



太陽光電系統性能分析— 以工業技術研究院中興院區為例

Performance Analysis for Industrial Technology Research Institute of PV System

宋洪義 H. Y. Sung¹、黃朝揚 C. Y. Huang²、林福銘 F. M. Lin³、
洪文德 W. T. Hung⁴、彭柏璋 P. C. Peng⁵

工研院(ITRI) 綠能與環境研究所 ¹工程師、²經理、³正研究員/組長
工研院(ITRI) 行政處 ⁴副組長、⁵副工程師

摘要/Abstract

隨著綠能政策推動，再生能源建置逐年快速增加設置容量，而太陽光電系統更占再生能源設置容量20 GW_P，統計至2022年6月太陽光電設置容量已達8.7 GW_P，隨著案場數量與設置容量增加，系統維運已開始逐漸被重視，尤其系統發電性能評估也日益重要。本研究於工研院新竹中興院區設置不同模組、變流器之系統組合，利用國際規範測量並計算太陽光電系統性能，說明如何有效利用監測數據，為案場進行發電性能分析，藉由每月、每季、每年的性能變化，有效判斷系統健康狀況。

With the promotion of the green energy policy, the installed capacity of renewable energy has increased rapidly year by year, and the solar photovoltaic system accounts for 20 GW_P of the installed renewable energy capacity. According to statistics, the installed capacity of solar photovoltaic has reached about 8.7 GW_P by June 2022. With the increase of installed capacity, its system maintenance and operation has begun to be paid more and more attention, especially the power generation performance evaluation of the system is becoming more and more important. The PV systems combination of different modules and converters are setting up in the Chung Hsing Campus of ITRI in Hsinchu, and the performance ratio of the PV systems will be measured and calculated by using international standards. Through monthly, quarterly, and yearly performance changes, it can effectively judge the health of the system.

關鍵字/Keywords

性能比(Performance Ratio; PR)、系統維運與維護(Operations & Maintenance; O&M)、監控(Monitoring)、太陽光電系統性能(PV System Performance)、國際標準規範(IEC 61724-1)



前言

政府規劃2025年再生能源發電占比為20%，其中太陽光電系統（以下簡稱PV系統）2025年規劃設置目標量為20 GW_p。根據能源統計月報資料顯示，截至2022年6月統計PV系統累積裝置容量已達約8,701 MW，如圖一所示。隨著太陽光電系統建置量越來越多，維運工作日顯重要，透過維運如何判別案場健康程度，需有一套完整流程來進行。本文特別針對國際標準規範IEC 61724-1:2021，說明其性能比(Performance Ratio; PR)分析，採用各案場監測資料進行計算與統計變化，可用來有效判斷案場健康程度以及髒汙狀態。

國際標準規範IEC 61724-1中之性能比說明

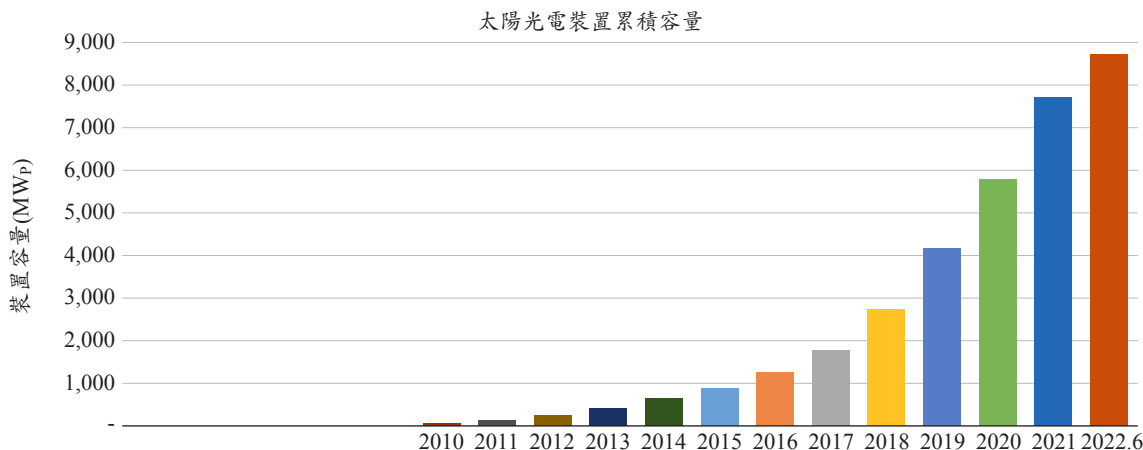
於IEC 61724-1中第10.3章節，對於性能比定義與公式，共分為四項參數（表一）。因為針對維運需求，性能比計算無法依據

