

太陽光電系統維運驗證技術

工研院量測中心
太陽光電計量實驗室

報告人：李思賢

sven@itri.org.tw

中華民國109年5月28日

大綱

- 太陽光電系統的檢測驗證
- 太陽光電模組查驗
- 太陽光電系統維運檢測驗證
- 總結

太陽光電系統的檢測驗證

■ 歷年太陽光電裝置容量

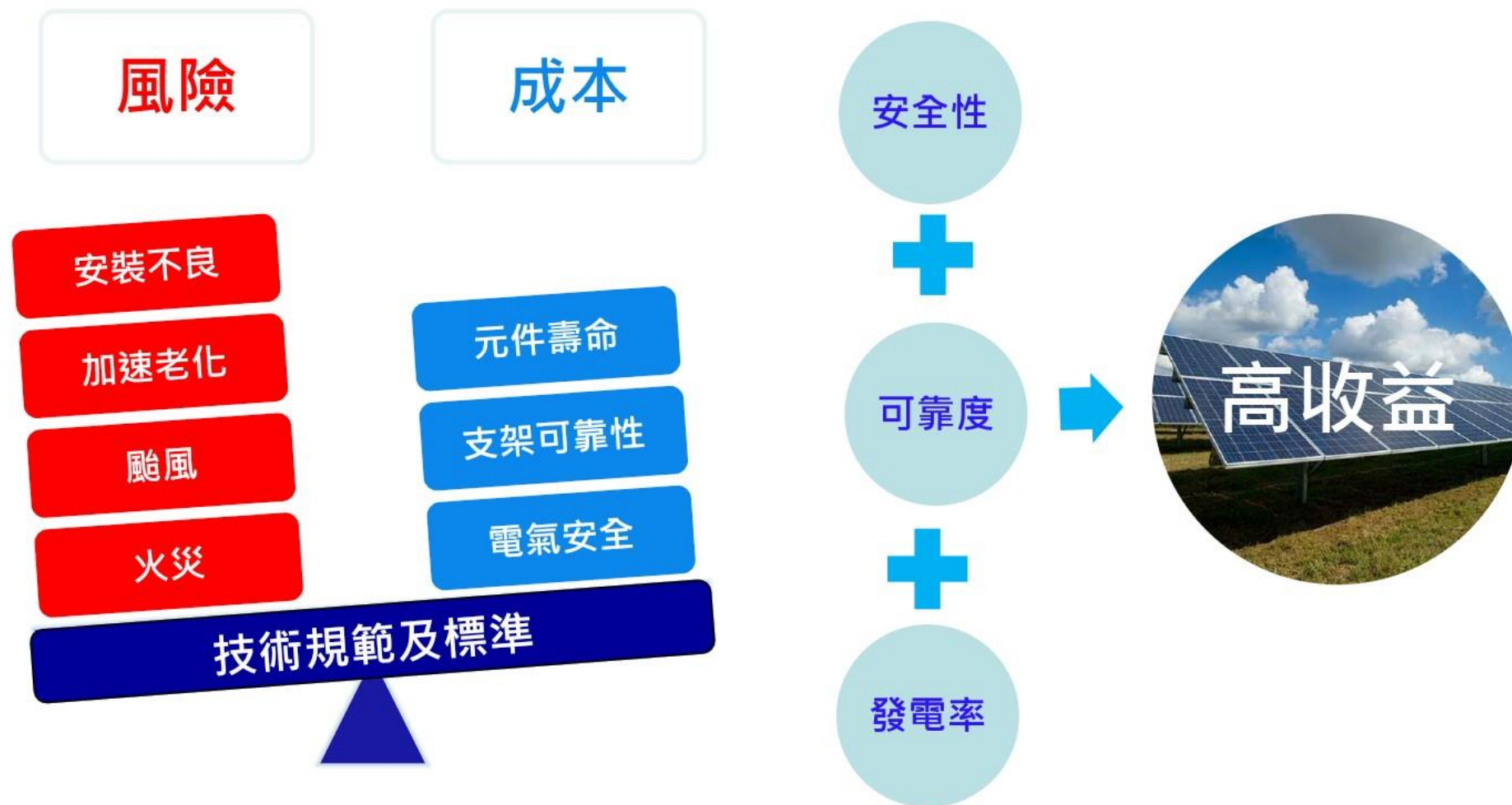
- 自103年以來**成長將近10倍**
- **90 %**的裝置容量在近**5年**內建置
- **2025年**要達到**20 GW**的目標尚須安裝約**5千萬片**模組。

