

利用高雄捷運機廠發展太陽光電發電成果及未來展望

陳存永 | 高雄市政府捷運工程局局長

林仁生 | 高雄市政府捷運工程局科長

簡聖民 | 高雄市政府捷運工程局股長

陳建池 | 高雄市政府捷運工程局幫工程司

投稿日期 103 年 5 月 26 日

摘要

高雄捷運營運路線為紅、橘線交叉之十字路網，於 2001 年開工，2008 年 9 月紅橘兩線全線完工通車，另 2012 年 12 月紅線 R24 南岡山加入營運，紅線由南岡山至小港，橘線由西子灣至大寮，兩線長度共約 42.7 公里，設有 38 座車站及 3 座機廠。通車營運初期平均日運量約 14 萬人次，近年來透過各種提升運量之方案，市民搭乘大眾捷運之習慣逐步養成，旅運量維持持續成長，至 2013 年平均日運量約 16 萬 6 千人次，全年計有 6070 萬人次搭乘捷運。

高雄市配合中央政府發展再生能源的政策，近年極力推動太陽能光電系統，高雄捷運公司除經營大眾運輸外，亦藉由開發附屬事業來配合中央再生能源政策及市府光電城市之規劃，出租三座機廠屋頂加裝太陽能板，同時亦增加營運收入。三座機廠之太陽光電已設置容量為 3570KWp，後續仍有 828KWp 進行設置作業申請中。興建中串連亞洲新灣區的高雄環狀輕軌捷運系統，輕軌機廠亦將設置 164KWp 之太陽能光電系統。本文將就上述高雄捷運三座機廠及高雄環狀輕軌機廠所設置之太陽能光電系統作簡介，並探討其節能、減碳之整體效益。

關鍵詞：高雄捷運機廠、太陽能光電系統、高雄環狀輕軌、機廠、開發附屬事業

Solar photovoltaic power generation plant from Kaohsiung MRT maintenance depot development results and future prospects

Chen, Tsun-Yung | Director-general, Kaohsiung City Government Mass Rapid Transit Bureau

Lin, Ren-Sheng | Section Chief, Kaohsiung City Government Mass Rapid Transit Bureau

Chien, Sheng-Ming | Subsection Chief, Kaohsiung City Government Mass Rapid Transit Bureau

Chen, Jian-Chr | Assistant Engineer, Kaohsiung City Government Mass Rapid Transit Bureau

Abstract

Kaohsiung Mass Transit system is formed by orange and red lines in cross shape. The orange line is a west-east line. It starts at National Sun Yat-sen University from the west, and ends at Talião at the east. The total length of this line is 14.4 km, and it includes 14 stations, 1 main depot, most of which are underground except OT1 station.

The red line is a north-south line. It starts from Chiaotou in the north, and ends at Linhai Industrial District in the south. The total length of this line is 28.3km, of which 19.8km are underground, and 8.5 km are elevated. This line has 24 stations and 2 line depots.

The total length of Orange and Red Lines is 42.7 km.

The average daily ridership was 140,000 at initial stage. It was increased to 166,000 and around 61 million totally in 2013 because of promotion and people being aware of the benefit and using public transportation.

Not only central government promotes renewable energy and also Kaohsiung city government, especially solar PV system. Kaohsiung city government supervises

Kaohsiung Rapid Transit Cooperation (KRTC) operating Kaohsiung mass transit system and also urges Kaohsiung rapid transit Corporation to build and operate solar PV system through development and ancillary business to promote renewable energy policy and city planning of solar PV city. KRTC leased three depots to retrofit with solar panels on the roof and increased its operating income. Three maintenance depot of the solar photovoltaic power capacity has the capacity of 3570KWp. There will be 828KWp to add in the system and the application is in process. The Kaohsiung Circular light rail system around Asian New Harbor is now under construction. It is planned that 164Kwp solar PV system will be built at maintenance depot. This is an article on the solar PV systems of the Kaohsiung MRT's three depots and it explores the overall efficiency of its energy-saving and carbon reduction.

Keywords: plants, solar PV systems, the Kaohsiung MRT system in Kaohsiung
annular light rail, depot, the development of subsidiary undertakings

壹、太陽光電發展歷程

一、地球暖化的事實

全球氣候異常，極端天候事件頻傳，讓尼加拉瓜大瀑布變為冰柱的極地渦流，亦可能是大氣環境失去平衡所造成的氣候異象使北極極地旋渦可以向南深入，導致這股寒流影響範圍擴大。由聯合國最近發佈最新版的氣候變遷評估報告，斷言人類活動就是造成氣候暖化的元兇。而如果持續排碳下去，最糟的情境是在本世紀末升溫 4.8°C ，海平面最糟會上升 82 公分；比前一次（2007 年）評估升溫最多 4°C 、海平面最多升高 60 公分的結論還要不樂觀，預估結果如表 1 所示。

表 1 氣候變遷造成環境變化

	2007 評估 (AR4)	2013 評估 (AR5)
21 世紀末升溫 (與 20 世紀末相比)	最糟情境是 4°C	最糟情境是 4.8°C
21 世紀末海平面上升	最多升高 60 公分	最多升高 82 公分

■根據 2007 年第四份報告 (AR4) 的衝擊評估，如果全球升溫 $4\text{--}5^{\circ}\text{C}$ ，全球有 32 億人面臨缺水危機，並極有可能爆發區域性的糧食短缺。

■國科會 2011 年研究，如果台灣在 2090 年升溫 3°C ，冬季平均雨量減幅最高恐達 22%，夏季平均雨量最多會增加 26%。

資料來源：永續公共工程入口網。

發表報告的聯合國單位是 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)，9 月 27 日發表的最新報告《2013 氣候變遷：物理科學基礎》，第五版評估報告 (Assessment Report 5，簡稱為 AR5) 的第一冊，提供了氣候變遷科學的重要內容，氣象專家、天氣風險管理開發公司總經理彭啟明說明，在第五份評估報告中，預估了 21 世紀初期、中期和末期的氣候變化狀況，本報告關鍵內容概述如下：

1. 人類確實對氣候系統有所影響，在全球大部份地區都是如此。
2. 愈來愈多證據顯示，人類影響極有可能是造成 20 世紀中葉以來暖化現象的主要因素。這得自於更多和更佳的科學觀察、人們對氣候系統的回應更為了解、以及更進步的氣候模型。
3. 氣候系統暖化是明確的事實，從 1950 年以來，氣候系統的所有層面都可觀察

到過去數十年來、甚至數千年以來從未有過的變化：大氣與海洋變暖、雪冰減少、海平面上升、溫室氣體濃度增加。

4. 過去 30 年中，每 10 年的地表溫度都在持續變暖，都比 1850 年以來的每一個十年均溫更暖。過去 30 年也是地球近一千來以來最熱的 30 年。
5. 人類使用化石燃料與開墾土地所排放的溫室氣體，累積下來已使全球自 1880 年來增溫 0.85°C 。
6. 有相當大的可能性，海洋暖化是氣候系統儲存能量最主要的地方，1971~2010 年間累積的能量，計有 90% 儲存在海洋。
7. 依據最新氣候模式推估，若是人類對溫室氣體毫無管制的情境，到本世紀末全球均溫恐升溫 4.8°C 。
8. 地球暖化下，可以預期目前的濕潤地區雨量會增加、乾旱地區雨量則會更少。

經由科學評估發現，大氣和海洋在暖化、冰雪減少、地球平均海平面上升、而溫室氣體的濃度還在上升。持續排放溫室效應氣體，會造成地球氣候系統持續變暖、以及氣候系統各層面的變化。海洋會持續變暖，冰河和冰床會減少、全球平均海平面還會升高，速度會超過過去 40 年來我們所經歷的。顯然節能減碳已是世界各國迫切需面對的重要課題，要抑制氣候變遷，需要大量、持續的溫室氣體減量努力。如何減少因發電所需之化石燃料所排放的溫室氣體，進而發展再生能源的發展也日受重視。

二、再生能源的運用—太陽能源

根據 2011 年英國石油公司（BP）能源統計顯示，以目前的開採速度，石油尚有 46.2 年的可開採年限，天然氣尚有 58.6 年，煤炭具有最長的 118 年可開採年限。依台灣電力公司統計 102 年底發電量 2,134 億度，其中燃煤佔 38.4%、燃氣佔 31.1%、核能佔 18.8%、再生能源佔 4.5%、汽電共生佔 3.4%、燃油佔 2.3%、抽蓄佔 1.5%。隨著經濟成長，發購電量亦有所增長，以 96-102 年間為例，發購電量就成長了 1.18%。燃燒不同化石燃料需由不同類型的火力發電機組來燃燒供電，也產生不同的碳排放量，例如：燃煤機組 CO₂ 碳排放係數為 0.929 公斤/度，燃油機組為 0.780 公斤/度，燃氣復循環機組則為 0.432 公斤/度。

