

99 年度台日技術合作計畫
專家指導「太陽光電二級
基準件校正技術」
總結報告

單位：經濟部標準檢驗局

日期：中華民國 99 年 12 月 20 日

報告人：朱育民

目錄

1	前言	3
2	世界主要太陽光電實驗室校正方法簡介.....	4
2.1	全日照法(GLOBAL SUNLIGHT METHOD)	4
2.2	人工太陽光模擬法(SOLAR SIMULATOR METHOD).....	5
2.3	差分光譜響應校正法(DIFFERENTIAL SPECTRAL RESPONSE CALIBRATION, DSR CALIBRATION).....	6
3	二級基準太陽電池校正方法	8
3.1	校正設備.....	8
3.2	校正程序.....	8
4	校正設備之規格性能查核	11
4.1	設備規格.....	11
4.2	查核注意事項	12
5	不確定度評估及實驗室認證	15
5.1	準備工作.....	15
5.2	注意事項.....	15
6	結論及建議	17

1 前言

因應全球暖化問題的日益嚴重，世界各國環保意識逐漸提高，並提出相關對策如「京都議定書」要求各國進一步消減溫室氣體的排放量，在此挽救地球氣候變遷的潮流下，如何提升再生能源使用的議題格外顯得重要，其中利用天然太陽光作為資源的太陽光電便佔有格外重要的一環，因此各國產業對於太陽能電池工廠的投資趨於旺盛。

面對太陽能電池產業的蓬勃發展和產品的日趨普及，相關的 PV 產業標準、安全與性能檢測技術不斷的在修訂，如何加速並有效協助國內產業取得產品認證顯得格外重要。

其中在太陽光電模組檢測認證和產製成品檢查過程，為正確掌握測試時太陽光模擬器或自然太陽光的照射強度以獲得產品的發電性能，基準太陽電池常被用來作為監控的重要指標，而基準太陽電池校正的正確與否，便是一項重要的關鍵因數，由於國內目前並沒有基準太陽電池校正實驗室，因此國內廠商和實驗室都必須送到國外進行相關校驗，不僅在時程無法掌握受限於人，也增加產業檢測成本的增加，有鑑於此，標檢局特委託本中心進行基準太陽電池校正實驗室的建置，在去年底(98年)完成校正設備的硬體建置，在今年(99)將進行實驗室認證申請之準備。

為提升校正實驗室的校正檢測能力，學習相關校正經驗和本質學能，特邀請日本產業技術總合研究所(AIST)的太陽能研究中心(RCPV)主任研究員豬狩真一先生來台指導，該太陽能研究中心(RCPV)在基準太陽電池的校正領域在國際上頗負盛名，希望能藉此協助本局提升實驗室校正檢測能力。

2 世界主要太陽光電實驗室校正方法簡介

2.1 全日照法(Global sunlight method)

2.1.1 校正原理

此方法追溯之建立是利用 ISO 9846 所規定之連續太陽光和遮蔽法(Continuous Sun-and-Shade Method)。校正時基準太陽電池置放在全日照下，並利用一組直接日射計(Pyrheliometer)量測太陽光的直接照射度，一組全日射計(pyranometer)經由連續遮罩裝置在直接入射情形下量測太陽光之散射照度，兩者之和即為全日照太陽光之照射度。直接日射計(pyrheliometer)是一種穴型絕對輻射計(Cavity absolute radiometer)為二級標準件(Secondary standard)每 5 年須參加隸屬世界標準組織(World Standard Group, WSG)之世界輻射計基準(World Radiometer Reference, WRR)比對測試。校正之參數為基準電池短路電流，該值需縮放調整至 1000W/m^2 照度條件，並參考 IEC 60904-7 利用全日照之太陽光光譜分佈和基準電池光譜響應進行光譜不匹配之修正。

在特定之條件下，可應用全日照太陽光法之簡化版，基準電池的短路電流經縮放調整至 1000W/m^2 之照度條件後，繪出經照度修正後之短路電流與依大氣壓力修正後之空氣密度(Air Mass, AM)座標圖，利用線性迴歸法得出在 AM=1.5 之校正值。此簡化版由於不需要進行光譜不匹配之修正，因此不用量測太陽光的光譜分佈和基準電池的光譜響應。但須注意確認太陽光之光譜分佈，必須非常接近 IEC 60904-3 規定之基準太陽光譜，因此會有使用上之條件限制，必要時仍須回歸到完整的全日照方法。

