光源提升至90，特別適合於醫院場域之高演色性需求。

3. OLED照明技術

整體而言OLED照明技術之發展策略為降低成本、提高效率與使用壽命、同時發展市場應用導向之高品質照明產品。目前國內技術發展概述如下：

- (1) 自有專利之黃光磷光材料(PO-01)持續進行修改，發光效率與溶解度更高，可應用於OLED元件之溶液製程，其發光效率可達97Lm/W(Philips公司驗證)。應用於自有專利之雙波段白光OLED，加上增益已達1.9倍之低色偏光取光結構($\Delta u'v' < 0.004$)，在亮度1,000cd/m²的情況下，可使白光元件達到與世界同步之100Lm/W，目前正朝壽命提升方向努力。

- (2) 發展高良率且穩定之大面積元件鍍膜製程，藉此降低生產成本。演色性指標已大於90，同時發光面積達10cm×10cm。除高演色性發展外，也因應健康市場需求，發展與自然光類似的連續光譜OLED光源，可望成為領先國際創新指標。
- (3) 由於OLED有機材料有水氧侵蝕議題，因此在有機元件上需兼顧阻水氣之封裝功能。已發展利用原子層沉積系統(Atomic Layer Deposition, ALD)技術蒸鍍 Al_2O_3 、 ZnO 、 HfO_2 之封裝薄膜，其薄膜厚度僅2nm~35nm即可達成阻水氣率(Water Vapor Transmission Rate, WVTR)： $<1 \times 10^{-3} \text{g/m}^2 \text{day}$ 及阻氧氣率(Oxygen Transmission Rate, OTR)： $<5 \times 10^{-2} \text{cc/m}^2 \text{day}$ 之規格，對於提高壽命將有極大之助益，同時阻氣膜可蒸鍍於軟板上並應用於可撓式照明元件。
- (4) 發展利基型照明應用產品與其搭配技術，提早進行專利佈局，例如可裁切面型光源、可撓式光源結構等。待未來OLED照明面板製程技術成熟後，便可搭配成熟量產面板技術提高產品附加價值。

(二) 推廣應用成果

1. LED路燈示範推廣

為推動相關高效率道路照明燈具技術研究發展，並藉以示範及評估運用高效率道路照明燈具替換低效率、高污染水銀路燈之效益，以及帶動國內道路照明產業發展，逐年規劃LED路燈示範推廣計畫，並修正相關政策規定，規劃自2012年起禁止新建道路裝設水銀路燈，2016年起要求路燈主管機關禁止採購水銀路燈，希望至2018年起可實現禁用水銀路燈之目標。

為推動行政院2011年12月1日院會通過「經濟景氣因應方案」之「助產業」策略項下「全臺設置LED路燈措施」，經由節能績效保證模式(ESPC)進行LED路燈節能示範系統之設立，擴大節能產品之普及應用，並帶動國內經濟發展，規劃3項計畫如表3-2-5所示。

以上3計畫將自2012年至2014年陸續投入經費約新臺幣24.58億元，換裝約28.4萬盞LED路燈，執行完成每年可節約1.8億度電，減少11.2萬公噸二氧化碳排放，另帶動新臺幣36.9億元產值。此3計畫預定換裝LED路燈數量達全臺路燈總數1/5，將使我國成為全球換裝LED路燈比例最高國家。

表3-2-5 全臺設置LED路燈措施總表

計畫名稱	執行期間	對象	汰換盞數	經費來源
擴大設置LED路燈專案計畫	2012年起	5個直轄市及11個縣市	21萬盞	中央統籌分配稅款新臺幣16.9億元
LED路燈節能示範計畫	2012年度	偏遠及離島地區	2.1萬盞	能源研究發展基金新臺幣2.7億元
LED路燈示範城市計畫	2012~2014年	基隆市、新竹市及嘉義市	5.3萬盞	台電公司補(捐)助款新臺幣5.88億元

資料來源：工研院整理，2013年12月

2. LED室內燈具推廣

針對室內照明，經濟部能源局已執行「LED節能照明推廣計畫」，由政府採購總數50萬顆LED燈泡，透過此計畫高規格要求，促使我國廠商齊一規格、提高品質，並強化我國LED燈泡產業國際競爭力。

此「LED節能照明推廣計畫」，其節電效益，若在相同照度條件下，以9W LED燈泡替換60W白熾燈泡，可節省約85%用電，每年每顆LED燈泡可節電94度，以總推廣數量50萬顆計，每年可節電約4,700萬度。而如果以9W LED燈泡替換15W省電燈泡，可節省約40%的用電，每年每顆可節電11度，以總推廣數量50萬顆計，每年節電約550萬度，相當於每年省下新臺幣1,650萬元電費。

3. LED照明應用推廣

傳統道路交通標誌為讓夜間道路使用者能清楚識別標誌內容，多數交通標誌均採用投射照明燈具照射交通標誌，使交通標誌內容清楚顯現。然而，隨著LED產品技術不斷提升以及智慧型運輸系統之興起，國內外在一般道路或是高速公路等路段，陸續採用新式LED照明節能設施，在標誌牌面上亦整合應用低耗能、高耐用特性的LED發光元件，使標誌牌面除了在夜間有著良好辨識度，也成為交通安全維護有效工具。

有鑑於此，經濟部為達節能減碳及創新LED節能應用之目標，並加速國內LED照明光電技術發展，欲藉由LED節能標誌系統之示範成效，擴大研究及宣導應用效益，同時提高行車與用路交通安全。經濟部能源局執行此政策目標，於2013年度規劃「LED節能標誌系統示範計畫」，期望落實擴大LED產品應用之成效。而在經濟效益以及社會社益方面，依據交通部

於中山高速公路苗栗、三義段及苗栗縣臺72線試辦之經驗，LED道路標誌牌可增加道路標示之可辨識度，達到提高道路安全及道路指引之效果，若用於替代以投射燈提供光源輔助之標誌牌，可節約用電達90%以上。

參考文獻

- [1] 李清然等，2013/07，“節能照明系統設計與產品驗證技術開發計畫102年度執行報告”。
- [2] DOE, 2010, “Energy Savings Potential of Solid-State Lighting in General Illumination Applications”.
- [3] Norman Bardsley, 2013, “OLED vs LED Lighting 2013-2023: Forecasts, Technologies, Players”，網址：<http://www.idtechex.com/research/reports/oled-vs-led-lighting-2013-2023-forecasts-technologies-players-000339.asp>，上網日期：2013/07/25。
- [4] 李麗玲等，2013/07，“高效能固態照明技術研發計畫102年度期中報告”。
- [5] DOE, 2013, “Solid-State Lighting Research and Development Multi-Year Program Plan”.

第三節 能源資通訊

能源資通訊技術(Energy Information and Communication Technologies, EICT)涵蓋各類應用於能源領域資通訊技術，對能源系統進行監測、分析、以及最佳化操作，以節約能源，提高系統整體能源效率。

資通訊為我國之優勢技術，個人電腦、顯示器、衛星定位裝置、網路通訊設備等消費性產品全球市占率皆名列前茅，資通訊設備年產值超過新臺幣4兆元。然而，相對於消費性產品求新求變的趨勢，能源領域一特別是電力領域之技術應用則非常保守，通常以安全穩定為最高原則，而優先考量成熟技術。電力領域之調度系統常涉及重電設備操作整合，因此傳統電力調度系統市場為ABB, Siemens, Schneider等大廠所寡占，在確保穩定供电的需求下，台電公司多採國外產品，國內廠商往往僅供應電表、配電變壓器等設備，缺乏系統發展經驗，在能源管理領域之應用發展上亦屬萌芽階段。

近年來，智慧電網建設逐步轉變能源產業特性，為了促成終端使用者參與，並整合分散式能源，電力系統資訊化與智慧化需求更為迫切，帶動能源資通訊技術在電網調度與整合應用。另一方面，能源成本上漲與二氧化碳減量需求也提高了使用誘因，而大量終端用戶資訊化並非傳統電力業者所能顧及，其他業者的參與機會大幅提高，使能源資通訊產業之發展更為多元化。

一、國內發展目標與策略

電力為最常見能源型態，與民生關聯最為緊密；而其他能源系統亦可能直接運用天然氣、煤、油等資源。電網透過高低電壓電力線路將所有供电設備與用戶連接在一起，構成一個整合之電力系統，任何一個節點之供需變化都將影響其他節點；相對而言，其他能源系統多為獨立運作，或與其他少數系統互動，以構成一生產體系。

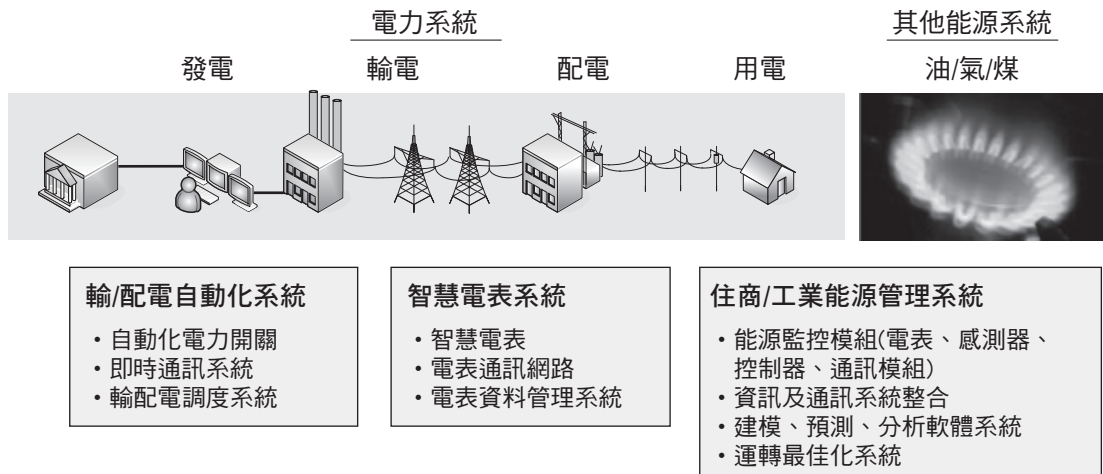
在電力系統上，全域供需調度的需求極為顯著，也使得能源資通訊技術的應用更加必要，資通訊技術導入，使傳統電網逐漸轉變為智慧電網，

透過電力資訊即時蒐集分析、使用者參與、系統設備更新、以及最佳化調控，再生能源的導入將更為容易，使用者能獲得新型服務與優惠方案，而電力系統運作也將更有效率。

能源資通訊技術應用領域及相關產品如圖3-3-1所示。在電力系統中，能源資通訊技術可概分為輸配電自動化系統、智慧電表系統、能源管理系統等3個群組，其中能源管理系統主要應用標的包含住宅、服務及工業等3個部門，而住宅與服務部門常通稱為住商部門。其他能源系統則主要為燃燒系統，用以產生電力、蒸汽或熱能，相關之能源管理系統經常是生產控制系統一部分，用以達成效率最佳化，實際上，電力系統中發電廠控制也屬於同類應用。

能源資通訊技術之發展目標為促成節能減碳與產業發展，在節能減碳層面，依既定政策，自2008年起，我國能源密集度應每年降低2%，並使2020年碳排放回歸到2005年排放水準；2025年回歸到2000年排放水準。

除了產業結構調整、設備效率提升之外，能源資通訊技術是另一個節能減碳的主要手段，一方面在能源之需求端建立能源管理系統，提高能源效率，節約5~15%的能源消耗；另一方面透過智慧電表系統鏈結供應端與



資料來源：工研院整理，2013年12月

圖3-3-1 能源資通訊技術主要應用領域

需求端，進行最佳化系統調度管理，整合分散式能源，改善不穩定再生能源發電對電網衝擊，降低電力供應端整體排碳，同時抑制尖峰用電，降低電力系統營運成本。

在產業發展層面，藉著市場轉變契機，發展利基關鍵技術，培植系統服務廠商，並爭取海外商機，以期我國能源資通訊產業之產值在2015年達到新臺幣260億元；2020年達到新臺幣600億元。

現階段國內廠商之技術與應用經驗仍需強化，而國內節能應用市場驅動力量仍未完全展現，為推動技術研發與產業發展，需採取積極策略。

1. 推動彈性電價，提升節能誘因

國內電價偏低，不利於節能服務推廣，亦造成現段再生能源導入持續貼補。台電雖已提供時間電價方案，一般低壓用戶採行意願偏低。未來透過時間電價及其他彈性電價方案推行，一方面提高使用者節能意願，降低其總用電量；另一方面抑低尖峰用電，降低電網調度困難與成本。電價制度之合理化可望大幅提升能源管理系統導入比例，帶動能源資通訊應用技術發展與產業成長。

2. 建立能源管理所需之標準，並與國際標準接軌

電力系統規模龐大，資訊系統間需有適當的介面進行整合，而輸配電設備與終端耗能設備也必須依循適當裝置介面，方能整合運作。國際上常見的標準包括變電站自動化系統相關IEC-61850、智慧電表相關IEC-62056, ANSI C12.22、需量反應相關OpenADR, SEP2.0、能源資訊系統相關IEC-61968, IEC-61970等。國內能源管理系統尚未大量導入，原因之一為節能效益尚未滿足所有使用者期望；另一個主要原因則是系統介面缺乏一致標準，導致系統整合困難，成本居高不下。

因此，由使用者能源管理所需介面出發，包含家電設備、商用設備等裝置的能源資訊介面必須儘早制定共通標準，此外，能源管理系統彼此介接所需共通資料模型、電力設備整合之裝置與資訊介面、智慧電表系統之軟硬體介面等標準也須及早確立，以利各界投入技術發展與實務應用。總之，能源資通訊產業為求順利進入國際市場，國內需大力推動以國際標準為依歸共同標準。

3. 以使用者能源管理為系統基礎，發展自主技術與成功經驗，逐步擴及電力調度系統：

傳統電力系統市場相當保守，輸配電系統軟體長期為外商所壟斷，國內業者由於技術與經驗不足，短期內難以切入。相對而言，使用者能源管理應用市場較為開放，雖然工業/建築自動化系統仍為少數國外大廠所主導，能源管理系統之建置需因地制宜，必然需要區域性系統整合商參與，國內廠商所發展之軟硬體技術較易於導入。國內資通訊人才充沛，能源管理所需之感測、控制、通訊元件，以及分析決策軟體，均能自力發展。特別是能源管理系統軟體，預測、建模、分析、決策等流程都需要相當之領域知識，才能發展為實用系統，技術研發方向應由簡入繁，並由終端能源應用逐步發展到系統調度。在過渡階段，宜適度引進國外技術，以加速系統產品開發。

4. 以示範計畫帶動技術發展與產業投入，培養大型的系統整合公司：

能源供應與民生及產業運作息息相關，尤其在輸配電系統上技術驗證，動輒影響數千個用戶。因此，新技術開發驗證與應用領域之擴展都需要政府支持。特別是電業相關產品或服務，若未建立足夠實證經驗，極難進入國際市場，因此，如智慧電表系統、配電自動化系統、分散式能源調度管理等相關產品服務，尤其是電力相關產業進入，政府應訂定相關導入的法規，規定電力業者必須釋出場域，培養國內業者實證經驗與業績，以扶持業者能獲取整合實測場域，做為進入國際市場基礎，而公部門亦可帶頭導入能源管理應用。

二、產業技術發展與時程

能源資通訊為整合應用技術，其實用性關鍵往往不在單一技術突破，而在系統設計，也因此，技術發展團隊必須同時具備足夠領域知識，並於實證中提升研發能力。在電網管理領域，國外重電大廠已累積數十年經驗，在電力設備與系統模型建構、系統操作分析、故障診斷、自動化調度決策等領域皆有解決方案，尚未完全解決者為大量再生能源導入所面臨問題。

基於資通訊技術基礎，國內產業目前由智慧電表系統著手，並逐步提升重電技術，未來嘗試由微電網系統切入電網管理領域。在使用者能源管理領域，國內外技術水準差距有限，以負載預測為例，大區域預測誤差約

為3%；小區域預測誤差約為5%；而對單一用戶，若無適當感測器配合，則難以達成一般性之準確預測。在節能實務上，目前國外大多數應用案例仍以電力監測與避免超約為主，通用性之軟體難以發揮節能成效。軟體發展趨勢為模組化，依據不同場域特性，結合適當模組，進行簡單調校即可應用。

基於能源資通訊應用領域差異，以下概分電網管理(表3-3-1)、工業能源管理(表3-3-2)、住商能源管理(表3-3-3)3個項目進行說明：

(一) 電網管理

智慧電表系統建構了電力系統中供應端與需求端雙向資訊鏈結，往往被視為智慧電網建置的第一步，其關鍵為安全可靠通訊系統，不涉及重電技術，且市場成長快速，適合國內產業急起直追；而電網整合調度則需逐步建立關鍵技術。

1. 智慧電表系統

智慧電表系統需提供穩定、可靠之雙向通訊，關鍵在於運作相容性、通訊穩定性，以及資訊安全性。就相容性而言，國際上已有智慧電表應用層標準通訊協定，歐規為IEC-62056；美規為ANSI C12.22，產品需符合其協定方能進入國際市場。就穩定性而言，智慧電表不論採行有線或無線通訊，傳輸訊號之品質都容易因環境變化而降低，實用之網路層協定必須能

表3-3-1 能源資通訊應用於「電網管理」之發展時程

技術項目	短程(~2015)	中程(~2020)	長程(~2025)
智慧電表系統	1. 相容性通訊協定 2. 通訊可靠度 3. 電表網路安全 4. 電表資訊系統雛型 5. 智慧通訊晶片	1. 電表資訊系統 2. 資料分析應用模組 3. 符合FIPS 140-2之網路安全系統	1. 電表資料加值應用 2. 智慧電表佈建解決方案 3. 能源管理系統之應用整合
電網整合調度	1. 區域電力負載預測 2. 再生能源出力預測 3. 需量調度決策 4. 再生能源調度管理	1. 儲能整合運作決策 2. 離島微電網系統	動態整合之微電網系統

資料來源：工研院整理，2013年12月

夠克服環境變化，達到99.9%以上之資料擷取成功率。就安全性而言，未來電表通訊網路將密佈電網供電區域，勢必無法建構實體之網路隔絕，因此加密驗證技術與金鑰交換機制必須妥善，以確保資料與電力系統運作安全。

短期發展策略為建立主站、集中器至智慧電網通訊系統解決方案，並配合國外電表資料管理系統或簡易版的電表資訊系統，儘快取得示範機會或建置實績，切入東歐、中東、東南亞等新興國家市場；中長期則需建立自有電表資料管理系統，並強化網路安全機制與資訊應用系統，以擴大市場版圖。

2. 智慧通訊晶片與相關軟體技術開發

不論有線或無線，國內通訊晶片商目前都無法提供智慧電表架構(AMI)所需通訊晶片，為求提供集中器與電表整合解決方案完整性，亟需技術研發投入，將一般通訊晶片提升至自動彌補通訊不良之完整晶片，此通訊晶片亦可大量應用於民間大廠域通訊網架構，如路燈管理系統、社區能源管理系統，甚至工廠、校園通訊網建立。

3. 電網整合調度

電網管理涵蓋終端用戶、輸電層級、配電層級，以至發電廠。愈向上游，調度之電量愈大，調度失誤造成之損害愈嚴重，技術與品牌門檻也就愈高。就國內產業生態與技術能力而言，短期內應由小區域或離島型區域能源調度管理著手，結合負載預測、再生能源發電預測、需量反應系統等技術，整合分散式能源，驗證區域性高占比再生能源整合技術，並於小型示範系統建立經驗，於落後國家或城鄉差距較大國家中，缺電區域即有應用機會。中長期則應提升微電網系統控制能力與規模，並強化重電技術或結合國際先進技術，經營輸配電自動化市場。

(二) 工業能源管理

世界各國工業部門耗能占比普遍高達50%以上，與其他部門主要差異有2點：一為生產製造系統相當複雜，節能手法不能影響生產，受到相當大導入限制，而各個次系統又彼此關聯，若未能徹底釐清系統特性，便無法達到最大節能效益。二為工業部門除了使用電力之外，也大量使用煤、氣、油之燃燒以產生蒸汽或加熱材料，因此，除了節約用電之外，燃燒爐操作最佳化重要性不可忽視，甚至應整合廠區或工業區所有能源供應，以達到最大之整體能源效率。

表3-3-2 能源資通訊應用於「工業能源管理」之發展時程

技術項目	短程(~2015)	中程(~2020)	長程(~2025)
智慧型能源感測與傳輸技術	1. 軟硬體感測系統開發 2. 工業環境無線傳輸技術開發	1. 近端初級資料處理技術 2. 資訊安全技術	低/零耗能傳感技術
工業能源分析與節能軟體技術	1. 廠務公用系統之節能技術 2. 動力設備節能技術 3. 鍋爐系統及石化製程節能技術	1. 模組化製程節能技術 2. 跨系統節能整合技術 3. 全廠能源管理技術	區域能源整合
能源供給與需求平衡控制技術	1. 廠內能源流與損失技術 2. 能源使用與負載預測技術	智能化動態平衡技術	整合供應與需求之節能減碳新方法
能源監控管理平台	1. 開放式通訊介面技術 2. 能源可視化技術	智慧型建構式節能監控系統軟體技術	工業能源雲端管理平台

資料來源：工研院整理，2013年12月

半導體、面板、石化、鋼鐵等產業為我國重要工業，耗能也相當大，以國內資通訊技術人才，投入相關領域節能技術研發，一方面易結合其領域知識，並取得實證場域；另一方面可望對節能減碳產生重要貢獻。短期研發策略為確保次系統(空調、泵浦、空壓、燃燒爐)輸出維持不變，以系統建模分析手法，完成單機或多機併聯系統運轉最佳化，使業主不需更換任何設備、不需調整製程即可導入節能技術，提升其應用意願，累積節能量與成功案例。

在元件發展方面，應以可視化技術與利基型感測器為主，輔助前述節能軟體達成節能效果，整體目標為建立優勢節能核心軟體，吸引國際自動化大廠合作，排除切入國際市場品牌阻力。中長期策略則是建立資訊透明化全廠能源管理系統，亦即建立完整系統模型與參數分析能力，使廠內各次系統能夠協同運轉，破除次系統邊界條件限制，以達到最大節能成效，進一步節能核心技術之產業價值與市場占有率。

1. 智慧型能源感測與傳輸技術

工業製程必然應用感測器以進行產線調控，多數感測器已有成熟產品。然而，部分感測系統仍有大幅改善空間，如加熱爐溫度分佈若倚賴紅外線攝影機，則成本極為高昂；若採熱電耦或紅外線測溫槍，則量測資訊不足，難以進行即時調控，因此，利基感測系統開發則有其商機。感測與控制資訊傳輸亦為重要議題，由於工業控制對於資訊傳輸可靠性要求高，而感測器數目龐大，工業環境可能充斥干擾雜訊，使通訊系統傳輸能力備受考驗。在既設工廠裝設新感測器時，為了減少佈線成本與空間需求，無線傳輸可能取代傳統有線傳輸，無線感測網路之各類技術問題在工業應用上亦需解決。

2. 工業能源分析與節能軟體技術

工業應用之能源種類多樣，包含電、動力、燃料、壓縮空氣、水與其他類型能源，節能技術開發針對能耗與節能空間大之工業單一系統，進行節能技術開發，將能源使用量有效降低，然工業環境下，系統間能源供給與需求有著交互作用因素，跨系統與全廠能源節能技術，甚至一工業區域間能源有效運用，將可使整廠或整體區域能耗降低，達到有效節約能源。

3. 能源供給與需量平衡控制技術

推動能源供給與需量平衡控制技術，建立廠內能源流與損失分析技術，可有效評估廠內系統能源使用效率或碳足跡之計算，並減少能源損失，供應合理之能源予系統或製程；開發能源使用與負載預測技術，可使能源管理員充分獲得能源使用狀態，可有效進行能源與設備運用與提升用電效率，智能化能源動態平衡與整合能源供應與需求，更可有效運用再生能源搭接廠內能源使用，形成廠內小型智慧電網，開創新節能減碳新方法。