能源是國家發展及推動經濟的基本動力，豐沛的能源對人民生活及國家安全

極為重要，而台灣因天然資源貧乏，能源幾乎完全仰賴進口，只要國際能源情勢變遷便極易受到影響。因應氣候變遷，各國莫不積極地推動節能減碳行動，大幅改用太陽光電、太陽熱能、風力發電、水力發電等再生能源。因利用再生能源發電不需燃料也不會排放二氧化碳，故近年來被大力推廣。台灣地區因為陽光充沛，日照充足，具備良好的太陽光發電條件，因此太陽光發電為最具發展潛力的再生能源，亦為兼顧環保、生態之潔淨發電方式。太陽光能源分佈涵蓋全球，是一個乾淨又不被壟斷的能源可安全無虞的供應到任何地區，且太陽光電發電系統若不設置追蹤陽光之裝置，則無機械轉動設備，維護容易，可單一區域設置大發電容量或分散區域設置小發電容量結合為大發電容量，具極大的系統架構彈性，因此太陽光電發電佔再生能源中的比例逐年增加。

陽光是地球能量的主要來源，直接暴露在陽光下的每單位面積接收到的能量，其值約相當於 $1,368 \text{ W/m}^2$ ，陽光經過大氣層的吸收後，抵達地球表面的陽光約有 $1,000 \text{ W/m}^2$ 。太陽能量以各種型式被儲存或運用，例如：天然合成的過程，光合作用讓植物以化學的方式從陽光中擷取能量，即時以氧的釋出和碳化合物的減少來呈現太陽能量的運用、光合作用長大的植物在地底長時間的高壓碳化轉換後以原油、煤礦和其它化石燃料的能量來儲存、直接加熱或使用太陽光電模板轉換成電被使用等型式。

太陽光每天到達地面的能量遠超過全球人口的能源所需，每日的太陽光所傳遞之能量約為全世界石油蘊藏量的 $1/4$ ，太陽之光與熱，隨著人類科技的進步，逐步被研究、探討如何將不會產生環境污染的太陽能轉換成可儲存、自由運用之能源。早在 1839 年法國物理學家貝克勒爾所發現的光伏效應開始，1954 年，美國貝爾實驗室研製出 6% 的實用型單晶矽電池太陽能利用領域才有了重大技術突破，隔年以色列 Tabor 提出選擇性吸收表面概念和理論並研製成功選擇性太陽吸收塗層。這兩項技術突破，將太陽能轉換成可儲存、自由運用能源，奠定了技術基礎。1970 年因應能源危機開始發展太陽光發電系統地面應用，1990 年藉由電子電路及太陽光發電系統技術成熟發展，開始了太陽光電發電與電廠發電電力併聯之路，1992 年起歐美、日各國推動太陽光電發電補助獎勵，由於優厚補助之時產生的高毛利吸引眾多廠商投入生產太陽光電產品，至 2011 年歐洲佔全球市

場規模達 75%。

三、太陽光電簡介

太陽電池可以將太陽能轉換成電能。其基本原理係為光伏效應，主要係將高純度之半導體材料加入一些不純的物質，使其呈現不同的性質。例如在矽中加入硼可形成 P 型半導體，加入磷可形成 N 型半導體，在將 PN 兩種半導體相接合，形成太陽電池。當太陽光照射時，太陽電池吸收 $0.2\text{ }\mu\text{m}\sim 0.4\text{ }\mu\text{m}$ 波長的太陽光，攜帶足夠能量之光子(photon)，將可破壞晶體共價鍵而激發出電子與電洞，帶負電的電子朝 N 領域(表面)移動，帶正電的電洞往 P 領域(裡面)移動，導致半導體中有電流流過形成電動勢。若矽板(太陽電池)與負載串接時，將產生電流通過，提供電力。

將小片的矽板(太陽電池)串、併聯後成為太陽光電模組。至於太陽光電模組之面向與傾斜角之決定，因台灣位於北半球，太陽經東方升起經南方天空於西方落下，所以太陽光電模組面向南方設置。另，太陽光電模組以所在緯度當傾斜角可得最佳之效率輸出，所以傾斜 23.5 度為最佳，上述原理彙整如圖 1-1 所示。簡單的說，太陽光電的發電原理，是利用將光能直接轉變成電能輸出的一種發電方式，當外部的電路被接上時，就會產生電流。

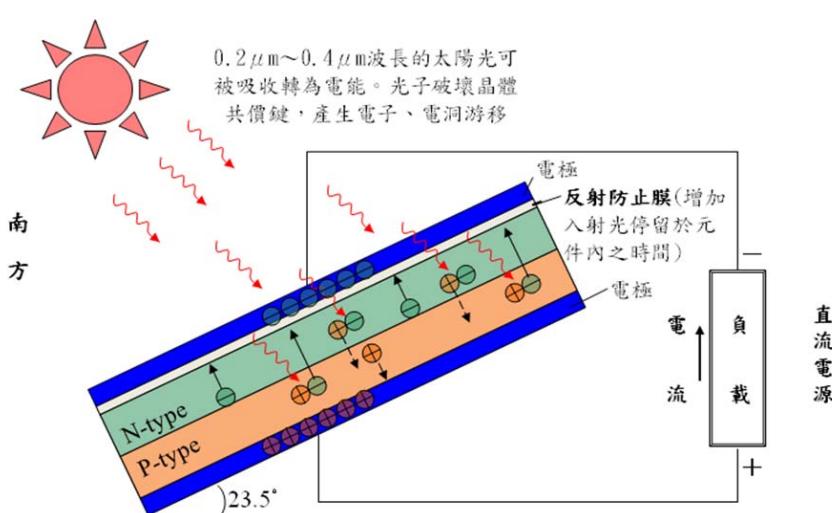


圖 1 太陽光電的發電原理

太陽能熱水器主要應用是利用集熱裝置吸收太陽的輻射能，不涉及光電轉換程序。太陽光電模板則是一連串的光電轉換步驟，與太陽能熱水器相反的是太陽光電模板溫度每增加一度，太陽光電模板之效率將降低約 0.4%，太陽光電模板開路電壓與溫度成反比，短路電流與溫度成正比，兩者相乘後所得功率隨溫度成反比，所以發展太陽能光電系統應有良好的散熱設計。

不同種類(材料)的太陽電池，被不同頻率的光照射，所產生的效率會不一樣系統。就市面上來講最常出現的是：單晶矽，矽純度較高，結晶時間較長結構較為完整穩定，光電轉換效率較高壽命較長，售價較貴。多晶矽，矽純度較低，結晶時間較短結構較差，光電轉換效率較低壽命較短，售價較便宜，但因二十年使用後光電轉換效率僅衰減不到 20%，因售價較便宜，所以廣為使用，高雄捷運三座機廠及高雄環狀輕軌機廠所使用之太陽光電模板即為此型。非晶矽(薄膜)，其優點在於因為具有可撓性可以製作成非平面構造其應用範圍大，可與建築物結合或是變成建築體的一部份成本低，但其壽命衰退，轉換效率低等缺點，亦適用小型電力在計算機或玩具。在可見光波段和其吸收範圍甚廣。以目前太陽光電發電系統中應用最為廣泛「矽」為基底之太陽能電池種類綜整如表 2 所示。

表 2 「矽」為基底之太陽能電池種類

太陽電池種類		半導體材料	市場模組發電轉換效率
矽(硅) silicon	晶矽 Crystalline	單晶矽 Single Crystallin	12~20%
		多晶矽 Poly Crystallin	10~18%
	非晶矽 morphous	Si、SiC、SiGe、SiH、SiO	6~9%

資料來源：太陽光電資訊網

以一片多晶矽 230W 太陽光電模板為例，外型尺寸 1650mm(H)×990mm(W) × 45mm(T)，重約 20 公斤，總面積為 1.6 m²，單位面積輸出功率約 104W/m²，光電模組轉換效率 14%，在溫度 25°C、太陽輻射 1,000 W/m² 條件下，太陽光電模板在吸收日光後，依式 1-1 可得最大產出電能為 224W (最大運轉直流電流約 7.5 安培、最大運轉直流電壓約 30 伏特)。

$$W_p = G \times A \times \eta \quad (式 1-1)$$

W_p ：太陽電池發電量(w) G ：全天空日射量(w/m²)

A ：太陽電池面積(m²) η ：光電模組轉換效率(%)

