

# 太陽電能應用於學校建築之初探

簡仕欣\*

## 壹、前言

太陽電能是發展逐漸成熟的科技產業，目前國內研究太陽電能的學術文章散落於各領域之中，主要研究太陽電能的材料、發電與除電設備的研發；其他可應用的範圍與研究也很廣泛，現有發展如太陽能路燈、太陽能熱水器等，其中在建築的應用上逐漸成熟。以下針對太陽電能的基本運作原理、在學校建築的應用，在規劃、實例分享與其限制上，給予大家進一步認識太陽電能的發展，並有效運用在學校建築上，達成永續學校與綠色環保的理念。

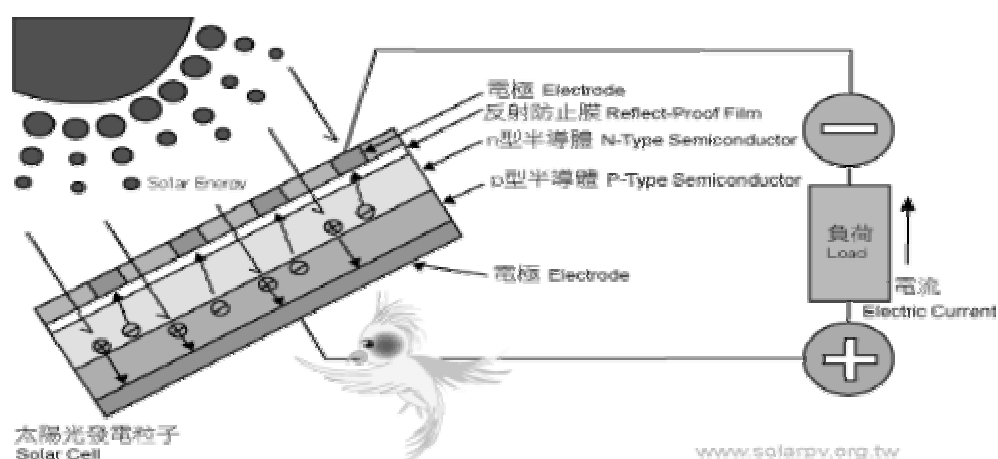
## 貳、太陽電能的運作原理（取自太陽光電資訊網）

### 一、太陽電池構造與發電原理

利用電位差發電，無電磁波產生 太陽電池(solar cell)是以半導體製程的製作方式做成的，其發電原理是將太陽光照射在太陽電池上，使太陽電池吸收太陽光能透過圖中的 p-型半導體及 n-型半導體使其產生電子(負極)及電洞(正極)，同時分離電子與電洞而形成電壓降，再經由導線傳輸至負載。(如圖一)

簡單的說，太陽光電的發電原理，是利用太陽電池吸收  $0.2\ \mu\text{m}\sim 0.4\ \mu\text{m}$  波長的太陽光，將光能直接轉變成電能輸出的一種發電方式。

