

出國報告（出國類別：實習）

太陽能電源應用系統與配電網 連結技術研習

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：許炎豐、王金墩 電機研究專員

派赴國家：澳洲

出國期間：96.8.01~96.8.14

報告日期：96.10.4

出國報告審核表

出國報告名稱：太陽能電源應用系統與配電網連結技術研習		
出國人姓名	職稱	服務單位
許炎豐、王金墩	十等電機研究專員	台灣電力公司綜合研究所
出國期間：96年8月1日至96年8月14日		報告繳交日期：96年10月4日
出機 國關 計審 畫核 主意 辦見	<p> <input checked="" type="checkbox"/> 1. 依限繳交出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 2. 格式完整（本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」） <input checked="" type="checkbox"/> 3. 內容充實完備。 <input checked="" type="checkbox"/> 4. 建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 5. 送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 6. 送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 7. 退回補正，原因：<input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容以 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 8. 本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： <input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會（說明會），與同人進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 9. 其他處理意見及方式： </p>	
層審 轉核 機意 關見	<p> <input type="checkbox"/> 1. 同意主辦機關審核意見 <input type="checkbox"/> 全部 <input type="checkbox"/> 部分 _____（填寫審核意見編號） <input type="checkbox"/> 2. 退回補正，原因： _____ <input type="checkbox"/> 3. 其他處理意見： _____ </p>	

說明：

- 一、出國計畫主辦機關即層轉機關時，不需填寫「層轉機關審核意見」。
- 二、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 三、審核作業應於報告提出後二個月內完成。

報告人：  王金墩  許炎豐  楊金石	單位 主管  林鏡明	主管處 主管  費昌仁	總經理 副總經理：
---	--	---	--------------

I

I

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：太陽能電源應用系統與配電網連結技術研習

頁數 46 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：

台灣電力公司/陳德隆/2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

許炎豐/台灣電力公司/綜合研究所/電機研究專員/8078-2305

王金墩/台灣電力公司/綜合研究所/電機研究專員/8078-2263

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他(開會)

出國期間：96.8.01~96.8.14

出國地區：澳洲

報告日期：96.10.4

分類/號目：

關鍵詞：太陽光電(Photo voltaic)、叢集式併網(Clustered Grid-connected)、智慧型電網(Smart Grid)

內容摘要：(二百至三百字)

將來大量之分散型太陽能發電系統併入本公司之配電網路時，必須考量其系統衝擊與配套措施。特別是在電力品質、相關之電力電子技術、監控與資訊及未來對於導入本公司智慧型電網(Smart Grid)之規劃與連結。

在太陽能研究與應用系統方面，澳洲具有領先之技術，如位於雪梨之新南威爾斯大學(University of New South Wales, UNSW)之研究即執此方面之牛耳。此外，BP Solar 公司規劃建置的雪梨奧運村(Olympic Village)太陽光電(PV)社區，為叢集式併網太陽光電系統(Clustered Grid-connected PV Systems)範例之一，拜訪以上兩個單位，有助於未來台灣或本公司規劃類似系統之正確方向，學習成功經驗，並避免可能之衝擊，提供未來本公司之重要參考。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.gsn.gov.tw>)

太陽能電源應用系統與配電網連結技術研習

目 錄

出國報告書審核表.....	I
出國報告提要.....	II
目錄.....	III
圖表目錄.....	V
壹、實習目的與過程.....	1
1.1 緣起與目的	1
1.2 行程與內容	2
貳、實習心得.....	3
2.1 研習叢集式併網太陽光電系統在配電系統之衝擊與改善方案	3
2.1.1 國內叢集式併網太陽光電系統發展驅勢	3
2.1.2 叢集式併網太陽光電系統在配電系統之著名案例	3
2.1.3 叢集式併網太陽光電系統在配電系統之衝擊因素	5
2.1.4 澳洲雪梨奧運村太陽光電系統簡介.....	7
2.1.5 雪梨奧運村太陽光電系統在配電系統之衝擊因素與運轉經驗	13
2.2 太陽光電(PV)系統INVERTER 特性與認證.....	14
2.3 研習太陽光電池(PV Cell)開發與新研究成果	20
2.4 研習太陽光電(PV) 系統建置、監測與最佳設計.....	27
2.4.1 PV Generator輸出及Inverter輸入工作範圍設計.....	28
2.4.2 較大型PV發電系統設計與整合	31
2.4.3 PV發電系統之監測系統(SCADA)	36
參、綜合結論與建議事項.....	39
3.1綜合結論	39
3.2 建議事項	40
肆、參考文獻.....	41

圖表目錄

圖2.1.1太陽光電系統的出力因電壓升受到限制或切斷.....	6
圖2.1.2太陽光電系統加裝蓄電池儲能系統系統架構.....	6
圖2.1.3 興建中的奧運體育館與部份完成的住宅.....	8
圖2.1.4作者本次實地參觀奧運體育館.....	9
圖2.1.5 作者本次實地參觀雪梨奧運村太陽光電系統.....	10
圖2.1.6 雪梨奧運村裝設太陽光電系統社區外觀之一.....	10
圖2.1.7 雪梨奧運村裝設太陽光電系統社區外觀之二.....	11
圖2.1.8 雪梨奧運村裝設太陽光電系統社區外觀之三.....	11
圖2.1.9裝置電力調節器(Inverter)的配電箱	12
圖2.1.10配電箱中電力調節器(Inverter)與計費電錶	12
圖2.2.1 PV Inverter架構1-先換流後利用變壓器升壓	14
圖2.2.3 PV Inverter架構2-利用直流/直流轉換器升壓再換流	15
圖2.2.3 PV Inverter架構3-先換流後再利用高頻變壓器升壓然後再一次換流轉換 成市電頻率.....	15
圖2.3.1 PV Cells基本發電原理	23
圖2.3.2 PC1D模擬軟體.....	25
圖2.3.3PC1D模擬結果各種參數之變化圖.....	26
圖2.3.4 PC1D模擬表面加一層透光抗反射處理之最佳設計.....	27
圖2.4.1 PV Generator/Inverter連接與PV Generator輸出及Inverter輸入工作範圍 ..	28
圖2.4.2 PV Generator輸出及Inverter輸入之工作範圍搭配.....	29
圖2.4.3 PV generator 之MPP電壓落在Inverter低工作電壓之外.....	29
圖2.4.4 PV generator 之開路電壓高於Inverter最大工作電壓VDCmax	30
圖2.4.5 PV generator 之MPP電流高於Inverter最大工作電流IDCmax	30
圖2.4.6 Central Inverter架構	31
圖2.4.7 Master - Slave架構	32
圖2.4.8多String多Inverter架構	33
圖2.4.9 Team架構	34
圖2.4.10 SMA公司之PV Plant 模擬軟體-PV Plant.....	35

圖2.4.11 SMA公司之PV Plant 模擬軟體-Inverter.....	35
圖2.4.12 SMA公司之PV Plant 模擬軟體-結果	36
圖2.4.13 SMA公司之SCADA架構	37
圖2.4.14 SMA公司之無線太陽能發電信號接收器.....	38
表2.1.1 國外較知名的叢集式併網太陽光電系統案例.....	4
表2.1.2澳洲雪梨奧運村太陽光電系統電氣系統資料.....	4
表2.1.3荷蘭，阿默斯福特太陽光電系統電氣系統資料.....	5
表2.1.4日本群馬縣太田市太陽光電系統電氣系統資料.....	5
表2.2.1 Sunny Boy SB 1100型Inverter在併網方面通過的各項細目	17
表2.2.2 再生能源發電系統併聯技術要點與太陽光電(PV)系統INVERTER特性	18
表2.2.3本公司與美國UL1741系統併聯技術要點相關運轉規範和INVERTER特性 關聯比較.....	19
表2.3.1 部分商用之太陽能發電模組效率與規格.....	21

壹、實習目的與過程

1.1 緣起與目的

近年來由於全球暖化效應及二氧化碳排放問題日益嚴重，綠色電源如風力發電與太陽能發電等分散式能源逐漸佔有相當高之比例，因此對本公司系統之衝擊亦相對嚴峻，在風力發電方面本公司之案例經驗已逐漸成熟，惟在太陽能發電方面之技術及經驗仍相當有限，將來大量之分散型太陽能發電系統併入本公司之配電網路時，所須考量之電力品質、相關之電力電子技術、系統衝擊、監控與資訊及未來對於導入本公司智慧型電網之規劃與聯結等，必須及早掌握關鍵技術與學習相關成功之經驗。

目前在太陽能研究與應用系統方面，澳洲具有領先之技術，位於雪梨之新南威爾斯大學(University of New South Wales, UNSW)之研究即執此方面之牛耳。此外，BP Solar 公司規劃建置的雪梨奧運村(Olympic Village)太陽光電(PV)社區，為叢集式併網太陽光電系統(Clustered Grid-connected PV Systems)範例之一，拜訪以上兩個單位，學習成功經驗，有助於提升台灣地區規劃此類系統之能力，並避免可能之衝擊，做為未來本公司之重要參考，創造推廣再生能源發電與兼顧系統安全之雙贏局面。本次出國研習內容項目歸納如下：

- (1) 研習叢集式併網太陽光電(PV)系統(Clustered Grid-connected PV Systems)，在配電系統之衝擊與改善方案。
- (2) 研習太陽光電池(PV Cell)開發與新研究成果。
- (3) 研習太陽光電(PV)系統建置、監測與最佳設計

1.2 行程與內容

本次出國研習行程與內容如下表所示：

96 0801	96 0802			往程（台北－澳洲雪梨）
96 0803	96 0805	新南威爾斯 大 學 (UNSW).	澳洲 雪梨	參訪雪梨 UNSW 之 School of Photovoltaics and Renewable Energy Engineering 研習高效率 Solar Cell 研究技術與成果。
96 0806	96 0811	BP Solar Australia 公司	澳洲 雪梨	赴雪梨 BP Solar Australia 公司及 Olympic Village，參訪、研習與討論太陽能研究與應用系統建置、維護與運轉，分散型太陽能發電系統併入本公司之配電網路時所須考量之電力品質、相關之電力電子技術、系統衝擊、監控與資訊及未來對於導入本公司智慧型電網之規劃與聯結等關鍵技術與學習相關成功之經驗。
96 0812	96 0813	新南威爾斯 大 學 (UNSW).	澳洲 雪梨	與 UNSW 專家研習與討論分散式太陽能發電系統併入電網之技術與相關衝擊分析等細節。

貳、實習心得

2.1 研習叢集式併網太陽光電系統在配電系統之衝擊與改善方案

叢集式併網太陽光電系統 (Clustered Grid-connected PV Systems)，乃指一群太陽光電系統用戶，一個一個沿著饋線低壓側分別併網，一般所謂太陽光電社區就是這種類型。

上述叢集式併網太陽光電系統和集中型併網太陽光電系統之差異在於容量與分佈，在台灣目前仍以集中型併網之案例為主，裝置於機關學校、公司或體育館等大型建築之頂樓或表層，太陽光電系統之發電匯集到一點併入系統，至於叢集式併網太陽光電系統則尚未成形。

2.1.1 國內叢集式併網太陽光電系統發展驅勢

國內規劃建構叢集式併網太陽光電系統，首推台南縣政府。台南縣政府積極推動「南科 SOLAR CITY」打造台灣第一座太陽能光電城，預定期程分為短、中、長期三階段。

第一期土地範圍包含南科液晶電視產業專區與南科新市鎮一期 2 部份，前者將發展集中型太陽光電系統 (預定總容量 1MWp)，後者將發展成陽光社區。

陽光社區亦即叢集式併網太陽光電系統，總面積 107 公頃，預定 4000 戶住家，總容量達 8MWp。預期 2007 年初可完成南科新市鎮一期的公共設施，2007 年底可完成南科液晶電視產業專區的公共設施。就陽光社區的部份，以當地房屋胃納而言，一年應在 400 戶左右。全案第一期目前規劃有 4000 戶，10 年開發完成，每年預估 400~500 的戶數，規定每戶須裝置光電系統 1kWp 以上。若以 4000 戶每戶 2kWp 計算，總容量達 8MWp，加上公共設施上設置的系統，總設置容量可達 9MWp。陽光社區由個別建商開發，光電系統設置補助的部份，由建設公司一戶一戶的提出補助申請。