由於太陽電池產生的電是直流電，若以 10 片太陽光電模板串接後來計算，串接後的電壓可能達 300 伏，產生 2.3KW 電能。因此若需提供電力給家電用品或加入台電併聯系統售電，則需加裝直／交流轉換器，將直流電轉換成交流電，才能供電。

四、太陽光電發電系統的供電方式大致可分以下三類型：

(一) 獨立型太陽光電發電系統

此類型是指由太陽光電發電系統於日光充足時供給負載或對蓄電池充電以備日照量不足時使用，亦可併聯柴油發電機等其他發電設備使用並不與市電作併聯，屬獨立存在之系統。適用於無市電的地方亦能供電給負載，例如：高山、離島、偏遠地區等市電無法到達的地方；缺點是需搭配蓄電儲能設備且供電可靠度較差。

(二) 市電併聯型太陽光電發電系統

市電併聯供電是將太陽光電發電系統併入市電系統中，電力供應為雙向式。白日所發的電除自用外，多餘的電可儲存於蓄電池或售予電力公司，不夠的電則由蓄電池或電力公司供應。因推廣太陽光電政策使然，目前併聯型太陽光電發電系統所發的電能，電力公司收購價錢較售電的價錢高。所以，目前民間設置市電併聯型太陽光電發電系統產生之電力，多數係以發電量全額躉售予台電之方式，以儘早回收太陽光電設置成本進而獲利，高雄捷運三個機廠亦屬此系統。此系統之優點在於供電可靠度佳；缺點是控制較複雜且發生故障時問題較大、較難處理。

(三) 緊急防災型太陽光電發電系統

此類型為獨立型與併聯型之混合，太陽光電發電系統和市電及蓄電池搭配，平時與市電併聯發電，並供負載及充電，夜間由台電供電。如市電電力中斷時，仍有足夠的蓄電池可以安排救災，並等待市電回復。適用於有防災需求之公共設施，平時併聯發電、效率高、利用率高、夜間由台電供電。視需要建置足夠之防災用電池，長時間停電時白天太陽光電發電系統發電供負載並充電、夜間由電池

供電，適合作為救災用電力來源。

貳、國內太陽光電裝置趨勢與政策

依據中央氣象局統計資料，高雄 2011 年平均天空日射量 $1476(\text{kWh}/\text{m}^2)$ 在考慮模組設置方位角、傾斜角及系統性能比後，推估年平均發電量 $1275(\text{kWh}/\text{kWp})$ ，另外在台中、嘉義、台南、恆春、台東、澎湖等地預估之年平均發電量均達 $1275(\text{kWh}/\text{kWp})$ 以上，台灣發展太陽光電就太陽日照這點已有其先天優勢，因此政府也積極辦理相關政策的推動。

一、發展太陽光電政策、計畫及辦法

政府為積極發展再生能源，制訂各種政策及法規、辦法等，以下就再生能源—太陽光電發電系統，中央機關及高雄市政府制訂之相關政策摘要作說明。

(一) 中央機關制訂之政策

1. 「經濟部 2010 年能源產業技術白皮書」：經濟部能源局為因應與掌握國際能源發展的新趨勢，於 2005 年起編撰「能源科技研究發展白皮書」，並定期修訂發行。內容重點係以國際能源科技發展趨勢來檢視我國之能源問題與因應對策，介紹台灣能源技術發展現況，包括政府政策目標、各界有關能源科技推動現況與研發動向、發展策略等，經由國內外技術發展之競爭力指標評比，擬訂我國重點能源產業技術之短期(2015 年)、中期(2020 年)、長期(2025 年)發展時程，作為我國未來重大能源產業技術發展策略規劃推動之參據。
2. 「再生能源發展條例」：中央為推廣再生能源利用，增進能源多元化，改善環境品質，帶動相關產業及增進國家永續發展，於 98 年制訂「再生能源發展條例」。以本條例作為推廣再生能源利用，增進能源多元化，改善環境品質，帶動相關產業及增進國家永續發展之法源基礎。經中央主管機關（經濟部）認定之再生能源發電設備，適用本條例有關併聯、躉購之規定。經濟部邀集相關各部會、學者專家、團體組成委員會，審定再生能源發電設備生產電能之躉購費率及其計算公式，為鼓勵與推廣無污染之綠色能源，提升再生能源設置者投資意願，躉購費率不得低於國內電業化石燃料發電平均成本。與太陽光電相關之再生能源發展條例子法：

- (1) 再生能源電能設備認定
 - a. 再生能源發電設備設置管理辦法
 - b. 設置再生能源設施免請領雜項執照標準
 - (2) 太陽光電發電設備競標
 - a. 經濟部太陽光電發電設備競標作業要點
 - b. 經濟部 103 年度太陽光電發電設備推廣目標量、競標容量上限與時程
 - (3) 再生能源電能躉購費率
 - a. 101 年度再生能源電能躉購費率及其計算公式
 - b. 102 年度再生能源電能躉購費率及其計算公式
 - c. 103 年度再生能源電能躉購費率及其計算公式
 - (4) 土地—非都市土地申請變更為太陽光電發電設施使用興辦事業計畫審查要點
 - (5) 電業
 - a. 台灣電力公司再生能源電能收購作業要點
 - b. 台灣電力股份有限公司再生能源發電系統併聯技術要點
 - (6) 納稅—再生能源發電設備免徵及分期繳納進口關稅品項及證明文件申請辦法
3. 「陽光屋頂百萬座計畫」：為加速再生能源開發、打造綠色能源經濟，經濟部能源局經過多方的努力及協調，成立推動辦公室。「陽光屋頂百萬座」推動專案辦公室之成立，主要為整合相關資源，針對設置障礙提供專業協助，提供國內業者、縣市政府、承裝者完整解決方案，以加速推廣設置成效。陽光屋頂百萬座計畫規劃於 2030 年推廣太陽光電發電系統設置容量達到 3,100MW，目標建立我國太陽光電設置應用完善環境，積極推動太陽光電發電系統。推動策略採「逐步擴大、先屋頂後地面」，以穩健成長、負責任的態度來帶領國內太陽光電能源永續發展。2012 年規劃設置目標為 100MW，2013 年原訂目標 130MW 因國內太陽光電安裝需求旺盛，設置目標上調至 175MW，以鼓勵屋頂型太陽光電發電系統為主，預定 2015 年完成 750MW，2020 年達到 1620MW 的太陽光電發電系統設置，2030 年臺灣太陽光電發電

設置容量目標 3,100MW，以建立國內設置實績，達成產業、環境等多重效益。

4. 「再生能源發電設備及查核辦公室」：為配合「再生能源發展條例」立法宗旨，以建構並執行國內再生能源發電設備認定行政制度設立本辦公室。達成推廣再生能源利用、增進能源多元化、改善環境品質、帶動相關產業及增進國家永續發展等。工作項目包括規劃再生能源發電設備認定流程與執行設備認定事務（含同意備案、設備登記、設備查驗、撤銷及廢止），再生能源發電設備設置完成後之查驗工作，太陽光電發電設備競標作業執行。
5. 「太陽光電發電示範系統設置補助要點」：經濟部為補助設置太陽光電發電示範系統，以促進太陽光能之利用所訂要點。對於新設或擴增太陽光電發電示範系統最高可補助總設置費用百分之五十。
6. 「經濟部能源局陽光社區建構補助作業實施計畫」：為建構國內太陽光電整體社區應用環境，鼓勵縣市政府、特定區域主管機關及民眾積極參與生活區域之太陽光電發電系統設置利用，建立長遠、制度性之環保與自主供電環境。塑造以再生能源供電之優質居住型態、結合區域特色，推動我國太陽光電之「陽光社區」建置，達到太陽光發電永續發展。

（二）高雄市制訂之政策

地方政府配合中央政策推動太陽光電發電，高雄市工務局、經濟發展局、及環境保護局分別擬定推動計畫，在發展再生能源方面不遺餘力制訂各項鼓勵措施，也制訂了四個全國首創法令（下列 1-4 項），配套獎勵措施目前有：

1. 「高雄市建築物屋頂設置太陽光電設施辦法」：為充分利用高雄市日照充足，以利太陽光電再生能源發展之地方特色，規範建築物屋頂太陽光電設施之設置，以達到節能減碳之目的而訂定。能源局跟內政部有訂，設置再生能源免請領執照標準 2 公尺，因 2 公尺高度在空間使用上會有很多限制，例如：遮陰的問題、底下空間沒有辦法活動，有鑑於此，特別制訂本辦法，放寬高度為 4.5 公尺，面積可以 50%，如果 50% 還沒有到 30 平方公尺的時候可以設 30 平方公尺，此面積約可設置 4KW 之太陽光電發電系統。
2. 「高雄市綠建築自治條例」：為推動生態城市，營造綠建築環境，創造健康生活品質，促進綠色經濟產業，並達到減碳減災目標以成為環熱帶圈城市典