4. 能源監控管理平台

分短中長期推動開發小中大型能源監控管理平台，逐步進入市場，與國際大廠競爭。為對能源資料收集、儲存、管理、控制、顯示與報表之平台，推動開放式通訊協定對資料收集與控制面，可降低設置與維護成本，並提高整合性與擴充性，突破國內市場由國外產品壟斷之局面與提升產品自主性，資料管理與控制，可結合節能技術應用獲得節能成效，能源與效能資料可視化顯示，可誘發非能源管理員之主動性節能。智慧型工業節能監控技術可降低人為管理失當導致耗能因素，工業能源雲端管理平台技術建置，更可降低企業管理平台建置與維護成本。

(三) 住商能源管理

住宅與服務部門總耗電占比約為40%，雖然不及工業用電，然而其用電調節較具彈性，易於導入能源管理系統，也易於配合需量反應措施，平抑尖峰用電。一般而言，家庭節能潛力可達10~15%，成本效益依各國電價而有差異，因單一家庭耗電不高，降低耗電量所節省電費相對有限，投資回收期往往過長。降低建置成本與提高經濟誘因是大量推廣所面對課題，解決方式為建立智慧家電標準化介面，降低設備整合成本，提升操作彈性，並以需量反應措施提高經濟面誘因。

服務業耗能依其營業內容而有差異，校園、賣場、百貨公司、辦公室…等皆有不同用電模式，氣候與其他因素也可能造成系統設計巨大差異，例如國內賣場冷氣幾乎全年運轉，而在高緯度地區，冷氣可能每年只運轉2個月。服務業導入能源管理系統主要控制標多為空調與照明，並依情境進行自動調節控制，以維持正常營運。

表3-3-3 能源資通訊應用於「住商能源管理」之發展時程

技術項目	短程(~2015)	中程(~2020)	長程(~2025)
環境感知技術	1. 人員活動與耗能感知技術 2. 能源採集技術	整合式能源監控分析技術	低/零耗能傳感技術
需量反應技術	1. 智慧家電能源資訊介面 2. 需量反應機制與安全性	1. 區域需量反應調度 2. 聯合契約容量管理	動態需量管理技術
能源自我管理技術	1. 能源使用與負載預測 2. 能源系統建模	智能化動態平衡技術	整合供應與需求之節能減碳新方法
勸誘式互動能源管理技術	1. 非侵入式耗能分析 2. 遊戲互動式節能控制	關聯式節能演繹控制	演繹式節能推論控制

資料來源：工研院整理，2013年12月

住商部門能源管理系統複雜度較工業部門低，然而解決方案須因地制宜，變化相當多，並且潛在客戶數量龐大，因此，區域性系統整合商易於取得主導地位。短期發展以建立成功應用案例與關鍵元件IP佈局為主；中長期則應基於IP佈局，發展關鍵元件，並建構模組化系統解決方案，配合在地伙伴與通路，推動海外系統建置與服務。

1. 環境感知技術

建構全面智慧感知環境被視為是降低住商耗能之必要關鍵技術，然在建構過程中，隨著使用感測器數量增加，對能源之需求亦會成長，為加速環境建構並降低因建構智慧環境能耗，將開發具能量採集功能之感測器，以降低佈建之能耗及維護之困難度。

2. 需量反應技術

為降低尖峰用電對電力系統之衝擊，及時間電價對使用者能源使用行為之改變，傳統需量管理已無法因應設備使用與能源管理之需求，因此，開發具即時需量反應功能之控制模組與智慧家電，以因應電價及即時環境條件改變之關鍵技術。

3. 最經濟化能源管理技術

為擴大節能減碳效益，再生能源及儲能設備之導入住商能源管理被視為未來必然之趨勢，然而再生能源發電不確定性會影響建築對市電之需求，為提升再生能源設備運轉發電之經濟效益，並降低發電之不確定性影響，將透過再生能源發電預測與耗能預測技術開發，降低再生能源系統導入住商能源管理系統之衝擊與提升能源效益。

4. 勸誘式互動節能管理技術

除了活動類型，不同族群之使用者，其耗能型態與趨勢亦不相同，為有效誘發使用者之節能意識，需藉由耗能分析，得知其所使用之設備，並將相關資訊導入節能控制策略，整合於勸誘式邏輯，透過互動式人機介面呈現於使用者，以提升節能意願及節能效率。

三、國內發展現況與成果

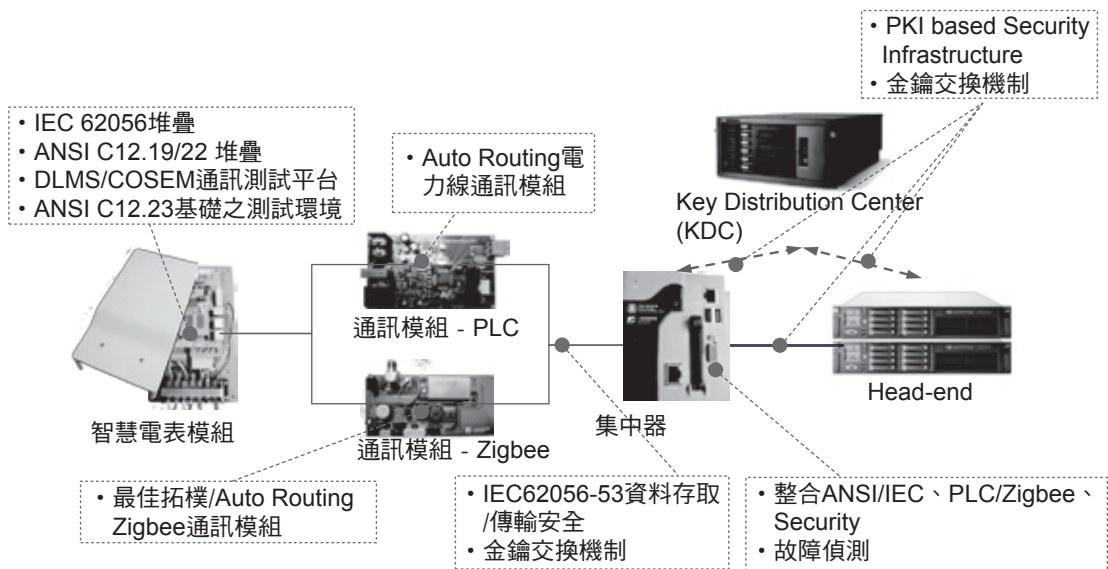
國內研究機構與產業界陸續投入能源資通訊技術研發與應用，政府部門除了以科技專案進行技術研發之外，並於2009年核定「綠色能源產業旭升方案」，將能源資通訊列為7項重點產業之一，制定整體之產業發展構想。2010年核定「智慧型電表基礎建設推動方案」，展開國內智慧電表佈建，帶動市場商機，2011年又核定「智慧電網總體規劃方案」，訂定智慧電網建置時程與產業發展方向。在各界努力下，已有初步成果，以下就3個應用領域分別說明，並略述未來規劃。

(一) 電網管理

在電網管理領域，智慧電表系統技術為研究機構及產業界近年投入重點，1,200戶低壓智慧電表示範系統建置於2011年完成，業者亦取得台電10,000戶建置標案，逐步發展台電所需產品。著眼於國際市場之快速成長，政府以科技專案計畫先期投入電表網路技術開發，完成智慧電表通訊系統雛型開發。

以歐規智慧電表之標準通訊協定IEC-62056為基礎，完成應用層軟體堆疊、網路層強化模組、網路安全系統，並發展集中器與主站軟體。其中ZigBee網路層強化模組在測試環境中，將通訊成功率由平均約95%提升至100%。網路安全系統則配合智慧電表特性與IEC-62056-53規範，在電表與集中器之間採用對稱式加密，並開發系統初始化與金鑰交換機制，以便在運算能力較弱的電表上，建立實用之安全通訊；在集中器與主站之間則採用非對稱式加密，並開發完整之憑證配發、驗證與廢止之架構，配合集中器韌體編碼確認機制，除了確保廣域網路的通訊安全，在集中器韌體遭受竄改時，也能即時發覺而將其自安全網路剔除。此外，研究機構已建立IEC-62056驗測平台，可協助業者確認智慧電表通訊軟體相容性，以便快速取得DLMS認證。

整體而言，歐規智慧電表、集中器至通訊主站之電表網路系統於國內已完成技術開發；美規(ANSI C12.22)基礎系統亦將在兩年內陸續完成，技術成果如圖3-3-2所示。國內廠商已具備爭取國際智慧電表標案之基本能力，惟有設置於電力公司內部之電表資料管理系統技術仍未完整。目前廠商已積極接洽東南亞、東歐、中東等地標案，短期內可搭配國際合作伙伴的資訊系統共同競標，或自行開發簡易版資訊後台，以進行小規模示範



資料來源：工研院整理，2013年12月

圖3-3-2 智慧電表系統通訊架構與研發成果

系統建置；就長期來看，應完成自有整體解決方案開發，以提升產業競爭力。

至於電網整合調度應用，目前仍處於技術研發與驗證階段。研究機構所發展之區域能源負載預測技術，逐日預測的誤差約在3~5%，逐時預測之困難度稍高，需再強化軟體分析能力。風力發電與太陽光電出力預測技術之準確度與天氣變化及預測前置時間相關，電力調度特別需要短期預測資料，目前太陽光電發電量15分鐘前預測平均誤差已可降至10%左右，即使天氣變化快速，就長期來看，至少95%預測資料誤差低於15%，接近實用水準。數10瓩至100瓩級分散式能源整合技術亦有初步成果，結合市電、太陽光電、風力發電、儲能系統之區域性能源調度已進行雛型系統驗證，並可偵測市電故障，於併網及孤島運轉模式之間順利轉換。

(二) 工業能源管理

工業用電中，廠務公用系統與製程系統大約各占一半，空調通常為公用系統中耗電最高之次系統；而泵浦、空壓機等馬達動力次系統則與公用及製程皆有關聯，耗電量也相當高，因此，國內最先投入之工業能源管理技術以這兩類次系統為標的。其他類型能源系統能源管理則以燃燒爐為初期研發目標。以下分為3節分別說明。

1. 冰水空調運轉最適化控制

為保持良好運作效率，設備操作人員通常依據冰水機、泵浦等設備之出廠效率曲線進行操作。效率曲線所代表為單一設備的出廠特性，當設備彼此併聯，配管之差異必然造成特性變化，再加上設備老化、管路積垢等因素影響，大型空調系統極難倚賴人為操作達成最高系統效率，能源資通訊技術之導入即可解決此一問題。

最適化控制系統由3個主要模組所組成：

- (1) 設備性能自動建模：藉由運轉資料蒐集分析，自動建立設備與系統性能參數。
- (2) 自適應誤差修正演算：當系統特性因維修保養、長期運轉而改變，系統模擬預期耗電量與量測值差距過大時，系統性能參數自行重新計算，以維持系統模型與真實設備一致性。
- (3) 運轉最佳化演算法：依據系統狀態與操作限制，求解最佳之節能運轉操作組合。

此技術已運用於國內半導體廠與面板廠，對冰水空調系統平均節能量可達2~3%。

2. 馬達動力設備最適化運轉

馬達動力設備最適化運轉發展緣由與冰水系統最適化控制技術類似，其目標是提升馬達動力系統整體運轉效率，應用標包括泵浦系統、排氣系統與空壓系統，現階段成果包含手持式效率分析工具、多機並聯操作建模管理平台及智慧型自適應節能控制器等。

以泵浦多機並聯操作建模管理平台為例，依據廠商所提供泵浦特性參數以及系統模型建構工具，此一管理平台能夠完整模擬泵浦系統各項特性，亦可輸入實際量測數值完成特性曲線繪製。泵浦特性曲線、現場壓

力、管路流量等資料為設備操作最佳化之基礎資訊，依據輸出目標與管路配置資訊，演算法將疊代演算，自動分配最佳流量予各具泵浦，亦即設定各泵浦之最佳操作頻率，其平台介面如圖3-3-3所示。

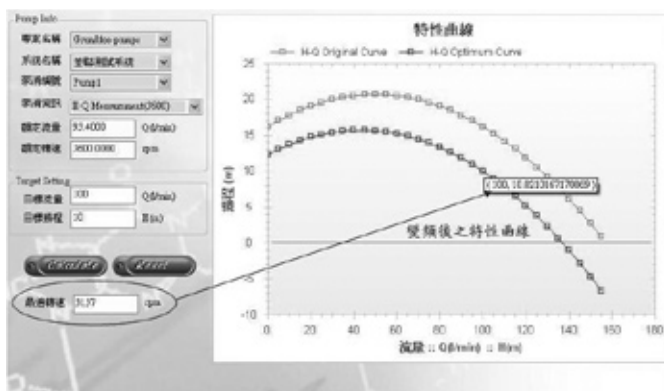
相關技術已導入國內污水處理廠，在實測案例中，泵浦最適化運轉技術應用於反沖廢水井，降低泵浦耗電約20%；風機最適化運轉技術應用於接氧池，降低風機耗電約14%。

3. 燃燒爐最佳化操作

燃燒爐操作目標為提升效率，減少NO_x排放量，並保持其熱能輸出或產品品質。不過由於燃燒為複雜物理問題，直接描述燃燒狀態相當困難，而空燃比、蒸汽量、產品溫度等資訊雖可表達部分特徵，對於最佳化控制往往力有未逮。傳統控制方法往往倚賴少數感測資訊，以試誤方式進行調校，然後由資深操作人員觀察火焰或感測器，憑經驗持續調控。

能源資通訊技術應用可解決此一最佳化問題，目前已完成燃燒爐溫度場量測、推論式感測器及循序最佳化演算模組技術，根據操作數據之持續更新，最佳化操作策略亦可循序更新。

本技術採用一般可見光攝影機之影像，成本極為低廉，藉由不同波長光強度校正與換算，可建構二維溫度場，溫度量測範圍涵蓋700℃至1,200℃，平均相對量測誤差低於3%，對於鋼鐵業與燒窯之產品品質監控極有助益。而燃燒系統推論式感測，則為燃燒系統重要品質參數預測技



資料來源：工研院整理，2013年12月

圖3-3-3 泵浦多機並聯操作建模管理平台

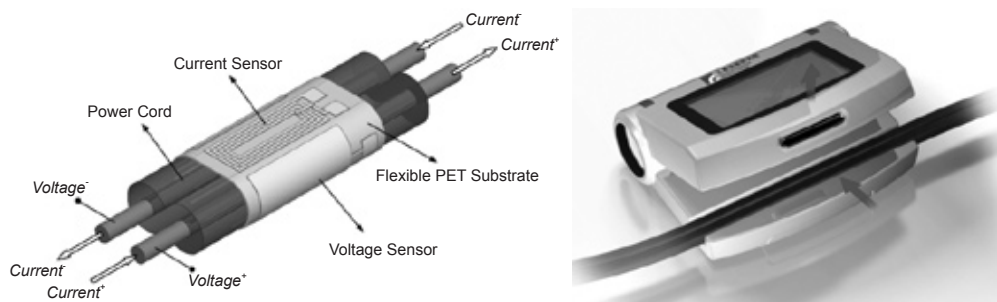
術，且具備資料遺失處理與模型自適應能力。現階段推論式感測之預測值與觀察值之相關係數大於0.9，對燃燒狀態描述已經具備代表性。透過推論式感測演算法，製程管理者得以持續評估未來產品品質，在提高能源效率同時，保持正常之良率與產量。

燃燒爐二維溫度場建構技術已於鋼鐵廠與長晶廠進行實證測試，成效良好；而最佳化操作系統於某石化廠汽電共生爐(60MW)進行測試，燃料節約平均可達0.5%，相當於每年節省新臺幣600萬元。

(三) 住商能源管理

應用電力管理插座進行家庭能源管理，國內已有完整解決方案，廠商甚至推出內建電表耗能感知型智慧家電，而網通商也積極於市場上推動能源管理服務。現階段發展瓶頸為能源管理系統建置成本，除節能系統軟體技術持續改善外，簡易型電力量表與智慧家電互通協議也是關鍵因素。

2012年，國內完成全球首創扣合式電力感測器，目前可量測之電流範圍為1~100安培，最高電壓為600V。此創新之感測器稱為電表便利貼。元件架構與應用方式如圖3-3-4所示，其安裝為非侵入式，與傳統電表之安裝方式截然不同，可避免電流過載時電表燒毀風險，並且在安裝過程，設備不需停電，亦不需剝離設備之多股電源線，安裝極為簡便，適合一般使用者於家庭及服務業場域使用，未來三線式的扣合式電表對於工業應用更為重要。電表便利貼體積與成本均優於傳統插座電表，未來可與能源管理系統整合，達成自動化節能減碳。



資料來源：工研院，2013年12月

圖3-3-4 電表便利貼元件架構與應用示意圖

研究單位與國內家電與網路通訊廠商，多年來歷經數十次會議協商，已完成家庭節能網路互通協議草案SAAnet 4.0，為智慧家電能源資訊通訊介面訂定共通標準，以加速智慧家電之整合應用。該互通協議已獲得國內5大家電廠商參與支持，至今完成14類家電通訊標準，包括冷氣、除濕機、冰箱、洗衣機、烘衣機、熱泵熱水器、電視等。未來將陸續進行其他家電互通協議制定與互通性測試平台，落實於家電產品開發。

服務部門由於場域不同，所使用之設備與耗能分佈亦有差異，因此，感測器配置、控管設備標的、最佳化演算法、以及軟體系統平台設計均有差異。現階段已完成便利商店、大賣場、百貨公司、以及辦公建築能源管理系統開發與實證。便利商店能源管理系統已進入商業建置階段，累計完成1,400座，節電比例約5%，配合尖峰抑制，調降契約容量，節省電費可達8%。其他場域之空調最佳化控制可達5~10%的節能，若配合變頻設備更新，空調節能甚至可達15~20%。在節能同時，必須維持環境基本舒適度，因此人員流量分析，以及感測與控制網路整合均需導入新資通訊技術。

參考文獻

- [1] F. Katiraei, et al. "Microgrids Management", IEEE Power and Energy Magazine, Vol. 6, pp. 54-65, May 2008.
- [2] "Report on the First Quadrennial Technology Review", U.S. Department of Energy, Sep 2011.
- [3] Sophie Pelland, et al., "Photovoltaic and Solar Forecasting: State of the Art", International Energy Agency, Oct 2013.
- [4] "Virtual Power Systems White Book", B.A.U.M. Consult GmbH, 2009.
- [5] "能源智慧網路與節能控制之關鍵技術開發計畫全程執行總報告"，經濟部能源局，2013。
- [6] "智慧型節能網路系統之關鍵技術開發計畫全程執行總報告"，經濟部能源局，2011。

第四節 效率標準與指標

世界先進國家推動使用能源設備及器具能源效率管理之主要政策，包括：訂定產品容許耗用能源基準(Minimum Energy Performance Standards, MEPS)、實施自願性節能標章，以及推動強制性能源效率標示。目前我國已公告17項產品之MEPS；開放45項自願性節能標章產品項目；推動無風管冷氣機(含窗型、箱型冷氣機)、電冰箱、汽車、機車、除濕機、安定器內藏式螢光燈泡(俗稱省電燈泡)、燃氣台爐、即熱式燃氣熱水器、電熱水器等9項產品之強制性能源效率分級標示，以引導消費者選購高能源效率產品。

以上3項我國能源效率管理制度各有其特性及作法，整理如表3-4-1，其中MEPS之管理，主要目的為禁止未達MEPS規定之產品進口或在國內銷售，以「全面性」降低所管制能源設備或器具(如：冷氣機)之整體耗能；而能源效率標示制度主要為透過提供消費者充分能源效率資訊(如：產品年耗電量、產品能源效率等級)，以引導消費者選用耗能較低或能源效率較高之節能產品，如我國能源效率標示(如表3-4-1圖樣)。

至於自願性節能標章制度，其認證產品主要代表其能源效率約為市場前20~30%之產品，同時透過產品上張貼簡單易懂之高能源效率辨識圖案，鼓勵消費者於汰舊換新時，優先選用高能源效率產品，以達政府節能減碳之政策目標。

透過前述3項政策之推動，可健全我國使用能源設備及器具能源效率管理體系，落實節能減碳政策目標，使我國在使用能源設備及器具能源效率管理上，邁入一個新里程碑。各項政策現況及其推動成果說明如后，並研析我國與美日兩國在MEPS之差異，以作為未來我國檢討與提升相關產品基準時程之重要規劃參考。

一、國內強制性容許耗用能源基準(MEPS)

目前我國已公告17項產品MEPS，除汽機車外，詳如表3-4-2，其中10項(窗型冷氣機、箱型冷氣機、電冰箱、安定器內藏式螢光燈泡、緊密型螢光燈管、單相感應電動機、三相感應電動機、螢光燈管、螢光燈管用安定器及除濕機)已納入標檢局應施檢驗品項中。但白熾燈泡、空調系統冰水主機及鍋爐等3項產品，目前並未被納入應施檢驗管制項目內。安定器內藏式發光二極體(LED)燈泡能源效率基準預計於2014年7月1日生效，電熱水瓶則將於2015年1月1日納入應施檢驗項目。

表3-4-1 國內能源效率管理制度

制度名稱	容許耗用能源基準(MEPS)	能源效率標示(Labeling)	節能標章
性質	強制性	強制性	自願性
主要目的及功能	禁止低能源效率、高耗能產品之進口或國內販售。	提供消費者產品耗能量、能源效率等級資訊，以利消費者選用產品時之參考。	引導廠商研發生產高能源效率產品，並藉由簡易圖案之辨識，鼓勵消費者優先選用高效率產品。
目前執行方式	能源局制定MEPS基準，標檢局納入商品檢驗法，代為執行MEPS管制。	於國家標準(CNS)標示規範中，規定產品之能源耗用量或能源效率，目前納入商檢法管制，由標檢局代為執行。	節能標章基準約為國家標準或MEPS之1.1~1.5倍。或為同類型產品前20~30%之高能源效率產品。由廠商自發性申請認證。
目前管制項目	目前已公告17項產品強制性管制。	目前已公告9項產品管制。	目前開放45項產品供廠商申請認證。
產品特性或基準訂定/修訂原則	新修訂之基準約可淘汰當時能源效率後15~30%產品為原則。	依據市售產品能源效率分佈情形，並配合MEPS之制定/修訂，劃分產品能效等級。	基準制定/修訂，約採當時市售產品能源效率前20~30%為原則。
圖樣	僅訂定基準無圖樣。		

資料來源：工研院整理，2013年12月

表3-4-2 產品容許耗能基準管制品項一覽表

類別	MEPS 實施時間	用電器具類別
住商	2000/07/01 2003/01/01 2011/01/01	電冰箱能源因數值標準(第一階段) 電冰箱能源因數值標準(第二階段) 電冰箱能源因數值基準
照明	2001/01/01	螢光燈管能源效率標準
住商	2002/01/01	窗型冷氣機能源效率比值標準對照表
住商	2002/01/01	箱型冷氣機能源效率比值標準對照表
工業	2002/01/01	低壓單相感應電動機能源效率標準
工業	2002/07/01	低壓三相鼠籠型感應電動機能源效率標準
住商	2003/07/01 2005/01/01	空調系統冰水主機能源效率標準(第一階段) 空調系統冰水主機能源效率標準(第二階段)
工業	2003/07/01	鍋爐效率標準
照明	2009/03/01	螢光燈管用安定器光效因素基準
照明	2010/01/01	緊密型螢光燈管能源效率基準
照明	2010/01/01	安定器內藏式螢光燈泡
住商	2011/01/01 2016/01/01	無風管冷氣機能源效率比基準(第一階段) 無風管冷氣機能源效率比基準(第二階段)
住商	2011/03/01	除濕機
住商	2012/01/01	白熾燈泡耗用能源效率標準
住商	2014/07/01	安定器內藏式發光二極體(LED)燈泡能源效率基準
住商	2015/01/01	電熱水瓶耗用能源效率基準