2.1.2 叢集式併網太陽光電系統在配電系統之著名案例

因應國內即將興起的叢集式併網太陽光電系統，工研院太陽光電科技中心亦蒐集了國外較知名的案例如下[1]：

(1)澳洲雪梨奧運村(Olympic Village, Sydney, Australia)

(2)荷蘭，阿默斯福特(Amersfoort, Netherlands)

(3)日本，群馬縣太田市(Ota City, Japan)

此三個案例的一般資料如表 2.1.1 所示，以裝置總容量比較，日本的太田市最高，荷蘭的阿默斯福特次之。三個案例的電氣系統資料分別如如表 2.1.2~表 2.1.4

表2.1.1 國外較知名的叢集式併網太陽光電系統案例

	澳洲 雪梨奧運村	荷蘭 阿默斯福特	日本 群馬縣太田市
位置	Newington 區 Homebush 海灣， 澳洲，雪梨	Nieuwland, Amersfoort, Netherlands	Ota City, Gunma Prefecture
陽光小時 (每年平均)	每天 5.5 個小時	每天 4.5 個小時	-
工程的類型	居住	居住	居住
應用的類型	BIPV	BIPV	BIPV
戶數	第一期 629 戶	500 戶	553 戶
建造時程	1997~2000 年 12 月 完成第一期，陸續增加中。	1997~ 1999 年	2002~2006年
總裝置容量	891kW	1,323 kWp	將近 2,130kW

表2.1.2澳洲雪梨奧運村太陽光電系統電氣系統資料

PV 系統發電容量	每戶 1 kW，第一期 629 戶
PV Cell 技術類型	單晶矽
PV 模組	BP solar 公司製造 高效率土星系列
直/交流電力轉換器	BP solar 公司委託 SMA 公司製造 1200 W/ 每具

表2.1.3荷蘭，阿默斯福特太陽光電系統電氣系統資料

PV 系統發電容量	平均每戶2.646 kW， 500戶
PV Cell 技術類型	多晶矽
PV 模組	Shell Solar 公司製造 95 W/每片模組
直/交流電力轉換器	Mastervolt 公司製造 2500 W/ 每具

表2.1.4日本群馬縣太田市太陽光電系統電氣系統資料

PV 系統發電容量	平均每戶 3.85 kW， 553 戶
PV Cell 技術類型	多晶矽為主
PV 模組	製造商由*NEDO 指定幾家廠商（如 Sharp、Kyocera、Mitsubishi 與 Sanyo 等）
直/交流電力轉換器	電力轉換器+裝蓄電池儲能系統

註:NEDO: New Energy and Industrial Technology Development Organization

2.1.3 叢集式併網太陽光電系統在配電系統之衝擊因素

由於叢集式併網太陽光電系統，乃指一群太陽光電系統用戶，一個一個沿著饋線低壓側分別併網，所以其對配電系統之影響範圍較廣，甚至是這些用戶也會彼此影響。

以日本群馬縣太田市太陽光電系統為例[2]，在配電系統最受關心的衝擊因素為：

- (1)太陽光電系統出力增加所引起的電壓升(Voltage Swell)。
- (2)非計畫性的孤島運轉(Islanding)所引起的安全問題。
- (3)電力諧波的污染(在高電壓配電線上須小於 5%)

在日本的配電系統，規定的電壓範圍在 100 伏系統為 101±6V，200 伏系統為 202±20V，但有時太陽光電系統出力增加至一個程度，線路上的電壓就可能超出 107 V 或者 222 V，尤其在線路末端，在此情況下，附近用戶的太陽光電系統的出力就會受到限制或切斷，如圖 2.1.1 所示。基於上述理由，日本方面以這個示範系統進行各項改善措施研究，目前所採用的方法乃是加裝蓄電池儲能系統，如圖如圖 2.1.2 所示。

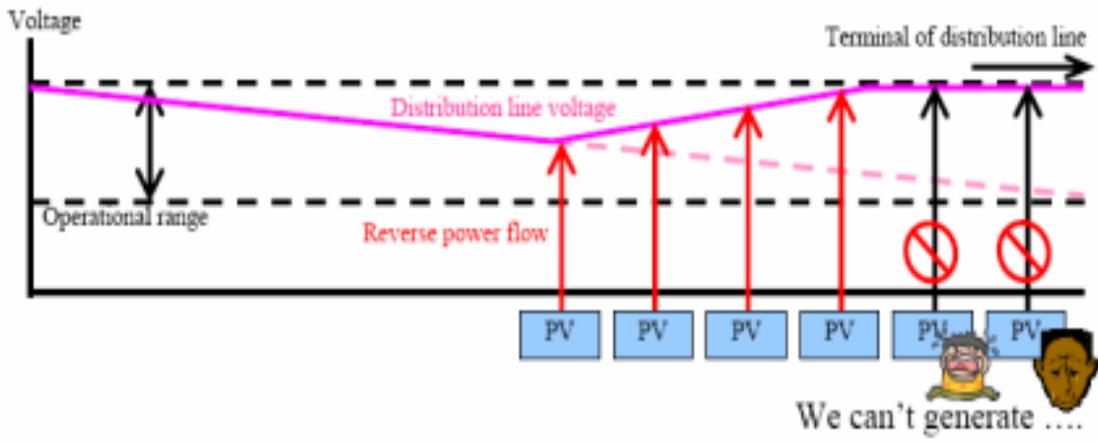


圖2.1.1太陽光電系統的出力因電壓升受到限制或切斷

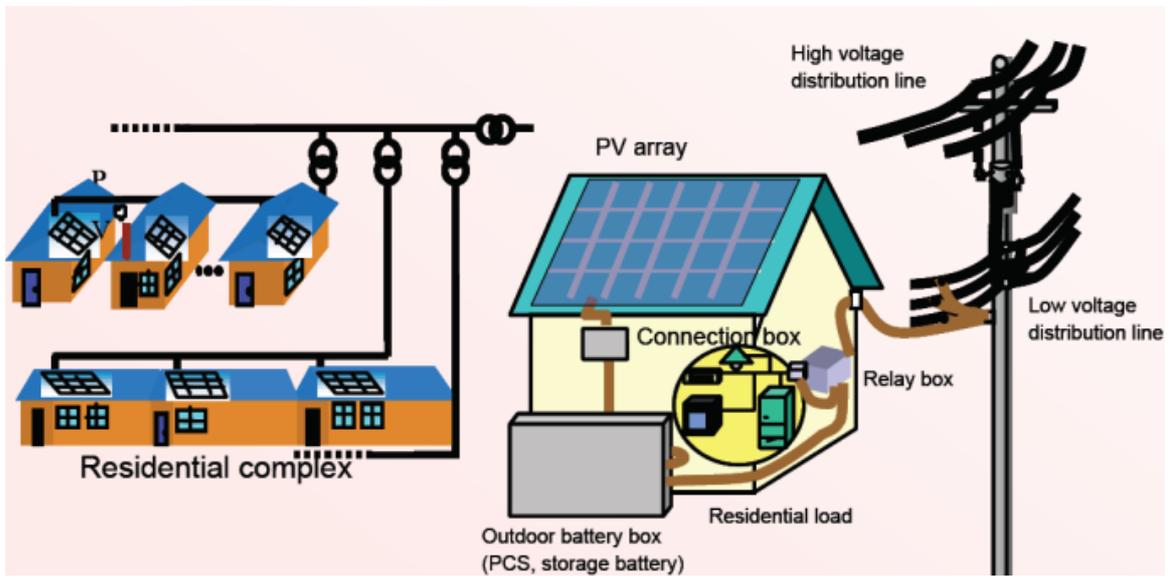


圖2.1.2太陽光電系統加裝蓄電池儲能系統系統架構

2.1.4 澳洲雪梨奧運村太陽光電系統簡介

透過 BP solar 公司提供的簡介資料[3]，並陪同實地參觀現場，本節將敘述澳洲雪梨奧運村太陽光電系統籌設的歷史背景。

在 1996 年新南威爾斯(NSW)州政府針對 2000 年雪梨奧運會的選手村的建造，訂定關懷地球、能源再生的方針。由建築公司、永續能源當局 (Sustainable Energy Development Authority, SEDA) 與太平洋電力公司 (Pacific Power) 組成的團隊，共同規劃結合高效率太陽光電與太陽熱水器的住宅社區，此項建設在 1997 年開始並且在 2000 年 6 月完成，圖 2.1.3 為興建中的奧運體育館與部份完成的住宅，圖 2.1.4 為作者本次實地參觀奧運體育館相片，圖 2.1.5~圖 2.1.8 為作者本次實地參觀當年奧運會的選手村，這些住宅在奧運會結束後已轉售給一般百姓，後來並陸續擴建中。

在電力方面，除太平洋電力公司外，另外澳洲電力公司 (Energy Australia)，BP Solar 公司也加入這個團隊，BP Solar 公司負責供應與裝置太陽光電系統，必須完善結合屋頂 PV 模組，電力調節器(Inverter)的安裝與佈線。在紐因頓市郊的 629 個永久式住宅 (第一期規劃)，每戶屋頂裝置 1 千瓦太陽光電陣列，此光電陣列由 12 片 85 W 單晶矽模組所組成，再透過一台電力調節器 (Inverter)連接本地低電壓(240/415V)配電線路，使用的電力調節器(Inverter)是委託 SMA 公司生產的 GCI 1200 型，此電力調節器(Inverter)裝在外牆的配電箱，下面有兩個計費電錶，照片如圖 2.1.9 和 2.1.10 所示。

本太陽光電系統為市電併聯型，餘電回售電力公司，回售之電價等於市電電價(12cent 澳幣/度)，至目前統計的平均發電量為 3.8kWh/每天/每 1kW 裝置容量。

目前雪梨奧運村太陽光電系統狀況，在裝置容量與分佈方面，1kW 容量 780 戶，0.5kW 容量 222 戶，合計 1002 戶，總容量 891kW，尚有一部分未完成，預期完成後總容量可達 1MW。



圖2.1.3 興建中的奧運體育館與部份完成的住宅



圖2.1.4作者本次實地參觀奧運體育館



圖2.1.5 作者本次實地參觀雪梨奧運村太陽光電系統



圖2.1.6 雪梨奧運村裝設太陽光電系統社區外觀之一



圖2.1.7 雪梨奧運村裝設太陽光電系統社區外觀之二



圖2.1.8 雪梨奧運村裝設太陽光電系統社區外觀之三



圖2.1.9裝置電力調節器(Inverter)的配電箱

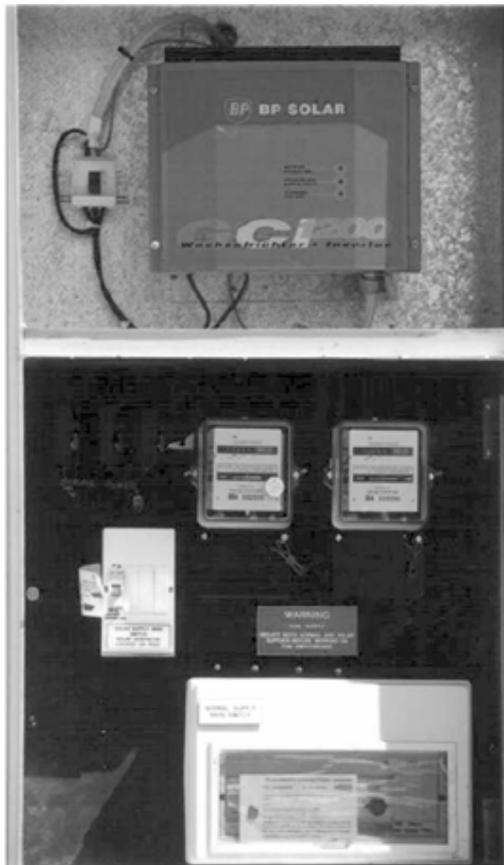


圖2.1.10配電箱中電力調節器(Inverter)與計費電錶

2.1.5 雪梨奧運村太陽光電系統在配電系統之衝擊因素與運轉經驗

作為奧運會的選手村，它的電力系統供應可靠度與安全必須達到極高的水準。所以太平洋電力公司和澳洲電力公司特別關心奧運村太陽光電系統在配電系統之衝擊，乃委請新南威爾斯大學共同研究與測試相關問題，主要重點為：