規範中要求，至少一年為一個週期進行分析；但是在Performance Ratio中，可以自訂分析期間的長短。作者建議不要採用逐時、逐日方式計算，因為當日照偏低（例如氣候不佳）時，性能比計算會偏低，主要原因為日照累積量為分母，因此日照於量測上會產生些微誤差，導致整個性能比變化很大。以一年為一個週期計算為Annual PR。有些區域一年四季分明，如採用每一季計算PR，會與環境溫度有關，為了避免季節影響環境溫度，因此採用兩種溫度修正計算PR：

▼表一 國際標準規範IEC 61724-1性能比四項參數

Parameter	Symbol	Units
Rating-based (10.3)		
Performance Ratio	PR	None
Annual Performance Ratio	PR _{annual}	None
Annual-temperature-equivalent Performance Ratio	PR' _{annual-eq}	None
STC-temperature Performance Ratio	PR' _{STC}	None

資料來源：IEC 61724-1:2021



▲圖一 截至2022年06月太陽光電系統裝置容量



第一種是每筆發電量對應PV背板溫度修正至標準狀態，此方式稱為STC-temp. PR；另一種為監測期間PV背板平均溫度，與每筆PV背板溫度修正的Annual-temp.-equivalent PR。以下逐一說明公式定義與計算要求。

①Performance Ratio (性能比)：如式(1)，此方式計算週期建議至少以一星期、一個月、一季、半年以及一年為單位，不建議以一天以內當一個週期計算，因為會導致經常性誤判，而無法正確判斷PV系統健康狀態/是否失效。

$$PR = \left(\frac{\sum_k \frac{P_{out,k} \times \tau_k}{P_0}}{\sum_k \frac{G_{i,k} \times \tau_k}{G_{i,ref}}} \right) \quad (1)$$

其中： τ_k 為取樣區間時間； $P_{out,k}$ 為交流輸出功率； P_0 為太陽光電系統設置容量； $G_{i,k}$ 為與太陽光電系統共平面日照強度； $G_{i,ref}$ 為標準狀態下日照強度 $1,000 \text{ W/m}^2$ 。

②Annual Performance Ratio (全年性能比)：以式(1)計算數據，記錄週期為一年，此方式建議於每年PR計算分析比對使用。

③Annual-temperature-equivalent Performance Ratio (對全年模組平均溫度修正性能比)：如式(2)，此方式建議於監測期間，取得有效PV模組背溫平均(式(3))，再用平均背溫修正每筆當時PV背溫。在此所謂有效指的是當日照大於 20 W/m^2 時，此時視為白天的開始，當日照低於 20 W/m^2 時視為晚上，之後監測數據視為無效。

$$PR'_{\text{annual-eq}} = \left(\frac{\sum_k \frac{P_{out,k} \times \tau_k}{C_k \times P_0}}{\sum_k \frac{G_{i,k} \times \tau_k}{G_{i,ref}}} \right) \quad (2)$$

$$C_k = 1 + \gamma \times (T_{mod,k} - T_{mod,avg}) \quad (3)$$

其中： γ 為最大功率的溫度係數($1/^\circ\text{C}$)； $T_{mod,k}$ 為取樣區間太陽能模組溫度($^\circ\text{C}$)； $T_{mod,avg}$ 為全年太陽能模組平均溫度($^\circ\text{C}$)。