資料來源：工研院整理，2013年12月

目前已納入MEPS管制之冷氣機(占夏季住宅用電43.2%)、電冰箱(占8.3%)、照明(含螢光燈管、安定器內藏式螢光燈泡、螢光燈管用安定器及緊密型螢光燈管，占7.4%)、除濕機(占0.6%)，其產品用電量已占家庭總用電之59.5%。另外，低壓單相感應電動機及低壓三相鼠籠型感應電動機用電量，約占全國用電量之40%(以韓國數據推估)。因此，以用電器具MEPS管制而言，已涵蓋大部分耗電量大之產品項目。MEPS推動每年約可節約6.3億度電。

二、國內自願性節能標章制度

(一) 推動歷程與項目

經濟部能源局基於對能源設備及器具能源效率提升重視，並為落實全國能源會議結論之具體行動方案，自2001年起，正式啟動我國產品「節能標章」認證機制，為節能產品建立驗證標示，以引導廠商生產高能源效率產品，並鼓勵消費者選購節能產品。

經過多年努力，節能標章開放認證之產品類別，已由耗能量大、普及率高之民生家電產品，逐步擴展至交通運輸工具、燃氣器具及辦公室設備，截至2013年12月止，共計開放45項產品類別供廠商申請認證，各年度開放認證之產品項目，詳如表3-4-3，未來將持續擴大辦公室設備及納入工業產品節能標章之認證。

表3-4-3 國內節能標章歷年開放之產品項目

時間	產品項目
2001年	冷氣機、電冰箱、除濕機、乾衣機
2002年	電視機、洗衣機、電風扇、螢光燈管(> 32W)
2003年	螢光燈管(< 32W)、吹風機、烘手機
2004年	溫熱型開飲機、冰溫熱型開飲機
2005年	冰溫熱型飲水機、汽車(小客車、小客貨兩用車)、機器腳踏車、安定器內藏式螢光燈泡
2006年	薄膜電晶體液晶顯示器、燃氣台爐、即熱式燃氣熱水器、電鍋
2007年	電熱水瓶、出口標示燈及避難方向指示燈、DVD錄放影機
2008年	貯備型電熱水器、溫熱型飲水機、室內照明燈具、組合音響
2009年	緊密型螢光燈管
2010年	影印機
2011年	印表機、空氣清淨機、道路照明燈具 浴室排風扇、壁式通風扇
2012年	筆記型電腦、桌上型電腦
2013年	微波爐、軸流式風機、離心式風機、螢光燈管用安定器、電烤箱、貯(儲)備型電開水器、LED燈泡

資料來源：工研院整理，2013年12月

節能標章能源效率基準公告後，因應產品技術進步、市場占有率提升及國際節能減碳趨勢，每2~3年將檢討提升已公告之基準，引導廠商逐步研發及提升耗能器具能源效率，確保節能標章產品為高能源效率產品之代表。近年節能標章產品能源效率提升之品項及幅度，詳如表3-4-4。

(二) 節能標章推動成效

截至2013年12月底為止，節能標章累積獲證有效廠商共369家，有效產品款數7,674款，使用枚數已突破1億6,500萬枚。未來將持續推動節能

表3-4-4 近年節能標效率章基準提升項目及幅度

年度	能效檢討產品項目	效率提升
2008年	溫熱型飲水機	36%
	汽車	15%
	機車	36%
2009年	安定器內藏式螢光燈泡	16%
	冷氣機	3~13%
	顯示器(電腦用及電視用)	待機電力降1.5~2W
	電視機	待機電力降1.5~2W
	電鍋	5%
	洗衣機	10~30%
2010年	溫熱型開飲機	15%
	電冰箱	14%
	除濕機	20%
2011年	電風扇	50~100%
	電熱水瓶	10%
2012年	顯示器(電腦用及電視用)	待機電力降至0.5W 開啟電力降低50%
	電視機	
	吹風機	10%
2013年	溫熱型飲水機	20%
	冰溫熱型開飲機	20%
	出口標示燈及避難方向指示燈	40%~76%
	室內照明燈具	6%~30%

資料來源：工研院整理，2013年12月

表3-4-5 近年節能標章推動成效

年度	產業貢獻度	民眾參與度	節能政策效益
	累計有效家數及款數	節能標章累計上網瀏覽人次	年度新增節能量
2004	30家337款	4.2萬	1.4萬公秉油當量
2005	42家475款	7.2萬	2.3萬公秉油當量
2006	81家975款	43.0萬	4.8萬公秉油當量
2007	106家1,353款	122萬	6.8萬公秉油當量
2008	166家2,590款	395萬	12.3萬公秉油當量
2009	233家3,622款	935萬	9.1萬公秉油當量
2010	287家4,646款	1,520萬	13.9萬公秉油當量
2011	321家5,340款	2,160萬	14.4萬公秉油當量
2012	376家6,363款	3,235萬	12.5萬公秉油當量
2013	369家7,674款	4,200萬	15萬公秉油當量

資料來源：工研院整理，2013年12月

標章各類電器產品認證，2014年新增開微波爐、軸流式風機、離心式風機、螢光燈管用安定器、電烤箱、貯(儲)備型電開水器、LED燈泡等7項產品供廠商申請認證，2013年度亦已檢討提升已公告之溫熱型飲水機、冰溫熱型開飲機節能標章能源效率基準達20%，近年推動成效如表3-4-5所示。

三、國內強制性能源效率分級標示

(一) 推動歷程及項目

為強化節能減碳政策之推動，我國於2009年7月8日通過「能源管理法」增修條文，其中第14條及第15條授權推動使用能源設備器具及汽(機)車能源效率分級標示等相關措施。

經濟部已於2010年3月及5月分別依能源管理法，公告「電冰箱能源耗用量與其能源效率分級標示事項、方法及檢查方式」、「窗(壁)型及箱型冷氣機能源耗用量與其能源效率分級標示事項、方法及檢查方式」、「汽車、機器腳踏車能源耗用量及其效率標示格式」等相關規定，並修正

「車輛容許耗用能源標準及檢查管理辦法」，自2010年7月1日起，凡在國內展售之冷氣機、電冰箱、汽車及機車，均強制每個產品張貼或懸掛能源效率分級標示，以提升高能源效率產品之市場滲透率。

2011年3月1日起推動「除濕機能源耗用量與其能源效率分級標示事項、方法及檢查方式」，及7月1日起推動「安定器內藏式螢光燈泡能源耗用量與其能源效率分級標示事項、方法及檢查方式」。2012年12月31日起推動「即熱式燃氣熱水器能源耗用量與其能源效率分級標示事項、方法及檢查方式」，以及「燃氣台爐能源耗用量與其能源效率分級標示事項、方法及檢查方式」。我國產品能源效率分級標示之項目及其推動各項時間如表3-4-6所示。

(二) 能源效率分級標示推動成效

截至2013年12月底止，能源效率分級標示產品總共核准登錄7,988款冷氣機、1,158款電冰箱、281款除濕機、1,702款安定器內藏式螢光燈泡、3,880款燃氣台爐、3,154款即熱式燃氣熱水器，合計18,163款型號。

窗型分離式冷氣(室外機)以4級款數最多(37%)，2級款數次多(22%)，再則為5級(20.6%)、1級(12.8%)，3級(7.5%)款數最少。窗型單體式冷氣則以2級款數最多(40.9%)，5級款數次多(29.8%)，再則為1級(12.4%)、4級(9.9%)，3級(7.0%)款數最少。

表3-4-6 國內產品能源效率分級標示之項目及其推動時間

產品項目	推動時間
窗(壁)型冷氣機能源效率比值標準	2010/07
箱型冷氣機能源效率比值標準	2010/07
電冰箱能源因數值基準	2010/07
車輛(汽車及機車)	2010/07
除濕機	2011/03
安定器內藏式螢光燈泡	2011/07
即熱式燃氣熱水器	2012/12
燃氣台爐	2012/12

資料來源：工研院整理，2013年12月

觀察2011年12月底至2013年12月底，分離式冷氣機1~2級款數佔比提升了14.7個百分比，優於2010年底~2011年底之提升幅度(7.1個百分比)；同期單體式冷氣機1~2級款數佔比更大幅提升29.2個百分比，顯著優於2010年底~2011年底之提升幅度(14.2百分比)。電冰箱能源效率分級款數佔比之變化，比較2010年12月與2013年6月，電冰箱1~2級款數佔比由12.7%提升至33%，提升幅度達20.3個百分比，觀察2011年12月底至2012年12月底，電冰箱1~2級款數佔比提升了10.7個百分比，優於2010年底~2011年底之提升幅度(4.9個百分比)；顯示能源效率分級標示制度已成功帶動廠商逐步淘汰低能效等級機種，並在2012年度節能產品補助措施帶動下，激勵廠商積極生產高能源效率等級之機種。

自2011年3月1日起正式推動除濕機能源效率分級標示制度，管制總消耗電功率在1,000W以下之機種。觀察2011年6月底至2013年6月底，每半年為一期，除濕機能源效率分級款數佔比之變化，比較2010年12月與2013年6月，除濕機1~2級款數佔比由23%提升至47.7%，提升幅度達24.7個百分比，顯示能源效率分級標示制度已帶動廠商逐步淘汰低能效等級機種。自2011年3月17日正式公告「安定器內藏式螢光燈泡能源耗用量與其能源效率分級標示事項、方法及檢查方式」，已於2011年7月1日生效實施。截至2013年6月底止，已有298家廠商1,613款省電燈泡完成標示登錄及申請核准事宜。

即熱式燃氣熱水器能源效率分級於2012年7月5日開始實施，觀察2012年12月底至2013年6月底，即熱式燃氣熱水器能源效率分級款數佔比之變化，產品皆集中於能源效率2~3級，2級款佔比由28.1%大幅提升至49.5%，但1級款數佔比僅微幅提升0.1個百分比。燃氣台爐能源效率分級於2012年8月16日開始實施，觀察2012年12月底至2013年6月底，燃氣台爐能源效率分級款數佔比之變化，產品皆集中於能源效率3~4級，2級款佔比由9.1%提升至12.7%，但1級款數佔比卻反而由13%降至3.8%，然由2012年補助節能產品經驗推估，2013年由於辦理補助節能瓦斯熱水器與瓦斯爐，預期將可大幅帶動燃氣台爐1~2級產品之款數佔比。

四、國內與美日兩國產品容許耗用能源基準(MEPS)比較說明

茲列舉家庭耗能量較大之7項用電器具及照明產品：冷氣機、電冰箱、除濕機之最低容許能源效率基準(MEPS)，與美日等先進國家能源效率基準進行相關比較分析。

(一) 冷氣機

1. 單體式冷氣機：

以我國2011年實施之無風管冷氣機最低容許耗用能源標準(MEPS)，單體式(即俗稱之窗型)冷氣機之MEPS已較美國基準高出約18~25%，較日本則高出約10~20%，而2016年我國MEPS將再提升7~8%。

2. 分離式冷氣機：

(1) 冷氣能力4kW以下之機種：分離式冷氣機之MEPS冷氣能力4kW以下之機種較美國高約20%，較日本則低5%(冷氣能力3.2kW以下機種)，2016年MEPS將再提升12%。

表3-4-7 國內與美、日無風管冷氣機能源效率EER基準值

機種		冷氣能力分類(kW)	臺灣MEPS		日本 (2007目標基準)	美國MEPS	
			2011	2015		Oct 1, 2000~	Jun 1, 2014~
氣 冷 式	單 體 式	2.2以下	3.15	3.40	2.64	($<2.34\text{kW}$)2.64	($<2.34\text{kW}$)2.93
		高於2.2，4.0以下	3.20	3.45		(2.34~3.5kW)2.49	(2.34~3.5kW)2.81
		高於4.0，7.1以下	3.00	3.25			(3.5~4.1kW)2.78
		高於7.1，10.0以下	2.95	3.15			(4.1~5.86kW)2.72 ($\geq 5.86\text{kW}$)2.75
	分 離 式	2.2~3.2 (僅日本適用) 4.0以下	3.45	3.85	3.64 3.08	($<2.34\text{kW}$)2.84 (2.34~4.0kW)2.87	($<2.34\text{kW}$)3.22 (2.34~4.0kW)3.19
		高於4.0，7.1以下	3.20	3.55	2.91	(4.0~5.86kW)2.84 (5.86~7.33kW)2.49	(4.0~5.86kW)3.14 (5.86~7.33kW)2.75
		高於7.1	3.15	3.40	2.81	($\geq 7.33\text{kW}$)—	($\geq 7.33\text{kW}$)2.64

註：僅針對國際家用空調(Room air conditioner)比較EER(kW/kW)基準，最大管制之冷氣能力日本為28kW，美國為18.4kW，我國目前已擴大到7.1kW。

資料來源：工研院整理，2013年12月

(2) 冷氣能力4至7.1kW之分離式機種：我國MEPS較美國高約12%，較日本高約10%，2016年MEPS將再提升11%。

(3) 冷氣能力7.1kW以上之分離式機種：我國之MEPS則較美國高約27%，較日本則高約12%，2016年MEPS將再提升8%。

顯見我國冷氣機能源效率基準已趨於領先地位，冷氣機能源效率基準資料請參考表3-4-7。近年來國際間持續推動季節性能源效率SEER的概念，包括冷房季節性能因數(CSPF)與年間性能因數(APF，冷氣+暖氣)，比EER更能反應冷氣機真實運轉情形，我國位亞熱帶僅考量CSPF，在2012年已完成國家標準草案研提，將待完成法制化作業，再進行能源效率基準的轉換。

(二) 電冰箱

我國2011年電冰箱MEPS已提升至與美國標準相當，帶動相關業者努力投入新技術及產品開發，包括採用變頻技術，真空保溫技術及R600a新冷媒使用等。美國將在2014年7月調升冰箱MEPS約17%，將略高於我國基準。

1. 小容量(400公升以下)：美國小容量電冰箱之MEPS較我國MEPS高約8~10%；日本小容量電冰箱之MEPS接近我國MEPS。

2. 大容量(大於400公升)：美國大容量電冰箱之MEPS略低於我國MEPS約3~5%；日本大容量電冰箱之MEPS低於我國MEPS約20%。

我國電冰箱能源效率基準已與國際接軌，電冰箱能源效率基準資料請參考表3-4-8、表3-4-9及表3-4-10。

表3-4-8 國內電冰箱MEPS基準(2011年)

實施日期		2011年1月1日
電冰箱型式		能源因數值基準(公升/瓩小時/月)
風扇式冷凍 冷藏電冰箱	低於400公升	$E.F.=V/(0.037V+24.3)$
	400公升以上	$E.F.=V/(0.031V+21.0)$
直冷式冷凍 冷藏電冰箱	低於400公升	$E.F.=V/(0.033V+19.7)$
	400公升以上	$E.F.=V/(0.029V+17.0)$
冷藏式電冰箱		$E.F.=V/(0.033V+15.8)$

註：1. 上表所列皆以等效內容積計算之。

2. 表中等效內容積 V (公升) $=VR+K \times VF$

3. VR ：冷藏室有效內容積(公升) VF ：冷凍室有效內容積(公升)

K 值：冷凍室等效內容積換算係數，二星級為1.56；超二星級者為1.67；三星級及四星級為1.78。

4. 年耗電量(kWh/年) $=(\text{等效內容積} \div \text{能源因數值}) \times 12\text{個月}$

資料來源：經濟部能源局網站，2011年10月

表3-4-9 美國電冰箱MEPS基準

Product Class	July 1, 2001~	Sep. 15, 2014~
上冷凍自動除霜無自動製冰裝置之冷凍冷藏電冰箱	0.350V+276	0.285V+233.7
全冷藏式電冰箱	0.350V+276	0.240V+193.6

註：表內基準值之單位為年耗電量kWh/年； V =等效內容積(公升)；美國冷凍冷藏電冰箱冷凍室取5F(-15℃)、容積係數 $K=1.63$ ， $V=VR+1.63 \times VF$

資料來源：摘錄自e-CFR Data (Electronic Code of Federal Regulations, USA), July 29, 2013.

表3-4-10 日本電冰箱MEPS基準(2010年)

分類	冷卻方式	定格內容積	冷藏室之門個數	目標基準公式
A	冷氣自然對流式	—	—	$E=0.844V_{adj}+155$
B	冷氣強制循環式	300公升以下	—	$E=0.774V_{adj}+220$
C		大於300公升	1個	$E=0.302V_{adj}+343$
D			2個以上	$E=0.296V_{adj}+374$

E =能源效率率(kWh/年)； V_{adj} =類似我國之等效內容積(公升)

資料來源：日本省能中心網站，2011年10月

(三) 除濕機

目前美國與我國皆有實施除濕機MEPS，日本則沒有。美國以兩階段分別於2007年10月及2012年10月調整MEPS管制，我國則於2011年3月1日起實施MEPS管制。我國除濕機以小容量為主(22公升以下)，以額定除濕能力高於6(公升/日)、12(公升/日)以下者分析，我國MEPS能源因數值基準為1.20(公升/瓩小時)，美國新舊基準分別為1.00及1.35，12公升至17公升產品，我國MEPS為1.40，美國新基準為1.35，整體而言，我國之基準與美國相當。除濕機能源效率基準資料請參考表3-4-11及表3-4-12。

表3-4-11 國內除濕機MEPS(2010年)基準

額定除濕能力(公升／日)	能源因數值基準(公升／瓩小時)
六以下	1.10
高於六，十二以下	1.20
高於十二	1.40

資料來源：經濟部能源局網站，2013年12月

表3-4-12 美國除濕機MEPS基準

額定除濕能力		能源因數值基準(L/kWh)	
(L/day)	(pints/day)	Oct.01-2007 ~	Oct. 01-2012 ~
≤ 12	≤ 25	1.00	1.35
> 12 to ≤ 17	> 25 to ≤ 35	1.20	1.35
> 17 to ≤ 21	> 35 to ≤ 45	1.30	1.50
>21 to ≤ 26	> 45 to ≤ 54	1.30	1.60
> 26 to < 35	> 54 to < 75	1.50	1.70
≥ 35	≥ 75	2.25	2.50

資料來源：摘錄自e-CFR Data (Electronic Code of Federal Regulations, USA), July 29, 2013.

參考文獻

- [1] 節能標章推廣計畫執行報告，經濟部能源局科技研究發展計畫，2004~2010年度
- [2] 使用能源設備及器具效率管理與基準提升研究計畫執行報告，經濟部能源局科技研究發展計畫，2011~2013年度
- [3] 美國能源標章網站：<http://www.eere.energy.gov/>上網時間：2013/07
- [4] 加拿大能源標章網站：<http://oee.nrcan.gc.ca/energuide/index.cfm>，上網時間：2013/07
- [5] 日本能源標章網站：<http://www.eccj.or.jp/labeling/index.html>，上網時間：2013/07
- [6] 歐盟能源標章網站：http://ec.europa.eu/energy/index_en.html，上網時間：2013/07
- [7] 澳大利亞能源標章網站：<http://www.energyrating.gov.au/>上網時間：2013/07

第五節 工業節能

工業耗能佔我國總耗能50%以上，為節能減碳重點對象。然而工業耗能中有相當比例為製程耗能，此部分各產業與各廠商特性不同，大型企業為提升自身競爭力，往往投注相當心力在製程節能，其中牽涉甚多製程細節與領域知識，政府科研計畫不易著力。因此在工業節能領域，技術研發著眼於具共通性耗能產品，例如空壓機與動力馬達，並藉由高效率技術發展，帶動空壓機與動力馬達產品製造業發展。

在製程節能方面則主要依靠查核計畫，建立耗能指標供國內產業參考，對產業之貢獻將突顯在協助耗能產業降低能源成本，提高國際競爭力。此外，區域能源整合亦為工業節能未來重點方向，藉由區域能源整合可大幅降低國內能源消耗，並帶動相關設備、工程、設計產業發展。

本章第三節能源資訊之工業能源管理部分，針對冰水空調運轉最適化控制、馬達動力設備最適化運轉以及燃燒爐最佳化操作等已有說明，本節著重於壓縮空氣乾燥設備、高效率馬達動力機械關鍵技術開發與推廣、固態熱電發電技術以及中低溫廢熱回收發電技術。

一、國內發展目標與策略

(一) 壓縮空氣乾燥設備開發

壓縮乾空氣為工廠4種基本動力源之一，由於空氣中含有濕氣，不符工業生產壓縮空氣品質，傳統作法是採無熱式雙塔吸附乾燥法，係用顆粒填充式吸附乾燥設備吸附劑吸附水氣，再以空壓機所生產壓縮空氣來再生吸附劑，而得以連續除濕再生使用。因顆粒填充式吸附床設備之系統阻抗高達2,000mmAq，且吸附劑顆粒與壓縮空氣流動方向垂直，吸附劑顆粒易風化造成含塵量高，此壓縮空氣再生後無法使用而必需排至系統外。因此壓縮空氣系統能源效率往往偏低，全球工業化國家都將之列為重點節能課題。

國內解決方法為開發吸附劑與壓縮空氣流動方向平行之金屬基材合成吸附劑之高壓除濕元件，然後再通電直接加熱金屬基材再生吸附劑，與熱風加熱方法比較，除了可減少熱對流熱傳損失外，亦可降低傳統吸附塔乾燥設備系統阻抗約80%，且吸附劑無風化問題，再生後之壓縮空氣可回收再使用。發展目標擬設定系統節電30%以上。此創新技術可領先全球，屬於全球尚未發展前瞻技術。同時因壓縮空氣品質符合ISO 8571-1Class 1(含塵量 $\leq 0.1\text{mg/m}^3$ 、含水量 $\leq 0.003\text{mg/m}^3$)，可符合先進32奈米以下製程壓縮空氣品質的需求條件。其技術特性具前瞻性外，亦能配合我國高科技產業永續發展需求，達成節能減碳目標。

(二) 高效率馬達動力機械關鍵技術開發與推廣

馬達動力機械為主要用電器具，佔全球總用電量46%[1]，應用範圍涵蓋泵浦、壓縮機、風機、工具機…等，以使用生命週期來看，馬達設備用電成本佔了設備整個生命週期使用成本的80%以上(25HP馬達為例用電成本佔比達99%[2]，空氣壓縮機馬達為86%[3]、泵浦為85%)，以高效率馬達更換效率低馬達有超過3%以上之節能空間[1]，馬達系統最佳化則可降低電力需求30%[1]。因此推動馬達動力機械之節能已成為各國推動節能的主要工作項目之一，國內現已陸續進行法規標準修訂、建立國家級能源效率驗證實驗室、協助廠商開發高效率馬達機械、工廠馬達機械系統量測改善與推廣，現階段我國主要推動工作項目包括高效率馬達動力機械能源效率管理、產業節能、技術開發與政策推廣等方面。

(三) 固態熱電發電技術

低溫工業廢熱(低於 400°C)是節能領域中進展相當有限之處。依據對國內主要金屬、化工、紡織、陶玻、焚化爐、發電廠等產業之調查，經過熱回收後所排放之殘餘熱能，年產生能量換算成電力單位，高達900億度以上，超過台電公司年發電量40%以上。一般而言，低溫熱回收主要作為預熱或乾燥用途，即「熱轉熱」模式；然考量電力是使用彈性較大且價值較高能源，若能將低溫廢熱轉換成為電力，對於我國這類高度依賴進口能源國家而言，具相當重要之節能減碳與能源安全意義。

固態熱電發電技術的實施，為將熱電材料封裝成為模組，再將各模組組裝為系統而應用，其與有機朗肯循環等，是少數能將低階熱能轉換為電力之技術。固態熱電發電技術藉由環境溫度差，驅使熱電材料內部載子

(電子)移動，在外接迴路之下而供電，具靜態、無動件、高穩定性、可任意模組化以因應不同發電量等特色，大致適用於 100°C 以上各類型分散式低溫熱源，可在現地產生電力來滿足區域之需求，同時減少環境熱污染。