範，而制定。希望我們的特定建築物能夠來設置屋頂綠化或者是太陽光電設施，還有其他的一些綠化方面的措施。屋頂太陽光電發電設施之設置規定如下：第一類、第二類及第四類建築物，每幢建築物裝置容量應達二峰疊以上。第三類建築物，其設置面積應達屋頂層可設置太陽光電發電設施面積五分之四以上。

3. 「高雄市光電智慧建築標章認證辦法」：如同公寓大廈也有公寓大廈的一個標章一樣，本標章屬鼓勵性質，希望民眾設置之建築物採用光電以及一些綠環境、綠化建築物，經過市府太陽光電設施推動小組審核通過後，按標準核發金級、銀級、銅級認證。
4. 「高雄市政府太陽光電設施推動小組」：為推動本是建築物設置太陽光電設施及協助民眾申請事宜設立本推動小組，成員包括市府工務局、經濟發展局、都市發展局、環境保護局、台電公司、各公會（建築師、土木技師、結構技師、電機技師、光電同業）、以及陽光屋頂百萬座計畫推動辦公室，我們把這些人納進來，我們的目的就是藉由這個小組來推動，來協助民眾，讓太陽光電能夠在高雄真正來實施。
5. 「日光屋頂專案推動辦公室」：市府積極鼓勵綠能產業，包括世運主場館及多項公共建築、愛之船、公車及許多新社區，都注入綠能理念。持續打造轉型為綠色城市，推動成立『日光屋頂推動辦公室』，並協助業者取得「日光屋頂」計畫經費，打造高雄為全國第一之低碳綠色能源產業聚落。藉由『日光屋頂推動辦公室』之成立及中央「百萬屋頂」政策之概念，擴大及加速本市太陽能產業之內部需求，促使高雄綠能產業群聚效應發酵，形成低碳綠色能源聚落。
6. 「高雄市政府工務局 102 年度補助建築物設置太陽光電發電系統計畫」草案，為鼓勵民眾於建築物設置太陽光電發電系統，推動高雄市之太陽光電之應用，塑造以再生能源供電之優質生活型態，並建構節能減碳之建築，據以擬訂之計畫，該計畫於申請資格及條件、補助標準、申請程序、及補助款請撥及核銷程序，並檢附其申請表格供其憑用。補助每 kWp 之系統設置 1~1.5 萬元。

7. 「高雄市政府小蝦米商業貸款及策略性貸款實施要點」，針對第三類融資貸款進行說明即協助有意願於高雄市建築物屋頂設置太陽光電設施並向市府申貸之系統廠商。

二、太陽光電再生能源專業網站

隨著科技進步，數位資訊可傳遞即時、最新之訊息，透過各種專業網站可獲得太陽能相關知識，掌握政府最新之太陽光電發電政策與相關產業動態，因相關網站甚多，初步列舉下列網站供參考：

1. 經濟部能源局－「再生能源篇」(<http://web3.moeaboe.gov.tw>)
 - (1) 綠色能源產業資訊網－太陽光電：
 - a. 彙整太陽光電最新產業動態以瞭解最新研發情形、產業商機、太陽光電相關會議論壇等資訊。
 - b. 彙整太陽光電各專題研究文章，依各種專題做深入性分析與探討。
 - c. 彙整太陽光電各專業廠商名稱及其網站。
 - d. 公告太陽光電產業相關論壇、說明會、推動計畫、參展團等訊息。
 - (2) 太陽光電資訊網：
 - a. 太陽光電發展原理、構件、效益、相關知識。
 - b. 曾承攬經濟部能源局設備補助案之系統施工廠商列表及相關法規。
 - c. 陽光屋頂百萬座專屬網站。
 - d. 太陽光電海外光電市場商情平台，提供全球採購商機，協助業者拓展海外市場。
 - (3) 再生能源發展條例：彙整再生能源發展條例及再生能源發展條例子法，躉購費率會議（聽證會、審定會）會議記錄。
2. 工業技術研究院－「再生能源網」(<http://www.re.org.tw/>)：提供新聞焦點、產業動態、政策面資訊、政府獎勵措施、研討會及活動訊息、能源統計等資料。專業人員、兒童專區、線上學習等類別，依各類別作說明。
3. 陽光屋頂百萬座計畫推動辦公室 (<http://www.mrpv.org.tw/index.php>)：經濟部能源局為了達到普及化設置，於 102 年 3 月 5 日啟動陽光社區補助要點，藉由補助設置者線路費用與縣市政府推廣費用，推動太陽光電陽光社區建置，

塑造太陽光電輔助供電之群聚應用示範。「陽光屋頂百萬座」政策，意涵台灣將正式邁入全體綠色節能新世紀建立我國太陽光電設置應用完善環境，協助政府及各界進行太陽光電應用推展，達成 2030 年累積設置容量 3,100 MWp 的目標。

4. 高雄市日光屋頂專案辦公室 (<http://96kuas.kcg.gov.tw/khsolar/index.php>)：由高雄市政府經濟發展局專案成立之推廣單位，主要業務是在高雄地區推廣與輔導高雄市市民設置太陽光電發電系統，並協助解決裝設過程所遭遇的問題。藉由『日光屋頂推動辦公室』之成立及中央「百萬屋頂」政策之概念，擴大及加速本市太陽能產業之內部需求，引領相關產業上、中、下游業者投駐高雄，促使高雄綠能產業群聚效應發酵，形成低碳綠色能源聚落。並藉由建置計畫專屬網路資訊平台，隨時更新公開資訊，促使高雄低碳綠能產業蓬勃發展。
5. 高雄之光宜居之城 (<http://build.kcg.gov.tw/SolarEnergy/News.aspx#>)：高雄市政府工務局主辦，提供高雄市政府設置太陽光電發電系統實施計畫、相關補助措施及補助，促進建築物設置太陽光電推動成效。

參、高雄捷運三座機廠發展太陽光電成果與未來規劃

一、高雄捷運三座機廠功能及附屬事業之開發

(一) 三座機廠功能

高雄大眾捷運系統兩線長度共約 44.7 公里，設有 38 座車站及 3 座機廠。3 座機廠即紅線南機廠（三級廠）、北機廠（三級廠，利用各類舉升設備為電聯車做大部分解以進行檢修）和橘線大寮機廠（五級廠，具有執行電聯車大修及翻修之能力）。三座機廠均設置駐車場，供電聯車停駐，並設置電聯車維修工廠，負責各線在該機廠所停放列車之運轉維修，以維持列車正常營運；橘線大寮機廠除負責橘線列車運轉維修之外，並負責全線列車或模組之大修以及情況嚴重的修理。三座機廠除負責電聯車維修外，並支援其他系統設備（包括軌道）之定期檢查及故障檢修工作；其中大寮機廠為各系統設備層級較高之定期檢查、故障檢修及大修、翻修之基地。

機廠設備包含有：

1. 固定式頂昇機，移動式軌道車輛頂昇設備。
2. 天車及其它起重裝置。
3. 車床、輪軸壓床等維修用機具。
4. 零組件清洗設備、噴砂室。
5. 自動洗車機。
6. 電聯車底盤清洗設備。
7. 滑動式供電方式。
8. 壓縮空氣及潤滑油劑供應設備。
9. 電瓶充電器及相關設備。
10. 手工具及電子量測儀錶、各機電系統維修所需之電腦軟硬體設備。

機廠之功能除提供上述維修設備，提供全線列車及機電設備（供電、月台門、自動收費、通訊、號誌等）維修、保養外，另設置下列設施以維持全線正常營運：

1. 行政管理辦公室：各機廠設置行政管理辦公室，給機廠內工作人員使用。
2. 行控中心。
3. 機廠控制中心：各機廠設置調機廠控制中心，作為機廠行車管制之監控中樞。
4. 倉儲區：使維修作業上能以維持適當之物料庫存水準，供應各單位所需的物料。
5. 訓練中心：提供駕駛模擬器，能實際模擬電聯車之運轉以訓練電聯車司機員訓練。另訓練學員研習橫渡線、道旁設備、軌道機具等。

（二）三座機廠附屬事業之開發

上述為三個機廠就全線營運所肩負之任務與主要設備，除維持每日正常營運外，各機廠也有量身訂製之其開發附屬事業，以擴大服務範圍，進而創造業外收入，各機廠之開發附屬事業概述如下：