單位: 萬瓩

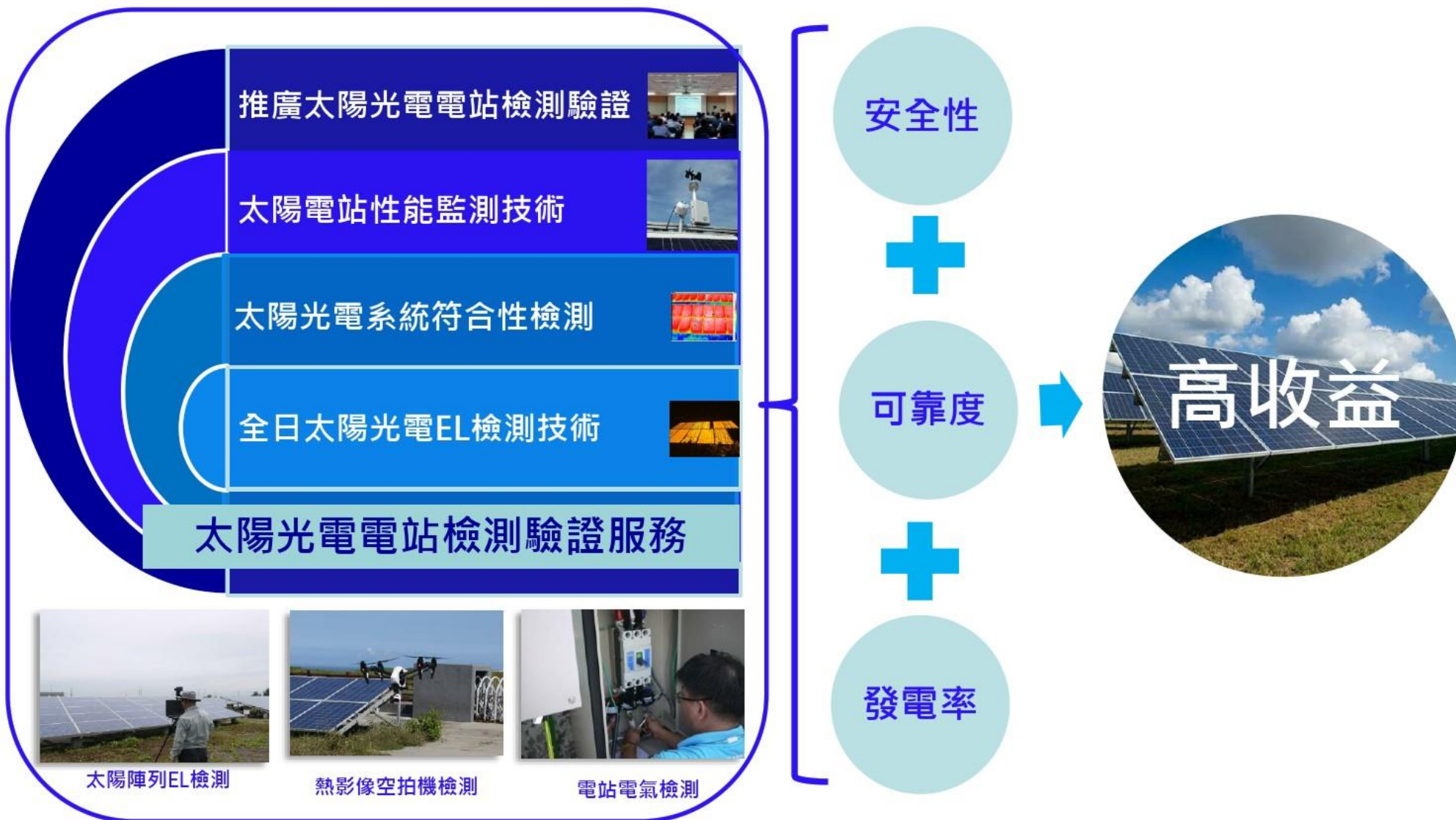


太陽光電系統的檢測驗證

- 電站投資者面臨的挑戰：
既要求系統的高可靠度與高效能產出又要求將成本能降至最低



太陽光電系統的檢測驗證



太陽光電系統的檢測驗證

計畫時間軸

設計核可

完成建置

年度性能

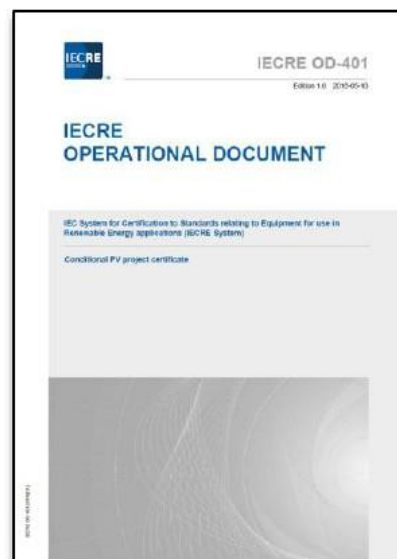
資產轉移

- 定義技術需求
- 模組元件選用
 - IEC 61215
 - IEC 61730
 - IEC 62941
- PV 電站設計指南:
 - IEC 62548
 - IEC 62738

- 系統查驗檢測
 - IEC 62446-1
 - IEC 63049
 - IEC 61724-2
 - IECRE OD-401

- 系統長期評估及驗證
 - IEC 62446-1
 - IEC 62446-2
 - IECRE OD-401

尚處於概念發展階段



太陽光電系統-測試要求、文件和維護營運標準

- IEC 62446-1 Ed.1: 太陽光電系統-測試、文件和維護營運-第一部：併網系統-系統文件的最低要求、試運轉測試及檢查
 - 取代IEC 62446-2009
 - 文件審查：
 1. 系統資訊：系統基本資訊、設計者資訊及安裝承包商資訊
 2. 機電設計：模組陣列配置、交流系統、接地及超載保護、支架、規格書
 3. 維運作業：作業文件，測試報告及運行數據
 - 系統驗證：啟動運營或週期性檢測
 1. 低壓電器安裝驗證
 2. 類別1測試
 3. 類別2測試
 4. 附加測試
- IEC 62446-2 Ed.1: 太陽光電系統-測試、文件和維護營運-第二部：併網系統-太陽光電系統維護營運
- IEC 62446-3 Ed.1: 太陽光電模組與電站戶外紅外線熱影像檢測
- IEC TS 60904-13:2018 太陽光電模組電致發光