④STC-temperature Performance Ratio (對標準狀態溫度修正性能比)：如式(4)，此方式建議於監測期間，取得每筆有效PV模組背溫，再用背溫修正至 25°C (式(5))，在此所謂有效指的是當日照大於 20 W/m^2 時，此時視為白天的開始，當日照低於 20 W/m^2 時視為晚上，之後監測數據視為無效。

$$PR'_{\text{STC}} = \left(\frac{\sum_k \frac{P_{out,k} \times \tau_k}{C_k \times P_0}}{\sum_k \frac{G_{i,k} \times \tau_k}{G_{i,ref}}} \right) \quad (4)$$

$$C_k = 1 + \gamma \times (T_{mod,k} - 25) \quad (5)$$

其中： γ 為最大功率的溫度係數($1/^\circ\text{C}$)； $T_{mod,k}$ 為取樣區間太陽能模組溫度($^\circ\text{C}$)。

工業技術研究院中興院區 PV系統簡介

1. 各館PV系統裝置容量說明

目前中興院區共五個屋頂建置PV系統。其中21館與22館因為屋頂相通，因此視為一個屋頂，累積裝置容量共 $1,332.99 \text{ kW}_p$ ；67館於2022年04月開始有發電資料，因為數據不夠多，所以於本文中將不採納67館發電量資料數據。中興院區各館日照、PV背板溫度監測起始日期為2022年02月10日，因此計算分析期間為2022年02月10日至



2022年04月30日；排除67館裝置容量，以總裝置容量1,142.59 kW_p進行分析（表二）。

2. 中興院區發電資訊

(1) 採用發電資訊

發電期間採用台電電表讀值。

(2) 日照計讀值確認

PV系統一般建置完成時，大部分業者都會安裝日照計、PV模組溫度計，需確認讀值正確性時，一般皆為採用設備校正方式；然而有少數維運商為了使PR計算數值較優，讓業主或金融業相信PV系統發電性能，因此於表頭輸入係數時，未正確依據校正報告內容設定，例如使日照計讀值偏低，分析PR時就會偏高或與當初設計值相符，如此便會失去分析PR的意義。為避免這樣的情況，一般建議採用附近氣象局架設監測站之日照計讀值做比對，用意

在於確認案場所安裝日照計讀值正確性。此外，有的案場裝置容量較小，因此無安裝日照計，依然可以採用氣象監測站資料來做計算分析。雖然氣象站與案場距離可能有遠有近，而因為天氣不一致，導致產生日照累積不一致；但若採用一致手法分析，即可逐年看到PR變化，以此確認案場健康狀態，如IEC 61724-1中就允許Class B、Class C監測等級案場，採用附近氣象站資料分析。

統計2022年02月10日至2022年04月30日期間，新竹氣象站、11館、14館、21+22館、64館日照累積量比對（表三），發現累積量讀值差異不大。經計算各館逐月與氣象站日照累積量誤差（表四），發現只有14館偏差較大，其他館別誤差在5%內；但是三月、四月、五月之後誤差逐漸變大，推論應為日照計並無每月定期清洗導致讀值偏低，將四個館之日照累積量加總平均後，更可以發現日照計逐月與氣象站讀值誤差變大。

因此，一般PV系統於維運期間，如有清洗太陽能模組時，建議應同步清洗日照計，避免清洗後發電量上升，日照累積量下降，而計算PR時發現系統發電性能上升，可能誤判為案場健康狀態無異常。

▼表二 中興院區PV系統裝置容量統計

館別	電廠設置容量(kW _p)
11	397.95
14	383.40
21 + 22	176.64
64	184.60
總裝置容量(kW _p)	1,142.59

▼表三 中興院區日照累積量比對

日期	氣象局日照累積量 (kWh/m ²)	中興院區日照累積量(kWh/m ²)			
		11館	14館	21 + 22館	64館
2022/02/10~2022/02/28	42.201	41.776	40.105	41.970	41.837
2022/03/01~2022/03/31	122.704	117.315	112.241	116.142	115.050
2022/04/01~2022/04/30	137.109	126.231	122.898	123.519	124.651
2022/02/10~2022/04/30	302.015	285.322	275.245	281.631	281.538