在電力日趨緊迫情形下，以工業廢熱做為電力來源，符合我國能源與環境之利益。為使固態熱電技術早日開始商業化，降低技術成本為我國發展此項目主要方向。現階段策略包括開發穩定性良好高性能低成本熱電材料、熱電模組自動化封裝技術以及高熱利用效率之發電系統，並尋求各產業之示範驗證機會，以早日認證技術發展之效益，加速產業化進展。

(四) 中低溫廢熱回收發電技術

國內每年能源耗量達100~120百萬公秉油當量，工業部門能源耗量佔比45~55%，達45~66百萬公秉油當量，其中30~50%直接以中低溫廢熱形式排放，不僅浪費能源，且造成熱污染和增加溫室氣體排放量。工業廢熱排放量持續且充沛，然而低溫廢熱能量密度低、可用能(exergy)低，回收再利用時，其初始設備成本高，且國內尚未具備價格和技術競爭力低溫熱能發電設備，必須仰賴進口。一則造價昂貴、不具經濟誘因，一則國內無後勤維修服務能力，產品故障時，待料、待修曠日廢時，且維修費用不貲，因此用戶端仍持觀望態度，目前皆直接排放。

建立有機朗肯循環(Organic Rankine Cycle, ORC)本土技術，提供經濟實惠的ORC低溫廢熱全方位解決方案是目前國內低溫廢熱回收發電之主要發展目標。在技術面上，可從下列2個面向著手：

1. 強化ORC系統整合與優化技術，提供系統工程服務

- (1) 用戶端需求分析和ORC規格制訂：就用戶端冷熱源條件，視取熱、排熱困難度，決定系統最大發電量或最大發電效率。依據現場條件，優化系統配置，制定ORC機組和系統介面規格。
- (2) ORC機組開發：依據用戶端冷熱源條件，選用適合工作流體，設計、開發最適發電容量ORC機組。
- (3) 介面整合與ORC機組建造：整合冷熱源供應次系統、機電/控制次系統、數據擷取與機組運轉監控次系統，完成ORC機組建造工程。

2. 提升ORC關鍵元件效率

- (1) 高等熵效率膨脹器：膨脹器影響ORC機組熱效率權重佔70%以上，為ORC機組主要核心技術。發電量 $\leq 200\text{kW}$ 時，以螺桿膨脹機為熱功轉換核心，並直接驅動發電機產生電力，其等熵效率65~75%。發電量 $\geq 200\text{kW}$ 時，以高速渦輪機為熱功轉換核心，以減少體積和重量，且其等熵效率達75~85%，但需配置減速機構以耦合發電機組(或採用高速發電機)。
- (2) 高效能蒸發器：蒸發器沸騰工作流體，產生蒸汽，以推動膨脹器。沸騰熱傳屬雙相流技術領域，因此建立蒸發熱傳增益殼管式蒸發器技術，以提升系統熱效率，並降低熱傳面積需求、減少體積，可降低蒸發器製造成本。
- (3) 高效能冷凝器：冷凝器冷凝做功後(流經膨脹器後)之汽態工作流體為液態。冷凝熱傳屬雙相流技術領域，因此建立冷凝熱傳增益殼管式蒸發器技術，以提升系統熱效率，並降低熱傳面積需求、減少體積，可降低冷凝器製造成本。
- (4) 高等熵效率升壓泵：升壓泵加壓冷凝器流出的液態工作流體，並送入蒸發器內。目前用於冷媒工作流體的升壓泵等熵效率40~50%，仍有技術研發和突破空間。升壓泵加壓液態工作流體，雖然其等熵效率低，但耗損功率僅佔機組熱效率5~10%。

在經濟面上，還需考慮國內用戶端低溫廢熱規模、現行電價、經濟效益和製造端獲利能力。比較各國小型ORC機組發電容量和售價，並預估商品化ORC機組的發電容量將介於30~500kW，售價為1,000~1,200美元/kW。以此ORC價格，並依據ORC廢熱發電用戶端熱源條件(煙氣、製程冷凝水、廢蒸汽等)、取熱困難度、排熱條件和廠區工程等因素，一般ORC用戶端投資回收期在2~5年間。以裝置容量為200kW的ORC機組運用於15°C熱源為例，假設機組售價1,000美元/kW，周邊設施建置成本為1,500美元/kW，年運轉時數為8,000小時，淨發電量為總發電量70%，總建置經費初估為新臺幣1,500萬元。機組壽期設定為20年，年運維成本為機組成本的8%，折現率為6%，則年均化發電成本為1.25元/度，回收年限為3.8年。

二、技術發展指標與時程

(一) 壓縮空氣乾燥設備開發

1. 短程目標(~2015)：開發壓縮乾空氣系統用高壓除濕元件。
2. 中程目標(~2020)：開發壓縮空氣量零耗損之高效率壓縮空氣乾燥設備。
3. 長程目標(~2025)：壓縮空氣系統用高壓除濕元件量試技術及壓縮乾空氣設備商業化技術輔導。

(二) 高效率馬達動力機械關鍵技術開發與推廣

在高效率馬達動力機械之能源效率管理方面，為實現馬達動力機械節能效益，國際能源總署(IEA)提出能源政策建議，主要包括制定馬達動力機械之最低能源效率標準(MEPS)及能源標示管理方法、發展其他馬達及馬達動力機械系統元件之國際測試程序、大規模宣傳推動與獎勵措施等內容，有系統地制定一套實施計畫，推動各項工作。國內馬達動力機械能源效率管理政策亦參照國際能源總署建議之內容制定，並逐年推動下列工作：

1. 發展其他馬達及馬達動力機械系統元件之國際測試程序。馬達、泵浦、空氣壓縮機、風機等能效測試程序大多老舊，已依據IEC、ISO等國際標準進行國家標準更新修訂中，以與國際接軌。工具機能效測試標準，ISO組織正在研擬中，屆時亦將配合國際發展同步更新。
2. 制定馬達動力機械的MEPS及能源標示管理方法。
3. 針對市場中馬達動力機械能源使用效率，訂定MEPS為目前推動馬達動力機械節能最直接有效作法；MEPS也成為影響市場中高效率設備滲透率最關鍵之環境因素。現階段首要目標是先管制馬達之能源效率並推展能源標示管理制度，然後逐步涵蓋至泵浦、風機、空氣壓縮機、工具機等產品。三相感應馬達是市場上用量較大且節能效益顯著之產品，目前全球主要國家如美加、歐盟、中國大陸、韓國、紐澳等已實施IE2以上之高效率強制性MEPS管制，並預定2015年以後進一步提升至IE3優級效率管制。

因應國際趨勢，我國已將三相感應馬達國家標準中之效率值修訂更新，並預定2015年起將現行能源效率標準由IE1+提高至IE2等級，2017年起再提升至IE3等級，屆時不符合能源效率標準規定之設備或器具，不准進口或在國內銷售。同時，為落實能源效率標準的管制，制定標示事項、方法、檢查方式等市場管理規範，確保業者生產之各型式馬達持續符合能源效率標準之規定。

4. 推動非法令規範性質的獎勵措施。國際上除推動MEPS的直接作法外，亦輔以獎勵補助誘因，促使消費者端使用，激勵業者生產及進口高效率產品，達到加速提升高效率產品研製能力及汰舊換新目的。國內自2013年7月起推動「高效率馬達推廣補助計畫」，鼓勵業者生產及進口IE2、IE3以上等級馬達，同時考量製造商生產能力及技術配合，補助方案分兩階段實施，第一階段為期一年補助IE2及IE3以上等級馬達，第二階段為期2年補助IE3以上等級馬達。補助期程係配合國內MEPS推動時程，以達到加成效果節能效益。

(三) 固態熱電發電技術

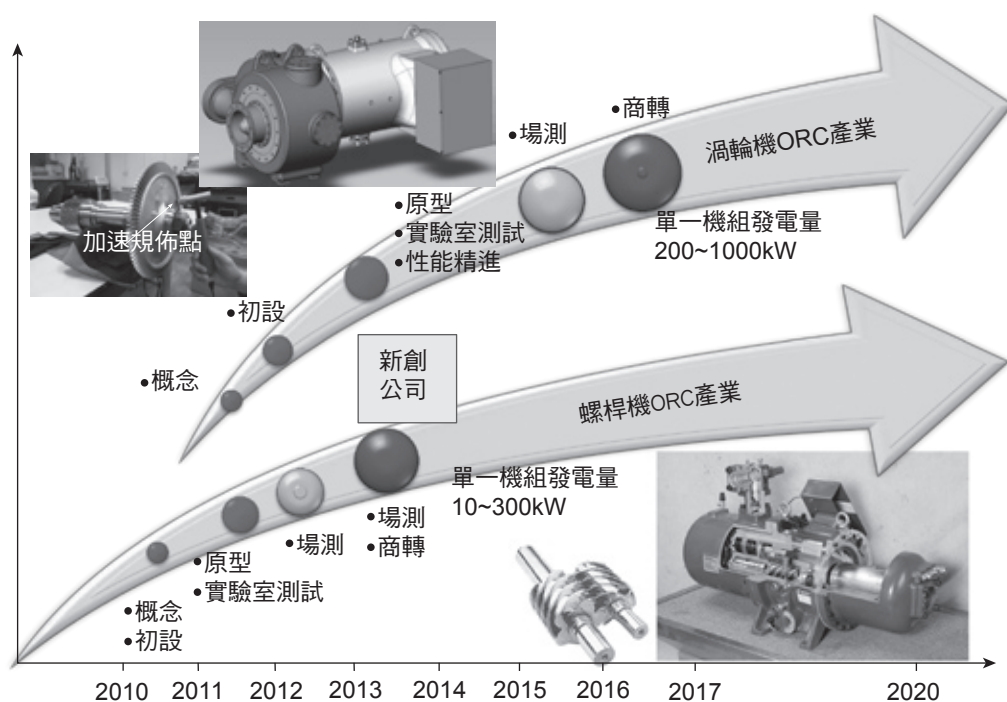
1. 短程目標(~2015)：開發材料穩定量產製程、模組自動化封裝技術與適用不同熱源環境和條件之kW級以上熱電發電系統，並於各類型產業實施示範驗證。
2. 中程目標(~2020)：開發低成本熱電材料，提升熱電模組與發電系統之取熱性能和熱穩定性。於國內建立材料生產、模組自動化封裝與系統整合之體系，逐步拓大產業廢熱回收效益驗證。
3. 長程目標(~2025)：材料、模組和系統技術成本較目前降低50%以上；與再生能源同被列為國家能源安全推動之重點項目，在政府支援與成本降低之下使技術普及於具高廢熱量且高電力需求之產業。

(四) 中低溫廢熱回收發電技術

國內已建立螺桿機ORC系統工程(包括：用戶端需求分析、冷/熱源可發電量分析、系統熱力性能分析/優化、規格制定、機組配置、P&I規劃、系統整合/調適)、關鍵元件開發(包括：螺桿膨脹機、蒸發器、冷凝器等)、機電控制等核心技術，並於工研院中興院區建造10~100kW和

150~500kW二座ORC機組性能測試實驗室，可變動冷熱源溫度和流量，提供ORC機組之熱力性能測試和耐久測試。期間亦結合國內精密機械、機電和冷凍空調優勢產業，並與螺桿式壓縮機大廠合作，改型量產的螺桿式壓縮機為螺桿式膨脹機，成功開發10kW、50kW螺桿機ORC機組。至此，國內ORC機組自製率達百分之百，且熱力性能優於國際同級產品。

目前國內低溫廢熱回收發電技術尚在起步階段，其中螺桿機ORC發電技術已有成熟技術，可建置10~300kW發電量之機組。渦輪ORC發電技術目前正在研發中，適合200~1,000kW的單一機組發電量，預計在2016~2017年左右可出現正式商轉機組，進一步帶動產業技術升級。圖3-5-1為國內低溫廢熱回收發電技術預定發展時程示意圖。



資料來源：工研院，2013年12月

圖3-5-1 低溫廢熱回收發電技術發展時程示意圖

三、國內發展現況與成果

(一) 壓縮空氣乾燥設備開發

表3-5-1是針對國內電子公司等5家次之實廠測試能耗結果比較表。從表中可以發現無熱式雙塔吸附乾燥設備之系統耗電都在3.4~8.4kW/cmm，再生壓縮空氣耗損率約在30.6%至52%之間。而加熱式雙塔吸附乾燥設備之系統耗電都在1.51~2.12kW/cmm，再生壓縮空氣耗損率在9.1%至13.1%之間。顯而易見再生壓縮空氣耗損率大小為乾燥設備系統節能的技術關鍵。

有關壓縮空氣除濕之金屬基材合成吸附劑高壓除濕元件開發部份，目前已完成高壓除濕元件雛型，其通電直熱金屬元件，本體溫度於6分鐘內即可由室溫20℃升溫至140℃，升溫速率可達20℃/min。故此結果相較於傳統以熱風加熱時需要1~2小時才能達到140℃，顯示在節能效果上，通電直熱高壓除濕法已優於傳統熱風法。

表3-5-1 傳統雙塔乾燥設備吸附劑再生之系統耗電測試比較

地點/來源	甲公司		乙公司		丙公司	丁公司	戊公司
乾燥機型態	無熱式	無熱式	加熱式	加熱式	加熱式	無熱式	無熱式
空壓機	50 HP	50 HP	100 HP	100 HP	30 HP	600 HP	300 HP
出口壓力(bar)	7.29	7.29	7.14	7.14	8	7	6
出口露點(dp℃)	-43	-43	-42	-42	-23.3	-40	-40
入口氣流(cmm)	1.01	1.16	9.36	9.81	3.6	71.67	34.47
出口氣流(cmm)	0.48	0.60	8.50	8.91	3.13	48.66	23.91
再生氣耗率	52.0%	48.3%	9.1%	9.1%	13.1%	32.1%	30.6%
再生壓縮空氣耗電(kW)	4.03	4.32	6.57	6.87	2.2	3.64	3.4
電熱器電耗(kW/cmm)	-	-	0.78	0.74	0.656	-	-
系統總耗電(kW/cmm)	8.4	7.2	1.55	1.51	2.12	3.6	3.4

【註】系統總耗電係再生壓縮空氣耗電量(折算空氣壓縮機部份耗電)加上電熱器耗電量。

資料來源：工研院整理，2013年12月

(二) 固態熱電發電技術

固態熱電發電原理主要藉由熱電材料完成熱能與電能間轉換，因此在發電機制運作上，熱電材料性能表現影響整體熱能回收重要因素。評估熱電材料熱電轉換效率，可以利用熱電優值(ZT值)表示[4]，ZT值越高則表示熱電材料擁有越高熱電轉換效率。熱電材料在不同溫度區間下可分為很多種，各類型熱電材料系統都擁有其最佳ZT值，也可說是各熱電材料系統適用溫度區間亦不同。現今商業應用上常使用熱電材料可依其適用溫度範圍分為低溫型(25~300℃)、中溫型(300~600℃)以及高溫型(600℃以上)熱電材料。茲就國內耗能產業廢熱溫度多為400℃以下，因此熱電材料主要著眼於中低溫型材料進行開發，其開發現況與成果如表3-5-2所示。

針對200℃以下廢熱源， Bi_2Te_3 系列合金是目前具有最高熱電優值材料。隨著奈米材料科技進步， Bi_2Te_3 合金結構之奈米化使得合金在高導電性條件下仍能降低熱傳，讓過去維持數十年之 $\text{ZT}=1$ 瓶頸可以突破至1.5以上，進而也將熱電轉換效率由3%以下有機會提升至10%。而200~400℃間之廢熱，由於 Bi_2Te_3 合金性能快速降低，因而在此溫度範圍必須使用PbTe、Silicide、 Zn_4Sb_3 等中溫型熱電合金。此類合金由於工作溫度較高，

表3-5-2 國內固態熱電材料發展現況

溫度範圍	熱電材料	技術發展現況	發展目標
低溫型 (25~300℃)	Bi_2Te_3 系列合金	單晶長晶製程 奈米結構高能球磨 快速熱壓技術 化學合成粉體製程 p型BiSbTe材料： $\text{ZT}_{\text{max}}=1.57$ (80℃) n型BiTeSe材料： $\text{ZT}_{\text{max}}=1\sim1.1$ (100℃) 熱電模組效率達3~6%	材料ZT值>1.5 熱電轉換效率>10%
中溫型 (300~600℃)	PbTe系列合金 GeTe合金 BaGe系列合金 Silicide合金 Zn_4Sb_3 合金 籠晶化合物	複雜結構熱電合金 合金融煉製程 高能球磨及熱壓製程 ZT_{max} 值>1.2	材料ZT值>1.5

資料來源：工研院整理，2013年12月

材料結構組成穩定性以及低熱傳導性變為更加重要。複雜結構材料製程為中溫材料目前主要製作方法，材料結構複雜化有助於降低合金熱傳導性，以提升熱電優值，ZT值可達1.2以上。

熱電材料性能表現為整個熱電模組發電關鍵核心，也決定模組最高轉換效能，因此現在國際間亦積極投入低成本高性能熱電材料開發，使熱電轉換效率能夠達到10%以上，提高固態熱電發電應用潛力。

(三) 中低溫廢熱回收發電技術

鑑於國內工業部門低溫熱能條件和目前產業技術能力，現階段發展發電容量 $\leq 500\text{kW}$ ORC產品。ORC機組熱能轉換引擎核心(膨脹器)可採用螺桿膨脹機或渦輪機(圖3-5-2)，依發電容量、膨脹器熱效率和經濟效益劃分產品型態和研發方向：

1. 發電容量 $\leq 200\text{kW}$ 時，以螺桿膨脹機為ORC引擎核心：螺桿膨脹機屬於容積式動力元件，一般設計於低速運轉(轉速 $3,600\text{rpm}$ 或 $3,000\text{rpm}$)，其工作風量為 $100\sim 1,500\text{m}^3/\text{hr}$ ；若有大風量應用需求，轉軸和螺桿尺寸線性增大，造成機械和轉子軸系設計困難，且不符合經濟效益，則必須訴諸動力式離心式壓縮機。螺桿膨脹機係由螺桿壓縮機衍生而來，工作風量 $100\sim 1,500\text{m}^3/\text{hr}$ 時，相對應之ORC機組發電容量為 $10\sim 200\text{kW}$ 。改型、調適國內自行研發之螺桿壓縮機產品為螺桿膨脹機，可快速切入市場。
2. 發電容量 $\geq 200\text{kW}$ 時，以渦輪機為ORC引擎核心：渦輪機屬於動力式動力單元，屬於高速旋轉機械(一般轉速 $> 10,000\text{rpm}$)。雖然渦輪機亦可設計於小功率發電機組，但其渦輪轉子葉片高度小，渦輪等熵效率因間隙損失增大而下降，造成ORC機組發電效率低。機組發電容量增大時，



資料來源：左圖廠商提供；右圖工研院，2013年12月

圖3-5-2 ORC核心引擎轉子：左圖雙螺桿膨脹機轉子；右圖渦輪轉子

渦輪機之等熵效率因間隙損失降低而提升，因此熱力性能表現優於螺桿機ORC。而且，高轉速亦大幅縮減渦輪機和轉軸尺寸，產品可以達到緊緻設計要求。

國內具備優勢機械、冷凍空調、電機和熱交換器產業，具有小型ORC機組產品系列研發能力；若同時建立現場冷源、熱源需求分析、發電量優化分析、機組建造和後勤維修等工程能力，且研發具有價格優勢的ORC產品，則可解決上述國際小型ORC機組僅提供單一產品和侷限冷源、熱源使用情形。

參考文獻

- [1] C. U. Brunner, “Efficient Electric Motor Systems,” Motor Summit 2012, IEA EMSA, 2012.
- [2] Bill Hoyt & Rob Boteler, “National Electrical Manufacturers Association Report”, Motor Summit 2012, NEMA, 2012.
- [3] Frank R. Mueller, “Energy Saving Potentials in Compressed Air Systems away from the Compressor”, EEMODS 2007, BEKO, 2007.
- [4] H. J. Goldsmid, D. M. Rowe, and B. Raton, in CRC Handbook of Thermoelectrics, Chap. 2(1995)
- [5] A. J. Minnich, M. S. Dresselhaus, Z. F. Ren, G. Chen, Energy and Environmental Science, 2 (2009) 446-479.

第六節 住商節能

國內能源消費結構中，住宅與商業(服務業)部門長期佔有約21~23%之比例，而以用電總量計算，則約佔37.4%，且該比例於近年來穩定增長，因此是推動國家節能減碳計畫中必須重視部門。

住商領域節能可分為2個層面來考量，首先是耗電設備效率提升，主要耗能設備包括冷凍空調與照明等，此部分已在前面章節敘述，透過設備技術研發以及各種補助獎勵輔導措施，提升設備效率為住商節能之重要手段。另一個層面則為系統整合設計與控制，以及設備運轉使用階段節能，此部分在住商領域主要體現於建築整合控制以及建築節能。本節主要在說明國內建築節能產業技術發展。

一、國內發展目標與策略

國內住商用電持續成長，住商領域節電措施越顯重要。住商建築研發主軸規劃依據以下背景情境展開：

1. 住商建築耗電持續成長，需要抑制耗電之積極政策與作為。
2. 全球政策推動淨零耗能建築，由於KPI相對單純，為有利之政策工具，歐盟與日本最為積極，日本已開始商業販售淨零耗能住宅，IEA在2013年出版的建築報告，也建議歐美將淨零耗能建築列為優先推動政策之一。
3. 分散式再生能源(太陽光電)成本快速下降，以國內天候發電條件，預計10年後可達市電平價，現場使用太陽光電誘因逐漸浮現。
4. 配合虛擬電廠成形以及降低再生能源不穩定特性衝擊，建築需具備電力調節與需量管理能力。

在以上之背景分析之下，住商領域設定如下應用情境：「分散式能源架構下，因應電力缺口與虛擬電廠發展，具備需量調節能力的淨零耗能建築或接近淨零耗能建築(near Net-zero Energy Building, nNZEB)大量普及」。

達成上述情境必須有下列關鍵成功因素支持：

1. 政策支持
 - (1) 包含建築技術規則，主動與被動器具EUI規範。
 - (2) 建立低耗能建物EUI分級與標示之方法、獎勵。
2. 建築設計與系統整合
 - (1) 適用華人建築之高性能器材資料庫、系統設計邏輯/建築模型標準化與建模物件導向化。
 - (2) 以零耗能為目的之建築設計、系統整合與所需之模擬與管理工具。
3. 建築電力分配與需量管控
 - (1) 簡易與低成本化需量動態監控、預測和管理(Big-Data分析) 軟硬體。
 - (2) 可配合虛擬電網、再生能源供電與需量管理用電設備(空調、照明)。
4. 高性能設備與建材量產低價化
 - (1) 效率提升50%以上用電設備(空調、照明)，且成本與現有設備相同。
 - (2) 高性能建材量產與持續降低成本。
5. 再生能源持續提高效率與降低成本

上述關鍵成功因素有在政策、系統整合、需量調節與管控、以及高性能建材開發。因此規劃投入3項研發主題：(1)建築能源模擬與節能政策/標準；(2)建築能源管理網控/需量調節技術開發；(3)建築節能關鍵建材開發。

整體技術發展願景目標包括：

1. 建構技術基礎，讓淨零耗能建築(NZEB)或接近淨零耗能建築(near Net-zero Energy Building, nNZEB)在5~10年後有機會在國內推廣普及。
2. 導入資通訊技術，尤其在能源管理網控/需量調節部分利用，成為新亞熱帶建築智慧節能技術，以及智慧化能源管理網控技術之主導者。

3. 促成異業結盟，以建築為系統載體，讓國內之設備建材製造、資通訊服務、設計營造等各領域有機會結合，形成新興產業，並建構高附加價值與具國際競爭力產品及零組件之供應鏈體系，創造產業出口。

二、技術發展時程

依據上述分析，國內建築節能技術規劃3大研發項目：

1. 建築能源模擬與節能政策/標準。
2. 建築能源管理網控/需量調節。
3. 建築節能建材。

每一項技術之指標與發展時程，係配合行政院訂定的2020年之減碳總目標，以最短時間達成最大減碳量為考量，同時以「智慧化」創造獨特性，並提升附加價值來帶動產業發展，主要技術研究項目之短期發展時程如表3-6-1所示。