太陽光電系統—測試要求、文件和維護營運標準

■ IEC 62446-1 Ed.1:太陽光電併網系統文件的最低要求、運轉測試及檢查

➤ 5.2 檢查(Inspection) 8項檢查→主要須符合當地電工法規

1. DC系統—通則

➤ IEC 60364-6低電壓電器安裝—驗證. IEC 62548 PV陣列—設計要求

2. DC系統—電擊防護

3. DC系統—絕緣故障防護

4. DC系統—過電流防護

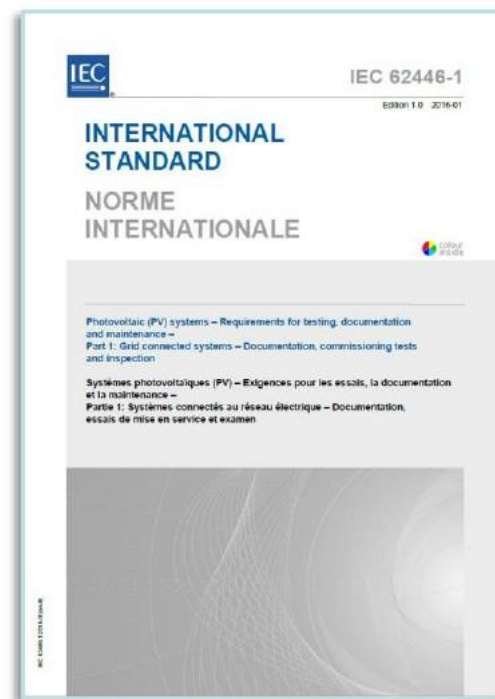
5. DC系統—接地與連接

6. DC系統—雷擊效應與過電壓

7. DC系統—電氣設備的選擇與安裝

8. AC系統

9. 標籤與識別



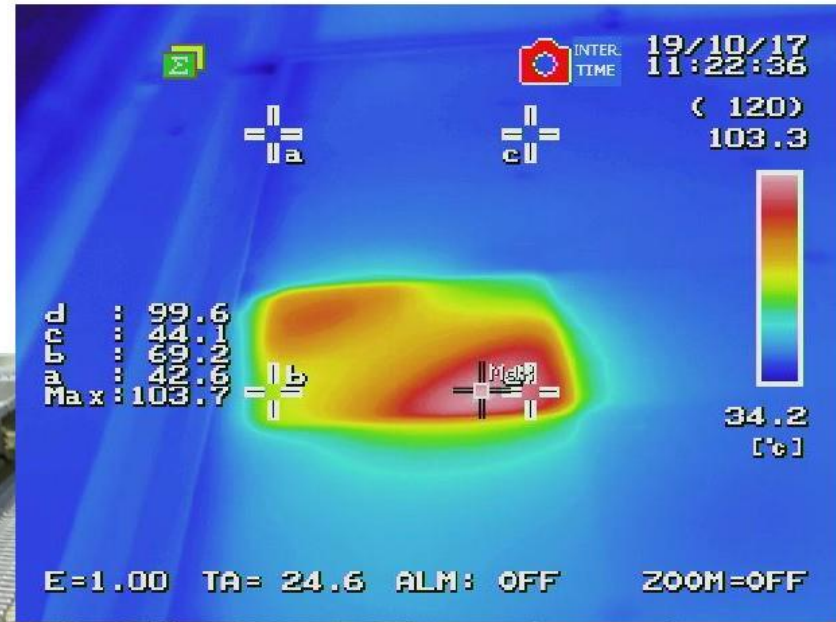
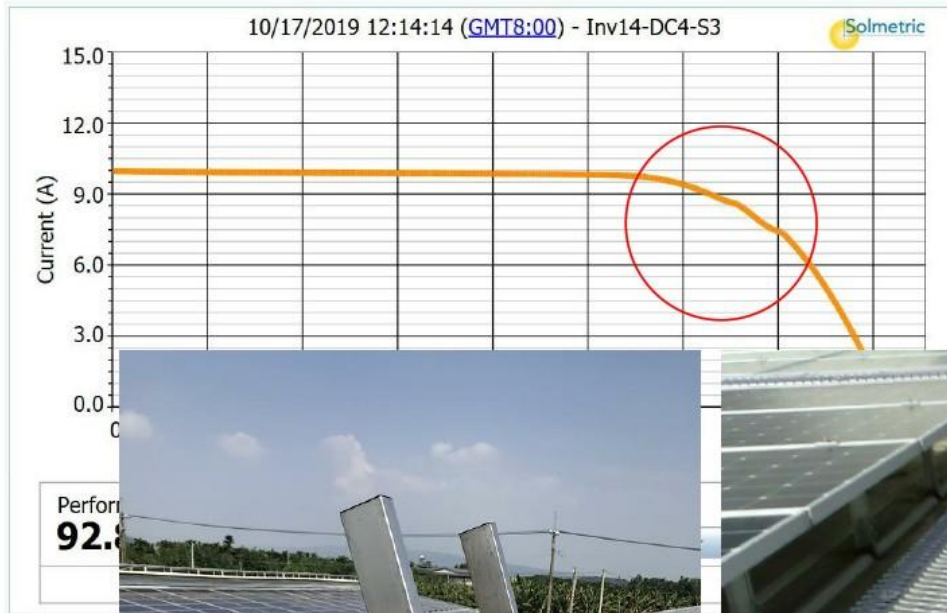
太陽光電併網系統文件的最低要求、運轉測試及檢查

- IEC 62446-1 Ed.1: 7項必測項目及2項選測、4項附加測試共13項
 - CH6 類別1測試：不論系統之大小、種類、位置或複雜度均須符合的最低要求
 - 6.1 接地連續性及等電位導體測試(Continuity of protective earthing and equipotential bonding conductors)
 - 6.2 電極極性測試(Polarity test)
 - 6.3 PV串列配電箱測試(PV string combiner box test)
 - 6.4 PV串列開路電壓量測(PV string – Open circuit voltage measurement)
 - 6.5 PV串列電流量測(PV string – Current measurement)
 - 6.6 功能測試(Functional tests)
 - 6.7 PV陣列絕緣阻抗測試(PV array insulation resistance test)
 - CH7 類別2測試：傾向對較大及較複雜的系統所做的附加測試
 - 7.1 通則：類別2測試可採取全系統執行或部分取樣執行
 - 7.2 PV串列I-V曲線量測(String I-V curve measurement)
 - 7.3 PV陣列紅外熱影像檢測程序(PV array infrared camera inspection procedure)
 - CH 8 附加測試程序：有需要時才做
 - 8.1 阻抗接地電壓測試(Voltage to ground – Resistive ground systems)
 - 8.2 阻隔二極體測試(Blocking diode test)
 - 8.3 溼絕緣阻抗測試(PV array – Wet insulation resistance test)
 - 8.4 遮陰評估(Shade evaluation)