- (1) 安全(Safety)：防止單獨運轉檢出裝置之有效性，關係到公眾和維護人員的安全。
- (2) 電壓變動(Voltage effects)：關係到線路上各點電壓是否因為太陽光電系統的出力而造成電壓過高，影響到電器安全或 INVERTER 將因此自動解聯，無法提供電力，電壓變動當然也會與負載功因、太陽光電系統出力的無效功率有關。
- (3) 電力品質(Quality)：諧波、直流成分與電壓閃爍。
- (4) 短路電流之貢獻(Fault levels)：如果貢獻太大的短路電流，可能超過既有斷路器之遮斷容量。

經過幾年之運轉經驗，此一叢集式併網太陽光電系統在配電系統之衝擊並不顯著，在幾個關鍵問題的情況如下：

- (1) 單獨運轉：未曾發生（inverters 的防止單獨運轉檢出裝置在單機/多機狀況下，均經過嚴格測試）
- (2) 電壓變動：出力變化影響電壓不明顯。
- (3) 諧波：inverters 的諧波比一般負載還低。
- (4) 短路電流：貢獻程度很低。

經過與 BP Solar 公司的工程師與專案經理討論，歸納雪梨奧運村太陽光電系統對配電系統衝擊不大之原因如下：

- (1) 量的問題：
和日本群馬縣太田市案例相較之下，本地區之密度和總容量相對較低，這當然和獎勵措施有關，收購電價誘因顯然不足。
- (2) 系統短路容量的問題：
澳洲電力系統由 132kV 電網降壓為 11kV 或 22k 進入配電網路，再透過配

電變壓器降為 240V 供應用戶。而日本方面，電力系統由 66kV 電網降壓為 6.6kV 進入配電網路，再透過配電變壓器降為 210-105V 供應用戶。比較之下，澳洲配電系統短路容量應該較大。

(3) Inverter 的性能:

Inverters 在諧波、短路電流輸出控制，單獨運轉檢出裝置等方面均達到極高水準。

2.2 太陽光電(PV)系統INVERTER 特性與認證

太陽光電模組產生直流電之後，必須將此不穩定的直流電源轉換為交流形式並與市電併聯，主要的電路架構分為兩階段，分別為升壓電路與換流電路，升壓電路可以在直流側進行，利用升壓型直流/直流轉換器(Boost dc/dc converter)，或者在交流側利用變壓器升壓。

就以上之架構，INVERTER 基本上可以分三種形式：

- (1)先換流後利用變壓器升壓，如圖 2.2.1 所示。
- (2)利用直流/直流轉換器升壓再換流，如圖 2.2.2 所示。
- (3)先換流後再利用高頻變壓器升壓，然後再一次換流轉換成市電頻率，如圖 2.2.3 所示。

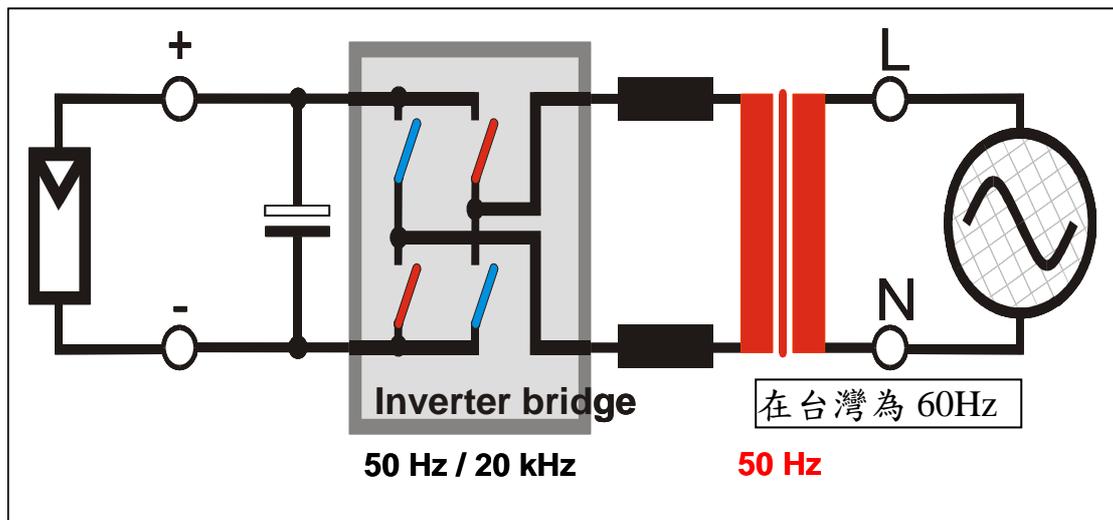


圖2.2.1 PV Inverter架構1-先換流後利用變壓器升壓

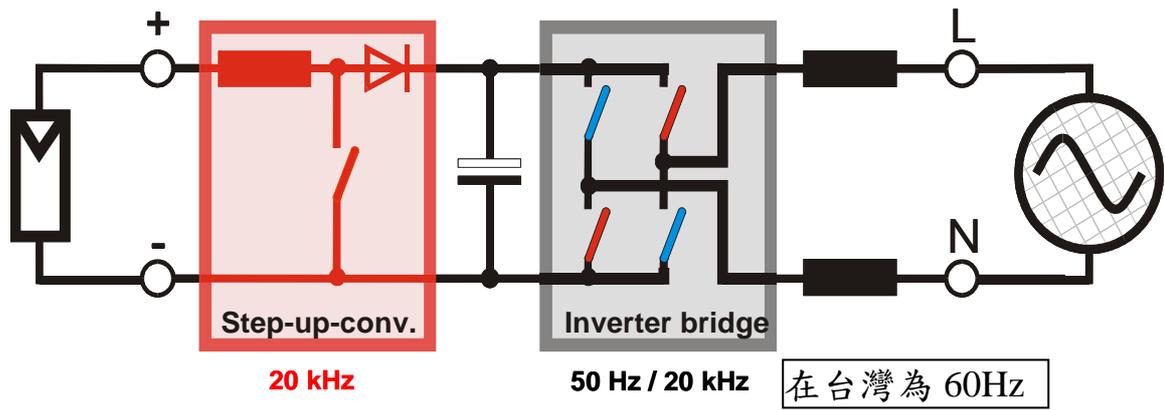


圖2.2.3 PV Inverter架構2-利用直流/直流轉換器升壓再換流

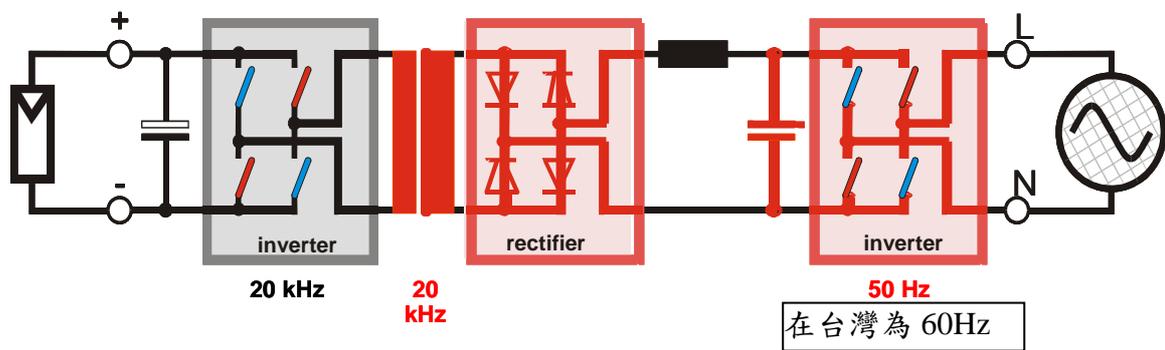


圖2.2.3 PV Inverter架構3-先換流後再利用高頻變壓器升壓然後再一次換流轉換成市電頻率

全橋式換流器由四顆功率開關橋接，加上輸入端穩壓電容與輸出端電感電容濾波器所組成。它的主要功能是將輸入端直流電壓源經由功率開關的高頻切換轉換為交流電源輸出。由於此太陽能電力轉換器的設計是將太陽光能以交流電流的形式輸出至市電網路，若將市電視為一理想交流電壓源，則換流器的電路設計是以兩串接電感做為輸入端直流電壓與輸出端交流電壓源之間的緩衝元件。

功率開關切換的目的在於控制電感上電流波形為一與市電電壓同相之正弦波，使得輸出電流功率因數接近 1。換流器輸出端電容的作用在於吸收因開關切換所造成的高頻電感電流漣波，使輸出至市電網路的電流為線頻電感電流，降低輸出電流諧波。

保護電路部份，由於智慧型功率模組已內含保護電路，故對電力轉換器本身的保護並未外加其他保護電路。事實上，另一個重要的太陽能電力轉換器的安全設計為當市電斷電時能自動切離市電網路，亦即孤島現象之偵測與防止。

太陽光電力轉換器在運轉上可分為三種型式：

離線型(off-grid)或稱之為獨立(stand-alone)型，此種電力轉換器由電池供電，產生方波或弦波型式的交流輸出，提供獨立系統的用電，但無法與市電併聯。

併網型(grid-connected or line-tied) 電力轉換器：產生與市電同步的弦波電流輸出，可與市電併聯，將太陽光電池的輸出電能直接轉換為市電，但無法獨立供電；

第三種混和型(hybrid) 電力轉換器：除了具備併網型的優點之外，可連接電池，對特定連接的負載可提供獨立供電，具有不斷電系統的功能。

透過 BP solar 公司提供的資料，在澳洲有關 Inverter 併網之標準如下：

- AS4777.1-2002 Grid connection of energy systems via inverters
Part 1: Installation requirements
- AS4777.2-2002 Grid connection of energy systems via inverters
Part 2: Inverter requirements
- AS4777.3-2002 Grid connection of energy systems via inverters
Part 3: Grid protection requirements

長期與 BP solar 公司的 SMA 公司，其生產之 Inverter 皆通過 AS4777 相關標準，例如 Sunny Boy SB 1100 型 Inverter 在併網方面通過的各項細目如表 2.2.1 所示。

表2.2.1 Sunny Boy SB 1100型Inverter在併網方面通過的各項細目

Standards	Test type	Test result
AS4777.2 clause 4.1	Insulation Test The Sunny Boy SB 1100 complies with AS3100 clause 8.3.1 for the insulation resistance test.	not tested
AS4777.2 clause 4.2	Compatibility with electrical installations The Sunny Boy SB 1100 was physically inspected for the earthing connections between main components and chassis and good earthing practices were observed. The inverter output AC voltage and frequency comply with AS60038.	complies
AS4777.2 clause 4.3	Power flow direction The power flow during the test was from inverter to the grid.	noted
AS4777.2 clause 4.4	Power factor The Sunny Boy SB 1100 maintained a power factor in the range of 0,992 to 0,995 over the operating range from 20% to 100% of output. It does comply with the requirements of AS4777.2.	complies
AS4777.2 clause 4.5	Harmonic currents The inverter current THD is less than the required limit of 5%. The individual harmonic current components up to the 33rd were within the limits and complied with the Australian Standard.	complies
AS4777.2 clause 4.7	Voltage fluctuations and flicker The flicker level is within the required limits under normal operation and even with transients induced by switching the dc from the DC input.	complies
AS4777.2 clause 4.8	Impulse protection The equipment operated normally after the lightning impulse test.	complies

各國有各自之認證標準，通過該國認證(如: UL, VDE, JET)，即可於該地區販售。例如飛瑞公司太陽能逆變器(PV Inverter)不久前才通過全國公證檢測，拿到北美市場安全標準的 ETL 證書，此乃根據美國安全標準 UL1741 & IEEE 1547 來進行測試，為美國最新的太陽能逆變器安全標準，除了確保產品自身的安全性之外，也有嚴格的電源網互聯運作規則，確保整個電源網的運作安全與穩定。

， PV Inverter 認證非僅以單一規範即可說明，因為測試範圍涵蓋了安規、電力品質、保護、電磁干擾…等各個分項。由於各 PV Inverter 廠商均希望能銷售全世界，因此會儘量同時符合好幾個國家之認證，所以大多會經 UL 1741、VDE0126 與 JET 三種較知名認證標準交叉認證，以此推估三種認證標準差異上並不大。