2.1.2 使用儀器

- A. 校正時之安裝平台：其需能確保校正件的平面法線與校正時之太陽光入射直線須在 $\pm 0.5^\circ$ 內。
- B. 穴型輻射計(Cavity radiometer)：量測結果須可追溯至 WRR 國際標準機構。
- C. 全日照計(Pyranometer)：量測結果須可追溯至 WRR 國際標準機構。
- D. 分光輻射計：用來量測太陽光在測試平面上之總體光譜照射分佈，其量測波長範圍應至少包括 350-2500nm。(本設備在簡化版本中可省略)
- E. 光譜響應計：用來量測基準太陽電池的光譜響應。(本設備在簡化版本中可省略)
- F. 量測太陽方位角的設備：精度須在 $\pm 2^\circ$ 。(本設備僅在簡化版本中使用)
- G. 壓力計：用來量測校正地區的氣壓 P 條件，其精度須為 $\pm 250\text{Pa}$ 或更佳。(本設備僅在簡化版本中使用)
- H. 量測基準太陽電池短路電流的設備：其精度須至少為 $\pm 0.1\%$ 或更佳。

2.2 人工太陽光模擬法(Solar simulator method)

2.2.1 校正原理

此方法利用太陽光模擬器的絕對光譜分佈和基準電池的相對光譜響應來進行校正之追溯。絕對光譜分佈係由分光輻射計所量測，並利用追溯至標準單位(SI)之標準燈進行分光輻射計校正。經由追溯至 WRR 國際標準機構之穴型輻射計

進行太陽光模擬器絕對照度之量測，藉以建立追溯源至 WRR 國際標準機構。最後，利用測得之基準電池光譜響應、太陽光模擬器之光譜分佈、基準太陽電池光譜分佈(參考 IEC 60904-3)計算得出校正值。

2.2.2 使用儀器

- A. IEC 60904-9 規定 AAA 等級之太陽光模擬器。
- B. 符合 CIE 53：1982 規定之分光輻射計
- C. 符合 IEC 60904-8 規定之量測基準太陽電池光譜響應裝置。
- D. 標準燈：可直接由一級標準燈泡校正，並由相互認可或 CCPR/CIE 授權。
- E. 穴型輻射計(Cavity radiometer)(選配)：量測結果須可追溯至 WRR 國際標準機構，其觀察視角應比太陽光模擬器的發光角域還寬。
- F. 量測基準太陽電池短路電流的設備：其精度須至少為 $\pm 0.1\%$ 或更佳，應符合 IEC 60904-1 之相關規定。
- G. 具有維持基準電池校正時的溫度在 $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 的溫控裝置。

2.3 差分光譜響應校正法(Differential spectral response calibration, DSR calibration)

2.3.1 校正原理

此方法是建立在基準太陽電池光譜響應的校正，利用標準偵測器直接追溯至標準單位(SI)，應用測得的光譜響應和基準太陽光譜校正值。光譜響應的校正係由標準偵測器之照射度經由數十倍的大小轉換至太陽照射度的等級，因此無基準電池線性度和光譜匹配之限制。

2.3.2 使用儀器

- A. IEC 60904-9 規定 AAA 等級之太陽光模擬器。
- B. 符合 CIE 53：1982 規定之分光輻射計
- C. 符合 IEC 60904-8 規定之量測基準太陽電池光譜響應裝置。
- D. 標準燈：可直接由一級標準燈泡校正，並由相互認可或 CCPR/CIE 授權。
- E. 穴型輻射計(Cavity radiometer)(選配)：量測結果須可追溯至 WRR 國際標準機構，其觀察視角應比太陽光模擬器的發光角域還寬。
- F. 量測基準太陽電池短路電流的設備：其精度須至少為±0.1%或更佳，應符合 IEC 60904-1 之相關規定。
- G. 具有維持基準電池校正時的溫度在 $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 的溫控裝置。