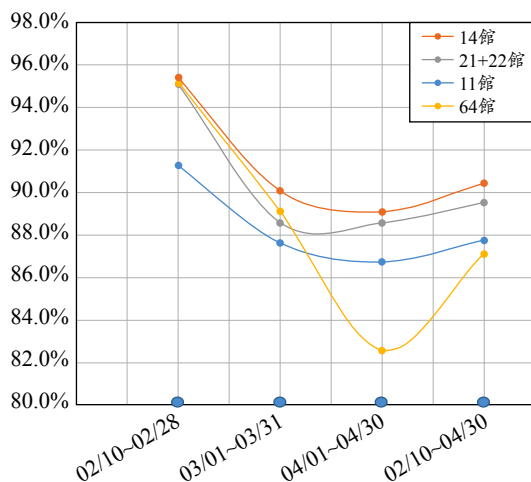


▼表四 中興院區日照累積量誤差計算

日期	11館	14館	21 + 22館	64館	各館加總平均
2022/02/10~2022/02/28	1.0%	5.0%	0.5%	0.9%	1.8%
2022/03/01~2022/03/31	4.4%	8.5%	5.3%	6.2%	6.1%
2022/04/01~2022/04/30	7.9%	10.4%	9.9%	9.1%	9.3%
2022/02/10~2022/04/30	5.5%	8.9%	6.7%	6.8%	7.0%

▼表五 中興院區發電性能分析

日期	11館		14館		21+22館		64館		中興院區 平均日照 (kWh/m ²)
	發電量 (度)	PR	發電量 (度)	PR	發電量 (度)	PR	發電量 (度)	PR	
02/10~02/28	15,046	91.3%	15,156	95.4%	6,959	95.1%	7,507	95.2%	41.422
03/01~03/31	40,165	87.6%	39,784	90.1%	18,023	88.6%	19,543	89.1%	115.187
04/01~04/30	42,909	86.7%	42,471	89.1%	19,453	88.6%	19,543	82.6%	124.325
02/10~04/30	98,120	87.8%	97,411	90.4%	44,435	89.5%	46,593	87.1%	280.934



▲圖二 中興院區11、14、21+22、64館PR變化(彩圖請見材料世界網)

(3) 2022年02月10日至2022年04月30日 中興院區發電資訊

發電期間採用變流器讀值，日照累積量採用四館日照計平均累積讀值，由表五可以得知，各館各月份PR變化(圖二)。整體

看來為二月份最高而後下降，但目前數據不足，尚無法進行精確判讀，因此以整個區間各館PR變化進行分析，發現時間拉長後，PR變化不至於過大，如果將四個館整體計算 $PR = (02/10 \sim 04/30 \text{ 總發電量}) / (\text{總裝置容量} \times \text{發電期間日照平均累積量}) = (286,559) / (1,142.59 \times 280.934) = 89.3\%$ ，因此整體PR與各館整體PR比對，結果為案場目前狀態無重大異常。而64館於04/01~04/30期間PR偏低，應為變流器有異常斷電導致。

中興院區14館太陽光電系統 發電性能分析

本章節將依據國際標準規範IEC 61724-1性能比方式分析，依據式(1)、式(2)、式(4)分析PR，監測數據包含：發電量(kW)、日照量(W/m²)、PV模組背溫(°C)。中興院區14館監測數據為每分鐘一筆(Sampling)，符合IEC 61724-1中Class B監



▼表六 茂迪PV模組規格書

電性參數	XS60CA-335	XS60CA-340	XS60CA-345	XS60CA-350	XS60CA-355
STC最大功率(W)	335	340	345	350	355
最大功率點的工作電壓 V_{mpp} (V)	34.10	34.30	34.50	34.70	34.90
最大功率點的工作電流 I_{mpp} (A)	9.83	9.92	10.01	10.09	10.18
開路電壓 V_{oc} (V)	41.20	41.40	41.60	41.80	42.00
短路電流 I_{sc} (A)	10.38	10.44	10.49	10.53	10.58
模組效率 Eff (%)	19.74	20.03	20.33	20.62	20.91
電氣表現參數					
短路電流溫度係數	+0.06%/°C		最大保險絲額定電流	15 A	
開路電壓溫度係數	-0.30%/°C		最大系統電壓	1,500 V	
最大功率溫度係數	-0.39%/°C		模組工作溫度(NMOT)	44°C ± 3°C	