1. 大寮機廠

大寮機廠位於捷運橘線東端，屬高雄市大寮區，機廠範圍內亦設有 OT1 大寮站，可便利串連高雄縣市區域，大寮機廠用地面積為 54 公頃，除具駐車、調車、車輛維修並配置有訓練中心、訓練軌道及測試軌道，作為捷運維修機廠使用，

佔地面積約為 34 公頃。機廠範圍內除做為維修機廠使用外，其餘可供開發使用之商業服務區面積約為 16.7 公頃。高雄捷運公司為開創附屬事業及土地開發事業收入進行開源，提案辦理都市計畫變更，增加內容倉儲物流業、路上運輸業、倉儲業、購物中心及批發量販業等土地使用容許使用項目，以促進大寮機廠及其鄰近地區發展。

2. 南機廠

南機廠位處捷運紅線南端，屬高雄市前鎮區，機廠範圍內設置草衙站。南機廠之區位條件極為特殊，集海、陸、空於一身，具有國際能見度及地方發展之潛在力。南機廠用地面積為 26 公頃，以捷運維修機廠使用為主。機廠範圍內可供開發使用面積約為 8.7 公頃，高雄捷運公司與大魯閣開發公司於 101 年 10 月完成全區基地簽約。南機廠將發展為「一日生活圈的娛樂世界」，以主題式娛樂休閒中心為主軸，將引進國際籍卡丁賽車場、親子主題樂園、運動娛樂休閒主題旗艦店、商店街等期望成為高雄新地標，預計 105 年第一季開幕營運。

3. 北機廠

北機廠位於捷運紅線北端，跨高雄市岡山區及橋頭區二行政區，機廠範圍內之捷運 R24 南岡山站，為捷運紅線之端末站，已於 101 年 12 月完工通車，為岡山及附近鄉鎮地區往來高雄市區之交通新節點。北機廠用地面積為 34 公頃，設施區、聯絡道路及 R24 車站等佔地面積為 24.4 公頃。機廠範圍內可供開發使用面積為 9.6 公頃。高雄捷運公司與和春紀念醫院完成簽訂開發合約，將投入 2 億元資金於北機廠北區內面積達 8,000 平方公尺之區域，設置醫院及老人安養中心。空間規劃包含提供就診患者的商業服務空間，如餐飲、便利商店、醫療用品販賣等店面。將有益於提昇岡山、橋頭地區就醫品質及服務，滿足該地區高齡化社會現況所需；而醫院及安養中心成立，可提供該地區就業機會。本案於 102 年 4 月 25 日動工興建。

二、高雄捷運三座機廠設置太陽光電發電工程概述

(一) 工程概要

高雄捷運於三座機廠設置太陽光電發電，主要是配合中央發展再生能源政策及高雄市「高雄之光 宜居之城」之目標進行設置，法源依據包括「再生

能源發展條例」、「再生能源發電設備設置管理辦法」、「環境保護法」等，其目的在塑造以再生能源供電之優質生活型態，並建構節能減碳之建築，推動高雄市所轄建築物設置太陽光電再生能源達到節能減碳之目地。高雄捷運公司與昱鼎能源科技開發股份有限公司、昱鼎電業股份有限公司（以下簡稱昱鼎公司）合作，於三座機廠設置太陽光電發電系統。昱鼎公司依再生能源發展條例施行細則規定與台電簽約，太陽能產生的電力全數併入台電電網，把電送到各個家戶，躉售電力期間為 20 年，躉售金額價格如表 3 所示，售電收入由昱鼎公司負責，昱鼎公司再以租金或發電量成數回饋方式給付高雄捷運公司，以為高雄捷運公司之開發附屬事業之收益。昱鼎公司租賃高雄捷運三座機廠維修廠屋頂、駐車場屋頂、物料儲存廠屋頂、土木軌道廠屋頂、噴漆場屋頂、洗車場屋頂、底盤清洗場屋頂、行政管理中心辦公室屋頂及斜坡草坪等空間，設置太陽光電發電系統，三座機廠之太陽能光電模板設置位置及與台電併聯協商位置如表 4~5 所示，現場照片如圖 2~10。

表 3 各年度躉售費率上限

項目 年度	100 年 躉購費率 (元/度)	101 年 上半年 躉購費率 (元/度)	101 年 下半年 躉購費率 (元/度)	102 年 上半年 躉購費率 (元/度)	102 年 下半年 躉購費率 (元/度)
≥100 ~ < 500	8.8241	8.1836	7.9701	7.1162	6.9027
電價降幅	N/A	7.25%	2.61%	10.72%	3.01%
≥ 500 (電業)	7.9701	7.3297	7.1873	6.3334	5.9766
電價降幅	N/A	8.03%	1.94%	11.88%	5.63%

資料來源：昱鼎能源科技開發股份有限公司

依「經濟部太陽光電發電設備競標作業要點」，設置三十瓩以上不及五千瓩之屋頂型太陽光電發電設備，應依本要點規定參與競標作業。而若屬經縣(市)政府核准，民間廠商承租或有權使用政府機關及公立學校於其所有或管理之建築物，且當年度同一直轄市、縣(市)政府轄內適用本款規定累計核可同意備案容量未達三千瓩之設置申請案，其太陽光電發電設備之設置，得免參與競標作業。三

座機廠依其開發特性分別設置第三型及第一型太陽能電廠，第三型電廠分別於100年及101年參與能源局競標作業，於100年下半年及101年上半年完成掛表併聯。大寮機廠第一型電廠則於102年配合高雄市政府提報能源局申請免競標，以實際回饋高雄市政府方式取得設置同意備案資格，並於102年12月完成掛表併聯。各機廠之太陽光電發電系統設置工程施作委由聚恆科技股份有限公司執行，主要工項及系統特性概述如下：

1. 太陽能光電板土木工程：

太陽能基礎座工程、支撐架安裝工程（支撐架、夾具）三座機廠不論鋼板屋頂、混凝土屋頂或草皮屋頂，皆是以非破壞方式設置太陽光電發電系統，鋼板屋頂以開模製作之「夾具」與鋼板固定以連結太陽光電設備骨架（如圖7），混凝土屋頂及草皮屋頂則採重力式基座安裝骨架，此種非破壞性之施工方法目的在避免破壞原有屋頂結構及減少屋頂損壞滲水問題。三座機廠中之大寮機廠其太陽能光電模板設置型式包含草皮屋頂型式、混凝土屋頂型式、鐵皮屋頂型式（如圖3、4、7），不同形式之太陽能設置型式為最大之特色。

2. 太陽光電發電系統設備工程：

太陽能電池模板（230W）安裝、直/交流轉換器（100KW或500KW）設置（如圖2）、接線箱、線槽配管配線工程、設備功能運轉測試、接地工程。

3. 監測、展示系統：

發電狀況監視、顯示看板展示。為能即時了解三座機廠各案場發電現況，於各案場設置日照計、組列溫度計、監控電腦、展示看板等相關監控設備，並在現場透過網際網路將所有發電量及監控資料傳送至中控中心，透過雲端即可了解各案場的太陽光電發電狀況。

4. 太陽能電氣系統與台電併聯設備工程：

電纜配置、接地工程、高壓斷路器、保護設備工程（過電壓電驛、過電流電驛、同步檢測裝置）、升壓變壓器、交流箱（發電度數錶、電壓表、電流表）。

（二）設置太陽光發電系統相關程序及三座機廠太陽光電模板設置地點

太陽光發電系統的設置作業可分為工程施工及行政申請作業二部分，行政申請作業一般包含下列流程：

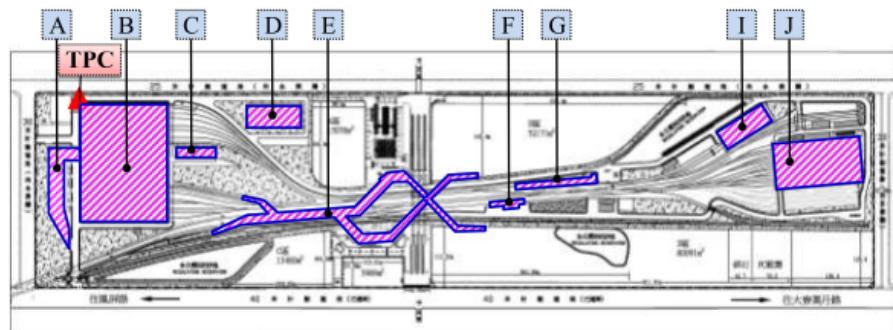
1. 併聯審查意見(台電公司):確認併聯完工後之併聯點，俾利後續設置施工參考。
2. 同意備案(能源局):確認及統計國內整體設置容量及地點等資訊。
3. 簽訂購售電合約(台電公司):與台電公司簽約後，可保障以該年度的躉購費率收購二十年。
4. 施工作業(設置者):設置者自行辦理施工作業或委託專業人士辦理。
5. 併聯完工(台電公司):系統開始供電及計價。
6. 設備登記(能源局):完成發電系統之作業。