3 二級基準太陽電池校正方法

3.1 校正設備

編號	設備名稱	數量	廠牌/ 型號/ 序號	量測項目及範圍
一	穩態恒光型太陽光模擬器 Steady-state solar simulator	組	WACOM/ WXS-155S-L2 AM1.5GMM/ 09090201	1. 照射面積：155mm x 155mm 2. 照射強度：800-1200W/m ² 3. 光譜不匹配度：≤±10%，符合 IEC 60904-9 等級 A 4. 照射不均勻度：≤±2%，符合 IEC 60904-9 等級 A 5. 時間不穩定度：STI ≤±0.5%、LTI ≤±2%，符合 IEC 60904-9 等級 A
二	基準電池短路電流量測系統 Short-circuit current measuring system of solar reference cell	組	WACOM/ RefcellIsc500mA/ 09090203	1. 短路電流：最大電流 500mA 2. 測試平台空溫範圍：15±2℃-60±2℃
三	光譜響應量測系統 Spectral response measuring system	組	SOMA/ S-9230/ 090255	1. 波長範圍：300-1700 nm 2. 解析度：20nm 3. 可放置太陽電池大小：120mm x 120mm 4. 單色光照射面積：20mm x 20mm 5. 單色光強度：50μW/m ² (@550nm) 6. 均勻度：小於 2.5%(@550nm) 7. 白色偏光強度：1000W/m ² ±10% 8. 測試台溫控範圍：10℃-50℃(±0.1℃)
四	光譜量測系統 Spectral irradiance measuring system	組	OPTO/ MSR-7000N/ 090734	1. 波長範圍：280-2500nm 2. 波長精度：1nm 3. 解析度：5nm 再現性：100±5%(350nm-2400nm)

3.2 校正程序

進行二級基準太陽電池校正程序如下：

1. 校正前，依相關標準如 IEC 60891、IEC 61215、IEC 61646 及 IEC 60904-8 等量測二級基準電池之相對光譜響應及短路電流之溫度係數，如太陽電池校正時之溫度控制在 (25±1)℃ 範圍內，則溫度影響已納入不確定度之評估範圍，溫度係數之量測可予以省略；當一級基準太陽電池之結構材料形式皆與校正之太陽電池相類似時，光譜匹配之修正值極

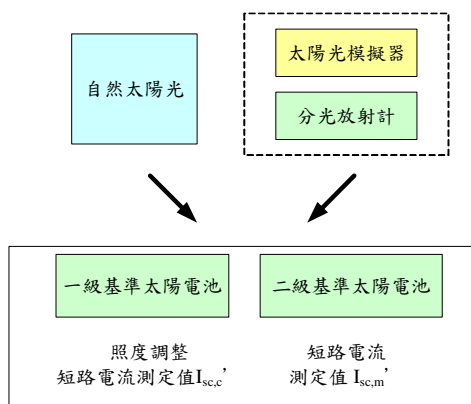
小光譜匹配誤差已納入不確定度內，因此校正件之光譜響應量測亦可忽略。。

2. 依太陽光模擬器之使用手冊進行太陽光模擬器和短路電流量測設備之暖機約 1 小時以上，待量測系統穩定後進行量測。
3. 首先將一級基準太陽電池放置校正平台上，調整安裝平台使其垂直軸與光源照射方向在 $\pm 5^\circ$ 以內，本實驗室之校正平台雖已架設水平並置於光源之正中央，然安裝時仍應使用水平儀確保校正件之水平置放，並利用校正件後面之螺孔對準裝設固定在校正平台之卡榫上，以確保校正件置放於光源照射之正中心，詳細的安裝步驟可參考太陽光模擬器使用手冊。
4. 開啟水冷式循環系統，並連接其進水管、出水管於一級基準太陽電池，並進行溫度監控維持於 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 範圍內，如果無法達到此範圍，則依 IEC 60891 補償修正至 25°C 之條件。
5. 開啟短路電流量測系統進行一級基準太陽電池短路電流之量測監控，調整太陽光模擬器的照射度至接近一級基準太陽電池校正報告之短路電流(照射強度 1000W/m^2)，待溫度和短路電流達到穩定後，開始進行量測並記錄其短路電流輸出值和溫度。
6. 重複上述步驟連續量測 10 組數據，短路電流(修正至 25°C 條件，如有需要則應進行光譜不一致性之補償)之變化值不得超過 $\pm 0.5\%$ ，得出其平均值為一級基準太陽電池之短路電流值 ($I_{sc,c'}$)。
7. 取下一級基準太陽電池後，將二級基準太陽電池放置在誤差範圍 $\pm 1^\circ$ 之同一平面同一裝置平台上，重複進行第 3 至第 6