由於目前國內尚未制定 PV Inverter 認證標準，當初工研院為加速小型 PV 系統能快速通過台電公司的併聯申請作業，建議台電公司若 INVERTER 通過德國 VDE0126、美國 UL1741，日本 JET 等 3 種認證標準之一，即可符合併聯要求。此項建議就單機使用的狀況，在某些項目是合理，但是如果一個用戶不只安裝一台 INVERTER，並或是陽光社區這種案例，其對配電系統之影響就必須整體考量綜合效應，光從單一 INVERTER 特性並不足以判斷整體發電設備所造成之影響。

目前再生能源發電系統併聯技術要點與太陽光電(PV)系統 INVERTER 特性之關連如表 2.2.2 所示。從表中可以看出，故障電流、電壓變動，單一 INVERTER 特性並不足以判斷全部故障電流大小，單一 INVERTER 特性並不足以判斷整體發電設備所造成之電壓變動

摘取系統併聯技術要點相關運轉規範[4]，和單一 INVERTER 特性關聯性較高者之項目，對照 UL 1741、VDE0126、JET 相關規定之比較如表 2.2.3 所示

表2.2.2 再生能源發電系統併聯技術要點與太陽光電(PV)系統INVERTER 特性

項目	再生能源發電設備運轉規範	單一 INVERTER 特性與左述規範內容之關連
故障電流	發電機組送至本公司系統之故障電流，不得影響本公司及其他用戶斷路器之啓斷容量，否則需裝置限流電抗器或負擔因此而更換之斷路器費用	單一 INVERTER 特性並不足以判斷全部故障電流大小
電壓變動	發電廠併接於 22.8KV（含）以下配電系統者，其正常電壓變動率應維持在±5%以內，若為感應發電機型者，併聯時電壓瞬間突降不得超過 10%。	單一 INVERTER 特性並不足以判斷整體發電設備所造成之電壓變動
功率因數	同步發電機者：應保持在 85% 滯後至 100% 之間。	功率因數可控制於接近 1.0
諧波管制	依據「電力系統諧波管制暫行標準」，並未包含 3.3kV 以下之電壓等級	INVERTER 大多使用在 100~380V 低電壓等級，一般 PV 換流器被設計為輸出電流之 THD<5%
直流成分	不得高於 0.5%	設計良好之 INVERTER 可限制直流成分在規定範圍內
單獨運轉檢出裝置	必須加裝主動及被動防止單獨運轉檢出裝置各一套	在目前之技術可以將單獨運轉檢出裝置整合在 INVERTER 中

表2.2.3本公司與美國UL1741系統併聯技術要點相關運轉規範和INVERTER特性
關聯比較

	諧波	功因	防止單獨運轉檢出裝置	直流成分
台電併聯規範	「電力系統諧波管制暫行標準」乃參考 IEEE Std 519-1992	同步發電機者：應保持在 85%滯後至 100% 之間。 感應發電機型者：應保持在 85%滯後至 95%超前之間	使用靜止型換流器且有逆送電力者必須加裝主動及被動防止單獨運轉檢出裝置各一套	不得高於 0.5%
美國 UL 1741 (須符合 IEEE 929)	須符合 IEEE Std 519-1992 所定義之諧波失真等級規定。	當 PV 輸出大於額定容量之 10%時，其運轉功因應大於 0.85 超前或落後。一般而言，除特別被設計為提供系統虛功率補償之 PV 外，大部份的 PV 換流器被設計為運轉功因趨近 1.0	含防止單獨運轉檢出測試，各單獨運轉的啓斷時間需小於 5s。	PV 注入系統之直流成分不可大於 PV 額定輸出電流之 0.5%
德國 VDE0126	需符合 EN 61000-3-2/A14 之要求	*尚無法完全確認	含防止單獨運轉檢出測試，各單獨運轉的啓斷時間需小於 5s。	直流電供應至低壓電網須在 0.2s 之內執行啓斷。
日本 JET	*含諧波檢測，但限制值數據尚未查明	一般通過 JET 認證之 PV Inverter 運轉功因在 0.95 以上。	依日本 JEAG 9701 規定，PV Inverter 需具備主動及被動防止單獨運轉檢出裝置。	測試確認是否有直流成分防止輸出功能。

2.3 研習太陽光電池(PV Cell)開發與新研究成果

本次赴澳洲雪梨新南威爾斯大學(UNSW)研習與了解目前太陽光電池(PV Cell)開發與新研究成果，就目前在實驗室所研發之太陽能電池材料種類及效率整理如下：

矽材料：

單晶矽(Single crystal silicon) - up to 24.7%(UNSW 所研發)

多晶矽(Polycrystal silicon) - up to 19.8%

非晶矽(amorphous silicon) - up to 14.5%

複合半導體材料：

II-VI 族(CdTe, CuInSe₂...) - up to 18.8%

III-V 族(GaAs, InP, InGaP...) - up to 25.7%

其他(多層串疊 multi-junction tandem) - up to 33.3%

而其中又以單晶矽與多晶矽為目前產品線之主流，除了因為矽材料來源穩定及矽資源豐富外，其效率尚可令人接受，輸出穩定度亦相當高，故大部分以發電為目的之應用大都採用單晶矽與多晶矽模組，從材料(Cell)製造到模組(Module)成品過程其間有些許效率之損耗，模組效率：

$$\eta = \frac{\text{功率密度(W/m}^2\text{)}}{1,000\text{W/m}^2} \times 100\%$$

以目前部分模組成品之效率與規格為例，如表 2.3.1 可看出商用之太陽能發電模組效率約為 12~14%。

表2.3.1 部分商用之太陽能發電模組效率與規格

廠牌	Sharp		Kyocera		Shell			BP-Solarex		
種類	多晶矽		多晶矽		單晶矽	多晶矽		單晶矽	多晶矽	
型號	NE170U1	NE-80U1	KC175GT	KC85T	PC175PC	Ultra 85-P	Plus160-C	BP4175	SX170B	
最大輸出功率 (Wp)	170	80	175	87	175	85	160	175	170	
最大輸出電壓 (Vmp)	34.8	17.1	23.6	17.4	35.4	17.2	34	35.7	35.4	
No. of Cell	72	36	48	36	72	36	72	72	72	
尺寸	長mm	1,575	1,200	1,290	1,007	1,622	1,200	1,622	1,595	1,595
	寬mm	826	530	990	652	814	527	814	790	790
	面積(m ²)	1.30	0.64	1.28	0.66	1.32	0.63	1.32	1.26	1.3
功率密度 (W/m ²)	130.7	125.8	137.0	132.5	132.5	134.4	121.2	138.9	134.9	
製造國	日本		日本		德國/美國			美國/西班牙/澳洲		

除了以矽材料為大宗之太陽能發電模組外，其它之複合半導體材料如 II-VI 族 (CdTe, CuInSe₂...)、III-V 族 (GaAs, InP, InGaP...) 及多層串疊 (multi-junction tandem) 等，這些複合半導體材料雖然效率很高且可做各種組合及多層串疊處理達到更高效率，但限於半導體材料資源及製程技術之難度目前鮮少用於大量之太陽能發電，但仍有不考慮成本之場合如軍事、太空等特殊領域使用。

而目前最新的 PV 發電技術當屬薄膜 (Thin Film) 技術，由於前述使用矽材料製成之如單晶矽與多晶矽等傳統製程幾乎已達效率之極限，但因結晶矽厚度動輒數百微米 (μm)，相較於薄膜技術採用非晶矽薄膜約只要數微米 (μm)，沉積於透明玻璃上即可達到發電之效果用於消費電子產品及各種領域，潛力無窮，但較少用於大量之太陽能發電，主要原因除目前效率仍未能突破 10% 外，其有穩定度問題即在強烈光線照射下會產生缺陷，導致電流下降，所以目前仍有很大之改善空間，以下列出主要薄膜技術之優缺點：

- + 非晶矽薄膜厚度為數 μm 相較於結晶矽之數百 μm
- + 基板可採用價格便宜之玻璃相較於結晶矽之昂貴結晶矽基板
- + 薄膜製程較單/多晶製程容易，低成本
- 效率目前約 5~7%
- 穩定度問題(在強烈光線照射下會產生缺陷，導致電流下降)
- 目前仍有相當大改善空間，如採用多晶薄膜、微晶矽搭配非晶矽薄膜等。

相信未來薄膜技術發展出之光電應用會在我們日常生活中扮演重要之角色包括電子產品、家俱、裝飾品甚至建築等。

主宰 PV 發展及生產應用之關鍵指標為產出每瓦電所需之成本(Cost/W)，此關鍵指標愈低愈好，前述效率問題只是其中一個因素而已，再高的效率若無低成本配合將來在商品化時會失去競爭力，除非用在不計成本之應用，因此影響此指標之因素應考慮至少下列各項之總合效應以使關鍵指標最小化：

- ✓ 效率
- ✓ 材料價格/來源
- ✓ 製程(如 Thin-Film 製程)
- ✓ 其他特殊考量(非用作大量太陽能發電)

本次研習與參訪之澳洲雪梨新南威爾斯大學一直是太陽光電研究之領先者，其研究成果獲得無數之專利及獎項，並授權許多公司生產製造，該領域之研究並成立光電研究卓越中心(ARC Photovoltaics Centre of Excellence)，ARC：Australian Research Council，主導與推展新南威爾斯大學太陽光電研究方向與應用[6]，目前其研究分為 3 代(1stGeneration，2nd Generation 及 3rd Generation)，其中 1stGeneration 主要為矽晶圓為基礎之研究(Wafer Based Projects)，在此第 1 代之研究已獲致非常豐碩之研究成果並與外界廠商有技術移轉及指導訓練等計劃進行。

2nd Generation 則從事薄膜研究、實驗及製程，以各種方法嘗試將效率提升至約 15%(目前約為 5~7%)，例如以往薄膜大都採用非晶沉積，效率與穩定度難提昇，在該代研究中就 Focus 在多晶薄膜，以既有之理論與製程控制技術嘗試將效率提升，例如利用硬性較高之玻璃，讓加熱至 600 度之 Si Vaporize，在玻璃上沉積成多晶結構，控制使多晶結構之結晶粒特性愈接近單晶(單晶效率理論為 25%)越好，並嘗試用一層 Si 一層 Ge 以 Tandem 方式沉積，以提升效率。

3rd Generation 仍舊 based on Thin-Film，發展更先進之理論、技術及概念，突破傳統矽晶材料只吸收部分太陽光譜波長而無法超過 25%理論效率之限制，利用多層矽與微晶結構將大部分波長吸收，衝破 Si 最大理論效率至 67~86.8%，此代研究目前仍在理論研究階段。

上述 3 代研究均有相當多之教授與研究生負責進行，以下簡要整理如下：

- 1st Generation - Wafer Based Projects(約 US\$3.5/Watt)

- 2nd Generation - Thin-Films (CSG 公司在德國量產，預估 1.5 歐元/Watt，< 9.8%)
- 3rd Generation - Advanced Concepts (Also based on Thin-Film) “all-Si” Tandem cell，衝破 Si 最大理論效率至 67~86.8%，cost 約 US\$0.2~0.5/Watt.