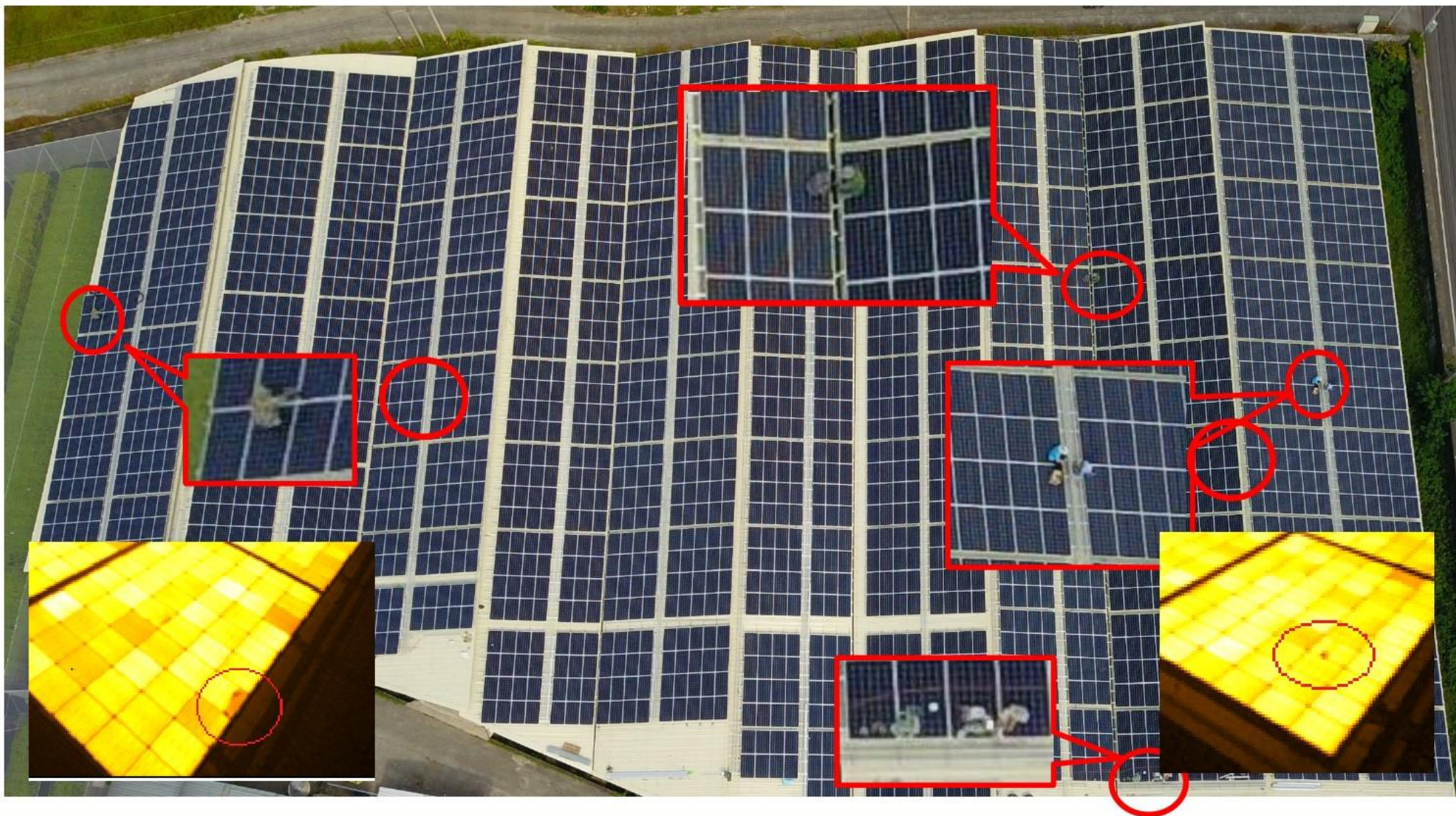
太陽光電系統的檢測驗證

- PV陣列紅外熱影像檢測案例：中部屋頂700 kW系統



太陽光電系統的檢測驗證

- PV陣列電致發光熱影像檢測案例：中部屋頂700 kW系統



□ IEC 62446-1—類別1測試PV系統接地連續性 水上浮台系統