表3-6-1 住商智慧節能技術發展時程

建築能源模擬與節能政策、標準推動	1. 建築能源模擬技術開發 • 2014：發展臺灣住宅類示範建築，運用全國普查系統進行公寓大廈、透天、連棟式住宅等大眾住宅之建築外型及能耗調查。提供具全國性之適切示範類住宅建築，並且應用雲端架構與網路介面，發展線上設計與節能評價平台。 • 2015：整合節能標章產品、政策法規、國內外標準，並更新最新氣象、節能設備與建材、照明技術、冷熱水整合技術等資料庫；以做為未來節能產品及法規/標準推動之參考依據。 • 2016：推動SI+平台，建立國內金融業、零售業、商辦大樓等建築模型資料庫，延續前兩年在資訊模擬系統的研發進度，開發商用建築模擬資訊分析技術。 • 2017：以SI+平台為基礎，新增再生能源設備資料庫及住商類示範建築，並整合上述歷年新增資料庫於建物線上模擬系統進行能源分析與評價分析。 2. 推動低耗能住商建築物： 推動由產業及政府主導之住商低耗能建築物案例，以實際使用的零耗能屋為訴求，示範驗證低耗能屋之成本、性能與技術成熟度，導入之技術包含被動式節能技術、主動式節能技術、智慧化網路管理節能模式，及潔淨再生能源設備產生之能源，搭配建築能源模擬技術，達到建築物淨低耗能或接近淨零耗能的目標。 3. 建立建物能源分析平台以及節能技術服務平台，導入節能標章產品、被動式、主動式節能技術，搭配再生能源，以整體性概念與建築模擬技術為核心，分析新建建物以及實際使用的既有建物之能耗分布，針對既有建物節能改造目標全程以節省50%前五年平均歷史淨耗電為目標。
------------------	---

建築能源管理網控技術／需量調節	1. 建築能源網控系統技術建立 • 2014年：整合電源、變頻空調、LED照明與其他建物用電設備控制系統，發展可結合建物動態能源模擬且具電力可視化之網控系統平台。 • 2015年：發展匹配需量調節之軟硬體技術，如低成本微型無線感測器與智慧控制器、高效率智慧機電設備、多變量迴授微調控制技術，並相容於所開發之能源網控系統，目標為降低既有建物耗電5%以上。 • 2016年：整併可配搭虛擬電網、再生能源供電與需量管理的用電設備，實現自動化能源管理，進一步建立節能技術成本與性能評估方案，以降低既有建物耗電10%為目標。 • 2017年：實場導入能源網控系統平台，並驗證其節能效益，以目標為達成節能效益20%以上，並鏈結再生能源供電系統，以達成淨零耗為目標。 2. 發展基於動態能源模擬之需量調節之管控技術 • 2014年：非侵入式電源供應與設備用電巨量資訊雲端解析技術建構，發展最佳契約容量預測技術、短期用電預測技術與卸載控制，節能效益提升3%。 • 2015年：發展可解析建築內各項用電設備資訊之智慧演算法，以數據診斷與建議回饋機制，達成使用者自覺、智慧診斷功能與比例控制技術。 • 2016年：基於場域情境迴授資訊，發展需量計算模型與控制邏輯，進一步結合動態能源模擬，達成需量預測分析；並發展智慧控制策略，以提升節能效益10%為目標。 • 2017年：配合再生能源智慧電網之時間電價與尖峰電力調控，實現並驗證基於動態模擬之需量預測與需量管理決策系統，自動預測短期用電與卸載控制，目標為降低尖峰負載電力達20%以上，且達成節能效益15%。
建築節能建材開發	1. 低成本高性能隔熱玻璃技術開發 • 2013年：開發低成本製程製作low-e玻璃，可見透光率$\geq 60\%$，放射率$\varepsilon \leq 0.25$。 • 2014年：改進low-e玻璃製程技術，可見透光率$\geq 70\%$，放射率$\varepsilon \leq 0.15$。 • 2015年：結合low-e玻璃與複層玻璃技術，製作low-e複層玻璃，可見光透光$\geq 60\%$，放射率$\varepsilon \leq 0.1$，$k < 0.1\text{W/m}\cdot\text{K}$。 • 2016年：製作更高隔熱性能之low-e複層玻璃，可見光透光率$\geq 70\%$，放射率$\varepsilon \leq 0.1$，$k < 0.1\text{W/m}\cdot\text{K}$。 2. 創新節能調濕基材開發 • 2013年：有機/無機複合調濕基材開發，基材調濕性$> 100\text{g/m}^2(75\%\text{RH}, 12\text{hr})$。材料調濕性能檢測標準及驗證設備建置。 • 2014年：調濕性$> 150\text{g/m}^2$且具抗菌能力之複合調濕建材樣品試製，樣品大小$50 \times 50 \times 8\text{cm}$。 • 2015年：調濕建材平衡含水率$> 5\text{kg/m}^3$；以及節能調濕建材市場化產品技術建立。 • 2016年：調濕性$> 200\text{g/m}^2$，平衡含水率$> 8\text{kg/m}^3$之節能調濕建材之性能提升與商品化功能性驗證。 3. 透明隔熱塗料開發 • 2013：可見光穿透率$> 60\%$、紅外線阻隔率$> 60\%$、耐久> 5年，直接噴鍍於建築玻璃上可降溫$> 7^\circ\text{C}$。 • 2014：可見光穿透率$> 60\%$、紅外線阻隔率$> 70\%$、表面硬度$> 4\text{H}$、耐久> 8年，直接噴鍍於建築玻璃上可降溫$> 10^\circ\text{C}$。 • 2015：可見光穿透率$> 60\%$、紅外線阻隔率$> 70\%$、紅外光反射率$> 30\%$、耐久> 8年、表面硬度$> 5\text{H}$，直接噴鍍於建築外殼上可降溫$> 10^\circ\text{C}$。 • 2016：可見光穿透率$> 70\%$、紅外線阻隔率$> 80\%$、紅外光反射率$> 40\%$、耐久> 8年、表面硬度$> 5\text{H}$，直接噴鍍於建築外殼上可降溫$> 15^\circ\text{C}$。

資料來源：工研院整理，2013年12月

三、國內發展現況與成果

(一) 建築能源模擬與節能政策/標準推動

建築能源模擬技術已被廣泛應用於建築物能源使用分析上，幫助使用者快速了解建築物之能耗狀況，並提供選取建築物最佳營運操作參數，進而改善建築能源效益，且同時保持建築物本身之舒適度。

就工程分析而言，使用者只要提供簡明建築物設計描繪及操作條件，建築能源模擬工具便能有效地概估建築物內部環境情況及能源設備(空調、照明等)運轉情形，同時能以每小時為單位來模擬計算建築物整年度能耗情形。目前國際上使用之建築節能相關模擬軟體相當多，其使用的目也不盡相同，相關軟體包括建築外殼能耗計算、窗戶性能模擬、空調負荷計算、PV發電量模擬、日照模擬、建築流場模擬，以及全方位之建築性能設計輔助模擬等。

國內較常使用的建築性能模擬軟體包括DOE-2、eQuest及EnergyPlus等，DOE-2、eQuest為美國能源部開發做為建築物能源分析所使用之動態模擬軟體，能夠計算全年建築負載之變化，但因軟體長期未再更新，因此使用人數已逐漸減少。目前最新且廣為使用之軟體為EnergyPlus，係一套以DOE-2為核心所開發之免費工具軟體，目前許多國外公民營機構正逐步發展前端使用者介面，包含Simergy, OpenStudio, DesignBuilder等，可大幅縮減建模時間。

目前眾多模擬軟體雖已廣為學術與研究單位應用，然其參數設定十分複雜，對多數非專業人員要在短期上手實屬不易。為提供一般社會大眾簡易線上評價工具，並作為政策推廣工具，美國能源局導入經費支持美國勞倫斯柏克萊國家實驗室(LBNL)，以及再生能源國家實驗室(NREL)開發建築能耗網路評價平台，其中最具代表者為HES(Home Energy Saver)網站。HES乃LBNL為官方所開發網站，以建構多年之美國各類資料庫為依據，主要分析一般住宅用戶之能源使用與碳足跡分析，針對建物內使用人數與各已知能源費用、屋齡、所在區域等，提供線上簡易分析，主要內容包含總電價與主要耗能設備之電費，初步估算更新設備後可節省之電費。

國內亦發展住宅與商業建築節能評估技術，建置本土客製化建築耗能模型，包含蒐集本土普遍且具代表性之建築材料與類別等資料，以此建構出幾項可供未來參考之建築模型案例，含建築幾何與材料特徵、區域氣

候條件等環境資料，以及國內照明與空調設備之基本參數設定，透過數理模型的分析，作為本土模擬案例分析之前期作業，以檢驗EnergyPlus模型資料本土化可行性與可能遭遇困難，作為長程建置全國各地各項資料庫參考。

在智慧綠建築方面，由於ICT技術之蓬勃發展，近年來住商節能技術趨勢已逐漸從過去單一設備效率最大化思維，逐步邁向智慧設計管理、雲端化計算與儲存分析、高度設備次系統整合、與量身訂做服務與資訊等，而此趨勢若應用於建築物節能領域，則可包含建築設計階段之建築資訊模型(Building Information Model, BIM)，亦即利用傳統3D軟體進行系統化營建管理，進而導入各類數值之計算，例如社會經濟效益、節能減碳效益等。

自2008年起，針對上述技術觀念的演進，市場出現了4D模擬(4D Simulation)的新名詞。演進至今，4D Simulation的觀念則逐步衍生為即時動態模擬並與機電系統進行聯動與控制，國內亦開發友善圖形化輸入/輸出介面，並研究改善模擬失真之各種原因探討。

有鑑於我國積極推動住商部門節能減碳，在政策面與產業面上進而需要更精確與即時資訊輔助，因此藉由4D Simulation的技術開發，逐步衍生多項新型態服務。以政策面而言，國家住商節能政策制定將更需要透過整合，連結國家級資料庫，包括統計資料、氣候資料、設備資料、建築設計標準、綠建築標章、智慧建築標章等，協助公部門掌握各項政策推動之前各種效益預測。

在產業面上，設計師、技師、測量與驗證人員、代銷部門、金融借貸等住商節能上下游產業均需仰賴更快速、簡易、有效評估試算和驗測工具協助提供資訊，且該工具不只需具備前述政策工具之特色，更需具備簡易友善化圖形介面，且具有高度可信賴性，方能加速節能技術服務業(ESCO)採用業績承包之服務，亦即初期之硬體建置成本全部或部分由承包商承當，以促進業主投入之意願。甚至需得以低成本形式進入家庭，整合既有家電設備，成為智慧生活之一部分。

由於國內建築執照之審理，歸屬於內政部營建署，國內綠建築由內政部推動，研究由內政部建築研究所進行，執行面由營建署負責，相關研究法人機構包含臺灣建築中心、臺灣綠建築發展協會等。

(二) 建築節能網控技術開發

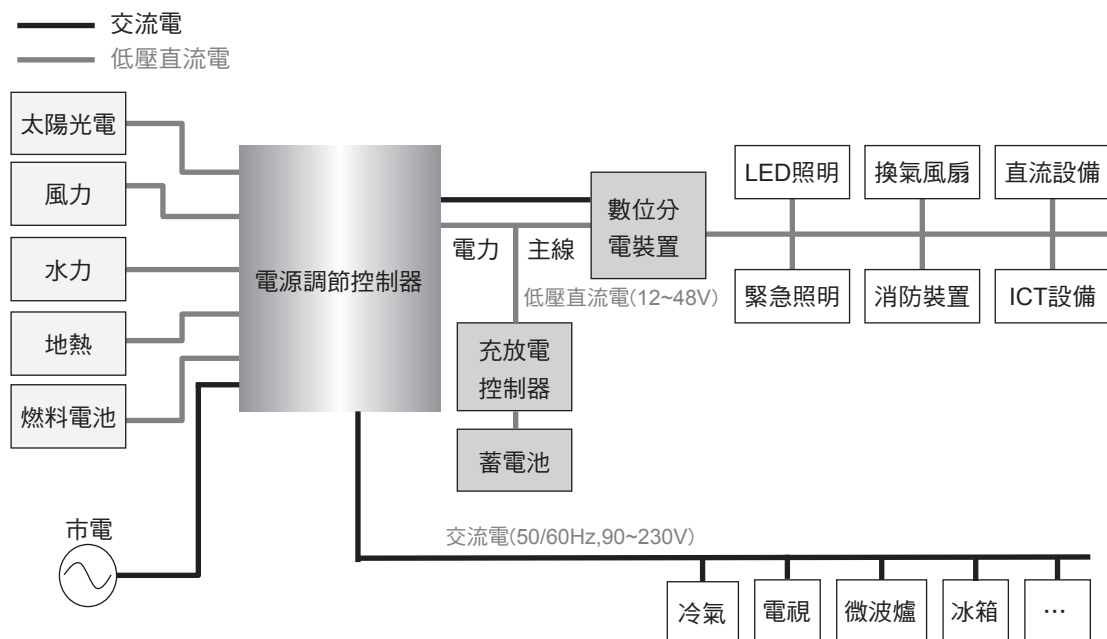
應用先進資通訊技術，以系統化、智慧化及藉由各種控制法則與專家系統，進行環境智慧感測與設備能源管理，來減低無效電力能耗，已為國內外在節能網控技術及市場發展方向[1]。

國內所面臨之關鍵瓶頸為大部份耗能設備無法進行依負載需求之控制調節技術(需量調節)；再者，各耗能設備通訊介面不統一或不開放，使得節能網控技術只能進行低階之開關控制，無法實際進行良好系統整合分析、回饋調控與提高節能效益。同時隨著近年來再生能源大量普及，如何整合再生能源系統，監控設備負載動態、預測和管理需量等系統控制技術，將成為國內所面臨關鍵瓶頸。

針對建築用電部分，除耗電設備管控外，也需同步管控未來可能大量普及再生能源發電裝置，與因應再生能源發電所必備儲電裝置。目前市售之建物電能管理系統中，用電、再生能源發電和儲電管理為彼此獨立運行、沒有交集之3個次系統，彼此缺乏溝通且匹配性不佳；針對設備耗電管理，發展可相容於分散式微電網(再生能源)、並且兼具儲電監控建築能源管理控制系統，可能成為未來建築內電能管理之重要技術標的。

另外協助建構國內低耗能建築節能與減碳相關之全自主技術[1,2]方面，其中在針對整合再生能源之智慧電源調節系統部分，國際間已開始進行混合式供電系統架構技術布局[3]，而國內也先針對關鍵模組部分，完成如可整合太陽能之高效能雙向電力轉換控制器(如圖3-6-1所示)，未來將朝向發展高效率、高供電品質、並具直接電力管控之電源調節器各項關鍵零組件；而在數位分電技術，將發展具低成本、安全性佳之直流供電與直流交流混合供電之低壓分電裝置。

上述核心技術包括控制晶片、高效率模組、電力計量、供電管理控制法則等；而在智慧化高效能設備產業推動部分，亦針對高效率變頻箱型空調機進行提升性能之技術開發，期能技術授權國內業者提升技術能力，以達節能推廣之效；此外亦發展針對機電設備群組之多變量控制優化相關技術，例如基於冰水機系統，發展一空調環境感測網控平台，由於住商大樓中空調系統耗電通常占很重比例，而國內住商之空調系統之節能技術通常採取變頻或是手動設定運轉參數之方式，依操作人員之經驗進行空調系統運轉設定，但該方式未考慮到真實環境之空調負荷，而操作設定又不能依外界環境變化而修正。



資料來源：工研院，2013年12月

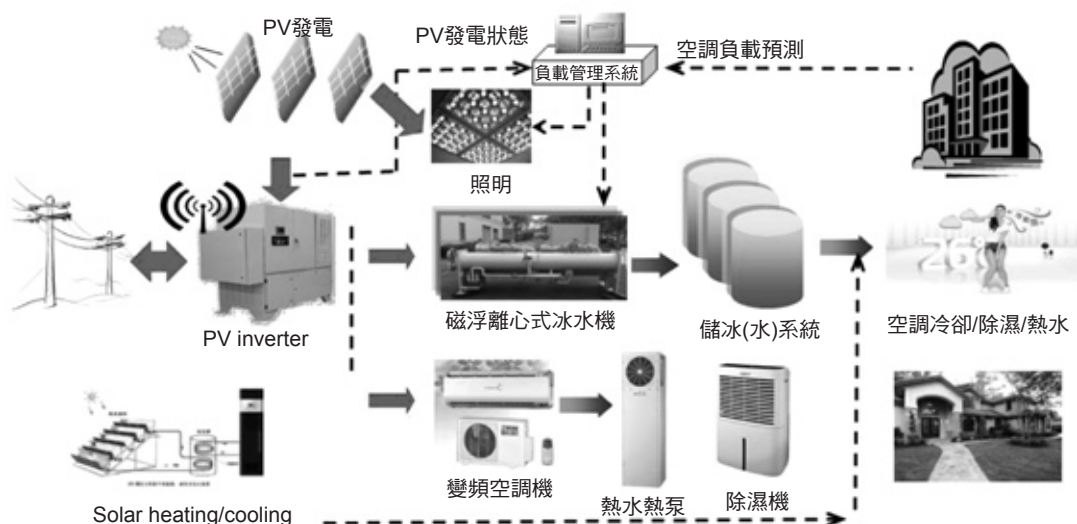
圖3-6-1 智慧電源調節技術架構與電力轉換器開發

反觀國際大廠已開始切入空調系統全域最佳化控制，然而國內欲導入國外廠商技術時必定花費較高成本且較難培養國內技術人才。基於冰水機系統所提出之空調感測網控平台技術，基於易擴充性的無線感測架構及便利性之網路監控平台，可提供國內能源資通訊(EICT)設備廠商一個切入機會，同時也結合業者推廣能力，讓空調系統節能技術導能夠全面導入一般大樓廠辦中，進一步達成節能減碳目的。該冰水系統網路監控平台及冰水側智慧空調技術，有別於傳統手動操作及固定控制參數，可動態調整參數目標及控制冰水泵變頻。

另外，多項新技術導入預期可使建物整體耗能較傳統降低10~20%。另外，在其他能源管理系統之關鍵技術開發部分，也鏈結國內產業建立包括智慧型電錶、專家節能系統網路平台、混合模式設備雲端節能管理平台、非侵入式低成本無線感控模組、待機電力管理插座、耗能感知智慧家電、人員活動感知器、建物電力基線建置與分析等等技術能量。

為落實建築節能網控技術根植國內，建構上中下游產業供應鏈與產業研發聯盟，也已具體促成。後續重點將整合已建立全自主變頻節能設備器具與網控管理軟硬體平台，協助建立介面標準化、設備操控無線網控化、整合環境人因感測而進行系統高效節能化等多項重要技術建構[4]。而回顧近年來能源科技發展趨勢，分散式再生能源比重，在未來將隨著性價比提升、且藉政府獎勵措施與輔導推廣而大幅增加，進而導致智慧電網與虛擬電廠逐漸成形；因此未來建築，必須具備整合再生能源供電、電力負載調節與建築需量管控能力。

若能有效對建物內設備耗電進行智慧化調節管控，不但有利於我國再生能源施行與關聯產業之推動，更可進一步掌控建物系統耗能管理核心元件技術，如低成本無線感知器、控制器、控制軟體、智慧演算與決策引擎等。為因應未來分散式再生能源普及與淨零耗能商業建築之政策推動目標，預計將發展可整合再生能源且具簡易使用、低投資成本、負載動態監控、預測和管理功能之加值型建物智慧能源網控系統(如圖3-6-2)，以期能進一步整合變頻空調、照明燈具，並藉無線感測回授資訊，導入多變量回授控制演算技術以進行節能優化微調，達成設備運轉優化等系統節能控制之技術驗證。此規劃可將節能網控之能源資通訊技術(EICT)鏈結國內之高



資料來源：工研院，2013年12月

圖3-6-2 整合再生能源、高效設備、需量管控之建物智慧能源網控系統

效機電設備產業，進一步使節能網控、用電設備與系統控制等相關技術及產業鏈，具完整自主化，並促成系統化之國際技術輸出。

(三) 建築節能建材開發

國內建築非常流行巨型落地窗或全面玻璃大樓，雖然建築室內明亮外觀亮麗，然而臺灣地處亞熱帶氣候區，全年日照充足，易將太陽光輻射熱輕易地進入室內，增加夏日建築尖峰空調耗電。隔熱玻璃技術是近年來國際上的新興主流研究項目，我國主要應用於建物對外窗戶、天窗與玻璃帷幕上面，若能使用得宜將減少空調用電約1~3成。

隔熱玻璃技術種類繁多，隨著不同位置、使用方式及習慣與售價，而有不同抉擇；以技術面來看，不外乎朝隔絕紅外光與增加可見光進入、降低玻璃之放射率(ϵ)與熱傳導係數(k)、降低窗戶總熱傳係數(U)等方向發展，但由於高性能隔熱玻璃售價過高，因此大幅度地減少使用者使用意願與市場滲透率[5,6]。國內有少數廠商產製隔熱玻璃，但售價比起一般玻璃偏高，使得國內不論新、舊建案節能玻璃普及化，仍有一段非常大距離，為目前國內在外殼節能上之一大技術與產業缺口。

國內目前正發展使用濕式製程製作隔熱玻璃(例如low-e玻璃)，取代高價之真空鍍膜，可降低隔熱玻璃產品成本，進而提升隔熱玻璃在建材上市場競爭力，亦能使節能規範在窗戶上更易落實，增加產品市場滲透率。

大部分建築為既有建築，但針對既有建築物來開發節能建材系統不多，目前較為大眾所熟知為隔熱紙(膜)或有色隔熱塗料，而這兩個產品由於其隔熱效能或產品外觀，比較不被大眾所接受，所以在相關節能建材推展上一直有所阻礙。而國內在塗料相關產業每年約有新臺幣300億元產值，其中建築塗料高達新臺幣100億元，再加上近年來節能減碳之風潮興起，建物外殼隔熱產品在市場上有很大需求。

然而目前國內隔熱塗料功能性與耐久性技術不足，例如一般隔熱塗料耐久性僅約2年，且因氣候濕熱與落塵量大，容易造成塗層表面污染，連帶紅外線反射率也會因此下降，故隔熱效果隨使用時間而快速降低，以致隔熱產品在市場上接受度有限[7]，並且隔熱塗料顏色種類十分有限，僅能使用在屋頂或外牆之上，無法連同玻璃一起施作，導致節能改善效益較為無感。

因此，在節能塗料的技術開發上，國內相關技術應該朝向透明、隔熱、易潔塗料技術發展，並結合簡易建築外殼施工技術，使透明高耐候性的隔熱塗料可以大量使用在既有建築之上。另外落塵易造成塗層表面污染，連帶紅外線反射率也會因此下降，故隔熱效果隨使用時間增加而快速減少，因此研發上亦常結合疏水自潔塗料技術發展。

國人每人每天約有80~90%時間處於室內環境中，過高之室內濕氣，除造成建材腐朽與破壞之外，亦促進室內黴菌、塵蟎等生物性污染，間接造成居住者呼吸器疾病、氣喘、過敏、疲勞與頭痛等健康上問題；反之，過低濕度除使室內人員產生乾燥感而感到不舒適外，也將大幅增加空調耗電。因此，許多先進國家之室內空氣品質基準中，均將相對濕度列為管制項目，如日本厚生勞動省建議值為40~70%，我國室內空氣品質標準把細菌及真菌濃度列入管制。

利用多孔質建材之吸放濕效果來調整濕度手法可減少室內濕度變動幅度，減少高濕度與低濕度之出現頻率[8]，配合適當換氣方式使用，不僅可以提升室內空氣品質(IAQ)，同時可有效改善上述之濕氣問題，更可減少以空調來輔助進行除濕與加濕所需之耗能，目前這類建材以日本研究居多[9~12]。

我國目前發展中創新節能調濕基材，採用有機與無機材料複合，利用前處理及複合無機(礦石)與有機(植物纖維)調濕材料達成高濕容量、高吸放濕速度要求。此技術採低溫非燒結製程(節能)，且利用本土再生材料，可達低成本高性能的要求。在國內高溫多濕氣候下，可應用於室內壁材，以穩定濕度，可調控介於40~70%RH；另可應用於室外頂樓，以隔熱降溫，預期施做與未施做之溫差可達10°C以上。其產業效益為發展智能建材，提升建材產品產值及產品競爭力，減少空調系統使用。

參考文獻

- [1] “住商節能減碳技術整合與示範應用計畫(1/4)-101年度執行報告”，經濟部能源科技研究發展委辦計畫，2012。
- [2] “低耗能建築節能減碳技術整合與示範應用-102年度執行報告”，經濟部能源科技研究發展委辦計畫，2013。
- [3] “討論未來的直流電源系統”，開發次世代高效率利用能源型住宅系統之技術及其實證事業」成果報告會，Arthur D. Little(Japan)株式會社，2010。
- [4] 田中憲光,朝倉薰,馬場崎忠利，“高壓直流供電國際標準化動向-全球標準最前線”，NTT環境能源研究所，2012。
- [5] ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2010.
- [6] 徐美君，全國性建材科技期刊-玻璃，vol. 10，第241期，39-49頁，2011。
- [7] 廖翌滄、曾碧榕、陳璿、林蘇娟、鄧胡軍、吳錦添、許一婷、戴李宗，Polymer Materials Science and Engineering，vol.28，121-124頁，2012。
- [8] 蔡耀賢、江哲銘，臺灣氣候下室內調濕建材之適用性探討，建築學報，第69期，35-50頁，2009。
- [9] 何明錦，高性能保水調濕水泥質材料之研發，內政部建築研究所研究報告，2008/12。
- [10] 羅友伶，2012，室內建材調濕設計簡易計算手法之初探，碩士論文，國立雲林科技大學研究所，2012/7。
- [11] 蔡耀賢、鍾松晉、江哲銘，各種調濕建材之性能測試與評估，建築學報，vol 74，1-14頁，2010。
- [12] Dinh-Hieu Vu, Kuen-Sheng Wang, Bui Hoang Bac, Bui Xuan Nam, “Humidity Control Materials Prepared from Diatomite and Volcanic Ash” Construction and Building Materials, 38, pp.1066 - 1072, 2013.