PV Cells 基本上為 PN 半導體之光(光子)電(電子/電洞)效應之原理應用，如圖 2.3.1，

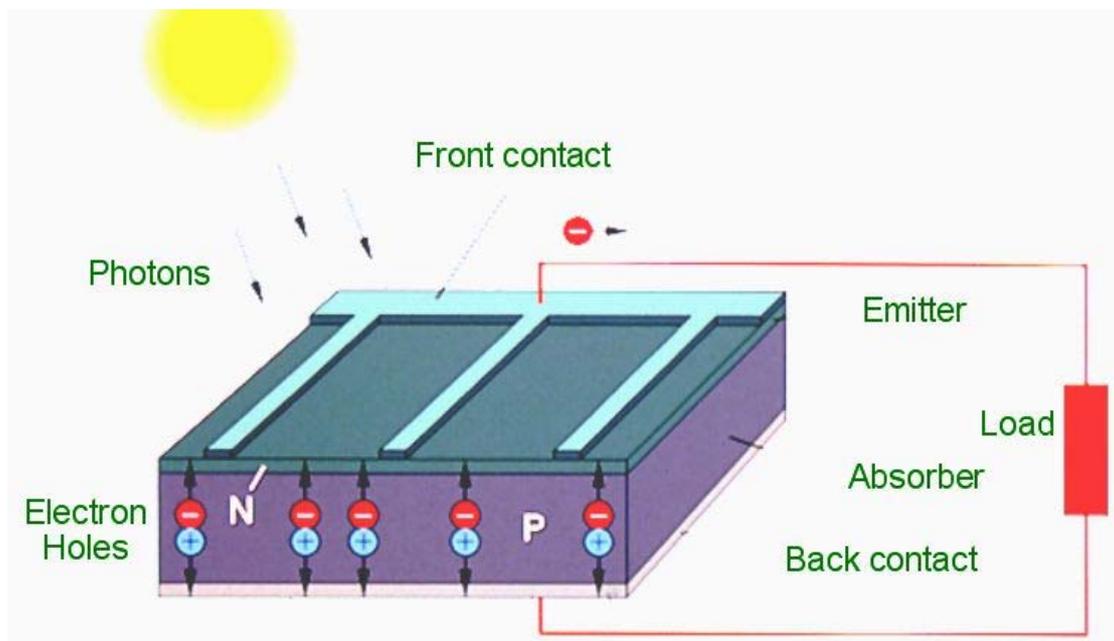


圖2.3.1 PV Cells基本發電原理

其各種參數如材料厚度、介電、結構、表面特性、製程中之雜質濃度、溫度、擴散、沉積、電子/電洞行爲、入射光特性等其相互間關係為很多非線性 equations 之組合，在進行實驗前推導及調整參數為一龐大之負擔，利用 PC 程式實現設計時、過程中及最後之效率之檢驗與調校等工作為一重大之成就，目前普遍用於半導體製造設計特別是 Solar Cells 之模擬軟體-PC1D 為 UNSW 累積該領域之知識所開發，為進入 Solar Cell 設計與製造必備之工具，可減低無謂的實驗室損耗，加速設計效能。

利用 PC1D 的模擬例子設計一塊 PN 半導體給定固定參數(分 4 大部份，

Device/Region/Excitation/Results), 如圖 2.3.2 所示。

Device: 主要包含受光面積、表面處理、射極(Emitter)/基極(Base)接觸電阻, 反射係數...等等。

Region: 主要包含整塊 PN 半導體內部非常多之特性如材料厚度(Thickness, 圖中以 $300\mu\text{m}$ 來模擬)、材質特性(如 Si.mat)、介電常數(Dielectric constant)、能隙(Band Gap, 矽能隙為 1.124eV)、本質濃度(Intrinsic constant)、加雜質(Doping)/擴散(diffusion) 區域...等等。

Excitation: 包括外部光源之 model 如 one-sun.exc、溫度、強度、光譜 model 等等。

Results: 為上述參數給定及設計或修改後預期產生之結果, 以圖圖 2.3.2 之參數為例可獲得此太陽能 cell 之輸出為 33.4mA 、 17.1mW 、 626.1mV , 因此根據 Device area = 1cm^2 、光強度 = $0.1\text{W}/\text{cm}^2$ 、輸出 17.1mW 換算成效率約為 17.1% 。

在圖中所有較黑文字上直接 Double Click 會彈出如圖之對互動式對話框, 可直接修改參數後在於工具列 Compute 下拉按 Run 後可得重算後之結果, 上排除了 Compute 工具列外尚有其它功能例如圖 2.3.3 即為各種參數之變化圖, 仔細檢示可找出設計太陽能 cell 之各式各樣知識並觀察其影響因素, 為學習太陽能 cell 設計不可或缺之工具。

Teao-A.prm - PC1D for Windows
File Device Excitation Compute Graph View Options Help

DEVICE
 Device area: 1 cm²
 No surface texturing
 No surface charge
 Front surface optically coated
 No Exterior Rear Reflectance
 No internal optical reflectance
 Emitter contact: 0.24717 Ω
 Base contact: 0.1 Ω
 No internal shunt elements

REGION 1
 Thickness: 300 μm
 Material modified from si.mat
 Carrier mobilities from internal model
 Dielectric constant: 11.9
 Band gap: 1.124 eV
 Intrinsic conc. at 300 K: 1×10¹⁰ cm⁻³
 Refractive index from si.inr
 Absorption coeff. from si300.abs
 Free carrier absorption enabled
 P-type background doping: 1.513×10¹⁶ cm⁻³
 1st front diff.: N-type, 1.14×10¹⁸ cm⁻³ peak
 No 2nd front diffusion
 No rear diffusion
 Bulk recombination: τ_n = τ_p = 51 ns
 Front-surface recom.: S model, S_n = S_p = 100 cm/s
 Rear-surface recom.: S model, S_n = S_p = 1×10⁵ cm/s

EXCITATION
 Excitation modified from one-sun.exc
 Excitation mode: Transient, 50 timesteps
 Temperature: 25°C
 Base circuit: Sweep from -0.8 to 0.8 V
 Collector circuit: Zero
 Primary light source enabled
 Constant intensity: 0.1 W cm⁻²
 Spectrum from am15g.spc
 Secondary light source disabled

RESULTS
 Short-circuit I_b: -0.0334 amps
 Max base power out: 0.0171 watts
 Open-circuit V_b: 0.6261 volts

Device Schematic

Contact Definition

	Internal series resistance	Distance from front surface
<input checked="" type="checkbox"/> Emitter contact	0.24717 ohms	0 μm
<input checked="" type="checkbox"/> Base contact	0.1 ohms	10000 μm
<input type="checkbox"/> Collector contact	0 ohms	10000 μm

OK Cancel

圖2.3.2 PC1D模擬軟體

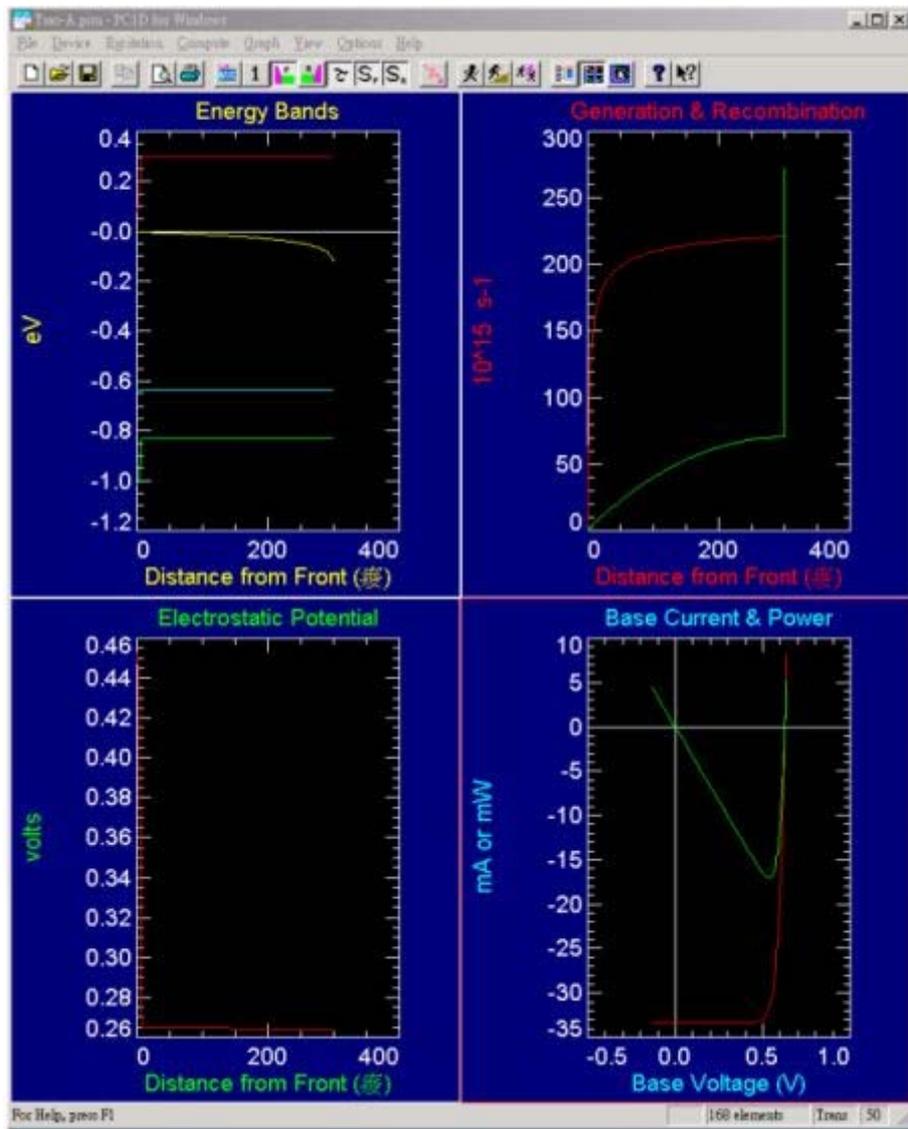


圖2.3.3PC1D模擬結果各種參數之變化圖

更進一步的如圖 2.3.4 為在表面加一層透光抗反射處理設計，找出特定材料下(index=2.1...等)下之最佳厚度設計，經過反覆修正最後找出在 70nm(奈米)厚度下得到 19.0%之最大效率，同時，可畫出內部量子效率/外部量子效率/前表面反射係數隨波長之變化，進一部深刻了解此最佳設計之物理意義。

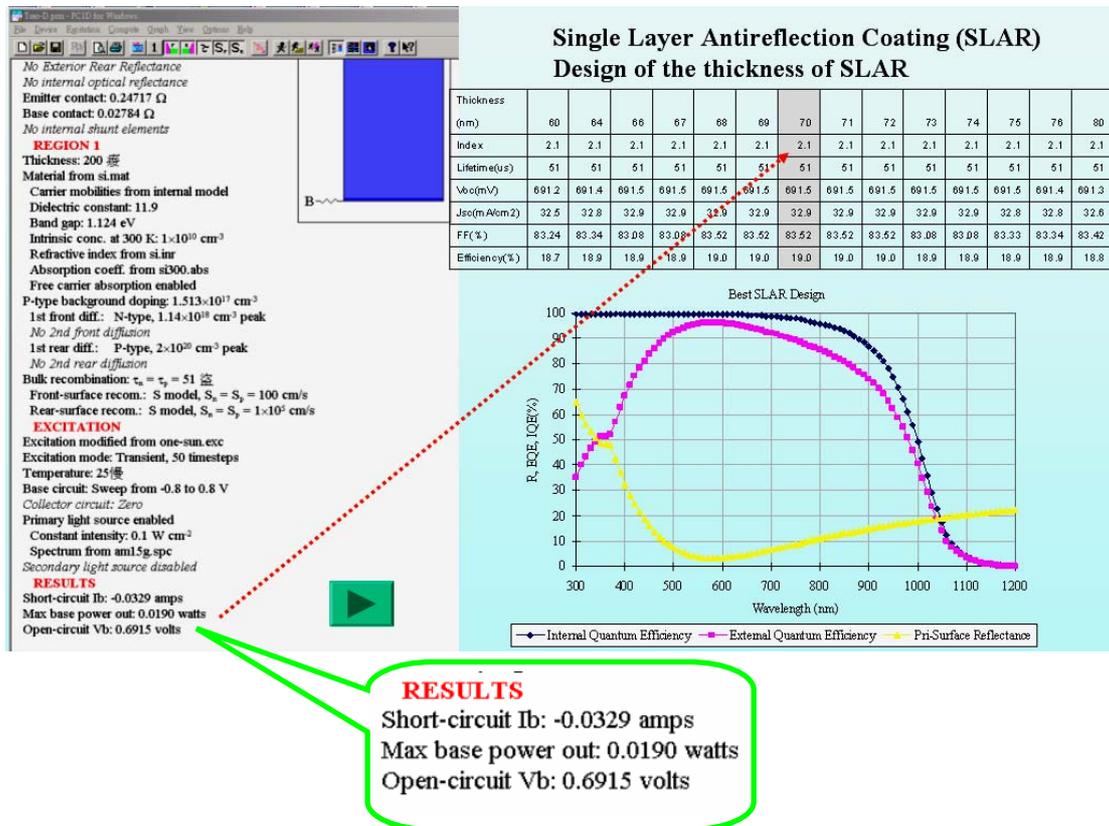


圖2.3.4 PC1D模擬表面加一層透光抗反射處理之最佳設計

2.4 研習太陽光電(PV) 系統建置、監測與最佳設計

本節主要針對從 PV Generator(PV 模組/Array 產生之電壓/電流/功率 輸出特性與對應之 Inverter 輸入/輸出/效率 特性、考慮各種 PV Generator 串/併接等架構，提出如何根據 PV generator 輸出特性與 Inveter 特性設計出高效率及可靠性之太陽光發電系統，同時在考慮各種 PV generator 串/併接與 Inverter 容量/個數之組合架構時以 Central Inverter 架構、Master/Slave 架構、多 String 多 Inverter 架構及 Team 架構設計時之優缺點。並探討 PV 發電系統建置時之 SCADA 架構。