資料來源：茂迪股份有限公司

測要求，需再將Sampling監測數據整理為每15分鐘平均數據(Recording)，因PR計算公式對應式(1)、式(2)、式(4)中，須採用Recording數據進行分析。以下針對表一中PR公式逐一分析說明。

1. PR計算條件說明

①採用中興院區14館，因為11館、14館、21+22館、64館中，其單一裝置容量最大，且使用單一品牌PV模組，因此於溫度係數修正上，以14館作案例說明最為簡易且適宜。

②PV模組元件規格如表六所示，廠牌型號為茂迪股份有限公司XS60CA-355-B。其最大功率溫度係數 = $(-0.39)\%/^{\circ}\text{C}$ = $(-0.0039) 1/^{\circ}\text{C}$ ，於式(3)、式(5)中須採用最大功率溫度係數，於規範中要求最大功率溫度係數單位為 $1/^{\circ}\text{C}$ ，因此帶入計算將採用 $\gamma = (-0.0039) 1/^{\circ}\text{C}$ 。

③將14館每分鐘監測資料整理為每15分鐘平均當成一筆Recording監測資料。

④將Recording監測資料整理後，需先排除對應照度低於 20 W/m^2 的數值，此用意為排除夜間監測數據。

2. 中興院區14館性能比分析(PR)

帶入式(1)分析結果如表七。表七中A區採用每15分鐘平均數據，且排除照度低於 20 W/m^2 以下數據，計算02/10~05/31區間PR = 90.8%；B區直接將每分鐘數據累加且無數據排除，計算02/10~05/31區間PR = 89.5%。經過比對發現差異不大，亦即如果一般案場要直接做計算且不排除數據，其監測資料頻率至多一分鐘一筆，如果監測頻率大於15分鐘以上，因為數據量太少，於PR直接計算誤差會變大，因此建議依據IEC 61724-1中監測數據要求，於Sampling數據監測頻率，應以每分鐘一筆為較佳；如果是Class A監測等級，則Sampling數據監測頻率，應以每30秒一筆為較佳。作者將A區計算方式，於計算PR分析中，將數據有無排除，當為操作變因，發現未排除數



▼表七 中興院區發電性能分析

監測期間	A區			B區		
	IEC 61724-1 (每15分鐘Recording)			IEC 61724-1 (每分鐘Sampling)		
	排除照度低於20 W/m ² 以下數據			無數據排除		
	發電量 (kWh)	日照累積量 (kWh/m ²)	PR	發電量 (kWh)	日照累積量 (kWh/m ²)	PR
02/10~02/28	14,374.16	39.600	94.7%	14,652.00	40.105	95.3%
03/01~03/31	39,829.65	113.858	91.2%	38,446.00	112.241	89.3%
04/01~04/30	42,026.57	121.085	90.5%	41,052.00	121.343	88.2%
05/01~05/31	33,540.26	98.319	89.0%	33,646.95	98.753	88.9%
02/10~05/31	129,770.65	372.86	90.8%	127,796.95	372.44	89.5%

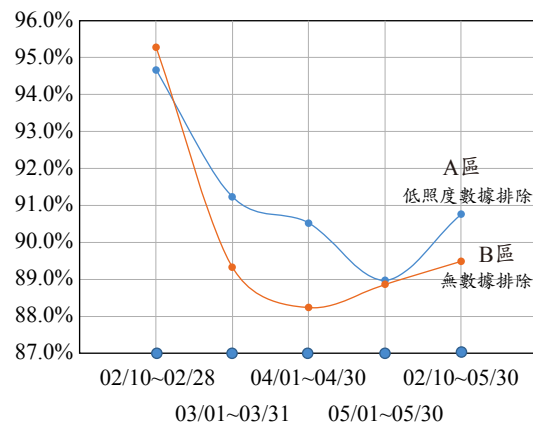
據，計算02/10~05/31區間PR = 90.7%，目前由於監測期間只有四個月，無法說明有無排除數據狀態下，於PR分析下的差異是否會隨著時間越長而越顯著。