第七節 節能技術服務

一、國內發展目標與策略

節能技術為國家或企業達到所設定節能目標所採用之方法與手段，其方式包括系統妥善運維、操作最適化及系統設備效率提升等。經濟部商業司對能源技術服務業之定義為：從事新淨潔能源(包含太陽能、生質與廢棄物能、地熱、海洋能、風力、水力)、節約能源、提升能源使用效率或抑制移轉尖峰用電負載之設備、系統及工程之規劃、可行性研究、設計、安裝、施工、維護、檢測、代操作、相關軟硬體構建及其相關技術服務之行業。

能源局對能源技術服務業的定義為其業務範圍可包括能源之買賣、供應及管理、節能改善工程工程施作、節能效益保證工程統包合約統包承攬、公用設施設備運轉維護與管理、節約能源診斷與顧問諮詢等。即能源技術服務業(Energy Service Company, ESCO)為以客戶之立場為出發點，運用最新之節能技術和觀念，滿足能源使用合理化，並進而達到節能目標。

由於過去我國能源價格相對偏低，因此廠商對於節能技術之採用率仍可提高，而隨著國際能源價格上漲，及國際間追求節能減碳之趨勢，我國陸續於2008年通過「永續能源政策綱領」，規劃全國CO₂排放減量將於2016年至2020年間回到2008年排放水準，於2025年回到2000年排放水準。另行政院「節能減碳推動會」2010年通過「節能減碳總計畫」，其節能目標：未來8年每年提高能源效率2%以上，使能源密集度於2015年較2005年下降20%以上，並藉由技術突破及配套措施，2025年下降50%以上。因政府訂定明確之目標，綠能源業也因而得以蓬勃發展。

而依據國際能源總署之評估，全球31%減碳量為由能源效率改善所貢獻[1]。為確保我國能源安全，發展能源技術服務，以實踐溫室氣體減量之低碳經濟產業發展，並達到節能減碳及穩定能源供應目標，節能服務即是由此需求應運而生之產業。推動能源技術產業之目的如下[2]：

1. 突破目前能源用戶從事節約能源改善之瓶頸(資金、人力、技術)，誘導能源用戶進行中長期節約能源計畫。
2. 改變目前以政府為主之節約能源技術服務環境。
3. 帶動節能設備與能源監控設備製造業、技術顧問服務業、銀行業(包括租賃業)等相關產業發展。
4. 做為因應溫室氣體減量趨勢重要對策之一。

傳統能源服務業主要是提供設備診斷、系統更換施工、專家諮詢服務等業務，目前ESCOs發展重點已轉型為提供客戶「節能績效保證合約」(Energy Savings Performance Contracts, ESPC)服務，並可協助能源用戶向銀行業者融資，有效降低用戶採用能源服務之門檻。ESCOs與傳統能源服務之比較如表3-7-1。終端能源用戶選用「節能績效保證合約」可透過投入節能改善專案所獲之收益(節能量)，支付節能改善專案之投資成本，為具創新和吸引改善之節能模式。透過節能績效保證專案，確保能源用戶、能源服務業者及融資銀行之報酬，同時降低初期導入節能方案之門檻，圖3-7-1所示為ESCO節能績效保證方案節能之收益示意。

除上述之節能績效保證方案外，另有因應溫室氣體減排之績效保證方案，不但可保證節能之收益，另可一併進行溫室氣體減排交易(Emission Trading)。透過溫室氣體減排交易，能源用戶不僅可因落實節能措施而達到節費目標，還可因溫室氣體減排而得到第二重經濟收益，如圖3-7-2所示。

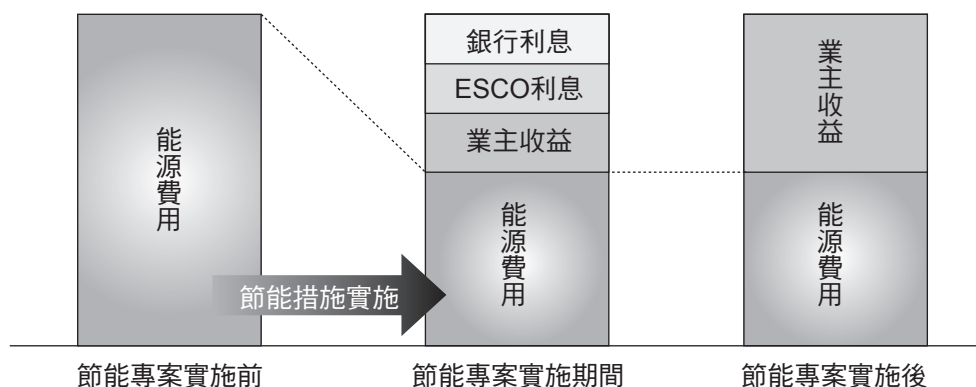
經濟部能源局為協助產業發展，優先營造適合產業發展之環境與合宜之商業模式，並以節能績效量測與驗證突破傳統能源服務之困境；推動節能績效保證專案示範推廣補助、公部門及集團與企業導入ESCO以建立能源服務先期市場，並持續擴大產業基礎如納入LED及PV等項目，同時表揚績優廠商以供能源用戶參採；建立信用保證機制、低利貸款及產業專用融資以發展融資體系；培養國際節能績效量測與驗證規範(International Performance Measurement and Verification Protocol, IPMVP)之量測與驗證及ESCO專案開發技術人員，以滿足產業發展所需之人才。

為協助ESCO之產業持續發展，未來應由政策法規、財務融資、人才/創新，及市場推展等面向進行發展。各面向之發展策略說明如下：

表3-7-1 傳統能源服務與ESCO之比較

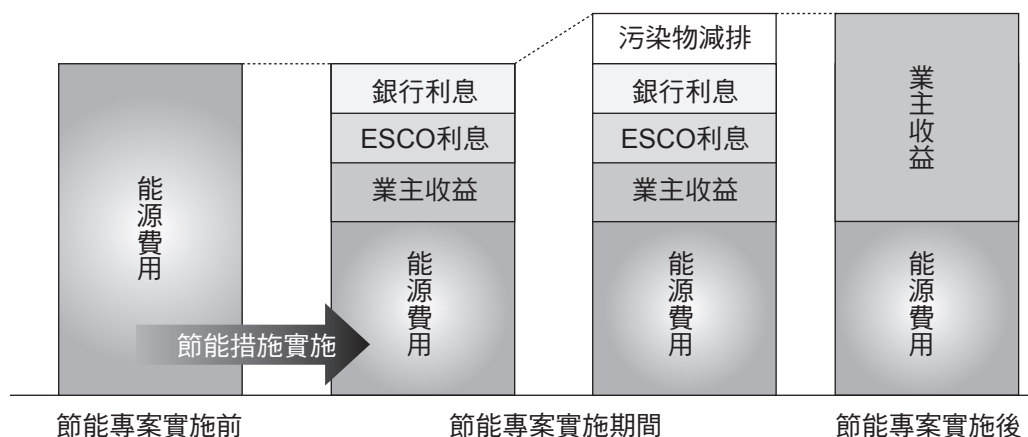
	ESCO模式	傳統模式
技術區別	系統整合(含單獨系統)	單獨系統
量測與驗證方式	4種M&V選項 (M&V與國際接軌)	1種計算方式 (無調整量、無驗證機制)
基準線訂定	有強制訂定	無強制訂定
節能量計算方式	基準線耗能量-改善後耗能量±調整量	改善前耗能量-改善後耗能量
商業模式	1. 節能效益分享型 2. 節能量保證型 3. 能源服務託管型	一次驗收
資金取得方式	1. 協助能源用戶取得融資 2. 能源用戶自有資金	能源用戶自有資金
節能績效評估結果	1. 受國際認可 2. 具有節能量與節能持續性之保證	1. 無保證 2. 部分無法受國際認可
一條龍的服務	有	無
嚴謹性	有	差
透明性	有	差
一致性	有	差
收款可靠性	可成功收款	不保證完全收款

資料來源：中華民國能源技術服務商業同業公會，2013年12月



資料來源：工研院整理，2013年12月

圖3-7-1 能源技術服務節能績效保證方案節能之收益示意圖



資料來源：工研院整理，2013年12月

圖3-7-2 具有溫室氣體減排交易之績效保證節能改善專案

1. 政策法規面

- (1) 應儘速訂定ESCO產業管理條例，有效管理ESCO產業。
- (2) 應建立強制性節能法規，要求工業製程、住商部門進行節能減碳，擴大節能需求。
- (3) 公共工程採購法應以「最有利標」取代「最低價格標」。
- (4) 擴大節能補助至私部門(如節能潛力較大之商業、工業部門)，增加節能的意願。
- (5) 應建立專責單位，由其負責ESCO產業推動、協助財務融資及技術障礙等。
- (6) 建立第三方公正單位機制。
- (7) 產業發展輔導及獎勵措施。

2. 財務融資面

- (1) 應建立產業循環基金，並交由銀行融資機構運作，作為ESCO永續發展最重要推手。
- (2) 以M&V計畫書做為貸款抵押依據，降低審核的時程，快速解決ESCO資金需求。
- (3) 建立ESCO商業模式(節能分享型、節能量保證型及節能託管型)的數學模型，評估節能專案總收益、回收年限及投資報酬率等風險控管機制。

3. 人才/創新面

- (1) 積極培育訓練ESCO能源檢測(量測與驗證)人才，取得證照並落實證照制度。
- (2) 強化系統整合節能技術，以一次到位全方位節能改善。
- (3) 結合ISO 50001能源管理系統，達到訂定目標，持續改善之目的。
- (4) 結合碳抵換、碳足跡、碳中和增加碳排放交易額外效益。

4. 市場推展面

- (1) 逐步將自願性節能改為強制性節能改善。
- (2) 擴大補助私部門進行節能改善。
- (3) 舉辦節能競賽，獎勵節能優良的廠商及能源用戶。
- (4) 針對各能源用戶進行宣導教育的活動。
- (5) 經濟不景氣時，以獎勵補助措施鼓勵能源用戶進行節能，以提升競爭力。

二、技術發展時程

(一) 推動策略

能源技術服務產業需具備跨領域之節能整合應用技術，且具備多元化應用之特性及異業整合之模式。而推動能源技術服務業則需有系統地經常性及全面性引導全民邁向低碳社會，誘導民間資金、人力及技術投入此新興領域，以有效扶植具有創新、系統整合，創造就業及節能減排之新興行業。

節能技術服務業、節能績效保證專案、節能技術服務及專業人才培訓、節能績效量測驗證機制等工作項目為2009年全國能源會議之建議與共識，希望能透過能源技術服務業發展之策略規劃與行動方案實施，建立優質產業發展環境，並協助我國能源技術服務業之融資流通，培育充足之產業人才，並進而擴大整體節約能源之成效，降低溫室氣體排放。

未來，除持續推動國內應用市場，引導工商產業能源用戶導入能源技術服務業進行節約能源改善工作，提升能源使用效率外，並合作組成能源技術服務聯盟(Energy Service Provider Alliance, ESPA)，積極佈局以爭取海外應用市場。

表3-7-2 國內ESCO技術發展時程

技術項目	短程(~2015)	中程(~2020)	長程(~2025)
節能示範補助	公部門導入ESCO以發展成功之商業模式	配合能源稅開徵，擴大補助至私部門	
建立產業融資體系	擴大ESPC金融業融資規模，設立ESCO產業優惠貸款及產業發展循環基金		
節能績效驗證制度	建立M&V節能驗證程序與文件	推動IPMVP納入節能查核準則	推動訓練合格人員證照制度
人材培訓	培訓M&V種子講師	結合能管人員訓練班建立專業人力	建立績效驗證專業人才庫
國際交流與海外應用	參與國際ESCO活動，建立國際合作交流網絡		引進國外優良節能產品或技術，媒合國內外業者

資料來源：工研院整理，2013年12月

(二) 發展時程

在發展進程中，可分為近、中及遠程目標，如表3-7-2所示。

1. 近程目標

- (1) 推動ESCO服務能量登錄制度，達到能源用戶所需之索引查詢及媒合功能。
- (2) 成立第三公正單位協助用戶及ESCOs鑑定節能機制，以建立能源用戶之信心。
- (3) 促成設備商、工程公司及金融公司之策略聯盟，以提供全方面節能服務並改善產業資金不足之問題。
- (4) 建立公部門建築之能源查核先期診斷評估資料庫，內容應包含節能改善診斷、財務規劃及量測驗證方式。
- (5) 加速PV-ESCO推動，並簡化光電售電申請流程。
- (6) 導入金融或租賃業參與，建立第三方融資模式。
- (7) 加速ESCO職能證照專業人才培訓並建立師資之資料庫。
- (8) 持續辦理技術觀摩會、ESCO說明會或論壇，並進行產業盤點，以掌握產業發展趨勢，以利政策及獎勵措施之研擬。

2. 中程目標

- (1) 訂定公部門長程之能源效率目標，同時配合各行業之事業主管機關(如衛福部、教育部、交通部等)，推動各行業落實節能改善。
- (2) 推動IPMVP成為ISO 50001在節能查證之實務準則。
- (3) 結合能管人員訓練班，強化ESCO業務宣導與節能技術交流研習。
- (4) 參與國際ESCO活動，以鏈結國際大廠並建立國際交流與合作管道

3. 遠程目標

- (1) 訂定能源大用戶長程能效與溫室氣體減量目標，並藉能源查核申報制度進行管考，對未達目標之用戶，要求限期改善。
- (2) 推動ESCO資訊交流平台，引進國外優良節能產品或技術，並協助國內業者爭取海外商機。
- (3) 成立循環基金專案小組，討論成立產業循環基金，降低ESCO財務風險。

三、國內發展現況與成果

國內ESCO產業之核心設備與產品如表3-7-3所示，可概分為空調系統、電力系統、照明系統、鍋爐及燃燒系統、空壓系統、控制設備與變頻系統、環境品質控制等7大類。「臺灣能源技術服務產業發展協會」迄今已累計有83家團體會員與121位個人會員。

「中華民國能源技術服務商業同業公會」成功結合了國內設備供應商、工程施工廠商、工程規劃整合、金融機構與專案管理機構等類型廠商，提供ESCOs服務，會員廠商合計205家。分析目前加入TAESCO及TESA之會員資本額，9成以下低於新臺幣8,000萬元，可見目前ESCO是以中小企業為主力之產業。

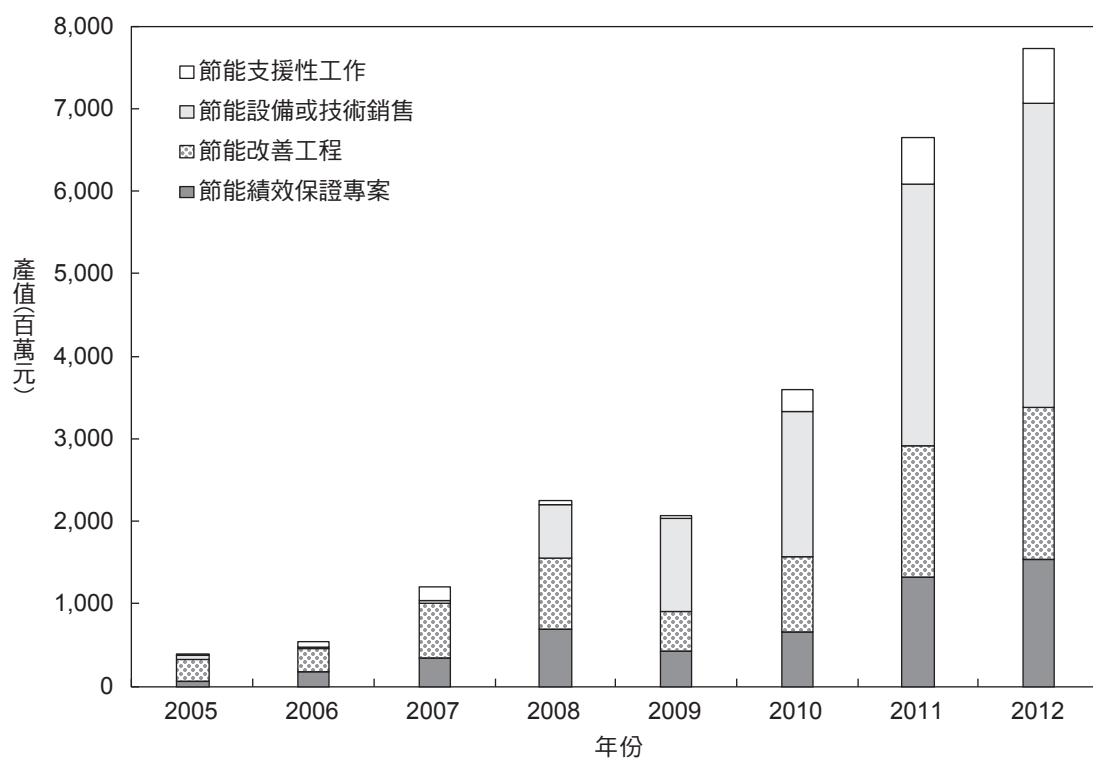
經統計ESCO公會會員，2005年初期產值為新臺幣3.7億元，產業產值每年均大幅度成長，2011年產業產值高達新臺幣66.5億元，較發展初期大幅成長18倍，顯示ESCOs產業在無大環境因素衝擊下，皆穩定成長30~50%，2012年產值達新臺幣77.2億元，如圖3-7-3所示。另依ESCOs產業商業模式承案量調查結果，顯示我國ESCOs業者之承案主要為節能改善工程及節能設備汰換案為主，輔以少量節能績效保證專案，其中ESCOs業者承接節能工程改善或節能設備汰換案承案金額平均每件約為新臺幣120萬元，顯示目前業者改善對象均以中小型能源用戶為主。

表3-7-3 各系統核心技術節能手法

空調系統	電力系統	照明系統
- 汰換老舊主機 - 冰水側運轉最佳化 - 冷卻水側運轉最佳化 - 群組開機最佳化 - 提高冰水出水溫度 - 冷凝器除垢與增加沙濾器 - 冷卻水塔放流水回收 - 採用熱回收外氣空調箱 - 外氣冷能回收 - 充分利用備份空調箱 - 風機及水泵採用變頻控制 - 採用熱回收冰水主機 - 採用儲冰空調系統	鍋爐與燃燒系統	空壓系統
	- 需量控制 - 契約容量最佳化 - 降低變壓器電能損失 - 改善功率因數 - 變壓器合併 - 利用時間電價節省電費	- 採用高效率節能燈具 - 安裝電子式安定器 - 區域燈具啟停控制及自然採光 - 拆除不必要的燈具 - 更新或保養燈管 - 照明環境改善 - 採光隔熱技術 - 採用太陽能路燈
控制設備與變頻器系統	環境品質控制	其他
- 能源管理與系統控制 - 電機變頻控制 - 智慧電錶及雲端系統監控	- 室內空氣品質設備 - 調濕機 - 自動空氣過濾器 - 送風機濾網機組 - 空氣洗滌式空調設備	- 採用高效率空壓機 - 提高空壓機運轉效率 - 降低輸出壓力 - 採用變頻式空壓機 - 空壓機群組開機控制 - 空壓機負載控制 - 降低空氣管路洩漏 - 清潔濾網與過濾器 - 新增並聯設置之過濾器 - 管徑、管件、閥件及接頭之檢討
		- 建築物能源管理系統(BEMS) - 綠建築

資料來源：中華民國能源技術服務商業同業公會，2013年12月

歷年2004-2013年「節能績效保證專案示範推廣」補助專案共計100案件，經統計專案總金額達新臺幣14.10億元、補助款總額新臺幣4.23億元、節能量約為20,295kLOE/年、減碳量約為51,326噸CO₂/年，節省能源費用為新臺幣2.74億元/年。(如表3-7-4所示)，另完成照明節能、熱泵系統、空調冰水機房、壓縮空氣系統、風機系統及冷卻水系統等19項本土化節能績效量測與驗證方法文件之研擬。



資料來源：中華民國能源技術服務商業同業公會，2013年12月

圖3-7-3 國內ESCO產業產值調查

表3-7-4 節能績效保證專案示範推廣補助歷年(2006~2013年)成效

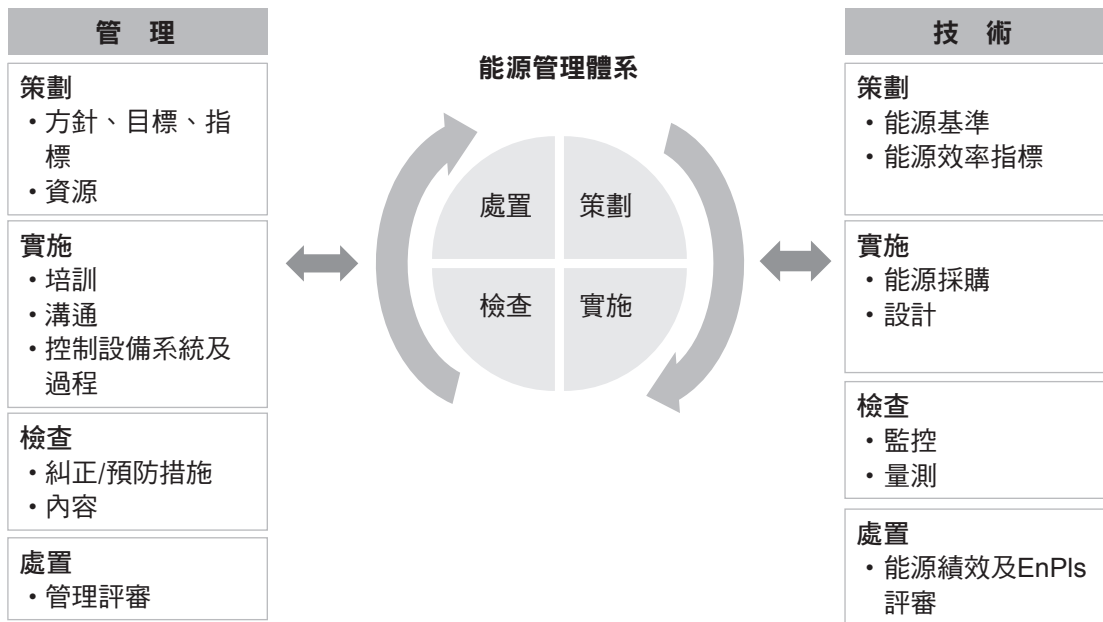
單位類型	家數	專案金額 (億元)	補助金額 (億元)	總節能率 (%)	總節省油量 (kLOE/年)	總節省金額 (億元/年)	回收年限 (扣補助款)
中央行政機關	6	0.58	0.18	44.39	601.32	0.09	4.16
地方行政機關	12	1.65	0.46	57.11	2,119.61	0.25	5.66
公立醫院	17	2.39	0.71	55.64	3,889.23	0.54	3.80
公立大專院校	21	3.57	1.08	58.22	3,707.49	0.56	5.26
公立高中	8	0.59	0.20	49.49	593.87	0.11	4.07
社區	8	0.09	0.04	62.70	253.72	0.03	1.85
服務業	28	5.23	1.55	50.14	9,130.68	1.16	3.46
合計	100	14.10	4.23	53.96	20,295.93	2.74	4.04