2.4.1 PV Generator輸出及Inverter輸入工作範圍設計

如圖 2.4.1 PV Generator 之輸出特定隨溫度效應影響，假設 PV Generator 工作在(-10 度至+70 度 C)，則其最佳輸出發生在 MPP 點(Maximal Power Point)，但 MPP 會隨溫度效應飄移，而 Inverter 有固定之輸入電壓範圍(橫軸)及容量限制(縱軸)，若能將兩者最佳組合設計將會使效率與成本最佳化，並設計保護電路以防止在 PV Generator 之輸出開路電壓超過 Inverter 最大輸入電壓時保護電路動作以防止 Inverter 毀損。

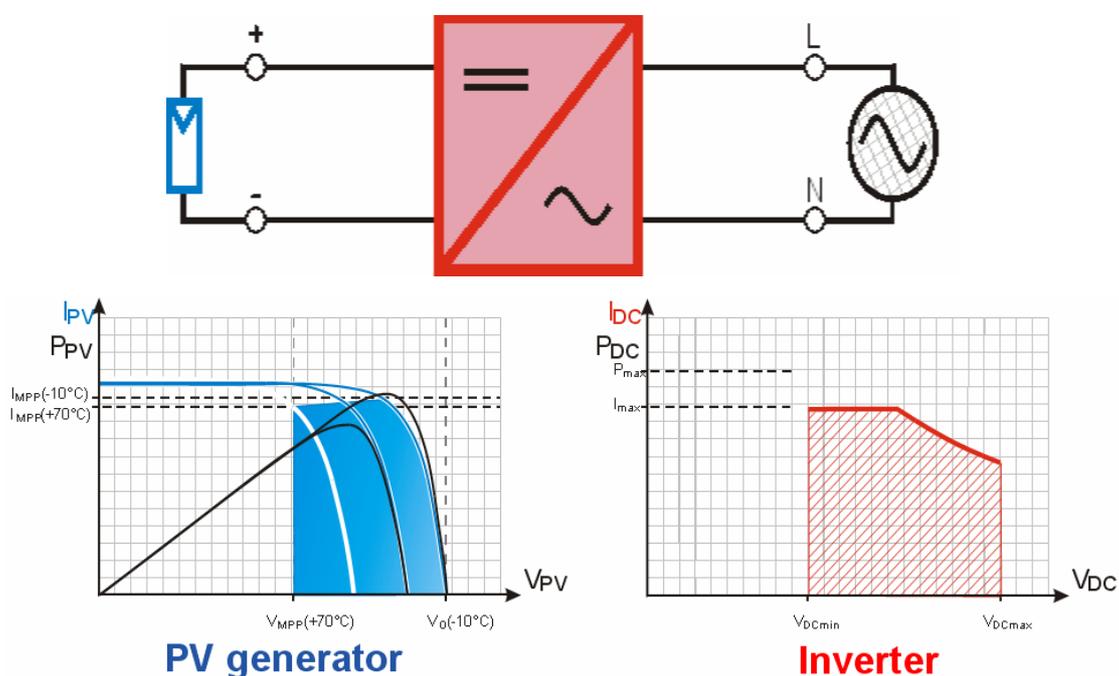


圖2.4.1 PV Generator/Inverter連接與PV Generator輸出及Inverter輸入工作範圍

當兩者連接工作時，PV Generator 輸出與 Inverter 輸入並不一定完全吻合，如圖 2.4.2 所示，此時必需加大 Inverter 容量使 PV modules MPP 落在 Inverter 工作範圍，或冒 Energy Losses 的風險。

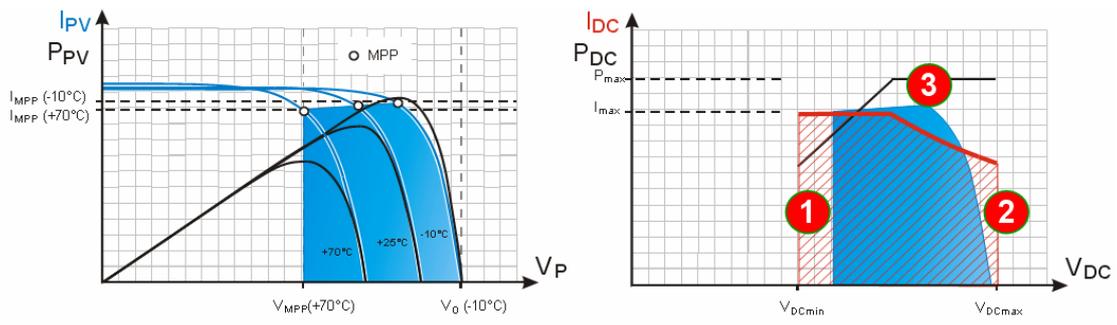


圖2.4.2 PV Generator輸出及Inverter輸入之工作範圍搭配

因受負載效應影響 PV Generator 輸出及 Inverter 輸入之電壓必定相等此時可能有下列幾種Case·Case1 如圖 2.4.3·PV generator 之 MPP 電壓落在 Inverter 低工作電壓之外，此時 PV Generator 之工作點受迫往右移，低於 MPP 點，造成整體效率下降；

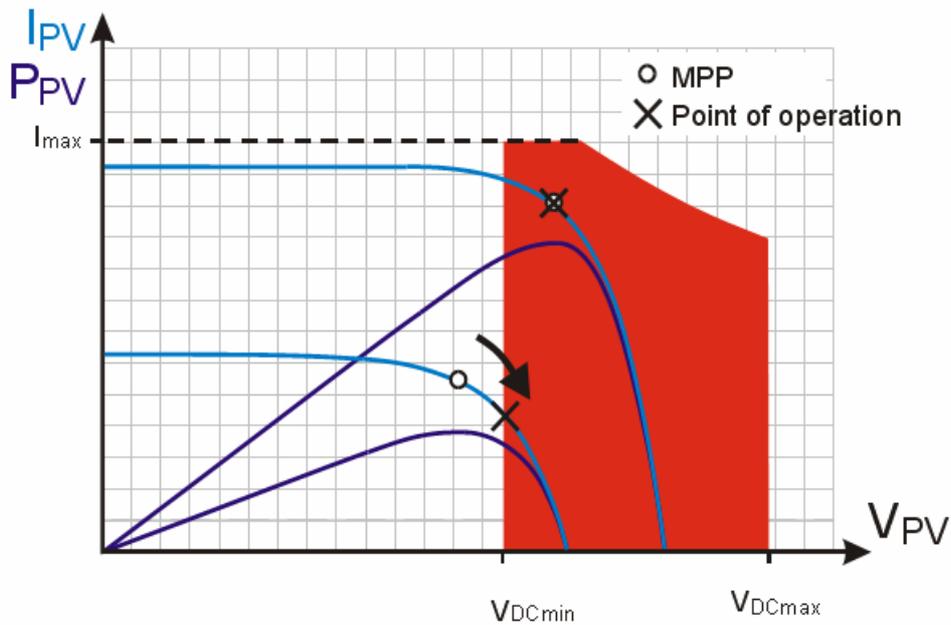


圖2.4.3 PV generator 之MPP電壓落在Inverter低工作電壓之外

Case 2：如圖 2.4.4 所示，PV generator 之開路電壓高於 Inverter 最大工作電壓 V_{DCmax}，可能造成 Inverter 損壞，需設計保護機制。

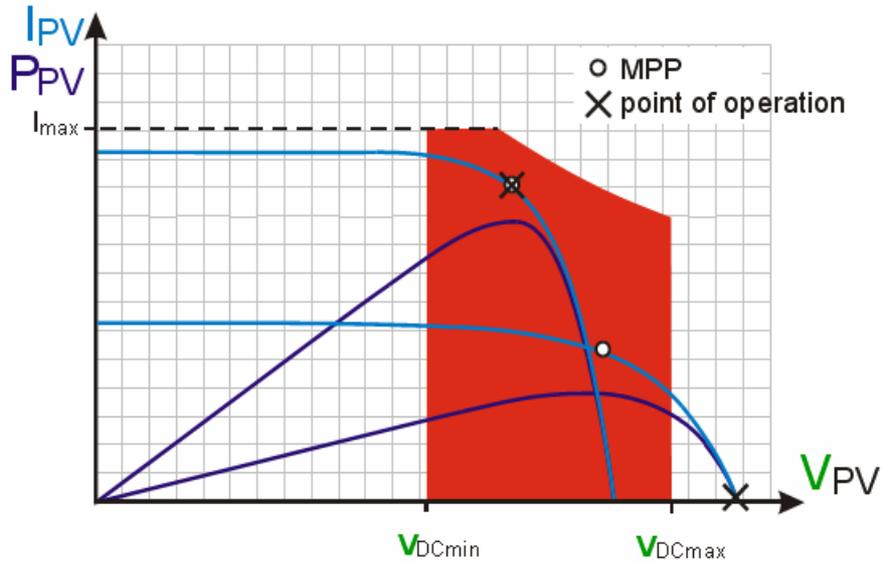


圖2.4.4 PV generator 之開路電壓高於Inverter最大工作電壓 V_{DCmax}

Case 3：如圖 2.4.5 所示，PV generator 之 MPP 電流高於 Inverter 最大工作電流 I_{DCmax} ，Inverter 以最大 Power 輸出繼續工作提供 Power to Grid 造成整體效率下降。

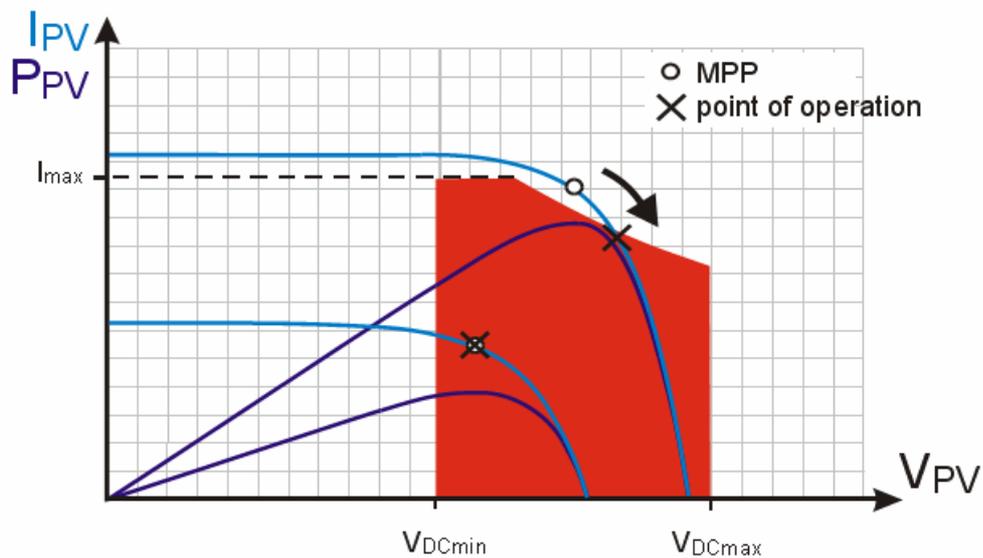


圖2.4.5 PV generator 之MPP電流高於Inverter最大工作電流 I_{DCmax}

從上述分析可整理最佳之整合設計原則如下：

- $+70^{\circ}\text{C}$ PV MPP voltage > Inverter min. input voltage
- -10°C PV open circuit voltage < Inverter max. input voltage
- Power ratio is between 80 .. 100% (**Power ratio : power into Inverter/MPP**)。