由於太陽電池產生的電是直流電，因此若需提供電力給家電用品或各式電器則需加裝直/交流轉換器，將直流電轉換成交流電，才能供電至家庭用電或工業用電。

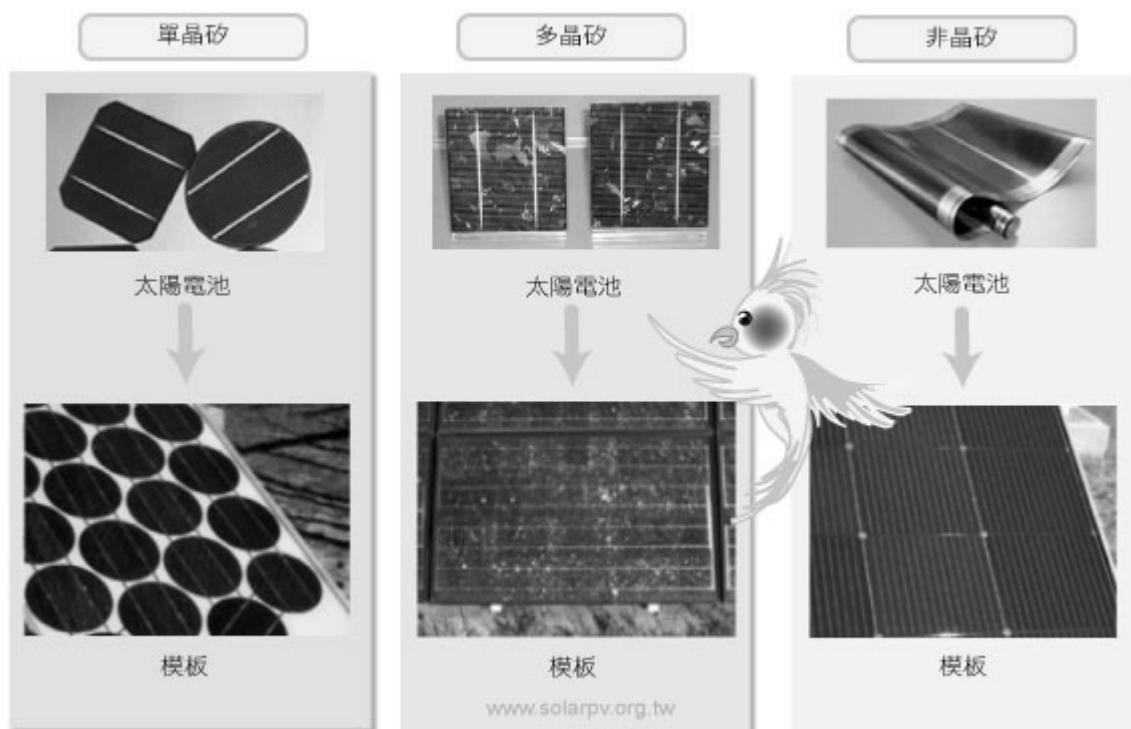


圖一：太陽電池構造與發電過程

\*國立政治大學教育行政與政策所碩士班

## 二、太陽電池材料種類

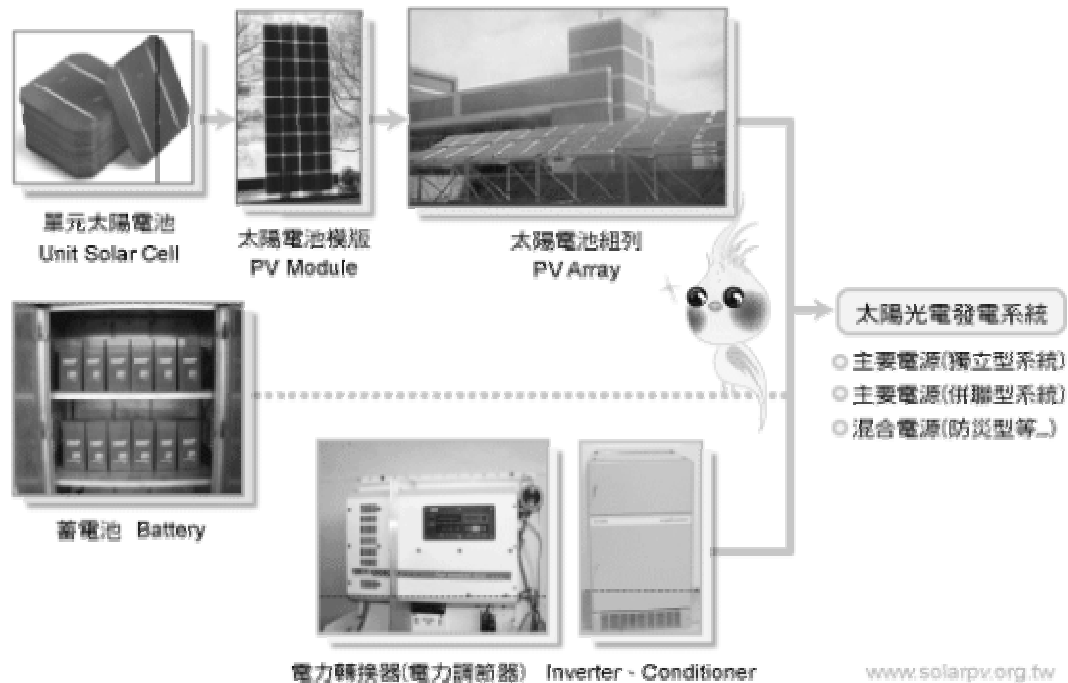
太陽電池種類	半導體材料	市場模組發電轉換效率
矽(硅) silicon 目前太陽光電系統中應用最為廣泛	晶矽 Crystalline	單晶矽 Single Crystallin 12~20%
	多晶矽 Poly Crystallin	10~18%
	非晶矽 Amorphous	Si、SiC、SiGe、SiH、SiO 6~9%
多化合物 Compound 應用於太空及聚光型太陽光電系統	單晶 Single Crystallin	GaAs、InP 18~30%
	多晶 Poly Crystallin	CdS、CdTe、CuInse 10~12%
奈米及有機 Nano & Organic 應用於有機太陽電池，屬研發階段	TiO <sub>2</sub>	1%以下



圖二：各類晶矽之成品

### 三、太陽光電發電系統構成組件

太陽光電發電系統（PV system）主要是由太陽電池組列、電力調節器（Power Conditioner，即包括直/交流轉換器（Inverter）、系統控制器及併聯保護裝置等）、配線箱、蓄電池等所構成，如圖三。



圖三 太陽光電發電系統

### 四、太陽光電發電系統種類

#### (一)、獨立型(Stand-Alone)太陽光電系統

使用蓄電池，白天太陽光電系統發電，並供負載及充電，夜間由電池供電，可以自給自足。

#### (二)、市電併聯型(Grid- Connected)太陽光電系統

市電負載併聯，平時與太陽光電系統併聯發電，並供負載，不夠的電由台電供電。好比將市電電力系統當作一個無限大、無窮壽命的免費蓄電池。

#### (三)、緊急防災型(獨立/併聯混合型)太陽光電系統

和市電及蓄電池搭配。平時太陽光電系統併聯發電，並供負載及充電，夜間由台電供電。刮颱風、下大雨，電力中斷時，仍有足夠的蓄電池可以安排救災，待到市電回復時就沒有問題。

### 五、太陽光電發電量計算法

#### (一) 以日射量來計算

年發電量 (EP) = PAS \* HA \* K \* 365(天)

PAS：太陽電池組列容量

HA：設置場所及設置條件的累計日射量 (kWh/m<sup>2</sup> \*日)

K：總和設計係數 (0.65~0.8 $\div$ 0.7 程度)

(二) 以系統利用率來計算

年發電量=太陽電池陣列模板的發電量\*系統利用率 \* 8760 (小時)

系統利用率=0.1~0.15 $\div$ 0.12 程度

一年總時數=24 (小時) \* 365 (天) =8760 小時

## 參、太陽能學校建築興起之緣由

### 一、環境背景因素 (取自能源政策白皮書)

#### (一) 京都議定書生效

氣候變遷為全球性問題，牽動各國經濟與環境，我國目前雖非聯合國會員國，無法簽署氣候變化綱要公約及京都議定書，亦無直接減量責任，惟為克盡地球村一份子之責任，仍應積極研擬適當因應策略。1997年12月全球169國在日本京都簽署議定書，對控制溫室氣體排放的行動達成協議。我國為因應國際環保潮流，於87年召開第一次全國能源會議，就能源政策與產業政策提出因應對策。迄今國際環保與能源情勢已有相當程度的變化，首先，即是「京都議定書」於今(94)年2月16日正式生效，全球多數國家從抱持觀望態度，逐漸體認到未來可能的影響與衝擊，必須審慎嚴肅地面對。

#### (二) 高油價時代來臨

其次，是高能源價格時代的來臨，87年之國際油價每桶約為20美元，目前每桶油價已超過60美元，連帶牽動其它能源價格飆漲；另外，傳統能源逐漸耗竭，我國倚靠傳統能源發電的比重高，因此有必要開發新能源來降低對傳統能源的依存度。

#### (三) 國內環保意識抬頭

為因應京都議定書生效與國際環保及能源新情勢，行政院國家永續發展委員會第18次委員會會議游前院長指示，「就京都議定書生效後，經濟部於94年上半年召開全國能源會議，重新思考我國之能源結構。同時為確實掌握氣候變化綱要公約及京都議定書後續發展，應儘速邀集全產官學研各界專家，規劃我國最適合之產業結構調整，發展高附加價值、低耗能之產業及技術，一方面維持經濟成長，一方面減緩溫室氣體整體排放，以創造國內經濟與環境雙贏，並對國際社會做出實質貢獻。」

#### (四) 政府政策支持太陽能科技的研究

經濟部能源委員會自89年起展開再生能源5年示範推廣計畫，包括太陽能熱水系統、太陽光電及風力發電等，其中「太陽能熱水系統推廣獎勵要點」對於購置者補助購置費用15-20%，「風力發電示範系統設置補助要點」及「太陽光電發電示範系統設置補助要點」對設置者至多提供設置費用50%之高額補助。此外，「促進產業升級條例」對於購置再生能源設備者，亦有投資抵減營利事業

所得稅 10~20%、加速折舊以及低利融資等相關獎勵優惠之規定。

獎勵補助設置太陽光電發電示範系統，補助金額最高可達設置成本 50%。至 94 年 12 月已有 169 件申請案件獲得核准補助(含全額及半額補助 2 種)，核准設置容量亦到達 1,726 峰瓩，已完成 104 座示範系統設置，完成設置容量達 920 峰瓩，其中包含了總統府、立法院、南沙群島、蘭嶼國中等地，可說是在全台灣的北中南及離島、山區等重要處均有太陽光電系統。國內太陽光電系統設置規模逐年擴大，並且也帶動國內太陽光電產業，在全球市場高度成長下，國內已有更多廠商陸續投資太陽光電產業。目前國內太陽電池製造已有 4 家：茂迪、益通光能、光華、旺能，涵蓋了單晶矽、多晶矽、非晶矽太陽電池生產。茂迪為國內太陽電池第 1 大廠，位居全球第 10 大生產廠商。

太陽光電之發展在全球市場高度成長下，國內已有更多廠商陸續投資太陽光電產業。目前國內太陽電池製造已有 4 家：茂迪、益通光能、光華、旺能，涵蓋了單晶矽、多晶矽、非晶矽太陽電池生產。茂迪為國內太陽電池第 1 大廠，自 2000 年 11 月開始量產，產出 3.5 千峰瓩。2003 年第 2 條生產線完成後，產能已達 25 千瓩，產量約 18 千峰瓩，躍居全球第 11 大太陽電池廠，2004 年增加第 3 條生產線後，太陽電池年產量增加為 35 千瓩，已為全球第 10 大太陽電池廠；益通集團旗下之益通光能科技公司於 2001 年設立，自 2003 年下半年開始生產，目前具有 5 吋單晶矽與 5 吋多晶矽太陽電池之生產能力；光華科技自 1989 年開始投產太陽電池，以非晶矽技術為主。另外 2005 年台達電子公司轉投資的旺能科技也將跨入太陽電池生產領域。