之步驟，得出其平均值為二級基準太陽電池之短路電流值 ($I_{sc,m'}$)。

8. 計算平均比值： $r = \frac{25^{\circ}\text{C 之二級基準太陽電池短路電流}(I_{sc,m'})}{25^{\circ}\text{C 之一級基準太陽電池短路電流}(I_{sc,c'})}$

9. 二級基準電池之校正電流($I_{sc,m}$)即為一級基準電池校正電流 ($I_{sc,c}$) 乘上計算平均比值(r)，計算公式為： $I_{sc,m'} = I_{sc,c'} \times r$ ，校正原理和步驟如圖 1，相關追溯如圖 2。



$$I_{sc,m} = I_{sc,c} \cdot \frac{I_{sc,m'}}{I_{sc,c'}}$$

圖 1. 二級基準太陽電池校正之原理和步驟

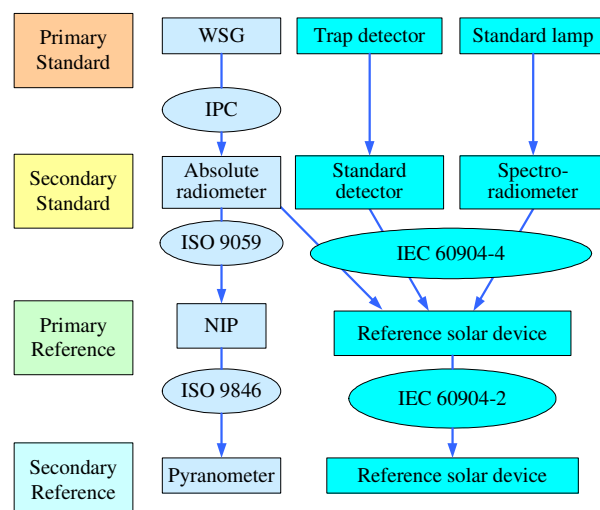


圖 2. 太陽光照射度偵測器基準設備和轉換方法校正追溯圖

4 校正設備之規格性能查核

實驗室之校正設備需進行性能規格進行查核和探討分析，作為可靠性和準確性的評估依據，包括：太陽光模擬器、短路電流量測系統、光譜響應量測系統、分光輻射計等，設備規格如下：

4.1 設備規格

編號	設備名稱	數量	廠牌/ 型號/ 序號	量測項目及範圍	備註
一	穩態恒光型太陽光模擬器 Steady-state solar simulator	組	WACOM/ WXS-155S-L2 AM1.5GMM/ 09090201	1. 照射面積：155mm x 155mm 2. 照射強度：800-1200W/m ² 3. 光譜不匹配度：≤±10%，符合 IEC 60904-9 等級 A 4. 照射不均勻度：≤±2%，符合 IEC 60904-9 等級 A 5. 時間不穩定度：STI ≤±0.5%、LTI ≤±2%，符合 IEC 60904-9 等級 A	
二	基準電池短路電流量測系統 Short-circuit current measuring system of solar reference cell	組	WACOM/ RefcellIsc500mA/ 09090203	1. 短路電流：最大電流 500mA 2. 測試平台空溫範圍：15±2℃-60±2℃	