資料來源：中華民國能源技術服務商業同業公會，2013年12月

由於全球暖化日趨嚴重，使得節能減碳之議題越來越重要，聯合國工業發展組織邀請ISO組織制定能源管理新標準活動，由2008年2月ISO技術管理委員會建立一個委員會(ISO/PC242)，發展ISO能源管理標準，即ISO 50001能源管理系統，預計ISO 50001將會成為未來各大企業或組織在節能減碳策略下一個重要參考指標。

ISO50001意道在整合技術與管理兩大要素，以達到有效能源管理[3,4]。ISO 50001明確地要求企業建立、實施、維持及改善能源管理體系，透過有效之管理方法來實現能源效益持續改善，並建立一個架構來幫助企業管理能源，如圖3-7-4所示，同時，該標準將建立一個國際認可之標準作業流程來幫助工業、商業以及公共事業單位管理能源供應，包括對能源消耗設備設計和採購、系統和過程測量、文件化和報告等活動。ISO 50001可用於影響能源使用之各個方面，透過ISO 50001能源管理體系可對這些因素進行監控，或對其施加影響。

比較ISO 50001及ESCO專案特性，如表3-7-5示。由比較結果可得知ISO 50001在制度系統之管理較完整，但ESCO專案在技術、資金與量測驗



資料來源：TQV，2013年12月

圖3-7-4 ISO 50001能源管理標準

表3-7-5 ISO 50001及ESCO專案之特性比較

層面	項目	ISO 50001	ESCO專案
法制面 技術面	正式合約	無	在基準線確定後簽約
	節能績效保證	無	有
	持續改善	有	依合約期間之績效保證
	專人負責	最高管理者	依M&V計畫規定
	技術風險	中~高	低
	目的	落實能源管理	節能降成本
	意願	自願性	自願性
	範圍	全公司(或自訂)	依合約約定
	維護/保養	自行負責	可與ESCO簽約
財務金融面	財務面風險	高	低
	資金取得	難，需視公司營運狀況	管道多
	投資效益評估	需要	需要
人才培訓	技術面人才	少(製程節能人才較多)	多
	管理面人才	少	多
	業務徵詢	標準驗證公司	ESCO公會/業者

資料來源：中華民國能源技術服務商業同業公會，2013年12月

證之整體配套較佳。若將2者結合使用，將會得到最佳效益。若單採ISO 50001或IPMVP可得到某種程度之節能效益，然而，若結合ISO 50001與IPMVP進行使用，除了管理面及技術面需求皆可滿足外，還可達到實際節能的最佳效益。因此，利用ESCO結合ISO 50001將為未來ESCO產業發展趨勢之一。

在未來商機部分，隨著溫室氣體排放交易之日趨熱絡，將引起住商及工業製程領域用戶針對各類能源系統如照明、電力、空調、熱泵等進行耗能診斷、效率改善設計、施工及維護保養等，以提高能源使用效率，達到節能與節費之目標，並提升總體之競爭力，而上述服務均為ESCO之項目，預計將可進一步擴大產業之規模並促進成長。

參考文獻

- [1] IEA Energy Technology Perspectives 2012.
- [2] 王余煥, 王聰瑞, 張智閔, 探討臺灣ESCOs產業動態, 臺灣ESCO會訊, 4-6頁, 2012/09。
- [3] http://www.bsigroup.tw/zh-tw/Assessment-and-Certification-services/Management-Systems/Standards-and-Schemes/ISO_50001/.上網時間: 2013/07
- [4] <http://www.gaahkeco.com/Certification/ISODIS50001.aspx>.上網時間: 2013/07

第八節 二氧化碳捕獲封存與再利用

依據國際能源總署(IEA)於2013年9月出版之世界主要能源統計資料顯示[1]，我國2011年能源燃燒CO₂排放總量為264.66百萬公噸，占全球排放總量0.84%，全球排名第23位；每人平均排放量為11.31公噸，全球排名第23位(亞洲排名第10位)。因此CO₂減量為需要嚴肅積極面對問題。依據IEA 2012年對能源技術之減碳貢獻分析[2]，其中二氧化碳捕獲與封存(Carbon Capture and Storage, 簡稱CCS)及再生能源為未來關鍵減碳技術。但若以單一技術而言，CCS為未來最具減碳潛力之技術，且所佔之貢獻百分比，若以大氣溫度上昇至攝氏6度的情境，下降至所期望之大氣溫度上昇至攝氏2度情境，至2050年將達14%，累積貢獻量更達17%，可見其對減碳重要性。而CCS市場預計由2020年開始成長，其中CO₂捕獲將佔CCS成本70%，因此該技術搶佔重點。CCS在電力與工業部門之減量貢獻預測，到2050年燃煤電廠約佔40%，工業部門則佔60%(其中以生質能源轉換、鋼鐵業、水泥業、燃氣電廠、石化與化工業、氣體製造業較多)。而2020年CCS市場50%以上，將來自經濟合作暨發展組織(OECD)國家，到了2030年以後非OECD國家將成為市場主流，預期2050年將佔70%[3]。

CCS係將CO₂從工業製程或化石燃料轉化為能源的過程中分離出來，輸送到一個適當封存地點，使CO₂長期與大氣隔絕，達到降低大氣中CO₂濃度之一種技術。近年來CO₂除了封存以外，CO₂可經直接利用(如增加油、氣的生產量)及轉換成化學/能源產品等，亦引起全球重視，因而將CCS擴增為CCSU(二氧化碳捕獲封存與再利用技術；Carbon Capture, Storage and Utilization)。CCSU鏈結示意圖如圖3-8-1所示。

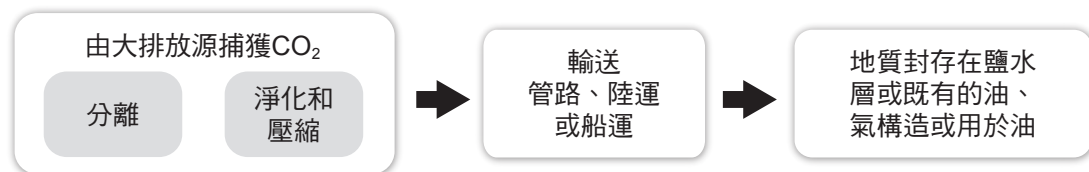


圖3-8-1 CCSU鏈結示意圖

2008年6月行政院通過「永續能源政策綱領」，揭示全國二氧化碳排放減量，於2016年至2020年間回到2008年排放量，於2025年回到2000年排放量的減碳目標。(註：行政院節能減碳推動會已於2010年1月修改全國二氧化碳排放減量，於2020年回到2005年排放量)。然而根據各項減碳措施(節能、淨煤、碳匯、碳權)的統計估算，到了2020年預計仍有47.7百萬公噸差距，因此必須考慮加速CCSU技術在國內發展及應用。

以下就CO₂捕獲、封存及再利用技術之發展目標與策略、發展時程、以及發展現況與成果進行說明。

一、國內發展目標與策略

(一) 發展環境分析

根據我國溫室氣體適當減緩行動(Nationally Appropriate Mitigation Actions, NAMAs)之CO₂減量規劃，2020年CCSU技術將可望扮演1.6%之CO₂減量貢獻，每年約可減少490萬噸CO₂排放。將來隨著CCSU技術大型化與產業化，其對CO₂減排之貢獻會更顯著。

依據產業科技策略會議重要結論與建議指示，我國CO₂減量技術研發定位應在於借助國外技術經驗，建立研發團隊發展本土化技術能量，加強國際合作確保技術與國際接軌，同時宣示我國CO₂減量決心。

國內在CCS相關的產業計有工程設計顧問業、化工機械業、污染防治設備與工程業、水泥業、鋼鐵業、高壓氣體製造業、鍋爐業、工業爐業、電氣機械業、鑽探與採礦業等，皆有相當基礎與能量，具有建立國內CCSU產業之潛力。其中尤以CO₂捕獲產業，與地域環境關聯性相對較低，而與燃燒廢氣之產業特性較有關。因此可拓展至海外廣大市場，特別是在中國大陸與東南亞。

基本上CO₂捕獲廠建構，包含了基本設計規劃、整廠設計與控制、主要捕獲與再生設備製造、淨化系統與空氣分離、熱回收與整合利用等技術。目前國內廠商已具備了整廠設計、設備製造能力；惟較缺乏基本設計規劃與核心關鍵技術能力，應加速技術研發並藉由業界合作參與，以及經濟部CCS研發聯盟架構，將技術授權業者，以建立其基本設計規劃能量。

(二) 發展目標與策略

1. 發展目標

經濟部能源局於2005年完成我國CO₂減量技術因應作法計畫規劃，整合產官學研各界投入減量技術研發，以達成CO₂零成長產業發展環境目標。減量技術之近、中程發展方向，分別為：

- (1) 以捕獲、燃燒改善及二氧化碳再利用技術為研發方向，實際協助業界減低排放量。
- (2) 進行國內地質封存潛能調查與評估，取得後續封存地點及潛能規劃重要資訊。長程發展方向則以將捕獲技術所獲得之CO₂，藉由地質封存方式大量封存，落實低碳能源供給以提高產業競爭力。

我國CO₂捕獲之實施對象以大型固定排放源為主(如電廠、鋼鐵廠、石化廠、水泥廠)，中小型固定排放源為輔；考量國內能源結構及消費型態，捕獲技術發展則以燃燒後捕獲的固體吸附/吸收技術、化學吸收法為優先，如鈣迴路(Calcium looping)捕獲技術、中孔徑矽基吸附材及胺基吸收液；前瞻捕獲技術則以新燃燒技術之化學迴路法為目標。

2030年前完成設置4座800MWe新電廠之CCS商轉廠，可捕獲24萬噸CO₂；另於水泥、鋼鐵與石化等產業，利用CCSU技術可捕獲1千萬噸CO₂。合計每年CCS可減少3,000萬噸CO₂排放。2020年建立二氧化碳捕獲與地質封存商業化規模之能量，捕獲成本降至USD20/tCO₂以下，CCS總成本降至USD30/t之CO₂以下。

2. 發展策略

(1) CO₂捕獲

整合上下游技術投入二氧化碳捕獲關鍵技術之研發及驗證，並建立每小時捕獲1公噸CO₂之捕獲先導試驗廠，同時透過CCS研發聯盟之推動，整合國內產官學研各界之研發成果與能量及國際合作。發展策略如下：

- A. 推動捕獲與封存示範計畫，完成1.9MWt鈣迴路捕獲先導試驗系統與技術建立，規劃於2016-2018年建立30MWt鈣迴路捕獲示範系統。
- B. 籌組產業聯盟，目標市場以發電與水泥業為首要，而石化與鋼鐵業為次要。

C. 進行國際合作，進軍國際市場，與美國OSU、西班牙CSIC進行捕獲技術合作。參與國際示範計畫，以掌握國際趨勢與商機。並以中國大陸與東南亞為境外實施的主要市場，透過台商與當地產業鏈結。

(2) CO₂封存

CCS技術發展最終需以實用化與產業化為依歸，在其正式進入商業化運轉階段之前，必須經過技術研發準備、評估及確認封存潛能、並由小規模CCS試驗逐步放大至中大尺度CCS示範運轉操作驗證等步驟；小規模試驗場之推動可以分為資料收集分析、監測驗證計畫研擬與基線資料建立、注儲中監測、注儲後監測等4個時期，小規模試驗場推動完成後，再進入大規模注儲示範計畫推動。歐美等先進國家已規劃在2014~2020年間啟動CCS技術商業運轉，我國雖起步較晚，藉由本土技術發展及國際合作交流，應可迎頭趕上。

現階段策略係藉由地質封存監測驗證和安全評估技術發展，確保國內先導試驗與示範計畫安全性，同時透過先導試驗展示地質封存技術之可行性，以提升民眾對於二氧化碳地質封存接受度。在經濟部CCS研發聯盟的分工合作架構下，規劃於2013~2015年間由台電及中油公司進行小規模CCS先導試驗，目標注儲量介於1,000至10,000噸之間。

在中期發展策略部分，CCS研發聯盟目標是在2016至2018年完成中尺度CCS示範試驗，建置每年10萬噸級的中尺度地質封存試驗場，於2020年新建或擴建至每年100萬噸級之大尺度CCS地質封存示範場，所需搭配技術發展則以封存長期監測驗證、查核認證與場址關閉後所需相關配套技術為主，期望可以協助建立國內地質封存相關監測驗證產業。

自2025年開始，國內應已具備實施地質封存所需之相關技術與法規框架，可全面展開推動工業級CCS整合計畫，逐步達到數十個百萬噸數量級的減量需求。相關技術則可持續精進，並考慮進行境外CCS技術輸出，擴大產業利基。

3. CO₂再利用

開發CO₂再利用技術需考量我國現有環境發展及產業需求，以不對環境造成額外衝擊且具有附加價值之技術為首選，目前可發展之方向包含：

(1) 石灰石加速風化法，此技術係將煙道氣中之CO₂溶解在水中形成碳酸氫鹽溶液，再與陽離子反應成碳酸鹽類礦物，此石灰石加速風化法雖然

具有成本較低之優點，但仍處在評估階段，且需較長時間來檢視其可能對環境與生態造成之衝擊。

(2) 再利用CO₂之合成技術：利用一般化學方法可利用CO₂合成碳酸脂、尿素衍生物，光化學法可將CO₂轉為甲酸、甲醇、甲烷或一氧化碳，以上幾種產物均為廣泛應用之化合物。CO₂合成技術之關鍵為低成本觸媒與製程開發，並需具大型化應用潛力。

(3) 微藻培養與萃取技術，以現有技術而言CO₂再利用成本偏高，例如以微藻養殖產製生質柴油，但微藻另可衍生高附加價值之產品如EPA、DHA，產生之邊際效益有利於技術發展與推廣。

二、產業技術發展指標與時程

(一) 技術發展指標

國內技術發展指標與時程如圖3-8-2所示，主要技術項目則可區分為捕獲與封存，詳如下述。

技術面	捕獲系統	40 US\$/t CO ₂ 1.9 MWt	30 US\$/t CO ₂ 30 MWt	20 US\$/t CO ₂ 全載商業化	IP布局說明 鈣迴路捕獲系統、懸浮式煅燒爐、水合反應系統、高吸附容量吸附劑、化學迴路系統等。
國際指標		50 US\$/t CO ₂ 30MWt	40 US\$/t CO ₂ 100 MWt	30 US\$/t CO ₂ 全載商業化	
環構完成度		萬噸級CO ₂ 注儲測試(30%)	10萬噸級CO ₂ 注儲測試(70%)	百萬噸級CO ₂ 注儲商轉(100%)	關鍵環構建置問題說明 安全監測、危害風險評估、民眾接受度、CCS法規、碳稅與碳交易法規等。
產業面		CCS研發聯盟 擴大產業參與 美國能源部合作	CCS研發聯盟 組成產業聯盟 引進國際參與	創造設備投資 108億，年操作 成本18億元	產業架構說明 推動CCS示範計畫、推動產業聯盟、發電與水泥業為首要市場。2020年減碳貢獻300萬噸，2025年碳貢獻1,000萬噸、產值達新臺幣千億元等。
政策面需求		1 MWt達成	30 MWt達成	商業運轉達成	
		2014	2017	2020	

資料來源：工研院，2013年12月

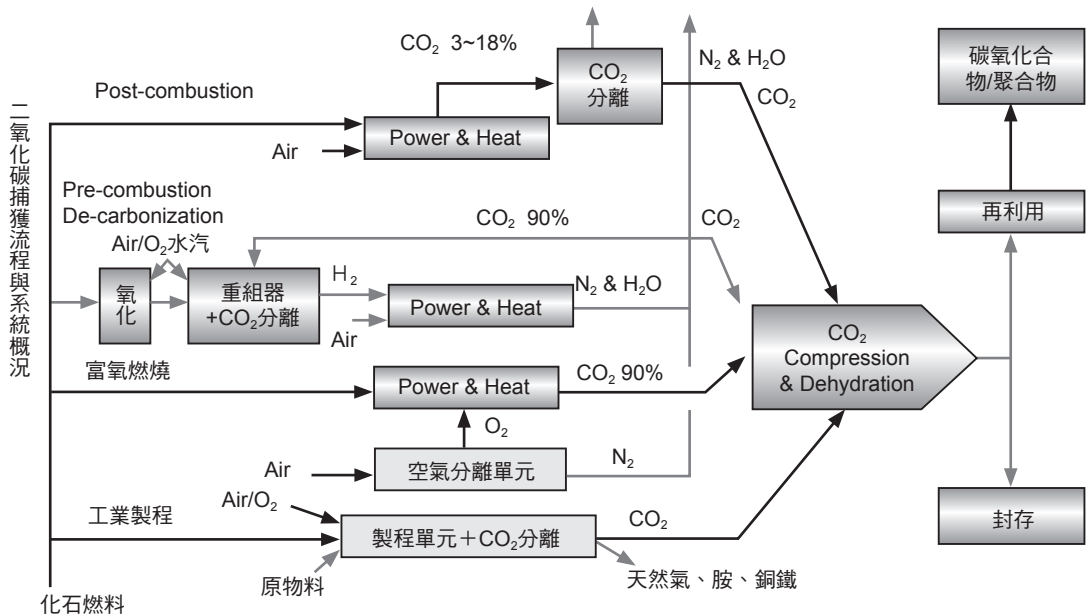
圖3-8-2 國內CCS技術發展指標

1. CO₂捕獲技術

CO₂捕獲技術以能去除90%以上CO₂，為有效CO₂減量技術。較成熟CO₂捕獲分離技術大致可分為物理與化學吸收、物理與化學吸附、低溫蒸餾與薄膜分離程序等。吸附、低溫蒸餾與薄膜分離程序適用於高濃度CO₂與H₂的分離，而吸收程序則適用於煙氣中CO₂捕獲提濃。捕獲路徑依燃燒方式區分為燃燒後捕獲、燃燒前捕獲和富氧燃燒(如圖3-8-3)。

燃燒後捕獲技術主要應用於燃燒鍋爐及氣渦輪發電設施，其優點在於可應用於既有電廠進行機組改裝，導入速度較快。但由於煙道氣體中CO₂濃度低，燃燒後二氧化碳捕獲技術費用偏高，因此現階段研發重點主要集中於降低燃燒後捕獲技術成本。目前燃燒後捕獲技術以商業化之醇胺化學吸收法為主，但成本與能源耗用偏高，其使用也多侷限於油氣產業。

燃燒前捕獲技術以氣化技術搭配CO₂捕獲技術最受矚目，氣化技術係在高溫爐中產生以CO及H₂為主之合成氣，一般係利用水蒸汽與CO反應轉化成H₂與CO₂，再透過氣體分離裝置將H₂與CO₂分離。分離濃縮之H₂可直接用於發電或利用儲氫技術進行其他能源利用，而高濃度之CO₂則可進行封



資料來源：工研院，2013年12月

圖3-8-3 各種CO₂捕獲技術流程[4]

存。目前屬於實驗階段中技術尚包括較具前瞻性薄膜分離法及化學迴路法。薄膜分離技術可用於產氫製程中 H_2 與 CO_2 分離，加拿大、日本和美國等國，將其列為 CO_2 捕獲技術推動策略中重點工作之一。

近年來快速發展化學迴路燃燒或氣化技術，乃利用金屬氧化物提供燃燒或氣化所需之 O_2 來源，以氧化及還原迴路取代傳統燃燒或氣化方式，若用於燃燒時可直接產出高純度 CO_2 ，而用於氣化時則可生產氫氣並同時分離出高純度的 CO_2 。

2. CO_2 封存技術

未來經由 CO_2 捕獲技術所分離出來高純度二氧化碳數量將極為龐大，必須要能長期穩定之儲存並與大氣隔離，以求達到溫室氣體減量之目標。目前國際間發展之 CO_2 封存方式可分為陸地生物封存、礦化封存、海洋封存及地質封存等四類，其中以地質封存方法最為實際可行，我國也以「地質封存」為二氧化碳封存技術發展主軸。

根據IPCC、美國能源部等權威機構的研究指出，可作為二氧化碳地質封存之地下構造包括：(1)耗竭之油氣田；(2)產能不足之油氣田(CO_2 EOR或EGR)；(3)地下煤層；(4)地下鹽水層；(5)地下玄武岩層；(6)地下富含有機物之頁岩層。其中又以地下鹽水層封存潛能最大，油氣田次之。

根據IPCC所整理之全球二氧化碳地質封存潛能評估結果，舊油氣田潛在封存容量約為6,750~9,000億噸，難開採煤層約為150~2,000億噸，而深層鹽水層則約為10,000~100,000億噸，顯示深層鹽水層具有龐大之封存潛能，且受區域性構造限制較小。

(二) 國內技術近期發展重點

1. CO_2 捕獲技術

(1) 鈣迴路捕獲 CO_2 系統

持續將已建立之1.9MWt鈣迴路捕獲先導試驗廠，經由測試與技術驗證，來建立系統可靠度、高效能放大技術能力與自有的專利組合技術，達成30MWt鈣迴路捕獲示範廠之設計目標。並以水合反應程序與新式碳酸化技術提升吸附劑循環效率與碳酸化轉化率，以降低吸附劑使用量，提升系統捕碳容量；並放大應用至大型碳排放源，以熱能整合技術再次提升能源使用效率與產生高價值蒸氣，將捕獲成本降至每噸30美元以下，並推展應用至燃煤電廠。

(2) 先進固體吸附劑捕獲

開發矽基中孔徑吸附材，加強固體吸附劑之熱穩定性及增加反覆再利用次數與壽命，並持續降低吸附材製造成本，同時建立量產技術與捕獲CO₂測試系統，另開發高吸附容量之中空纖維吸附材料及新穎吸附材製備技術。

(3) 化學迴路系統技術

國內於2013年建立30kWt化學迴路測試系統，以移動床系統為基礎，建立氣體燃料轉化率98%與固體燃料轉化率95%之系統技術，並與美國俄亥俄州立大學技術進行合作研究。能源國家型科技計畫中則主要進行載氧體開發，以期降低技術成本。

2. CO₂封存技術

封存之安全驗證與民眾之接受度，為CCS能否施行關鍵。目前主要以建立地質封存潛能評估、基本資料及監測技術及封存傳輸模擬技術等能量，整合建立國內地質安全監測評估技術框架。為強化CCS技術供應鏈，提供地質封存技術之外的額外選項，以分散式封存觀點，亦投入CO₂溶解與礦化封存系統關鍵技術開發，滿足不同產業特性需求。