至於太陽光電模板製造部分，國內目前也有 4 家廠商：興達科技、永炬、日光能、中國電器，由於在國內政策獎勵及先進國家追求環保之潮流下，這些廠商也紛紛結合下游應用產品的發展與系統的設置。由於自 2000 年起國內廠商陸續投入電力用太陽電池與模組之生產行列，使我國太陽光電產業漸朝高附加價值之領域邁進，國內產值也不斷增長，由於太陽光電的應用推廣已帶動國內產業的發展，並順應著全球發展讓國內太陽光電產業更加茁壯。

在太陽電池技術方面，國內將發展新型製程、結構、材料，節省原物料的使用，提高太陽光電電池/模組轉換效率，落實價格低廉、降低生產成本之目標。包括：結晶矽太陽電池已發展數十年，相關技術和半導體製技術相容，已相當成熟。將以此為基礎發展低價化的製程技術，並配合大面積、薄型化晶片，以及創新的結構設計，可有助於太陽電池之普及；薄膜太陽電池因不需使用昂貴的矽基板材料，且其製程以真空鍍膜為主，易於連續化生產，因此具有低價化的優勢，是發展此技術的最大誘因。此外，薄膜太陽電池可製作於可撓性基板上，增加其應用之廣度，也是其主要優勢；III-V 族太陽電池之 Multi-junction 元件牽涉到同時多波長光線之處理，較傳統光電元件更複雜，將建立相關技術以提昇國內技術水準；有機太陽電池屬第三代太陽電池，具有低耗能製程、低成本、製作簡易及具有可撓性，是深具發展潛力的新型太陽電池。

綜合上述環境背景因素，太陽光電發電的推展可從以下三方面進行：

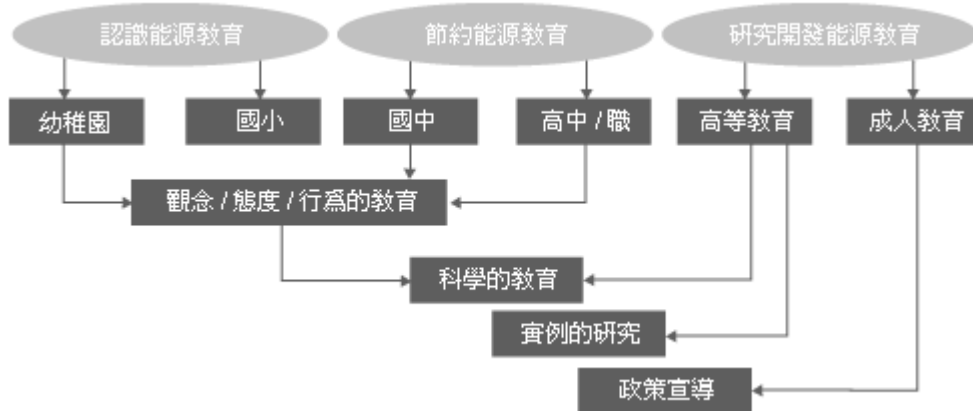
- (1) 積極推動示範性計畫，陽光電城、代表性建築等。
- (2) 加強離島與偏遠地區發電系統之設置。
- (3) 積極協助國內太陽光電產業發展。

## 二、學校能源教育的推動（取自能源教育網）

依據民國八十五年七月行政院公布之「台灣地區能源政策及其執行措施」中，將「推動教育宣導」列入第六項，明確指出「推動教育宣導」為當前能源政策的重要一環。依據此項政策，能源教育可分為「學校教育」與全民的「社會教育」，而推動學校實施能源教育之目的，除了提昇教師之能源素養外，並經由教育方式使全體學生對能源問題有正確的認識，期望培養能源技術專業人才，進而積極推展全民能源教育及節約能源宣導工作。

此外，民國 87 年 5 月經濟部召開「全國能源會議」，做成具體行動方案，其中第十一項執行措施為「加強能源教育與宣導計畫」，將推動學校能源教育納入行動計畫，並要求徹底執行。經濟部並於民國 91 年與教育部會銜函頒「加強中小學推動能源教育實施計畫」，要求各級學校據以實施，顯示政府對能源教育之重視與期盼。

為倡導綠色科技，致力使用潔淨、高效率之替代能源，行政院非核家園推動委員會於民國 92 年 9 月 17 日通過「非核家園具體行動方案」，全面倡導節約能源、再生能源的使用，並積極落實綠生活教育與宣導。能源教育特質可從教育系統的過程中兩個層次來解釋（如圖四）。



圖四：教育系統中的能源教育內容

## 三、學校綠建築的理念

綠建築係指在建築生命週期中（指由建材生產到建築物規劃、設計、施工、使用、管理及拆除之一系列過程），消耗最少地球資源，使用最少能源及製造最少廢棄物的建築物。

在內政部建築研究所「綠建築解說與評估手冊」中對綠建築描述如下：綠建築絕非單指建築環境植栽綠化程度而已，而應從地球環境的角度考量，以全面

化、系統化的環保設計作為永續建築的理念訴求（內政部建築研究所，2002）。

而教育部為因應此一世界潮流並配合國家政策的推動，亦積極推動綠校園運動。而所謂的「綠校園」是將已具備環境自覺及實踐能力的綠色學校，施以綠建築及生態校園環境之改造技術，使符合永續、生態、環境健康原則之校園環境（教育部，2003）。學者湯志民（民 92）則認為學校綠建築（green school buildings）是具有生態、節能、減廢、健康特性的校舍、校園、運動場及其附屬設施。

綠建築之九大指標有：1、生物多樣化指標 2、綠化指標 3、基地保水指標 4、日常節能指標 5、二氧化碳減量指標 6、廢棄物減量指標 7、水資源指標 8、污水與垃圾改善指標 9、室內健康與環境指標。其中，日常節能指標可有以下運用：

(1) 相關技術：

建築配置節能、適當的開口率、外遮陽、開口部玻璃、開口部隔熱與氣密性、外殼構造及材料、屋頂構造與材料、帷幕牆

(2) 風向與氣流之運用：

包括善用地形風、季風通風配置、善用中庭風、善用植栽控制氣流、開窗通風性能、大樓風的防治、風力通風的設計、浮力通風設計、通風塔在建築上的運用

(3) 空調與冷卻系統之運用：

包括空調分區、風扇空調並用系統、大空間分層空調、空調回風排熱、吸收式冷凍機及熱源台數控制、儲冷槽系統、VAV 空調系統、VRV 空調系統、VWV 空調系統、全熱交換系統、CO<sub>2</sub> 濃度外氣控制系統與外氣冷房系統