三	光譜響應量測系統 Spectral response measuring system	組	SOMA/ S-9230/ 090255	1. 波長範圍：300-1700 nm 2. 解析度：20nm 3. 可放置太陽電池大小：120mm x 120mm 4. 單色光照射面積：20mm x 20mm 5. 單色光強度：50 μ W/m ² (@550nm) 6. 均勻度：小於 2.5%(@550nm) 7. 白色偏光強度：1000W/m ² ±10% 8. 測試台溫控範圍：10℃-50℃(±0.1℃)	
四	光譜量測系統 Spectral irradiance measuring system	組	OPTO/ MSR-7000N/ 090734	1. 波長範圍：280-2500nm 2. 波長精度：1nm 3. 解析度：5nm 再現性：100±5%(350nm-2400nm)	

其中影響基準太陽電池校正最關鍵的設備為太陽光模擬器，其性能符合性評估如下：

1. 太陽光模擬器依 IEC 60904-9 的分類等級為 AAA 級，整體而言性能皆符合規定要求，現有之光譜分佈如圖 1，唯一的缺失在於波長 460nm 處有一凹陷，似乎是為了模擬自然太陽光源在 430nm 的凹陷，但有相差有 30nm，整體而言整個頻段分佈好像漂移了 30nm，因此如能替換 IR 波段的濾鏡(Filter)此情況應可獲得改善。
2. 如以現有標準包括 IEC 60904-9 (JIS C8912)、JIS C8933、JIS C8942，以及預定在下半年發佈針對 CIS 電池所制訂的太陽光模擬器規定 Ts JN03:0000 來評估，其差異如圖 2-圖 5。
3. 在與 IEC 60904-9 的比較中，其差異最大為 5%等級相當好，但是在其他的標準的符合性則不太理想，因此如能更換濾鏡應該會好一點。
4. 太陽光模擬器國際上之標準資料如表 4.1。

表 4.1 太陽光模擬器相關標準一覽表

Standard	Title	Version	Note
IEC 60904-9	Photovoltaic devices- part 9: Solar simulator performance requirements	Ed 2.0 2007-10	
JIS C8912	Solar simulator for crystalline solar cells and modules	1998+ A1:2005	
JIS C8933	Solar simulator for amorphous solar cells and	1995+	

	modules	A1:2005	
JIS C8942	Solar simulator for multi-junction solar cells and modules	2009	
TS JN03:0000	Solar simulator for CIS solar cells and modules		

4.2 核注意事項

1. 校正區域(20mm x 20mm)照射均勻度的量測務必定期進行，建議以 5mm 為間隔對整個照射面積(155mm x 155mm)進行評估，量測設備最好使用自動的量測系統，否則使用人工操作移動比較困難，並應長時間觀測特定點，看看其穩定性是否足夠。
2. 校正用的標準燈如果僅使用在校正分光輻射計時，其可使用點燈時間為 20 小時，如果量測之光譜還用來進行光譜匹配修正(Mismatch factor)時，則建議使用點燈時間應縮短至 10 小時。
3. 系統開機後的暖機時間雖然在使用手冊上有載明，但實驗室仍需要進行評估留下數據資料，另外暖機穩定後之校正可用時間、冷機關機的時間，也應一併納入考量。
4. 多重鏡面反射所造成校正之影響，如果採用非平面的玻璃因為其反射係數低，影響結果小也許可以忽略不計，但如果採用平面式的玻璃，則需要納入考量。
5. MSR-7000N 的導光光纖屬於軟管型，應注意其彎曲狀況是否會影響量測到數據結果，彎曲不宜過大以免折斷。
6. 光源模擬器光源發光面與校正樣品的距離高度校正時應加以確認，該距離之計算並不是由光源表面至基準電池之表面玻璃，而是應該量測至內部反應電池片的表面，一般而言可能會有 4mm 或更大的差異(隨種類不同而變)，最新的

基準電池有些會在外表面上作標線記號，但如果沒有標線記號則應要自行調整。

5 不確定度評估及實驗室認證

5.1 準備工作

1. 確認各系統的開暖時間、可校正使用時間和冷關機時間，確實掌握各校正使用儀器設備之規格和性能狀況。
2. 根據使用狀況、操作手冊和各項檢查程序和確認機制建立完整的操作作業程序(SOP)。
3. 依照所制訂的各項作業程序進行樣品的校正量測，經由統計其變異差值，和理論誤差之推導，完成不確定度的評估。
4. 與其他已獲得實驗室認證的機構進行試驗比對。
5. 如已確認各項品質皆已達到要求後，即可正式提出認證之申請。