將表七中A區與B區PR繪製成曲線(圖三)，可以發現當如果有排除夜間數據，其PR可以增加，其原因為當接近夜間，有低日照而無發電，因此在PR公式中，如無排除夜間數據，會導致分母增加(日照累積量)，分子無增加(發電累積量)，因此PR無排除直接做計算，的確會影響PR變化，也會因為變化導致誤判可能性。

由圖三我們可以發現，如果PR採用每個月由曲線看變化趨勢，PR的確變化很大，或許是資料點不夠，所以讓曲線很明顯看到變化，但是如果可以拉大分析區間，以及採用較長監測資料(例如：每季或每年)，則曲線分析比較有意義。

3. 中興院區14館對模組平均溫度修正性能比分析(PR'_{annual-eq})

於02/10~05/31監測區間，將夜間數據排除後，計算PV模組平均溫度為31.5°C，

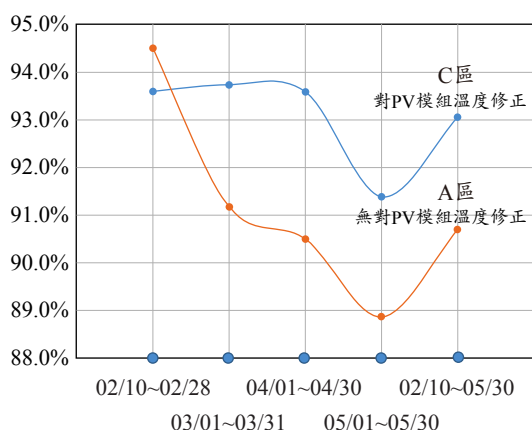


▲圖三 表七中A區、B區之PR變化

將此數據帶入式(2)、式(3)中分析，結果如表八。其中A區與C區操作變因為對監測區間有無對平均PV模組溫度修正，A、C區計算02/10~05/31區間分別為PR = 90.8%、93.1%，由此可知採用溫度係數修正，可以讓PR分析上有提升。作者建議在建置監測系統同時，監測軟體也應同步設計，可以節省人力下載大量監測資料，以及降低人工作業進行調整與計算，作者光整理此四個月的資料，就花上6小時以上時間。如果無對應軟體可以協助分析，也不建議採用

▼表八 中興院區14館PV系統發電性能對PV模組溫度修正分析

監測期間	A區			C區		
	IEC 61724-1 (每15分鐘Recording)			IEC 61724-1 (每15分鐘Recording)		
	排除照度低於20 W/m ² 以下數據			排除照度低於20 W/m ² 以下數據		
	無對PV模組溫度修正			對PV模組溫度修正		
	發電量 (kWh)	日照累積量 (kWh/m ²)	PR	發電量 (kWh)	日照累積量 (kWh/m ²)	PR
02/10~02/28	14,374.16	39.600	94.7%	14,374.16	40.057	93.6%
03/01~03/31	39,829.65	113.858	91.2%	39,829.65	110.826	93.7%
04/01~04/30	42,026.57	121.085	90.5%	42,026.57	117.130	93.6%
05/01~05/31	33,540.26	98.319	89.0%	33,540.26	95.725	91.4%
02/10~05/31	129,770.65	372.86	90.8%	129,770.65	363.74	93.1%



▲圖四 表八中A區、C區之PR變化

監測期間PV模組平均溫度，因為數據龐大且耗時耗力。

由圖四我們可以發現，如果PR計算含有PV模組溫度修正，其變化異動比較小。因此如果要每個月看PR變化，建議採用有溫度修正方式來分析較佳；而溫度修正的另一個好處，可以避免台灣四季變化，因環境溫度不同，影響PV模組溫度，而導致PR因季節不同有變化。藉由IEC 61724-1兩種溫度修正方式，可以將環境溫度變化影

響下降，進而有效分析PV系統發電性能。

4. 中興院區14館對標準狀態溫度修正性能比分析(PR_{STC})