(4) 能源與光源之管理運用：

包括建築能源管理系統、照明光源、照明方式、間接光與均齊度照明、照明開關控制、開窗面導光、屋頂導光與善用戶外式簾幕

(5) 太陽能之運用：

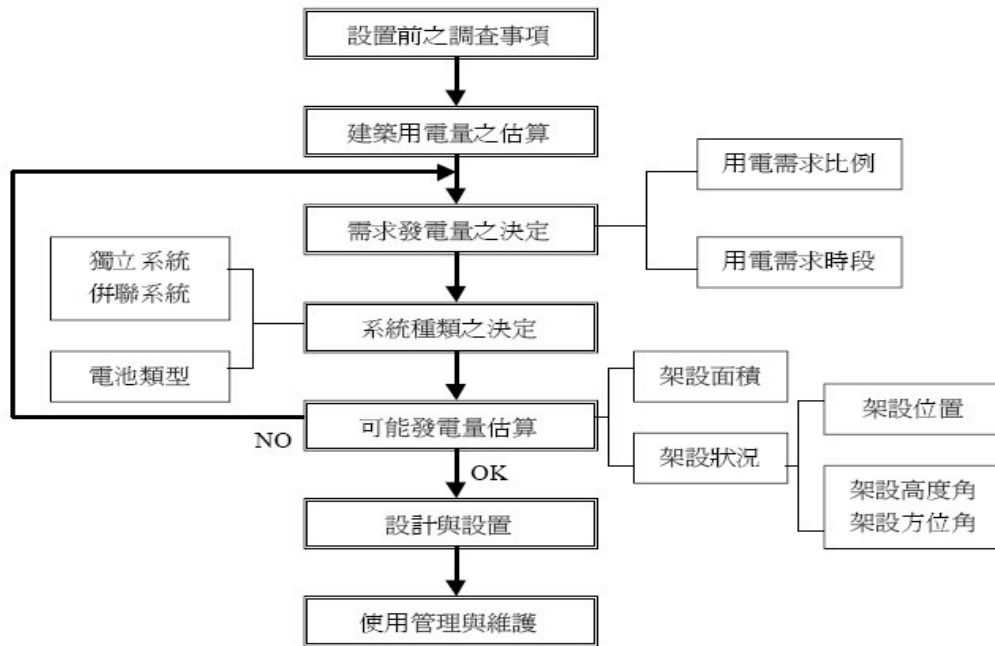
包括太陽能熱水系統與太陽能電池

因此，太陽電能之設計與規劃是否適當，影響著節能之指標能否達成。

## 肆、太陽能學校建築之設計與規劃

### 一、設計與規劃流程

學校建築要採用太陽電能，可採用以下研究結果的流程步驟來進行，如圖五（張子文，2001），有些屬於較專業的部分，學校必須與建築單位、太陽能架設單位一起共同配合與協調，並透過投標、契約等方式進行架設。



圖五：太陽電能建築之設計與規劃流程

### (一) 前置調查事項

針對學校所處之環境進行了解與調查，包括所處之日照長短、氣候溫度、風力變化、地形高度等。舉例來說，學校坐落於日照長度較常的鄉鎮縣市，則有利於採用太陽能發電方式來節省對傳統能源的依賴。

### (二) 建築用電量

每個各階段學校因其學校目標與運作不盡相同，大致上教室照明、室內空調、活動照明為主要用電量來源，透過對學校本身用電量的了解，健全學校用電資料庫，有助於替代能源的規劃。在有關學校建築用電量之研究有周鼎金(1999)的台北市中小學學校建築用電量之研究；雷志文(2000)的台中市中小學學校建築用電量之研究；以及陳弘裕等(2003)的高雄市高級職業學校電力消費效益研究。這些研究結果有助於學校對於能源的規劃與使用改善。

### (三) 用電時段與比例

以中小學來說，其時段為學生到校上課時段為用電高峰，而大專院校因各系所上課時間不定，用電時段較長。此外，夏季因空調之耗電結果，一般都比冬季用電量稍高。

### (四) 使用管理與維護

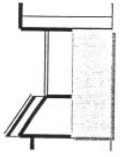
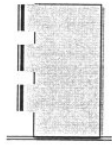
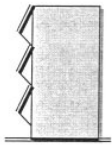


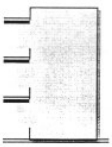
學校要與廠商共同維護相關設備，並建立良好維護團隊與機制。

## 二、太陽電能系統設置方式(張子文, 2001)

### (一) 設置在外牆

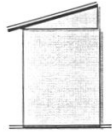
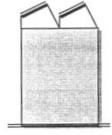
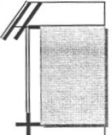
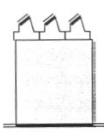

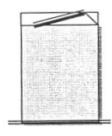


● 遮陽板使用設置 (a sunshading board)

		
Window breast 窗戶下緣面設置	Vertical with windows 配合窗戶的垂直面設置	Inclined without windows 窗戶分離的傾斜面設置
		
Inclined with windows 配合窗戶的傾斜面設置	Inclined wall 傾斜牆面設置	a sunshading board 遮陽板使用設置

太陽能電池與外牆結合的可行方式概念圖

(二) 設置在屋頂

		
Inclined roof 緊接於斜屋面上	Rows on the roof 排列於屋頂上	Balcony on roof 緊接於屋頂陽台上
		
Small shed roof 小的脊狀屋頂排列	Curved roof 緊接於曲線屋頂上	Fix on roof 固定搭接於屋頂面

太陽能電池與屋頂結合的可行方式概念圖

三、太陽光電與建築結合應用

(一) BIPV 簡介

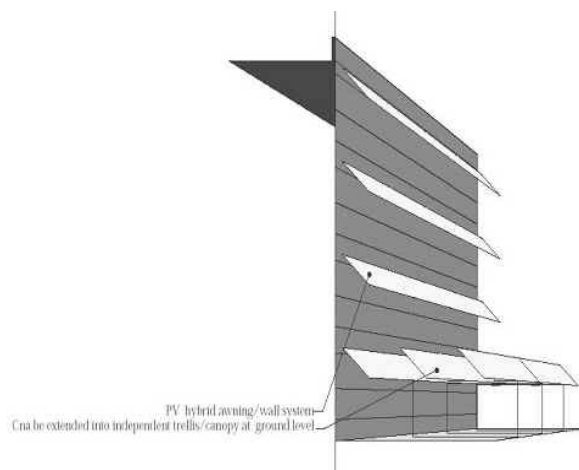
建築整合型太陽光電系統 (Building-Integrated Photovoltaic ; BIPV)，是以建築設計手法將太陽光電板系統導入建築物外殼構造，讓系統元件不僅可以發電，同時也是建築外殼的一部份。如果可以將太陽能光電板與遮陽板整合一併設置，將可同時獲得發電效益以及建築物開口部減少陽光直射熱、減少冷房負荷之雙重效果。(謝惠子，93)。

(二) 建築整合型太陽光電系統的優點 (取自太陽光電資訊網)

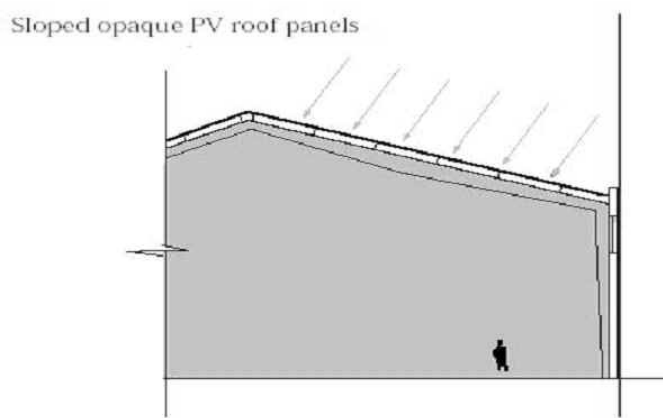
1、可有效利用建築物的外表大面積

- 2、可替代建築物的外表包覆材料
- 3、代替屋頂、牆面、窗戶之建材
- 4、可遮陽，降低建築物外表溫度
- 5、兼具建材及發電之功能
- 6、與生活、用電緊密結合
- 7、高可見度、高宣傳效果
- 8、降低整體建築成本
- 9、縮短建築施工時間、避免二次施工
- 10、建築物美觀
- 11、空間充份利用
- 12、結構安全性