此外，強化發展封存數值模擬與評估技術，透過國際合作引進新穎監測及風險評估技術，於研發聯盟地質封存前導試驗場址進行驗證並實證本土封存安全性，制定與國際接軌之安全注儲指南，建立國內查核驗證團隊，作為民眾溝通平台之科學佐證，以提升整體民眾接受度。

3. CO₂再利用技術

主要以能源國家型計畫中淨煤主軸計畫進行相關研究，包含培育高光合作用效率之微藻，進行本土及基改藻株戶外栽培，並開發微藻生產生質酒精及異丁醇。另規劃進行捕獲之CO₂直接利用，包括開發超臨界CO₂萃取及作為溶劑之製程，溫室栽培及培育微藻等，對於微藻製得生質能源之技術發展範疇包括：

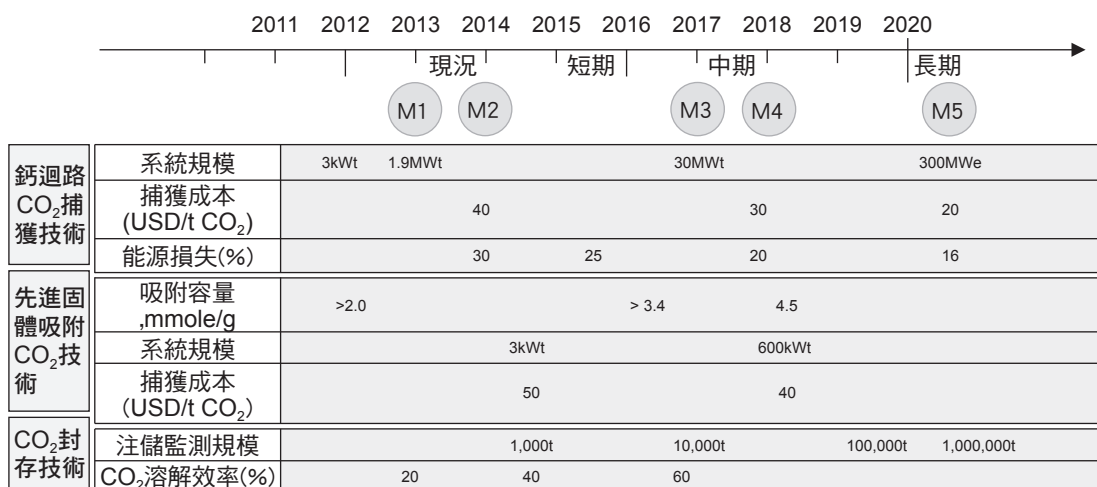
(1) 料源技術：以捕獲之CO₂培育富油脂或高經濟價值之微藻等。

(2) 轉換技術：發展高效率轉換技術，如生物化學、熱化學、超臨界流體等方式，將藻類轉換成能源。

(3) 應用技術：發展可使用生質能源之運輸工具引擎、發電內燃機、鍋爐、燃料電池等應用技術。期能降低對化石燃料之依賴並擴大市場需求，推動商業化進程。另一方面，化學或能源產品之生產亦為發展及方向，化學產品如肥料(尿素)、(聚)碳酸酯、水泥替代物及CO等，能源產品如甲醇、二甲醚等，其中需包含技術、市場、成本等分析。

(三) 國內技術發展時程

經濟部也於2010年1月18日成立「經濟部二氧化碳捕獲與封存技術研發聯盟」，整合部內資源投入相關研發，聯盟成員包括能源局、礦物局、台電公司、中油公司、中鋼公司與工研院等。透過經濟部CCS研發聯盟之整合運作，結合相關單位之技術能量及資源，推動建立CCS示範試驗場並進行示範驗證，強化國際技術交流，並逐步促成商轉應用。



重要里程碑：

- M1：2013年建立1.9MWt鈣迴路捕獲先導試驗廠、2013年建立30kWt化學迴路實驗系統、2012年與中油合作建立油氣構造封存安全監測驗證平台
- M2：2014年建立整合水合系統之鈣迴路捕獲試驗系統、2015年建立3kWt低溫固體吸附劑測試平台
- M3：2017建立30MWt鈣迴路捕獲示範廠、台電合作建立地下鹽水層封存構造安全監測驗證平台
- M4：2018年建立600kWt低溫固體吸附捕獲廠、建立大尺度封存場與安全監測系統
- M5：2020年~建立全載運轉之鈣迴路捕獲廠、建立百萬噸級封存場與安全監測系統

資料來源：工研院，2013年12月

圖3-8-4 CCS技術發展時程及里程碑

規劃發展進程，於2012~2014年間建立小規模CCS先導示範試驗、2016~2018年建立中尺度CCS示範試驗場、2020~2021年建立大尺度CCS示範試驗場，並於2025年逐步達成CCS商轉目標，此與先進國家之技術發展規劃相似，惟時程上更具挑戰性。經濟部CCS研發聯盟的推動策略，在於推動建構國內第1座二氧化碳捕獲與封存先導型示範試驗設施，以作為研發以及國際合作交流技術平台，並據以研究國內尺度放大與CCS商轉之可行性及適切作法，提升國內在二氧化碳減排之國際形象及能見度。技術發展時程及里程碑如圖3-8-4。

三、國內發展現況與成果

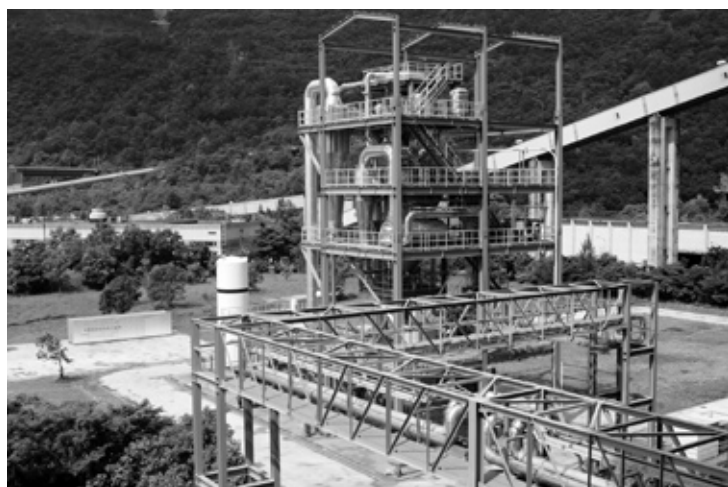
(一) 技術發展現況

1. CO₂捕獲技術

國內已進行CaO迴路捕獲CO₂實驗系統(Bench Scale)之基本設計，鈣迴路捕獲CO₂技術主要以天然礦物石灰石所含碳酸鈣(CaCO₃)先經過高溫850°C煅燒產生石灰(CaO)；CaO再與工業排氣(例如電業、水泥業、鋼鐵業)中所含CO₂反應，進行CO₂捕獲再生成CaCO₃，CaCO₃再進入煅燒爐進行煅燒，此時將捕獲之CO₂釋放出來，釋放出之CO₂經由收集及壓縮後提供進行封存與再利用。圖3-8-5為鈣循環捕獲CO₂技術示意圖。

另亦於2010年興建完成一座3kW之實驗廠，設施主體由氣泡式流體化床與旋轉窯爐所組成。在氣泡式流體化床含12~16%CO₂模擬氣體與CaO粉體反應形成CaCO₃粉體，再將CaCO₃粉體以旋轉窯爐進行煅燒脫附反應，實驗結果顯示捕獲CO₂效率可達98%以上。捕獲技術研發經過多年努力在實驗室已取得相當成果，進一步則需要建立試驗廠系統，並逐步放大示範廠規模，以達到商業化應用目標。

2011年完成1.9MW鈣迴路捕獲CO₂試驗廠的規劃設計，並於業界水泥廠建置此一規模之CO₂捕獲試驗廠。CaO因反覆吸脫附CO₂後會有衰退失活現象，示範系統需要適時補充新鮮吸附劑以維持捕獲效率，並定期排放失活吸附劑，而失活吸附劑又可用來作為水泥原料，該產業製程結合亦有效地降低CO₂捕獲成本[5]。此CO₂捕獲先導試驗廠於2013年5月完工(如圖3-8-5)，2013至2017年進行試驗廠驗證，包括系統可靠度、捕獲效率及捕獲成本；示範驗證期間將累積操作運轉技術能量，收集之數據亦將作為未



資料來源：工研院，2013年12月

圖3-8-5 1.9MWt鈣迴路捕獲CO₂先導試驗廠

來放大設計之重要參考資料。

除鈣迴路捕獲捕獲CO₂技術之外，亦發展中孔徑矽基吸附材(Mesoporous silica-based particles, MSP)，地開發矽酸鈉作為矽源，製備之MSP比表面積約843m²/g，平均孔徑3.4nm。以Tetraethylenepentamine(TEPA)與PEG改質來增加其吸附容量，在CO₂濃度15%條件下，吸附容量可達121mg/g，若增加相對溼度到30%，則可提升吸附容量達206mg/g。與國外技術比較具有相當的競爭潛力，未來將以量產及降低成本為目標。2011年亦已完成每小時1公斤量產機台，2012年建立3kWt測試系統，如圖3-8-6。

目前國內大學進行之能源國家型計畫，主要以清華大學、臺灣大學與臺灣科技大學團隊。與中鋼公司合作進行捕獲量100kg CO₂/day之化學吸收法實驗系統研究，參見圖3-8-7，以及超重力旋轉床捕獲製程開發等，另進行新穎吸附劑與化學迴圈程序(Chemical Looping)等研究。

2. CO₂封存技術

關於CO₂封存方面，自2007年開始進行地質封存基礎研究，2010年擴大為研發與先導試驗兩個發展主軸，第一部份包括「地質封存潛能評估與CO₂傳輸與反應模擬技術發展」以及「CO₂注儲與封存監測技術發展」，其



資料來源：工研院，2013年12月

圖3-8-6 中孔徑矽基吸附材量產與吸附系統



資料來源：中鋼公司，2013年12月

圖3-8-7 業界100kg/天二氧化碳捕獲實驗系統

發展策略在於建立自有技術，自2013年開始，由於搭配大型國際合作，研究內容擴增納入「風險與長期穩定性評估」之研究項目；第二部份為「CO₂注儲與地質封存先導試驗」，由台電公司及中油公司進行，預計在2014~2017年間開始進行注儲試驗。

2009年6月啟動之「能源國家型科技計畫」，其中封存技術研發重點在於建立本土化量測、監測、驗證技術及功能安全評估技術，研發策略則以透過小規模示範試驗計畫作為本土技術團隊技術研發及驗證，同時作為國際合作之平台。2011年啟動的淨煤主軸計畫，初步規劃於2010至2020年促成建造完成年儲存100萬噸二氧化碳封存示範設施(約200MW燃煤廠二氧化碳年捕獲量)，並預計2040年擁有年封存1億噸以上二氧化碳地質封存能力。

(1) 場址與封存潛能評估

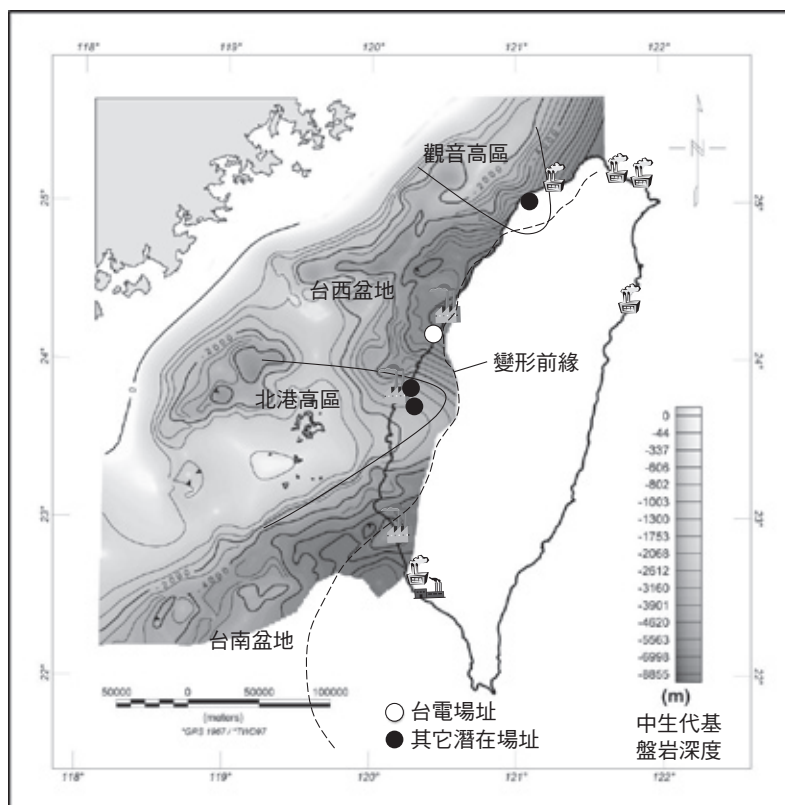
於2007~2009年進行區域性最適地質封存場址評估分析，綜整臺灣西部地區中油公司歷年探勘成果，並於重點地區進行補充調查，研究成果顯示臺灣西部深層地下鹽水層的穩定區塊分布在重力基盤高區附近(圖3-8-8)，具經濟效益最大注儲深度約3,000公尺。

另外亦初步針對臺灣西北部潛在場址，透過大地電磁探測及反射震測所獲得資料，並彙整中油公司歷年鑽探與反射震測成果，掌握其主要地層結構及特性，建立地質概念模型，並進行潛在封存量綜合評估。整體篩選考量的條件包括：潛在封存系統地層深度及厚度分布，地質封存潛能，並搭配區域構造及穩定性進行綜合探討。此外，台灣中油公司之耗竭或產能大幅下降之油氣田，亦可作為二氧化碳地質封存選項之一，或作為小尺度或中尺度封存試驗場址。

為了進一步提升封存潛能評估技術的實用性，將數值模擬技術應用於區域及場址尺度之潛能評估問題上，不僅針對臺灣西部進行百萬網格等級數值模擬，確認臺灣西部深層地下鹽水層注儲能力，也針對油氣背斜構造場址進行封存潛能評估，建立完整評估模式。

(2) 監測驗證

二氧化碳注入封存地層後，受注儲壓力與溶解機制之驅動，加上其密度小於水體，故會向上方及四周移棲，如何監測二氧化碳團塊的移棲行為，是二氧化碳地質封存中極為重要課題。一般習用於場址基線調查及油



資料來源：工研院，2013年12月

圖3-8-8 臺灣地區適合地質封存之穩定地質區域分布圖

氣產業之直接或間接之地球物理監測技術，如電測、電磁測勘、垂直震測剖面、跨孔震測、多時三維震測、多時重力測勘、以及地表變形等均曾應用於監測CO₂團塊注入儲集地層中移棲現象；環境監測部分則多採用空氣、地下水、及土壤氣體採樣分析技術。由於地質特性多有不同，加上對監測資料精度要求，國際間仍持續在開發及測試新監測與資料解析技術，預計新近發展地球物理併合成像技術、微震監測與剪力波分離技術在此方面將扮演重要角色。

欲掌握地層構造與二氧化碳團塊移棲行為，以「反射震測」與「大地電磁測勘」為常用探測方法，惟前者對地質構造的解析力高，但對地層含水與否之解析較不敏感，而後者對地層含水量敏感度較高，對構造解析則不如前者。因此併合「反射震測」與「大地電磁測勘」資料進行層析成像

研究，可以結合二者優點，提高對深層構造與二氧化碳移棲監測準確度。目前已建立三維併合成像技術，提升對地層構造與特性的解析度，並以北部大屯山區之微震資料及大地電磁探測資料進行演練，建構出比傳統資料處理技術更合理震央分布及三維速度與電性構造。

關於「微震監測技術」即是透過適當場域觀測站佈置，連續記錄因天然地震或注儲可能產生之微小震動訊號，經由適當的資料處理技術來精確掌握震源空間分佈。這項技術在注儲前可用來瞭解注儲區域內岩體結構，提供如既存斷層或裂隙位置；在注儲期間及注儲後，則可用於監測是否所注入的二氧化碳團塊是否改變了地底壓力，而引發岩層破裂及其空間分佈，做為即時調整注儲策略決策參考。

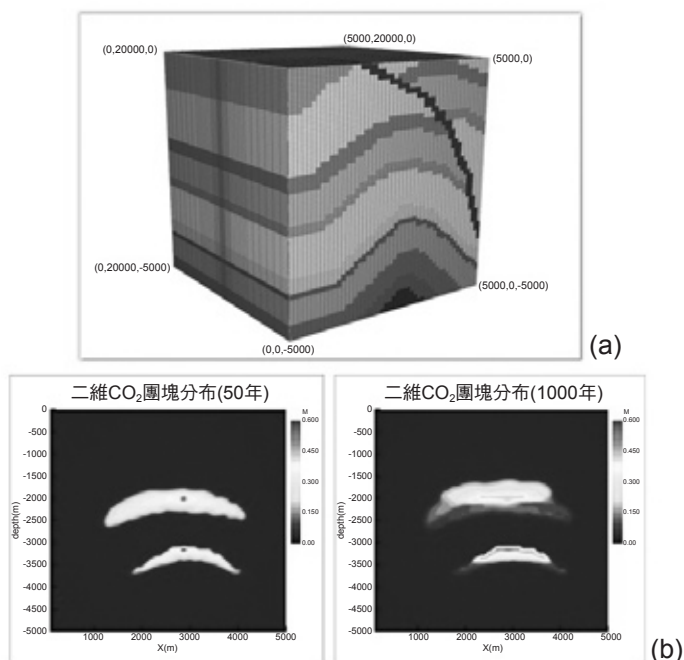
二氧化碳注儲前後監測數據，為證明地質封存安全重要關鍵參數，目前已於潛在注儲場址建立固定監測站作為技術發展平台，並設置土壤氣體、微震、淺層地下水、氣象站，整合資通訊技術即時傳送至雲端資料庫，建立監測機制。現階段可蒐集場址長期監測數據，在未來實施注儲試驗後可進行比對，證實二氧化碳可安全有效封存於地底下。在未來注儲期間，倘若發現任何異常徵兆，監測系統則可迅速獲知並通報以供採取適當反應措施。

自2013年起，國內與美國能源部能源科技研究實驗室國際合作，引進先進二氧化碳地質封存監測技術，並將於國內適當地點進行實地技術演練，預期將可提升在監測驗證技術上的整體能量，確保二氧化碳注儲試驗的安全無虞。

(3) 風險與安全評估

本項技術發展主要透過地質封存傳輸模擬與地球化學模擬技術，探討未來二氧化碳注儲後之移棲行為及可能發生之化學反應。在傳輸模擬方面，已利用FEHM與TOUGH2程式，以臺灣西北沿海盆地為假想注儲標的，進行CO₂封存數值傳輸模擬與地球化學反應模式模擬案例分析。在場址尺度模擬部分，亦建立潛在注儲場址的三維地質模型，如圖3-8-9(a)，並針對其內的二氧化碳移棲特性進行模擬，如圖3-8-9(b)。

自2013年起，配合與美國能源部能源科技研究實驗室之國際合作，規劃引進二氧化碳地質封存風險評估及衍生策略式監測技術，利用美國碳封存夥伴聯盟實務經驗，協助建立我國風險評估整體框架，預期對於場址營運及未來長期運轉預測有相當助益。



資料來源：工研院，2013年12月

圖3-8-9 潛在注儲場址地質模型與數值模擬成果

台電公司於2008年委託中興工程顧問公司進行臺灣二氧化碳地質封存潛能與候選場址評選，2010年則進一步針對中部濱海地區先導試驗候選場址進行調查研究。另為探討封存地層之注儲材料特性試驗，亦委託中興工程顧問社辦理二氧化碳與水之二相流試驗技術與相關設備建置計畫。中油公司則透過既有油氣田探勘與生產所累積之陸域深鑽井資料，進行二氧化碳地質封存評估工作，2011年6月也與Schlumberger公司合作，評估與規劃未來利用枯竭油氣田進行二氧化碳灌注先導試驗工作。

2010年開始執行之能源國家型科技計畫「臺灣二氧化碳地質封存研究」，由中央大學地球物理所、成功大學地球科學系所、成功大學資源工程系、中正大學地球與環境科學系所等單位共同辦理。該計畫對陸域與海域地質封存進行相關研究發展，目前與2011年起執行之國科會淨煤主軸計畫平行進行，2012年已逐步整合併入淨煤主軸計畫執行，以發展國內地質封存所需技術。依據各單位之研究，初步歸納國內具封存潛力之區域及其有效封存量評估結果如表3-8-1所示。

表3-8-1 國內CCS地質封存初步評估封存量

評估單位	台電	中油	中央大學	工研院
場址名稱	臺西盆地	陸域14個油氣構造	1. 臺北桃園區 2. 新竹苗栗區 3. 臺中彰化區 4. 雲林嘉義區 5. 高雄臺南區之濱海開放鹽水層	臺灣西部海域之前陸盆地，範圍涵蓋桃園縣至彰化縣濱海區域。
評估方法	美國能源部之概念+GIS單元網格法	美國能源部之概念	美國能源部+蒙地卡羅模擬(MCS)	美國能源部+ MCS，參考CSLF
估計封存量(億噸)	37	28.29	136~953	90~680

資料來源：工研院，2013年12月

3. CO₂再利用技術

目前國內進展以微藻最具成效，包括：台電公司於大林電廠建立20噸的微藻養殖光生物反應器，如圖3-8-10，並進行微藻多目標利用研究。中鋼公司已建立1.2噸的光生物反應器，每年每公頃可固定160噸CO₂，如圖3-8-11。業界亦結合碳捕獲先導試驗廠，規劃3噸微藻養殖光生物反應器。雲林縣環保局委託中興大學，亦將結合固體吸附CO₂實驗廠，進行微藻固碳實驗。



資料來源：台電，2013年12月

圖3-8-10 台電微藻養殖光生物反應器圖



資料來源：中鋼，2013年12月

圖3-8-11 業界微藻養殖光生物反應器

(二) 推廣應用成果

國內開發CO₂捕獲技術已有很好的成效，將對我國CO₂減量與產業形成有極大助益。下一階段在經濟部CCS研發聯盟架構下，結合水泥、石化、造紙、鋼鐵、氣體等產業，以及大型工程與工程顧問公司，將以30MWt示範廠之規劃設計為目標，共同朝商品化技術發展，以加速捕獲技術產業化。預期推廣應用成果如下：

1. 鈣迴路捕獲二氧化碳技術，建立1.9MWt鈣迴路捕獲二氧化碳技術，每年減少2,000~5,000噸CO₂排放，將於2017年建立30MWt鈣迴路捕獲二氧化碳示範廠，每年CO₂減少貢獻達6萬噸。預期2020年放大應用至水泥廠，每年CO₂捕獲量達3百萬噸。2025年起水泥廠、鋼鐵廠及石化廠每年可減量1千萬噸CO₂。
2. 建立30kW直接煤炭化學迴路(CDCL)示範測試系統，並建立領先國際之測試操作平台，供國內持續投入技術改良與系統商業化放大之研發。
3. 建立本土化先進場址監測與驗證技術，建立地質封存模擬與風險評估技術及案例。完成注儲場址關鍵層析成像先進技術發展，達成研發聯盟先導試驗場址併合逆推驗證。提供CO₂減量有效選項，降低國內產業受到CO₂排放總量管制所帶來之衝擊，提升產業國際競爭力。

參考文獻

- [1] International Energy Agency (IEA), 2013, "CO₂ Emissions by Fuel," 2013 Key World Energy Statistics, pp 48-57.
- [2] International Energy Agency (IEA), Energy Technology Perspectives 2012.
- [3] International Energy Agency (IEA), 2013, Technology Roadmap Carbon Capture and Storage.
- [4] IPCC第三工作組(2005) "CO₂捕獲和封存"，政府間氣候變化專門委員會研究計畫，ISBN92-9169-519-X。
- [5] 徐恆文，2013，"CO₂捕獲技術在工研院的發展"，汽電共生報導第77期。