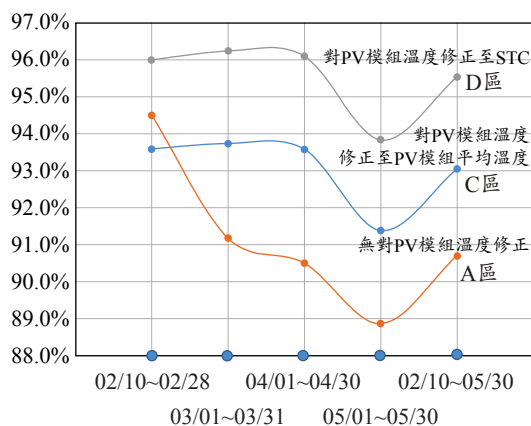
於02/10~05/31監測區間，將夜間數據排除後，以此數據帶入式(4)、式(5)中分析，結果如表九。其中A區與D區操作變因為對監測區間有無將每筆PV溫度修正至標準狀態溫度(25°C)，A、C、D區計算02/10~05/31區間分別為PR = 90.8%、93.1%、95.5%，由此可知將PV模組溫度係數修正，對監測期間平均溫度修正至平均模組溫度或STC溫度(25°C)，除了可以讓PR分析上有提升，採用修正至STC溫度之PR變化較小，比較可以用來做每個月PR分析變化。

由圖五我們可以發現，如果PR計算含有PV模組溫度修正，其變化除了異動比較小，而且兩種溫度修正方式讓PR每個月變化更一致。因此如果要每個月看PR變化，建議採用有溫度修正方式來分析較佳；而溫度修正至STC的另一個好處，可以避免PV模組溫度異常，如果監測處的PV剛好



▼表九 中興院區14館PV系統發電性能修正至標準狀態溫度

監測期間	A區			D區		
	IEC 61724-1 (每15分鐘Recording)			IEC 61724-1 (每15分鐘Recording)		
	排除照度低於20 W/m ² 以下數據			排除照度低於20 W/m ² 以下數據		
	無對PV模組溫度修正			對PV模組溫度修正至標準狀態溫度		
	發電量 (kWh)	日照累積量 (kWh/m ²)	PR	發電量 (kWh)	日照累積量 (kWh/m ²)	PR
02/10~02/28	14,374.16	39.600	94.7%	14,374.16	39.050	96.0%
03/01~03/31	39,829.65	113.858	91.2%	39,829.65	107.932	96.3%
04/01~04/30	42,026.57	121.085	90.5%	42,026.57	114.052	96.1%
05/01~05/31	33,540.26	98.319	89.0%	33,540.26	93.226	93.8%
02/10~05/31	129,770.65	372.86	90.8%	129,770.65	354.26	95.5%



▲圖五 表八與表九中A區、C區、D區之PR變化

有熱斑，監測期間平均溫度會過高，因此為了避免監測處功能失準，建議於每次維護，採用熱影像檢查監測PV模組溫度處的電池熱分布，避免因為電池片破裂、遮陰而產生熱異常。

結 論

本研究以工研院新竹中興院區設置不同模組、變流器之系統組合，利用國際規範測量並計算太陽光電系統性能，探討如

何有效利用監測數據，為案場進行發電性能分析，有效判斷系統健康狀況。綜整建議如下：

①於PV系統安裝監測元件，建議依據IEC 61724-1中要求，對應PV系統裝置容量大小，安裝要求數量監測元件。

②監測數據頻率如為Class A則建議為3秒取一筆，Class B、C則每1分鐘取一筆監測數據。

③每次PV系統於清洗時，應該同步要清洗日照計，且須訂下定期清洗日照計頻率，避免髒污導致日照讀取偏差，而使PR計算誤差。

④監測系統如無設計針對案場使用的分析軟體，則建議採用不排除數據，將發電、日照量以全部累加方式進行PR分析。

誌 謝

本研究工作承蒙經濟部能源局研究計畫（契約編號：111-S0304）及工業技術研究院綠能所支持，謹此致謝。

參考文獻

1. IEC 62446-1:2016, Photovoltaic (PV) systems – Requirements for testing, documentation and maintenance–Part 1: Grid connected systems–Documentation, commissioning tests and inspection.
2. IEC 61724-1:2021, Photovoltaic system performance–Part 1: Monitoring.
3. IEC 61724-2:2016, Photovoltaic system performance –Part 2: Capacity evaluation method.
4. IEC 61724-3:2016, Photovoltaic system performance –Part 3: Energy evaluation method.