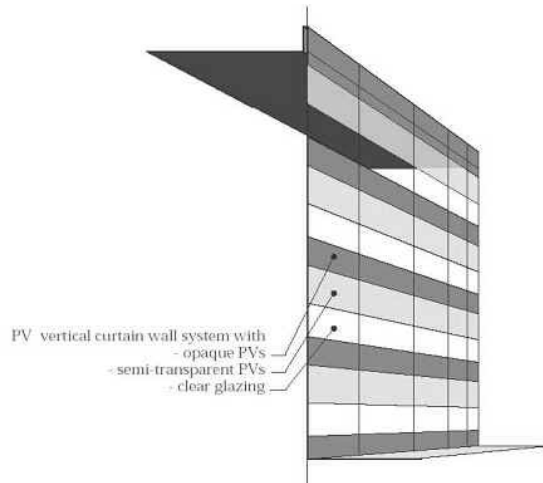
(三) 結合太陽光電與建築動態耗能模擬程式將 BIPV 對建築節能的影響納入評估，分析 BIPV 的發電和建築節能總體效益、提出因應遮蔽物的裝設對策，如圖六～十（取自 <http://www.ntut.edu.tw/~s2458030/green.htm>）



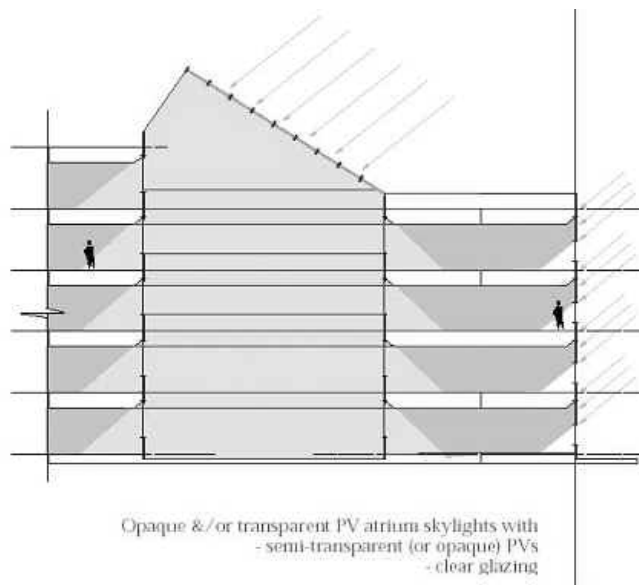
圖六：混合的太陽電池遮篷系統



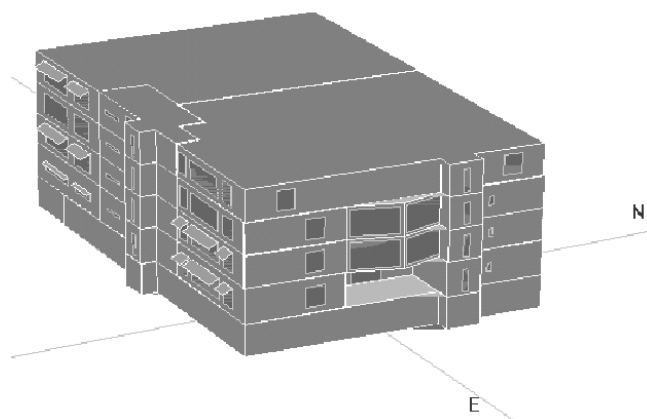
圖七：太陽電池屋頂鑲板



圖八：垂直的帷幕牆



圖九：太陽電池的中庭空間



圖十：電腦模擬中之建築模型

## 伍、各國太陽電能在學校建築應用之現況

### 一、美國（蕭灌修，2005）

太陽能發電科技迄今在美國已有 50 年歷史，近年來化石燃料能源如石油、天然氣、煤等價格不斷上漲，為提高能源效率、節約能源，減少對化石燃料能源的過度倚賴，增加能源自主性，與追求綠色環保科技，減少過度使用化石燃料能源開發電力，減少對空氣的污染，避免對環境與氣候造成不良影響等。另外，也為追求創新，而且太陽能發電科技也大有進步，因此，在美國尤其在加州，太陽能電力開發應用已愈來愈受到重視，加州政府亦提供獎勵資助太陽能電力的開發與使用。所以太陽能發電及使用已逐漸增加，不斷有創新科技及多樣化發展使用。

在加州境內 395 公路往北靠近內華達州距 395 公路與 58 號公路交會處不遠地方，已有一處佔地廣大的太陽能發電廠，營運多年。而位於加州 Mojave Desert 附近於今（2004）年新建立的太陽能發電廠，其為數成千上萬的太陽能板朝著天空太陽架設，此一太陽能發電場（Solar field）是美國境內最大太陽能發電廠之一，它是一個一百萬瓦（one-mega watt）發電能量的大太陽能發電廠，其電力足夠供應 1,000 戶家庭電力之需，它將用來供應附近社區大學（Cerro Coso Community College）主要校園 60% 所需電力，該校園有 2,700 位學生，一年預算經費一千二百萬美元。該校再生能源專家認為太陽能科技（Photovoltaic technology or Solar Power）已從邊緣科技成為新興主流科技，太陽能電力越來越便宜且越為可靠。

在美國中小學校及大學與公共建築物等越來越多選擇開發使用清靜再生能源電力，其已是一項潮流趨勢，而太陽能發電的開發利用在電力能源系統中是一項優先選項。Cerro Coso 社區大學校方人員承認投資一太陽能電力開發之投資裝置成本相當昂貴，總共投資八千九百萬美元，其中一半由加州政府的加州能源委員會（California Energy Commission）補助，另一半由投票通過發行債券（a voter-approved bond）籌措而來。未來估計每年因開發使用此項太陽能電力將可因此較使用傳統電力至少節省 300,000 美元，所以長期而言，仍然較為經濟節省，雖然當前需要一次花費巨額投資，未來要從太陽能發電運轉操作上節省經費。

在美國過去消費者裝置太陽能發電之太陽能板每一瓦發電量裝置需要 40 美金（\$40 per watt），但現在學校機構等只需花費大約每一瓦 8 美金左右的裝置費用（about \$8 a watt），而且太陽能板價格將再逐漸下降。太陽能板（Solar Panels）、太陽能電池（Solar cells）及太陽能板模組（Solar modules）與應用等，製造使用愈來愈多且愈來愈具經濟規模（Economies of Scale），因此投入競爭廠商愈來愈多，太陽能發電科技愈趨進步，成本與價格愈具競爭性，但短期內仍然無法與傳統化石燃料能源發電成本與價格相競爭。加州是美國 15 個州之一，對太陽能發電專案計畫提供補助，發電能量在一百萬瓦（one mega-watt）以下至一百萬瓦之間的計畫均由州政府提供裝置費用金額的一半予以補助（California is one of 15 states that pay half the cost solar power projects up to one

mega-watt)。

加州州立大學黑爾德校區 (California State University, Hayward) 最近花費 7 百萬美元在校園內四棟大樓屋頂裝置太陽能發電設備，將可供校園內 30% 電力之需。另外，加州聖地牙哥市 (The City of San Diego, CA) 目前已在一些公共建築物上裝置太陽能發電設備，未來將繼續推動太陽能發電計畫，估計未來 10 年將可開發太陽能發電量達到 50 百萬瓦 (50 mega-watts)，足可供 50,000 戶家庭電力需要。