太陽光電發電系統之結構設計需經技師簽證確認並依規定送建管單位備查，以確保對原建物及太陽光電設備本身之安全無虞。太陽能電池模板出廠前皆須做測試或檢附證書，以瞭解各模板之特性，例如：

1. 模板材質（三座機廠皆採用多晶矽）
2. 長、寬、厚之尺寸（約為 1650mm×990mm×42mm）。
3. 太陽光電模板轉換效率（輸出電功率與輸入日照功率之比值，約為 14.1%）。
4. 最大額定功率(採用 230W 或 235W 之模板)
5. 電氣特性曲線（開路電壓、最大功率電壓、短路電流、最大功率電壓）
6. 轉換效率衰減（10 年內不得大於 10%）
7. 抗風壓能力（正風壓 5400Pa、負風壓 2400Pa）
8. 安規認證

三座機廠太陽光電模板設置地點遍佈於機廠內各建築物屋頂，再以電纜將各區域所發電能聯結至與台電併聯點，售電予台電，充分展現小區域佈設，大容量發電之太陽光電發電設備系統架構彈性，太陽光電模板設置地點如表 4~6，外觀如圖 2~10 所示。

表 4 大寮機廠太陽光電模板設置地點



設置地點	電廠形式
管理中心、員工活動中心 (A)	一期+二期
維修廠 (B)	一期+二期
空壓機室(C)	一期
中心倉庫 (D)	二期
OT1 車站 (E)	二期
洗車場 (F)	二期
底盤清洗廠 (G)	二期
土木軌道廠 (I)	二期
駐車區 (J)	二期
TPC：太陽光電發電系統與台電公司併聯協商之併聯點位置	

資料來源：高雄捷運公司



圖 2 100KVA 直/交流轉換器、直流總盤箱



圖 3 大寮機廠管理中心（A）斜坡設置太陽光電模板（草皮屋頂型式）



圖 4 大寮機廠員工活動中心（A）斜坡設置太陽光電模板（混凝土屋頂型式）



圖 5 大寮機廠維修區（B）屋頂設置太陽光電模板



圖 6 大寮機廠洗車場 (F) 屋頂設置太陽光電模板



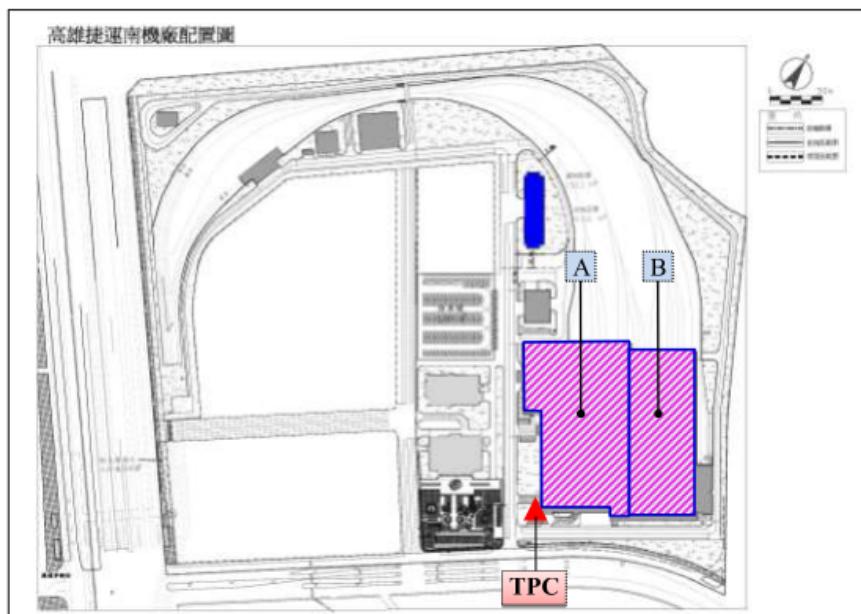
圖 7 大寮機廠底盤清洗場 (G) 屋頂設置太陽光電模板（鐵皮屋頂型式）

142



圖 8 大寮機廠太陽光電發電系統與台電公司 (TPC) 併聯點

表 5 南機廠太陽光電模版設置地點



設置地點	電廠形式
維修工廠 (A)	一期
駐車區 (B)	一期
TPC：太陽光電發電系統與台電公司併聯協商之併聯點位置	

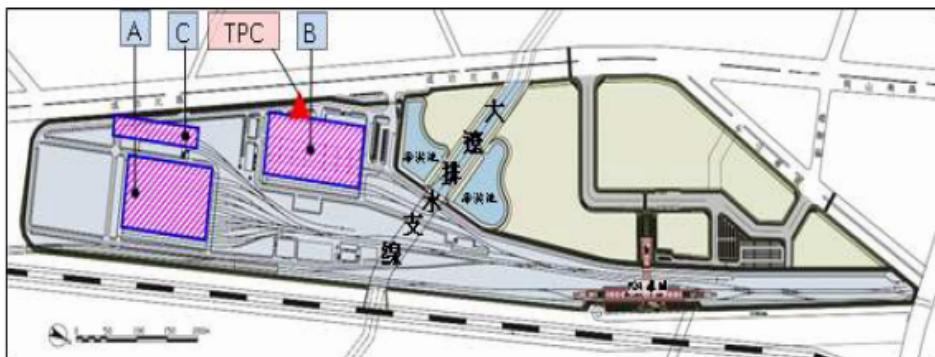
資料來源：高雄捷運公司



圖 9 南機廠維修工廠 (A) 及駐車區 (B) 屋頂設置太陽光電模版

相片來源：高雄捷運公司張力中提供

表 6 北機廠太陽光電模板設置地點



設置地點	電廠形式
駐車區(A)	二期（規劃中）
維修工廠 (B)	一期
土木軌道廠 (C)	二期（規劃中）
TPC：太陽光電發電系統與台電公司併聯協商之併聯點位置	

資料來源：高雄捷運公司



圖 10 北機廠駐車區 (A) 屋頂設置太陽光電模板二期規劃中

相片來源：高雄捷運公司張力中提供

(三)高雄捷運三座機廠設置太陽光電設備發電量及效益

自 100 年開始，迄今高雄捷運三座機廠設置太陽能光電之計畫仍持續進行中，每個計畫進行前，太陽能專業廠商均需評估太陽光電效益，採用專業模擬軟體對案場進行全面性評估分析，以發電量而言需依照現地氣候條件、環境因素、自體遮陰、設置位置鄰近物件遮陰進行建置模型分析，以尋求最佳之設置位置與角度。高雄捷運三座機廠均採用多晶矽太陽光電模板，一般而言，在平屋頂設置條件下，通常 1 瓩(kWp)的太陽光電發電系統約需 10 平方公尺(約 3 坪)的設置面積，在斜屋頂設置條件下，則約為 7~8 平方公尺。太陽光電主要發電元件為太陽光電模板，以台灣地區專業太陽能廠製造水準，皆可保證模組有效年限為 20 年~25 年，但因太陽能電池衰減特性故每年總發電量會以 1% 衰退。預估投資回收年限約 12 年。

捷運機廠建物屋頂設置太陽光電發電系統，參與經濟部能源局的太陽光電發電設備競標作業。因依據電業法規定，設置容量如超過 500 瓩需辦理電業申請，程序繁瑣且門檻較高，加以每年公告之電價收購費率為逐年遞減，得標後係依當時得標費率與台電簽約 20 年，簽約後 20 年電價費率皆相同，因此為把握取得較高售電費率之時機，三座機廠第一期設置皆以小於 500 瓩之設置容量參與能源局之競標作業，於得標後分別於大寮機廠、南機廠及北機廠各設置 499.1 瓩、486.22 瓩及 479.78 瓩容量之太陽光電發電系統，大寮機廠並於 100 年底，南、北機廠於 101 年 6 月底完成與台電併聯作業開始售電。第二期設置大於 500 瓩之設置容量乃以電業公司來做申請。