5.2 注意事項

1. 各系統使用光源之更換時間，不能僅依規格書之說明，仍須經過評估。
2. 系統追溯圖不能僅呈現最後的機構，需要載明其校正追溯的層次和網絡。
3. 應整理實驗室各項需要追溯和校正的標準件，並建立校正一覽表掌握各項校正事宜。
4. 進行標準作業程序建立時，應注意其實行度的難易，兼顧校正品質和作業之可行性。
5. 為降低校正時的不確定度，應建立一套可行且精準度高的方法來確保量測安裝平台的水平度、安裝的中心位置及與樣品至光源距離等，來降低安裝程序所造成的誤差，透過標準作業程序也可提升不同操作人員校正時的數據結果的

再現性，AIST 所採用的方法如下，可做為參考改善的依據：

- (1) 水平儀：利用傳統的水平儀來初步判定安裝是否水平。
- (2) 雷射水平儀：利用雷射發出和反射接收的角度，來判定安裝平面是否已經水平(另外也可一起量測距離)。
- (3) 利用定位雷射來確保光源鏡面之中心點位置。
- (4) 利用雷射測距儀、游標卡尺、精度較高的硬尺來量測安裝測試距離。

6 結論及建議

面對國內太陽能電池產業的快速成長，如何協助產業發展是一重大課題，在這日新月異的技術革新中，唯有協助國內太陽光電產品順利、快速的取得認證，國內的太陽能產業才不會失去市場的先機，在產品的認證過程中基準太陽電池為判定模組光照強度之重要元件，因此對模組光電性能的檢測上扮演關鍵性的判定基準。

由於日本產業技術總合研究所(AIST)的太陽光電研究中心(RCPV)是世界上 4 個太陽光電一級校正實驗室之一，豬狩真一先生在太陽光電校正領域有長時間的研究，不僅具備豐富專業知識及實務經驗，且為日本太陽光電校正的最高階層，本次經過豬狩先生的臨場指導，讓我們了解日本的一級太陽光電校正實驗室的校正技術及理念，可以作為我們執行校正程序的參考，不儘提升本局二級基準件校正實驗室校正專業能力，同時透過本次與 AIST 建立的連繫管道，可以在日後有相關問題時能提供一個有效的諮詢管道。

7 活動照片



豬狩真一與周泓兩位專家



學員上課情形(一)



學員上課情形(二)



豬狩真一與周泓兩位專家至標檢
局總局拜會局長(一)



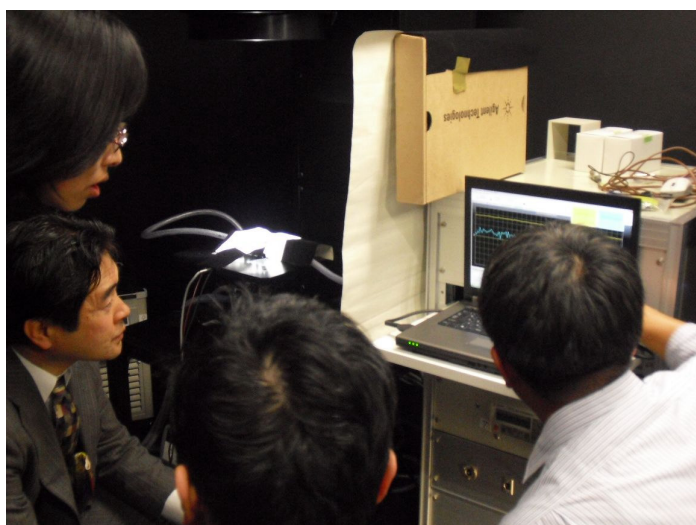
豬狩真一與周泓兩位專家至標檢
局總局拜會局長(二)



豬狩真一與周泓兩位專家至標檢
局總局拜會局長(三)



豬狩真一與周泓兩位專家至本局太陽光電校正實驗室現場指導(一)



豬狩真一與周泓兩位專家至本局太陽光電校正實驗室現場指導(二)



課後與學員熱烈討論太陽光電相關問題