## 二、德國 (翁鳳英, 2006)

### (一) 太陽能學校計畫

德國努力將該系統融入學校生活的重點國家之一。由德國經濟暨勞工部 (Federal Ministry of Economics and Labour) 主導的太陽能學校計畫 (Sonne in der Schule)，是鼓勵學校參與太陽能研發的重點計畫之一。該計畫提供每所學校最高 3,000 歐元的補助執行太陽能發電，截至 2000 年 4 月止，全德國已有 300 所學校獲得這項補助。

學校一般裝置輸出電量為 1 瓩的系統，花費大約為 5,000~7,000 歐元之間。該計畫的內容包括：學校能自由選擇模組的型式和系統零件，但必須獲得系統規劃、維護與安全等執照，學校也必須負責記錄每月的發電量。基於教學目地，該計畫免費提供監測系統，包括太陽能輸入電量感應器和太陽能資料收集器，所收集的資料包括太陽能係數、產生的太陽能電以及送入輸配電路的電量等。由於這類計畫均屬 3 年期研究計畫，因此收集到的資訊必須回報至經濟暨勞工部，以做為參考。

另外近年來太陽能已經帶動德國相關產業的發展，能源業者也都願意支持太陽能學校計畫的執行，希望能深化並普及太陽能的開發與使用。因此，許多德國的能源廠商如：HEW、BEWAG、EVS、ESAG、Bayern Werke、PreussenElectra (SonneONLINE) 等，也都在其服務地區贊助超過 1 千部以上的太陽能發電系統。

### (二) 佛來堡的魏慶格綜合中學

德國南部黑森林地區的佛來堡 (Freiburg) 是成功發展太陽能的著名城市，市政府環保局可沒讓孩子們在太陽能計畫中缺席。

魏慶格綜合中學 (Wentzinger Schulen) 在 1997 年藉由 25 週年校慶的機會，開始 1.15 瓩的太陽能計畫。原本由兩位老師發起的計畫，逐漸獲得其他老師、學生和家長、以及學校當局的支持，至 2000 年的夏天，該系統已擴充為 21 瓩的裝置容量，並使用來自不同製造商所提供的零件。

值得一提的是，該系統包括了一個 v 型集中器 (v-trough concentrator)，可集中射入模組的太陽能，而依太陽光角度的不同，集中器和其他模組會主動定位以收集到最大的太陽能。根據魏慶格綜合中學的研究資料，與一般太陽能光電系統比較起來，該集中器可導致多產生 20~30% 的電量。

太陽能發電成為這所學校全體師生和家長的共同目標，在 1997 年更成立了一個非營利組織「Wentz - Solar e.V.」以發展該校的再生能源技術和節省能源裝置為目標。建校才 33 年的魏慶格綜合中學，目前是德國太陽能發電量最高的學校，其屋頂上的太陽光電板之總發電量，足以供應全校 60 間教室使用。除此之外，所產出的多餘電力，更透過輸配電路賣給電廠，在 1998 至 1999 年獲利 6,500 歐元，至 1999 至 2000 年，獲利更高達 21,500 歐元，校方將所獲得的利潤全數用來擴增太陽能發電模組。

### (三) 歐汀的職業學校

在歐汀(Eutin)的職業學校(Beruflichen Schule)也在 1997 年安裝太陽能發電模組，共花費 17,000 歐元，其中 14,000 歐元由地方政府出資，而另外的 3,000 歐元則由太陽能學校計畫取得。從運作迄今，該系統並未發生任何問題。至 2000 年 9 月為止，共運作了 22,423 小時，產生電力 5,146 瓩。該系統發電成功，具有指標性的意義，表示德國北部各邦如荷斯坦(Schleswig - Holstein)、西麥肯倫柏格(Mecklenburg - West Pomerania)和下薩克森尼(Lower Saxony)等陽光較少的地方，也能考慮使用太陽能發電。

目前該校所發出的電量僅供己用，該系統是學校裡用來訓練電工、瓦斯和水等方面的技術人員的專門課程，也是附近學校學生觀摩太陽能設備的重要參考。該系統有助加深學生們對太陽能理論的瞭解，並使學生有機會藉採集、分析電表資料瞭解太陽能如何輸送至輸配電路。

### (四) 柯思斐德的納波木聖能學校

在柯思斐德(Coesfeld)的納波木聖能學校(Nepomucenum Gymnasium)在 1998 年 9 月裝置太陽能發電機組。該系統除自太陽能學校計畫取得一部分的資助外，其他費用則是由柯思斐德地方政府和該校學生家長會合資，組裝設備的支撐部分則由學校 10 年級的學生負責，而整個模組更成為 9 年級和 10 年級的學生們選修課程的一部分。太陽能發電模組選修課程包括：能源、能源產生、二極體(diodes)、半導體(semi-conductor)、系統最佳的發電位置、以及系統輸出電能等專門學科。學生可藉由此系統觀察並實驗系統發電的最佳位置，並記錄每日、每月、每季的輸出電量；除此之外，也可以學習如何使用太陽能來製造燃料電池所需的氫氣。

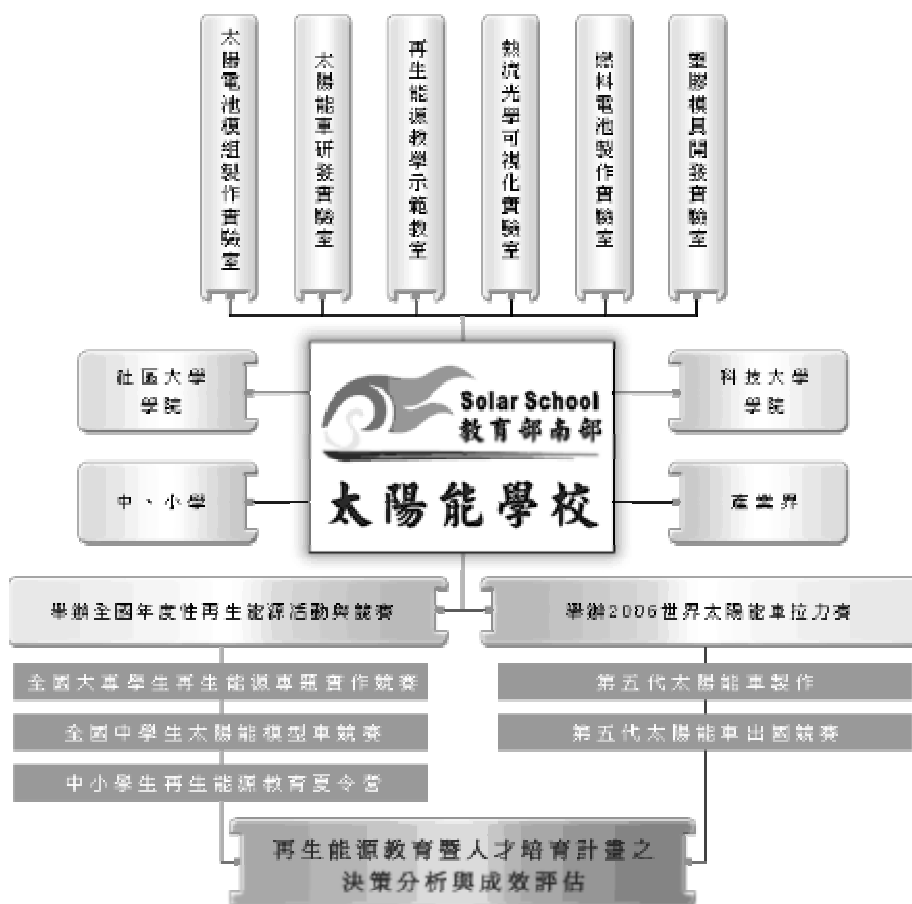
## 三、台灣

### (一)、太陽能學校(取自教育部南部太陽能學校)

教育部南部「太陽能學校」擬依不同專業背景與需求，提供各等級人員訓練，希望經由訓練課程，使得小學生到太陽能相關專業人士，都有學習機會，並能運用再生能源基本的知識與技能於日常生活與工作職場。針對人才培訓將特別著重於：(1)科普與終身學習教育服務、(2)整合各教學資源中心(社區大學)間橫向資源整合、(3)認知再生能源科技走向，自我成長與評估。