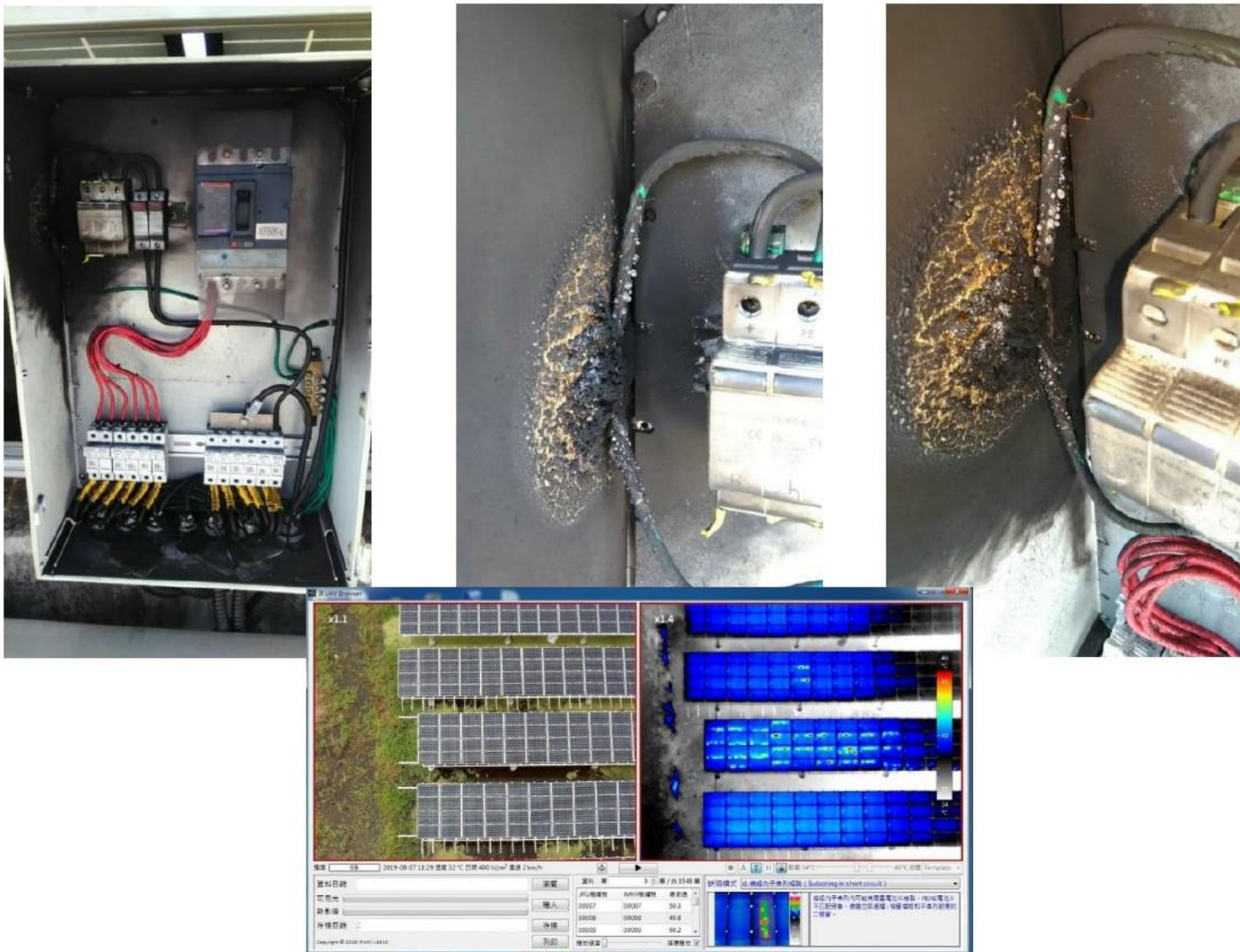


- 模組串列**接地連續性**分別為**349.0 Ω**及**3202 Ω**
- 直流配線箱**接地電阻**分別為**140.3 Ω**及**149.9 Ω**
- 超出法規的標準**10 Ω**甚多，不僅**漏電防護**，**雷擊保護**也會**失效**。