2.4.2 較大型PV發電系統設計與整合

當太陽能發電系統之容量較大時，有時 PV Generator 可能分散或集中形成 Array 陣列架構，而有串/並接的組合，此時要採取大容量之 Inverter 多個小容量 Inverter 組合，影響整體系統之效率與成本，以下整理分類成 4 種可能之組合架構，有的須大容量的 Inverter，有的則須較先進設計之 Inverter 搭配控制電路，比較這 4 種組合架構之優缺點，提供系統設計者做抉擇。

(1) Central Inverter 架構：

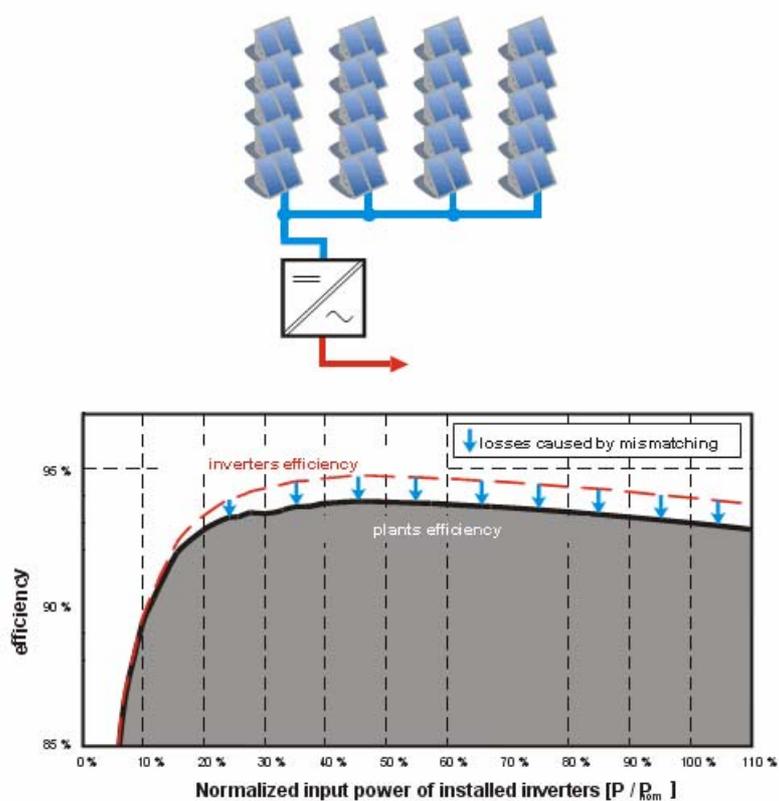


圖2.4.6 Central Inverter架構

如圖 2.4.6 此架構採用 1 個集中式 Inverter 連接所有 PV Generator ，優缺點整理如下：(+代表優點，- 代表缺點)

- + 高 nominal power 高效率
- 高 mismatch losses(1~3%) (起因於個別參數差異、Cable 電壓 Loss 、不同 Cell 溫度、不同定位、Shadowing 、Dust 等.)

(2) Master/Slave 架構：

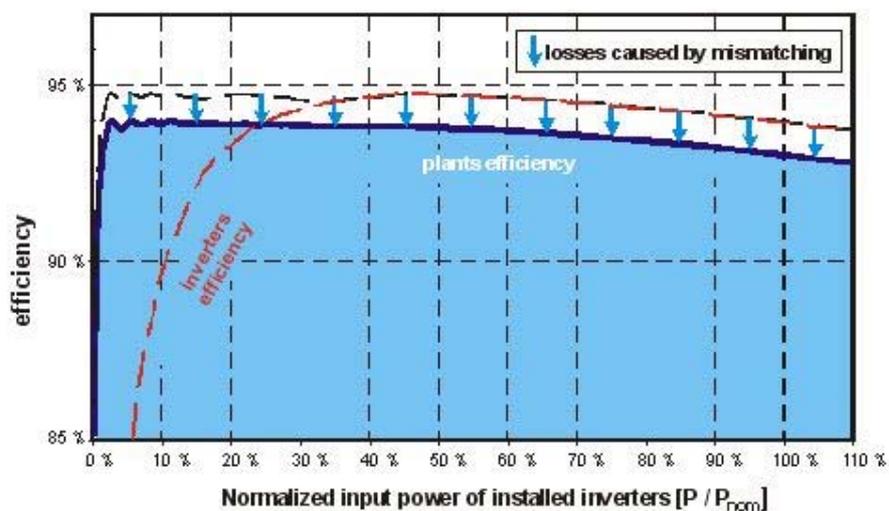
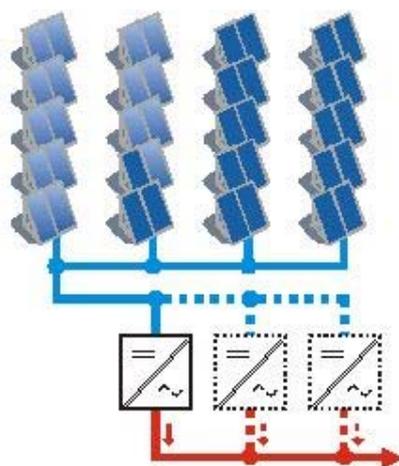


圖2.4.7 Master - Slave架構

如圖 2.4.7 此架構採用多個較小容量 Inverter 連接所有 PV Generator ，當 PV Generator 輸出接近 Inverter 最佳效率時，投入或切離最佳個數之 Inverter ，使其保持效率，優缺點整理如下：

- + 接近最大可能效率(independent of load)
- 高 mismatch losses(1~3%)

- Inverters 相互需資料交換

(3) 多String 多 Inverter 架構：

如圖 2.4.8 每一串/個 PV 模組均有 1 個小容量之 Inverter 對應，由於模組差異造成之 mismatch loss 降至最低，同時 Inverter 最接近 PV 模組直流電壓壓降及線長縮小。

+ minimize mismatch losses (~0.1%)

+ 降低 DC Cabling

- 低負載時效率下降

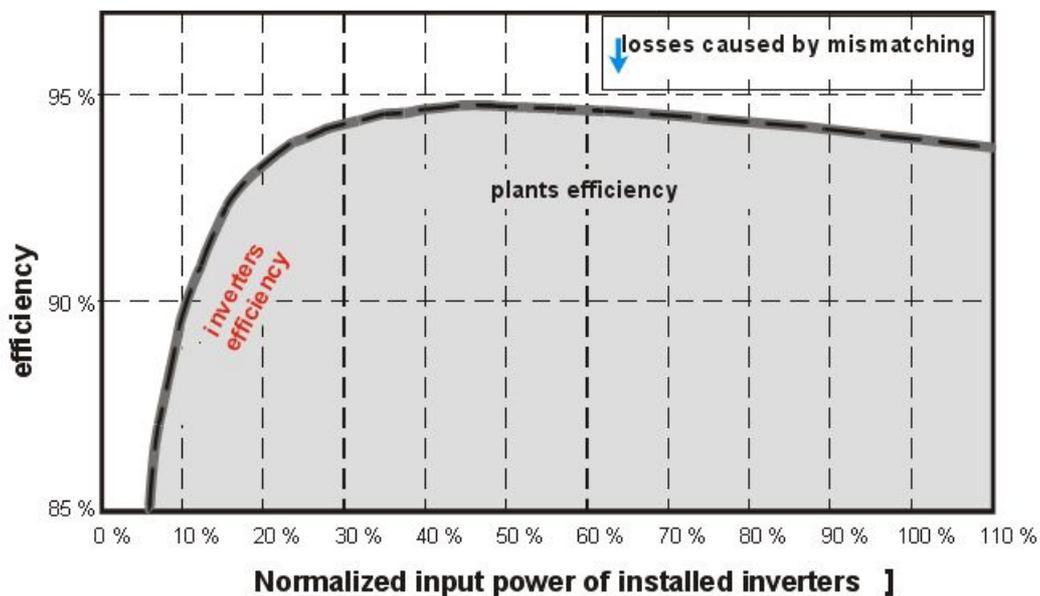
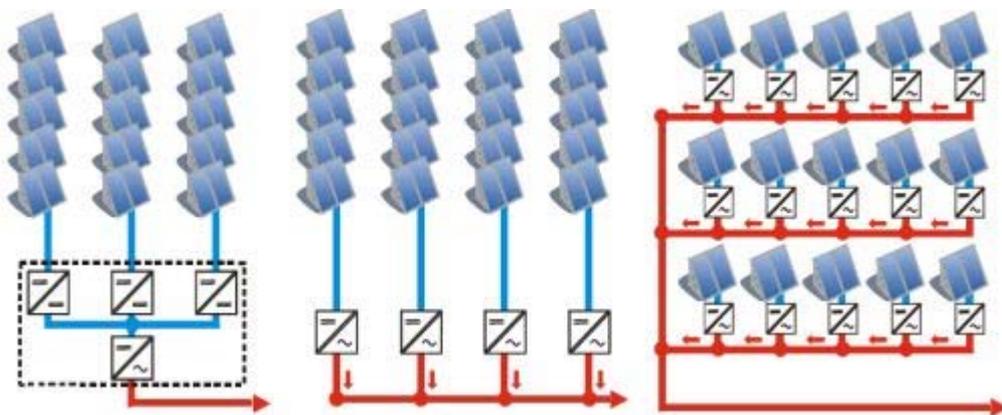


圖2.4.8多String多Inverter架構

(4) Team 架構：

如圖 2.4.9 本架構綜合上述 3 種架構之優點，在不同 PV 功率輸出時，計算出最佳個數之 Inverter 投入或切離。

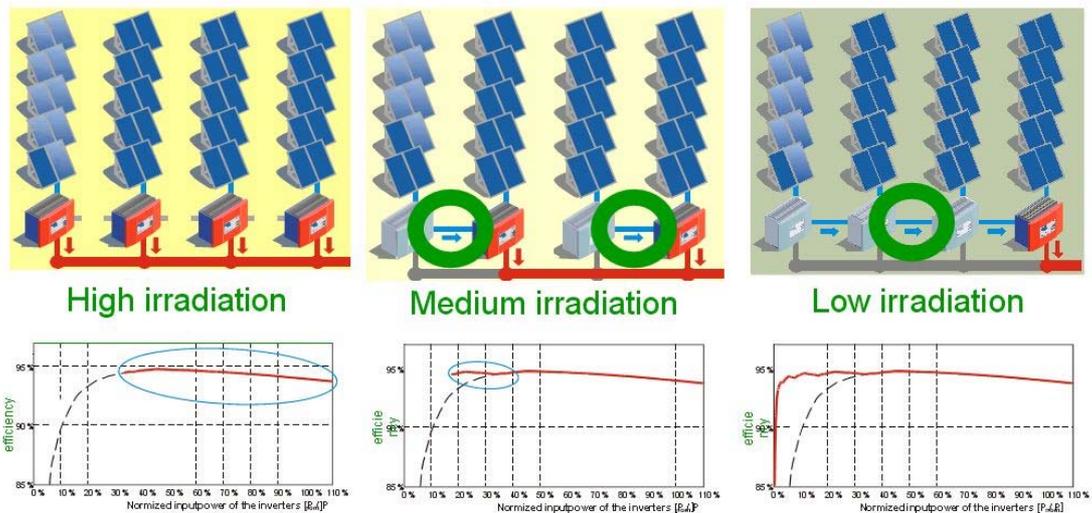


圖2.4.9 Team架構

- + 綜合前 3 種架構優點
- + 較佳架構
- 須較複雜監控系統設計

除了理論探討各種 PV Generator 連接與 Inverter 個數/容量/架構 等設計最佳組合外，有些公司甚至提供簡易好用之圖形化互動設計工具軟體，作 PV Plant 之模擬，只要點選市面上之 PV Module/Inverter 型號及輸入必要之參數如 PV 模組仰角、所在城市(平均日照時...)、太陽方位角、Plant Design(KW)、PV Module/Inverter 架構組合等，程式會根據設定計算出此設計之各項結果如最大 MPP 電壓/電流/功率及最大 DC/AC 電力輸出、最大效率、每年產生之累計輸出電力..等等。圖 2.4.10 至圖 2.4.12 為本次出國研習公司 BP Solar 之合作廠商 SMA 公司所設計之模擬軟體圖面說明，圖 2.4.10 為 PV Module/Plant 參數畫面，圖 2.4.11 為 Inverter 參數畫面，圖 2.4.12 為結果及系統總覽。如圖只要透過點選選項或改變參數，即可得到模擬結果，唯一美中不足的是此軟體內可選之市售 PV Module/Inverter 商品資料庫仍嫌不足(應為針對該公司既有運用過的商品所建)，但我們仍能從中了解設計時該如何使用各種成品及各項參數如何影響系統預估之輸出。