此外，著重將資源擴散於區域產業、夥伴科技大學、社區大學、全國中

小學。完整推動架構示意圖，如下所示。



## (二)、金羿獎 (取自太陽光電資訊網)

以 2004 金羿獎為例。以太陽光電發電系統為設計主要素材，呈現太陽光電系統設計為建築構材之整體設計，小至校園意象宣導，大至城市元素架構，我們選擇以「太陽光電應用設計」作為競賽主題，鼓勵創造者發揮創意，思考具 Solar 代表性的主題建築、校園入口意象及各類校園生活能源應用設計。

本比賽必須以 Solar 為主要思考中心，設計藝術為載具，主辦單位將以創意行銷手法，將比賽相關獲選廠商、團隊及個人得獎作品與創作者簡介，架構於 Solar City 宣導網站，並建立相關資料庫，提供參賽者更寬廣的專業演出平台，帶動資訊交流，進而創造結合「科技」、「藝術」、「能源教育」意識形態的優良國際城市。分為三組進行競賽：

### 1、太陽光電主題建築創作組

以太陽光電板為主要創作素材，考量太陽光電系統之應用及設置規劃，表現出建築藝術與能源科技的完美結合，創造最具 Solar 特色的代表建築。主題建築之建物內部平面設計規劃，應包含太陽光電系統之展示空間，其主要用途為 Solar 應用原理、Solar 產品應用實例及 Solar 相關資訊之展示。

金昇獎：《光電天幕與天幕廣場》(葉世宗建築師事務所)  
 優選：《重新銘刻》(王新驊)  
 優選：《人造光合細胞-屋頂能源中心》(Neo-Future studio 團隊)  
 佳作：《晒場角度》(意志建築研究室)  
 佳作：《零度》(張炳堯)  
 佳作：《尋找太陽》(周進)  
 入圍：《「曙光」-Solar & Ecological Park》(米亞設計工作室)  
 入圍：《光合作用機制下的空間觸媒轉譯》(統觀+層型)  
 入圍：《Solar 太陽能育樂生活館》(朕宏國際)  
 入圍：《原始的住屋》(米花)  
 入圍：《日光森林》(蔡思遠、葉蔭林)

## 2、校園入口意象設計組

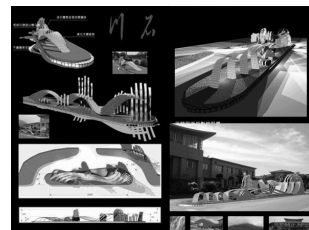
於國內任擇一中小學為設計基地，以太陽光電板為主要素材，利用公共藝術方式呈現校園入口意象。作品需依現有基地條件、太陽能板發電原理，考量設計圖實施之可行性並計算所提供電力，考慮與既有週邊環境風貌之相容性。

金昇獎：《影場繞著玩》(1.5cm 團隊)  
 優選：《光合作用》(L&F 團隊)  
 優選：《Solar Station》(A plus 團隊怡)  
 佳作：《川石》(MJ 工作室)  
 佳作：《落入水墨畫中的畫月》(平方公分團隊)  
 佳作：《舞蹈陽光》(王新驊)  
 入圍：《魔鏡》(詹勝閔)  
 入圍：《光迴》(光點)

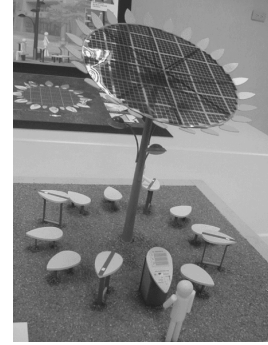
## 3、校園生活能源應用創作組

以太陽光電板為主要素材，進行結合能源教育及校園公共藝術的生活應用設計(如公佈欄、座椅、路燈…等之設計)。作品需依太陽光電板發電原理並計算所提供電力，以考量設計圖實施之可行性。

金昇獎：《任我行 On my way》(吊帶褲工作室)  
 優選：《Power Station》(吊帶褲工作室)  
 優選：《Solar water resource circulate system》(吊帶褲工作室)  
 佳作：《向日葵》(蔡偉翔)  
 佳作：《複製操場》(和光)  
 佳作：《光芎》(光點)  
 入圍：《落入水墨畫中的畫月》(平方公分)  
 入圍：《生生不息》(geter)







### (三)、安裝實例 (取自太陽光電資訊網)

台灣安裝太陽電能的學校明顯增加，茲從大專院校、高中職、與國民中小學的一些學校進行實例分享。

#### 1、大專院校

##### (1) 大葉大學

設置地點	彰化縣大村鄉山腳路 112 號
設置容量	15.84KW
設置場所	工學大樓 R 樓及道路
模板種類	單晶矽
系統種類	獨立型
inverter 輸出功率(KVA)	10
蓄電池型號	PRC-90
模板製造商	德國西門子太陽能公司
模板最大輸出功率(kWp)	15.84
inverter 製造商	Sieme35 Solar
蓄電池容量	90
蓄電池數量	37