目前三座機廠已完成與台電併聯之設置容量有 3571.17 kWp，設置 230KW 或 235KW 之太陽光電模板計有 15,332 片，年平均發電量達 29,020MWh，後續更有北機廠的第一型太陽光電設置案進行中，預計於 103 年 6 月與台電併聯售電，在北機廠第一型太陽光電設置之案完成後，高雄捷運三座機廠設置太陽光電發電系統與台電併聯之總設置容量有 4399.41 kWp，設置 230KW 或 235KW 之光電模組計有 18,856 片，年平均發電量達 5,861MWh，詳細之設置情形詳如表 3-5。與全球第一座具有 1 百萬瓦太陽能發電容量的運動場高雄市運主場館之太陽光電發電設備（總設置容量有 1027 kWp，設置光電模 8,844 片，年平均發電量達

114MWh，預估減少 660 萬噸二氧化碳排放，等於種植 33 公頃樹木）相較，更顯三座機廠太陽光電設備容量之龐大。

表 7 高雄捷運三座機廠設置太陽光電設備發電量彙整表

設置場址	設置容量 (PV片數)	併聯日期	年平均發電量	再生能源發電設備
大寮機廠	499.1 kWp (230W*2170片)	100.12.21	650,000kWh	第三型*
	2106.07 kWp (235W*8962片)	102.12.23	2,700,000kWh (預估)	第一型
南機廠	486.22 kWp (230W*2114片)	101.06.28	710,000kWh	第三型
北機廠	479.78 kWp (230W*2086片)	101.06.26	660,000kWh	第三型
	828.24 kWp (預計)	103年6月 (預計)	1,100,000kWh (預估)	第一型

*依「再生能源發電設備認定辦法」，第一型再生能源發電設備：指電業依電業法規定，設置利用再生能源發電之發電設備。第三型再生能源發電設備：指依本條例第五條規定，裝置容量不及五百瓩並利用再生能源發電之自用發電設備。

一般而言，太陽光電發電系統（設備）的安裝費用因系統容量大小、材料選用、施工方法、安裝現場的特殊性（如額外的引接線費用）等而有差異性，目前市面上系統單價約 8~13 萬/瓩。台灣地區北、中、南日照條件不同，同一太陽光電發電設置容量在每地區之發電量也有所不同，表 8 為經濟部能源局補助設置太陽光電發電系統之各縣市 100 年度回報發電量平均值：

由於使用化石燃料(如石油與煤碳)來發電，會排放出超量的二氧化碳，超出現有的植物可吸收的範圍，使得大氣的二氧化碳含量升高，因為二氧化碳會吸收太陽光中的紅外線，導致大氣暖化。地球的大氣吸受更多的太陽熱量，產生溫室效應。因應溫室氣體盤查量化作業之需要，計算所有購用電力所需間接承擔之燃料燃燒溫室氣體排放量，依「電力排放係數計算標準作業程序」，經濟部能源局公布近年電力排放係數如表 3-7，由表列之排放係數有持續下降趨勢，顯示政府推動低污染及永續之低碳能源系統，已有效降低發電廠之碳排放強度。電力排放

係數的下降另一層意義在於可降低我國產業產品碳足跡，避免產業出口時面臨國際碳關稅(或碳標籤)之壓力，有助於提升產業競爭力。

三座機廠太陽光電設備總設置容量為 4399.41kWp，依據下列常用估算之公式（式 3-1~3-3）可推算出年發電量為 5,861MWh 及減少 31,182 噸 CO₂ 及 247 噸氮化物、硫化物、微塵量的排放量。

$$\text{年發電量(度)} = \text{設置容量 kWp} \times 3.56 (\text{每瓩發電量 kWh/day/kWp}) \times 365 \text{ 天} \quad (\text{式 3-1})$$

$$\text{減少 CO}_2 \text{ 排放量(公斤)} = \text{年發電量} \times 0.532 \text{ (年度電力排放係數)} \quad (\text{式 3-2})$$

$$\text{減少 NOX SOX 排放量(公斤)} = \text{年發電量} \times (0.02574 + 0.0091 + 0.0073)$$

$$(\text{NOX} + \text{SOX} + \text{PM10} \text{ 排放係數}) \quad (\text{式 3-3})$$

表 8 各縣市 100 年度回報發電量平均值

縣市 地區	每瓩設置容量/日平均發電量 (kWh/day/kWp)	縣市 地區	每瓩設置容量/日平均發電量 (kWh/day/kWp)
台北	2.61	桃園	2.72
新竹	2.69	苗栗	2.96
台中	3.5	彰化	3.65
雲林	3.51	高雄	3.56
台南	3.68	宜蘭	2.6
屏東	3.02	台東	2.92
花蓮	2.38	澎湖	3.59

資料來源：經濟部能源局

表 9 電力排放係數

年度	94	95	96	97	98	99	100	101
全國電力排放係數 (公斤 CO ₂ /度)	0.559	0.564	0.559	0.557	0.543	0.535	0.536	0.532

註：
電力排放係數 = $\frac{\text{(綜合電業} + \text{民營電廠} + \text{汽電共生業} - \text{線損} - \text{廠用電量}) \text{ 之 溫室氣體}}{\text{總銷售電量}}$

肆、高雄環狀輕軌捷運建設太陽光電發電設備

一、高雄環狀輕軌捷運建設計畫簡介

配合中央推動自由經濟示範區計畫，高雄港區建設相繼開發，2014 年將陸續完工啟用，包括海洋文化及流行音樂中心、高雄港客運中心暨港務大樓整體開發計畫、高雄世界貿易展覽中心、高雄市立圖書館總館、國際郵輪經濟區、中鋼總部、高雄 DC21 開發等計畫，逐漸形成高雄新地標-亞洲新灣區。高雄環狀輕軌捷運計畫即為串聯上述關鍵性重大建設，行政院 101 年 11 月 26 日正式核定，修正後總建設經費為 165.37 億元，中央負擔 63.63 億元興建輕軌主要是建構高雄大眾運輸路網，讓捷運路網形成，使民眾感覺搭乘大眾運輸是便利、舒適的，繼而減少私人運具的使用，讓道路交通順暢、兼顧環保（空污、噪音）、節能減碳等高雄捷運是遠景，是國際都會的擘畫格局，輕軌建設的推動，是讓高雄成為國際化城市的新契機。

環狀輕軌捷運建設路線（如圖 11），自凱旋三路旁台鐵臨港線路廊往南佈設至凱旋四路後，右轉進入成功二路西側台鐵路廊續往北行，至新光路口，進入高雄港區腹地，沿海邊路、第三船渠旁計畫道路、七賢三路、臨海二路、西臨港線鐵路廊帶、美術館路、大順一～三路，最後於中正路口西南隅之凱旋公園東緣佈設銜接凱旋二路路旁之台鐵臨港線路廊後，沿路廊接回起點，形成一連結南、北高雄的環狀路網。配合高雄市區鐵路地下化計畫之施工時程，俟鐵路地下化工程完工、空出東臨港線鐵路用地後方可興建，興建計畫須分二階段施工：

1. 第一階段：前鎮調車場～捷運西子灣站，長度 8.7 KM，港區水岸段路段與鐵路地下化工程無介面路段，將先行施工，預計 103 年完工。
2. 第二階段：第一階段以外之路段，長度 13.4 KM，配合 106 年市區鐵路地下化完工時程，預定於 108 年全線完工通車。

高雄環狀輕軌捷運建設計畫內容概述如下：

- (1) 總建設經費：165.37 億元
- (2) 中央補助：63.63 億元
- (3) 市府負擔：101.74 億元（含用地徵收及拆遷補償費用 30.22 億元）
- (4) 路線全長：22.1 公里

- (5) 候車站數：36 座
- (6) 機廠：台鐵前鎮調車場
- (7) 路權：採平面 B 型路權，軌道與車道隔離。
- (8) 軌距：1,435 mm 標準軌距。
- (9) 車輛：車寬 2.65 公尺，100% 低底盤。
- (10) 候車站：月台寬 2.5~4 公尺、高 35 公分（配合低底盤電車）。
- (11) 轉運站：與捷運紅線凱旋站 (R6) 、凹子底站 (R13) 、捷運橘線西子灣站 (O1) 及台鐵科工館站、鼓山站、美術館站等 6 站相互轉乘。



圖 11 高雄環狀輕軌捷運建設計畫路線圖

二、綠建築黃金級標章之輕軌機廠

為鼓勵興建省能源、省資源、低污染之綠建築建立舒適、健康、環保之居住環境，內政部建築研究所委託專業機構規劃「綠建築標章」申請，藉由申請標章過程，讓建築物不再是指具有單純的居住、廠房、辦公之功能，更能親善於環境具備下列功能：

1. 促進建築、景觀與週遭環境共生共利，永續經營居住環境。
2. 落實節約能源，降低能源消耗及減少二氧化碳之排放。
3. 推展室內環境品質，創造舒適健康室內居住環境。
4. 建築廢棄物減量，減少環境污染與衝擊。
5. 資源有效利用，維護生態環境之平衡