圖2.4.10 SMA公司之PV Plant 模擬軟體-PV Plant

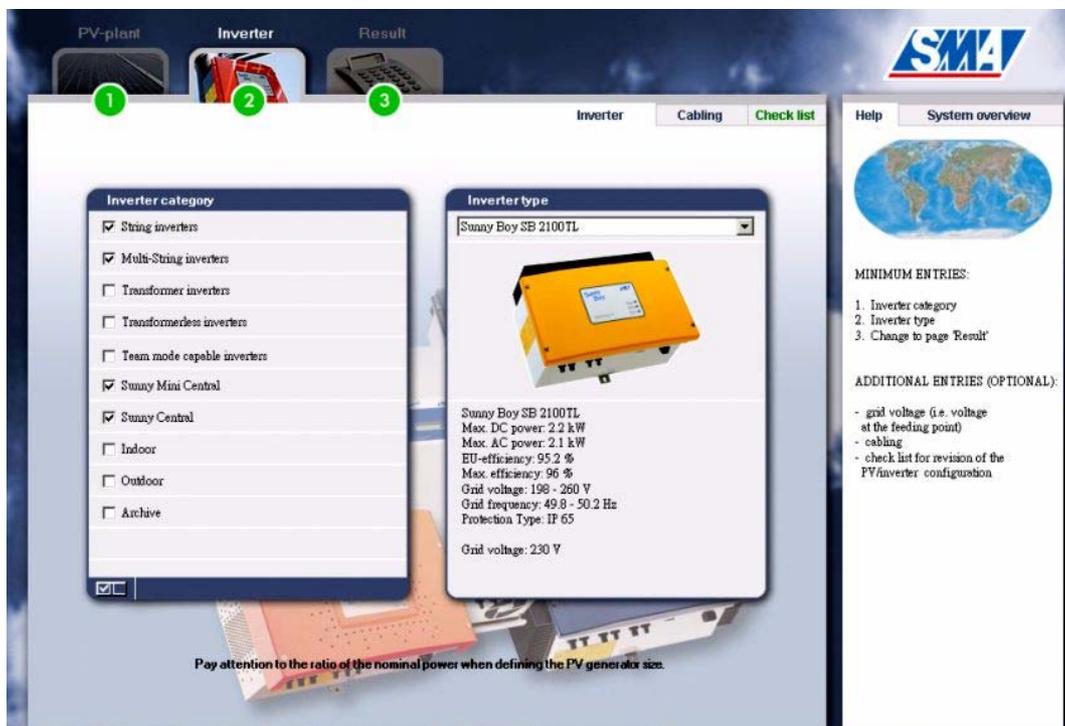


圖2.4.11 SMA公司之PV Plant 模擬軟體-Inverter

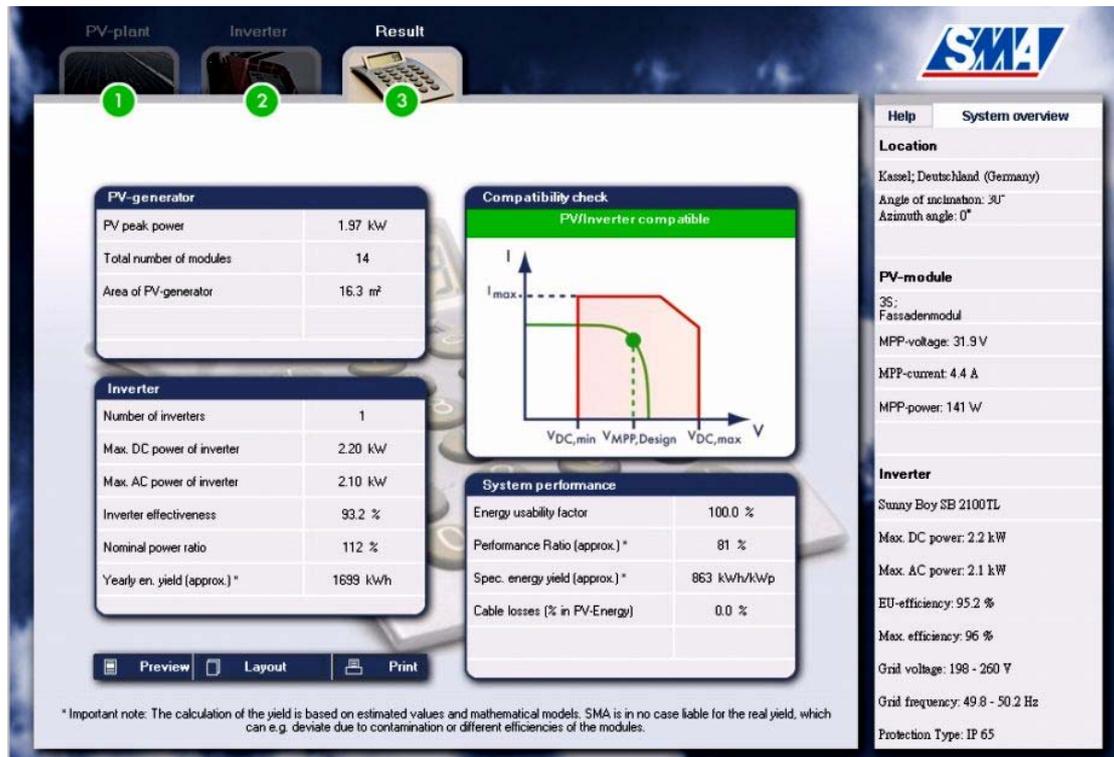


圖2.4.12 SMA公司之PV Plant 模擬軟體-結果

2.4.3 PV發電系統之監測系統(SCADA)

在 PV 發電系統建置完成後如同一座小型之發電廠，爲了更清楚了解運轉狀態及維護資訊，一般均會建置 Local 之 SCADA 系統，甚或加入資料庫系統及 Web Server 以供遠端網路查詢及日後資料統計分析，一般監測項目如瞬時電力 (KW)、累積發電量(KWH)、還環境溫度、PV 模組溫度、Inverter 狀態、PV 模組 /String 故障狀態、DC/AC 電壓/電流、頻率、CO2 減量、各段效率等等，根據這些即時資料所計算及統計之分析資料等，此領域之技術已相當成熟，筆者亦有實際規劃設計與建置過類似 SCADA 系統之經驗，在此不再贅述，惟有一點必須注意的是，當有許多此類分散式系統但由不同廠家承製時，當須整合爲一資訊平台時，應預先建立各分散式系統資料交換之協定/機制/介面，以利未來整合。圖爲 2.4.13 SMA 公司之 SCADA 架構設計，提供參考。

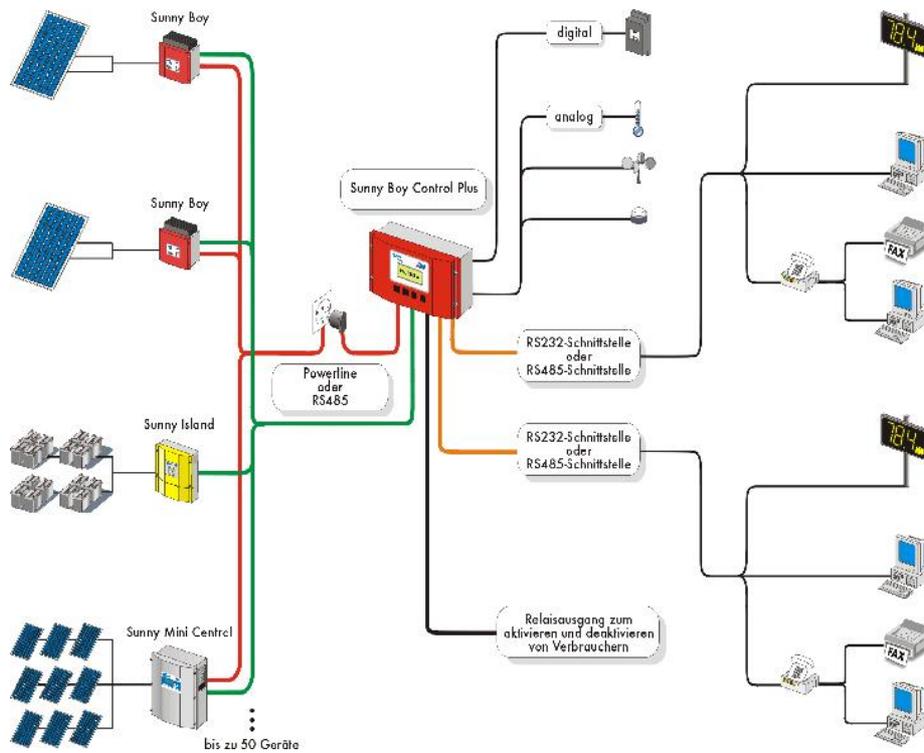


圖2.4.13 SMA公司之SCADA架構

此外，SMA 公司有一項針對如 Olympic Village 之用戶之有趣設計，其將安裝在屋頂之太陽能板之發電狀況如發電量、效率、發電度數、溫度等經由 Inverter 以無線方式傳送至一小型(如電子鐘般)接收器如圖 2.4.14，當與電力公司有買賣電關係時，可很容易的知道目前裝設之太陽能板正在賺取多少電費(若政府有發電補助時)！



圖2.4.14 SMA公司之無線太陽能發電信號接收器

參、綜合結論與建議事項

3.1 綜合結論

- (1) 澳洲新南威爾斯大學在太陽能光電領域成就非凡，該領域研究方向與成果值得注意，以瞭解未來太陽能光電之新技術。
- (2) BP Solar 及 SMA 公司之系統建置與整合設計經驗，值得本所與之交流與學習。
- (3) 太陽能發電應用系統包括住戶分散型(如 Olympic Village)及集中發電型(大面積組合型 PV array)在環保及能源議題下，將逐漸成長並改變低壓配電系統之生態，應及早研究因應。
- (4) 太陽能發電應用系統之發電預測及監控系統之架構(如通訊協定、監控點、資訊平台等)應及早建立，並研擬太陽能發電應用系統與本公司 Smart Grid 介面之定義與整合。
- (5) 將來收購電價、補助建造等獎勵措施或太陽光電電池售價降低等綜合誘因，達一定程度後，高密度的叢集式併網太陽光電系統才可能實現。

3.2 建議事項

- (1) 建議進行後續研究，評估台灣配電系統在叢集式太陽光電系統併網之承受極限，萬一超過此極限，研擬改善之配套措施。
- (2) 建議進行評估多功能 PV inverter 之各項功能之應用場合與時機。
- (3) 建議整理比較國外之太陽光電系統併網之 inverter 標準，作為未來審核之參考。
- (4) 建議蒐集目前多功能 PV inverter 之各項功能之應用技術，建立相關專業領域。
- (5) 有必要及早建立太陽能發電應用系統之發電預測監控平台之架構。
- (6) 太陽能發電系統與未來本公司智慧型電網之分散式電源系統將會產生聯結，應及早建立相關措施。

肆、參考文獻

- [1] 顏坤龍， Introduction to Cases of Clustered Grid-connected PV Systems，簡報，工研院太陽光電科技中心
- [2] Hiroyuki Sugihara, “Demonstrative research on clustered PV systems” , International Symposium on Renewable Energy Interconnection Standards, 30~31 May, Taipei, Taiwan.
- [3] E.D. Spooner, D. Morphet, M.E. Watt, G. Grunwald, P. Zacharias, “Solar Olympic village case study” , Energy Policy, Vol. 28 (2000), pp 1059-1068
- [4] IEEE 1547-2003 “Standard for Distributed Resources Interconnected with Electric Power Systems” (also 1547.1, 1547.2, 1547.3 and 1547.4).
- [5] 台灣電力公司再生能源發電系統併聯技術要點，中華民國九十一年六月十一日，經濟部經能字第 0 九一 00 一二八三六 0 號函准予備查
- [6] ARC Photovoltaics Centre of Excellence, Annual Report 2006, UNSW