##### (2) 聖約翰技術學院

設置地點	台北縣淡水鎮淡金路四 段 499 號
設置容量	5.4KW
設置場所	電機資訊大樓六樓平台
模板種類	單晶矽
系統種類	獨立型



inverter 輸出功率(KVA) 5.5

蓄電池型號 MS12100Ultra-

模板製造商 德國西門子太陽能公司

模板最大輸出功率(kWp) 5.4

inverter 製造商 Trace Engineering

蓄電池容量 100

蓄電池數量 20



## 2、高中職

### (3) 國立竹北高級中學

設置地點 新竹縣竹北市中央  
路 3 號

設置容量 3.78KW

設置場所 屋頂

模板種類 單晶矽

系統種類 併聯型

inverter 輸出功率(KVA) 4000

模板製造商 MSK

模板最大輸出功率(kWp) 3.78

inverter 製造商 株式會社 三社電機



### (4) 高雄市海青高級工商

設置地點 高雄市左營區左營大路  
1 號

設置容量 10.175KW

設置場所 屋頂

模板種類 單晶矽

系統種類 併聯型

inverter 輸出功率(KVA) 10

模板製造商 Sharp

模板最大輸出功率(kWp) 10.175



inverter 製造商 SHARP

### 3、國民中小學

#### (5) 台中市進德國民小學

設置地點 台中市東區進化路  
135 號

設置容量 9KW

設置場所 教學大樓四樓屋頂

模板種類 單晶矽

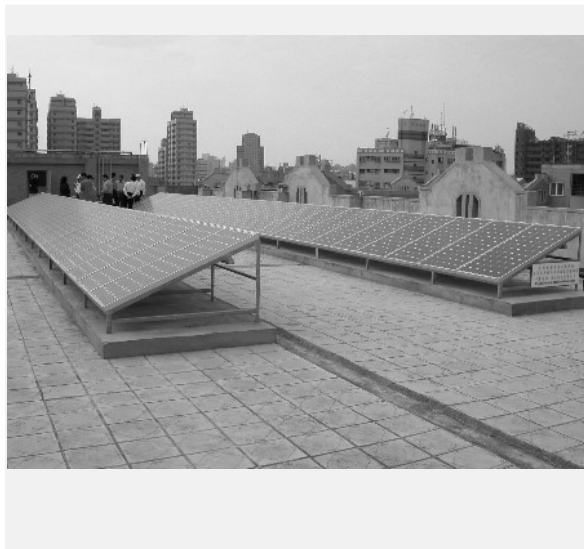
系統種類 獨立型

inverter 輸出功率(KVA) 10

模板製造商 MSK

模板最大輸出功率(kWp) 9

inverter 製造商 aes



#### (6) 台南縣南科國民小學

設置地點 台南縣新市鄉三舍村  
大順 6 路 8 號

設置容量 8KW

設置場所 遮陽棚

模板種類 單晶矽

系統種類 併聯型

inverter 輸出功率(KVA) 4

模板製造商 Shell Solar

模板最大輸出功率(kWp) 8

inverter 製造商 SanRex



#### (7) 金門縣烈嶼國民中學

設置地點 金門縣烈嶼鄉上林村  
后井 38 號

設置容量 10.2KW

設置場所 屋頂

模板種類 單晶矽

系統種類 混合型



inverter 輸出功率(KVA)	10
模板製造商	MSK
模板最大輸出功率 (kWp)	10.2
inverter 製造商	Xantrex technology



### (8) 台東縣立蘭嶼中學

設置地點	台東縣蘭嶼鄉椰油村 37 號
設置容量	8.32KW
設置場所	校內變電站屋頂
模板種類	多晶矽
系統種類	併聯型
inverter 輸出功率 (KVA)	10
模板製造商	茂迪股份有限公司
模板最大輸出功率 (kWp)	8.32
inverter 製造商	Xan trex technology



## 陸、結語

推動太陽能學校除了讓學校擁有替代能源外，更是具有能源教育的示範作用，在學校設置太陽電能設備，可向社區居民、學生解說再生能源等相關知識，包括了能源由光能轉換為電能、電能之儲存等，這有助於政府有關環保議題、使用能源正確觀念的宣導與政策的執行。換言之，學校採太陽電能設備有以下幾個功能：

### (一) 建立太陽電能之基礎資料庫

在採用太陽電能時併設監控設備，蒐集學校所在地區的天氣、太陽電能等基礎資料，協助完成全島資料庫的建立，以推動適合的太陽電能之評估、規劃與架設。(蕭江碧等，2001)

## （二）在學校社區推廣潔淨能源之使用

分析學校在各地區所建立的資料庫的資料，建立社會各地區居民適合使用的太陽電能模組，使發電效益增加才能降低民眾架設的成本，畢竟用電成本仍是一般民眾考慮的首要因素。

## （三）太陽電能產業之示範與教育功能

我國目前該產業蓬勃發展，具有國際競爭力，如能利用學校建築作為研究與應用的對象，不但能進行產學合作，同時能改善教育環境，讓學校兼具示範與教育的功能。

在進行太陽電能之學校建築規劃與設計時，要進行環境等各項評估，與專家共同打造光電淨能環境。同時配合節約能源的建築設計，透過採光、通風、綠化等設計，共同達成節能之效果。以下為太陽電能板在學校建築上可考慮的位置：

### （一）屋頂、立面與遮陽

在建物物表面大致有屋頂、立面與遮陽三部份可與太陽電能結合（蕭江碧、劉華嶽、周美惠、鄭政利，2001）。在學校，行政與教學大樓、體育館、風雨操場、停車棚與連接走廊的屋頂、立面與遮陽均可進行規劃。

### （二）建築物造型元素

透過太陽電能板拼圖與文字，如學校的圖騰、吉祥物與校徽等，或是具有符號與表達意向的圖畫。

### （三）校園的藝術裝置

依據研究目前常以獨立型的太陽電能設備搭配校園景觀，形成藝術空間，如有：（郭志榮，2005）

- 1、庭園景觀照明
- 2、校園前庭路標導引
- 3、路燈照明
- 4、車道指示燈

然而，目前太能電能設備費用仍偏高，唯開始可能需要政府經費的補助與建築法令的配合，必能使具環境優勢可以進行太陽電能之學校開始採用太陽能源。目前有一些太陽電能團隊除了提供專業諮詢外，也舉辦了太陽能有關的競賽活動，如此政府與民間共同響應，必能增加太陽電能的使用效益。

最後，我們要吸取外國太陽能學校之經驗，結合台灣目前在太陽能設備代工與矽晶圓代工之產業優勢，再加上台灣日照長等環境有利條件，從學校建築開始，讓永續校園與學校綠建築之理念達至理想的境界。

## 參考文獻

- 內政部建築研究所 (2002)。綠建築解說與評估手冊 2003 年更新版。台北市：內政部建築研究所。
- 太陽光電資訊網。http://solarpv.itri.org.tw/aboutus/website/other.asp
- 周鼎金 (1999)。台北市中小學學校建築用電量之研究。能源節約技術報導。
- 翁鳳英 (2006)。許孩子們一個閃亮的未來－德國太陽能學校。能源報導，1，28-30。
- 能源教育網。http://energy.ie.ntnu.edu.tw/2.1.4.php
- 能源署 (2005)。能源政策白皮書。取自  
http://www.moeaec.gov.tw/policy/EnergyWhitePaper/94/main/main.html
- 張子文 (2001)。太陽電池應用於建築上之研究。未出版碩士論文，國立成功大學建築研究所，台南市。
- 教育部 (2003)。打造綠校園 Taiwan Green School：與世界接軌的學習環境－永續、生態、環保、健康。台北市：作者。
- 教育部南部太陽能學校。http://solarschool.kuas.edu.tw
- 郭志榮 (2005)。高雄市國民中小學太陽能發電系統應用之研究。未出版碩士論文，國立屏東科技大學環境工程與科學研究所，屏東縣。
- 陳弘裕等 (2003)。高雄市高級職業學校電力消費效益研究。永續發展的校園與建築。台北市：中華民國學校建築研究學會。
- 湯志民 (2003)。學校綠建築規畫之探析。永續發展的校園與建築。台北市：中華民國學校建築研究學會。
- 雷志文 (2000)。台中市中小學學校建築用電量之研究。未出版碩士論文，逢甲大學建築及都市計畫研究所，台中市。
- 蕭江碧、劉華嶽、周美惠、鄭政利 (2001)。太陽能光電設備應用於建築物之研究與評估。內政部建築研究所研究計劃成果報告 (計畫編號：MOIS 902037)，未出版。
- 蕭灌修 (2005)。美國太陽能發電科技發展與政府相關獎勵政策及措施。取自國科會國際合作處簡訊網 http://stn.nsc.gov.tw。
- 謝惠子 (2004)。建築整合型光電外遮陽設計與應用。能源報導，4，22。