標章之核給須進行綠建築九大指標評估系統之評估，依綠建築評估手冊所訂定之分級評估方法，評定綠建築等級，依序為合格級、銅級、銀級、黃金級、鑽石級等五級。高雄環狀輕軌機廠設計規劃即以取得黃金級以上綠建築標章為目標，所以各項評估指標均有其對應作為，概述如下：

1. 生態指標群

(1) T1 生物多樣性

- a. 帶狀綠帶與週圍綠地連結，形成帶狀綠廊促進生物移動，及穿越路徑之連結。
- b. 設置綠籬或木柵欄，以利生物交流與生存。

(2) T2 基地綠化

- a. 除必要之硬舖面外，空地均採透水綠化。
- b. 植栽採複層式混合疏密錯落種植，兼具防風與隔音功能。
- c. 街道複層綠化，結合人行步道系統，形成完整綠廊。

(3) T3 基地保水

- a. 人行步道採用透水舖面，並設置滲透溝。
- b. 空地地面維持其原透水性，設置適當之防排水設施。
- c. 植栽多樣綠化增加保水量，減低沖刷。
- d. 設計貯留滲透水池，將地表水及水溝水集中導入後，緩慢滲入地下。

2. 節能指標群

(1) T4 日常節能

- a. 外殼節能：採用複層式外牆，降低壁體熱負荷；維修工廠上方屋頂綠化，或設置太陽能光電板降低熱負荷。
- b. 通風節能：利用自然通風節省建築耗能，藉由通風換氣以改善室內空氣品質。
- c. 空調節能：空調採變頻高效率主機系統。
- d. 照明節能：採用高效率光源。

3. 減廢指標群

(1) T5 CO₂ 減量

- a. 結構採用鋼構造，室內以乾式隔間，降低建築物自重及結構材料使用量。
- b. 室內設計裝修材以普遍健康環保為材料選用原則。

(2) T6 廢棄物減量

- a. 挖除土方採現地堆置，提供開放空間及景觀填土使用。
- b. 採整体衛浴及明管設計，減少現場廢棄物量，降低建築物生命週期二氧化碳排放量，提高修繕維護方便性。
- c. 高效率營建管理；施工過程中設置洗車平台、防塵護罩等污染防治措施。

4. 健康指標群

(1) T7 室內環境減量

- a. 室內空間採用隔音佳及環保無毒綠建材。
- b. 室內空間儘可能自然採光，通風。
- c. 機器設備與樓板銜接點以彈性材料降低樓板衝擊噪音。

(2) T8 水資源

- a. 雨水貯集回收再利用，並兼具澆灌與消防兩種功用。
- b. 採用具有省水標章之兩段式省水馬桶等節水器具。

(3) T9 污水及垃圾改善

- a. 雨、污水分流；各式活動場所設置垃圾分類處理設施。
- b. 提供充足之空間儲存容量，並確保密閉及衛生

高雄環狀輕軌機廠基地面積為 30717 平方公尺、建築面積為 6772 平方公尺、總樓地板面積為 9205 平方公尺，設有輕軌維修站、輕軌設備室（TSS1）、行政中心等建築，透過上述植栽綠化、綠地及透水舖面、屋頂設置太陽能板降低熱傳透率及節能、空調節能技術、省電照明、省水標章之節水器材、污水處理設施、筏基設置雨水回收系統等設計，以取得綠建築黃金級標章，成為台灣第一座輕軌綠色機廠。

三、高雄環狀輕軌計畫機廠設置太陽能簡介

高雄環狀輕軌除全線採無架空線系統留住景觀藍天，輕軌車廂採用 100 % 低地板方便乘客於車廂內移動、車站月台高度僅為 35 公分減輕對環境景觀衝擊創造友善環境及黃金級綠建築機廠等特色外，另於機廠廠房上方設置再生能源－太陽光電發電系統（如圖 12），548 片 300W 之太陽光電模板，設置容量為 164.4KWP，預估每年能發 213,621 度電，等同減少 79,038 公斤燃煤與 113,646 公斤二氧化碳排放量，讓輕軌建設在擔負運輸、繁榮經濟之角色外更為環境保育及節能減碳盡一份心力。



圖 12 高雄環狀輕軌捷運機廠屋頂設置太陽光電發電系統概圖

伍、結語

聯合國單位 IPCC 發表的最新報告再次提醒世人氣候變遷的現在式與未來式。對於氣候變遷帶來的警訊及消耗性能能源的不再生性，人類必須正視與著手進行推動各種節能減碳措施。而自日本福島核災以後，更堅定、加快了發展再生能源的腳步。就裝設再生能源－太陽光電發電而言，台灣擁有成熟的技術與完整的產業結構，這是利基所在。雖然，目前太陽光電發電的成本仍高於傳統火力發電或核能發電之成本，政府訂定太陽光電發電的補助、獎勵之政策來推動，且與台電併聯網路之饋線容量不足、發電量隨日照條件變化等問題，期望完全以太陽能作為替代能源仍有一大段需努力之空間。但只要節能減碳的目標堅定，步伐穩健的發展再生能源，下一次的 IPCC 報告，地球暖化的跡象定能有所改觀。

聯合國環境規劃署主辦的「二〇一三年全球國際宜居城市大賽」總決賽獲四金三銀三銅共十座大獎，得金數及得牌數勇奪世界第一的高雄市，除了在城市景觀、社區環境管理、生態建設、人與自然及環境永續發展等方面之努力受肯定外，也持續為打造低碳城市之目標做各種努力。高雄捷運紅、橘線系統已於 97 年通車營運、串連亞洲新灣區的高雄環狀輕軌捷運系統（第一階段）亦如火如荼興建中，預計於 104 年底完工通車、並持續進行高雄都會區大眾捷運系統整體路網規劃。降低私人載具所產生交通壅塞、空氣污染為健全的交通路網，以期提供民眾「行」的無縫接軌，進而發揮高雄地區民眾使用大眾運輸習慣之綜效，並為大高雄之永續發展，奠立堅實可靠的基礎。

高雄市政府量身訂製相關法規與補助，鼓勵設置太陽光電發電系統。高雄捷運以慣有的品質及安全要求，三座機廠太陽光電設備參加「高雄市政府光電智慧建築標章認證評選」，均獲得銀級認證肯定。高雄捷運三座機廠及高雄輕軌機廠設置的太陽光電發電系總設置容量為 4563.81kwp，在討論核能存廢關鍵之際，利用再生能源所產生的電力更顯珍貴。高雄市政府亦以發展大眾運輸、推廣友善環境的綠建築及提倡再生能源等多元化的作法，呈現節能減碳的決心，穩健的架構宜居城市各項優勢。。

參考文獻 |

- [1] 陳存永、吳嘉昌、黃育仁，(2012)，從亞洲新灣區啟動高雄綠色運輸走廊計畫，*城市發展半年刊*，14 期。
- [2] 林佐鼎、駱思斌，高雄環狀輕軌建置太陽光電發電系統，高市議會 online，101 年 9 月號(第 15 期)
- [3] 高捷網站雙月刊第 59 期，淺談太陽光電發電。
- [4] 台達電子文教基金會網站 (<http://www.delta-foundation.org.tw/index.asp>)
- [5] 永續公共工程入口網站 (<http://eem.pcc.gov.tw/>)，解讀聯合國氣候變遷報告 AR5。
- [6] 太陽光電資訊網站 (<http://solarpv.itri.org.tw/memb/main.aspx>)
- [7] 台灣電力公司網站(www.tpipower.com.tw)
- [8] 再生能源發電設備及查核辦公室網站 (<http://www.revo.org.tw/triOnline/jsp/apply/AU01.action>)
- [9] 陽光屋頂百萬座網站 (<http://mrpv.org.tw/index.php>)
- [10] 高雄市日光屋頂專案推動辦公室網站 (<http://96kuas.kcg.gov.tw/khsolar/index.php>)
- [11] 陳敬恆，(2012)，單相市電併聯型太陽能光電系統之改良，碩士論文。
- [12] 施華，(2009)，社區發展太陽光電發電系統之成本效益評估，碩士論文。
- [13] 謝中毅，(2010)，100KW 太陽光電發電之系統衝擊檢討，碩士論文。
- [14] 2012 高雄捷運公司年報
- [15] 高雄捷運公司網站(www.krtco.com.tw)
- [16] 高雄捷運公司 (2008)，機廠及其他服務設施操作計畫。
- [17] 高雄環狀輕軌捷運建設（第一階段）統包工程(2014)－期初細部設計報告書