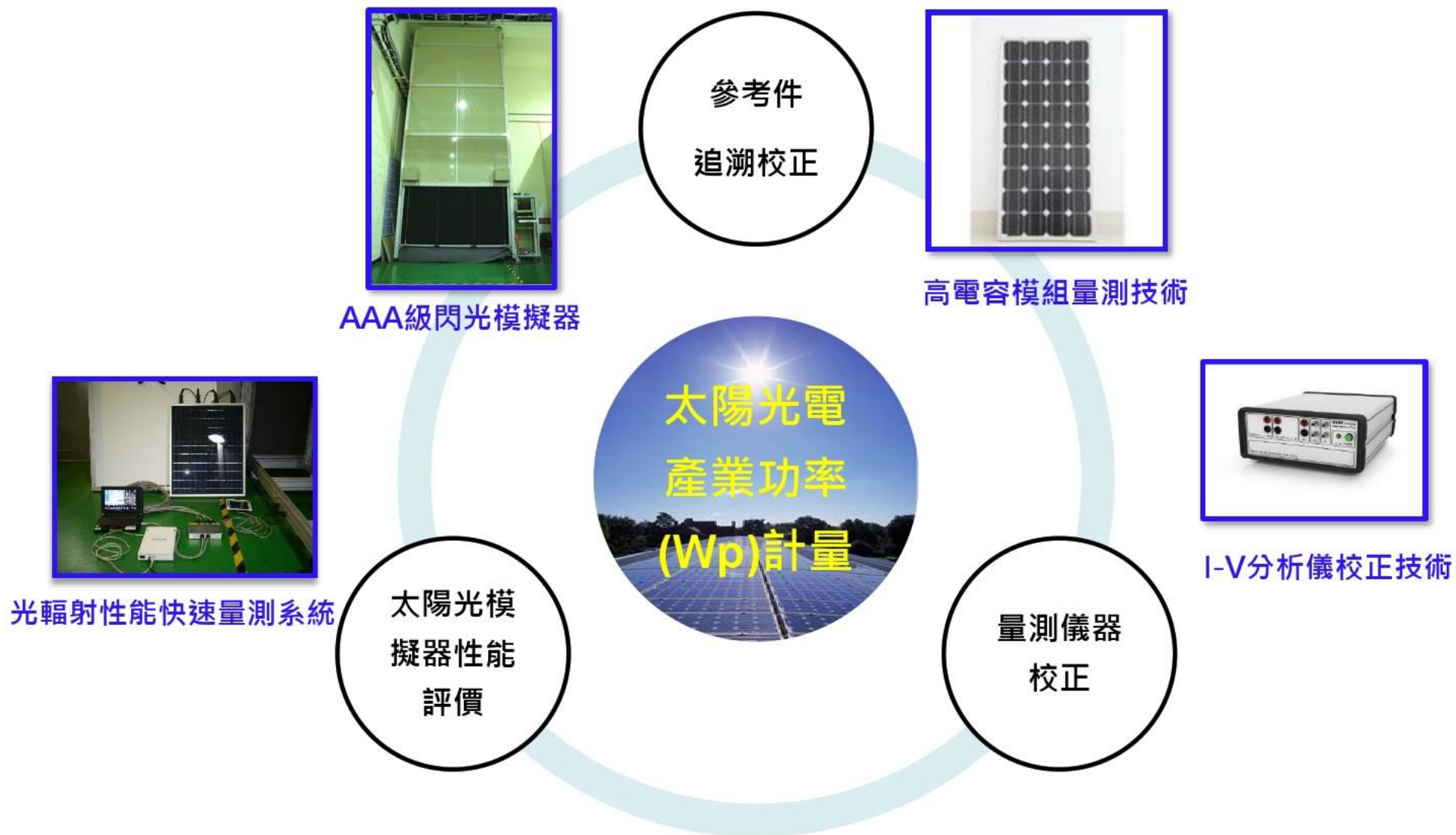


太陽光電系統的檢測驗證

□ IEC 62446-1—類別1測試PV系統接地連續性



太陽光電模組查驗



☐太陽光模組標示的額定功率是否可靠？

- 標示的功率來自樣品的測試結果

- 功率測試結果受測試單位的能力以及測試品質的影響

1. 校正追溯
2. 測試比對
3. 查核管制

- 樣品的額定功率不一定等於產線所有同款模組的額定功率

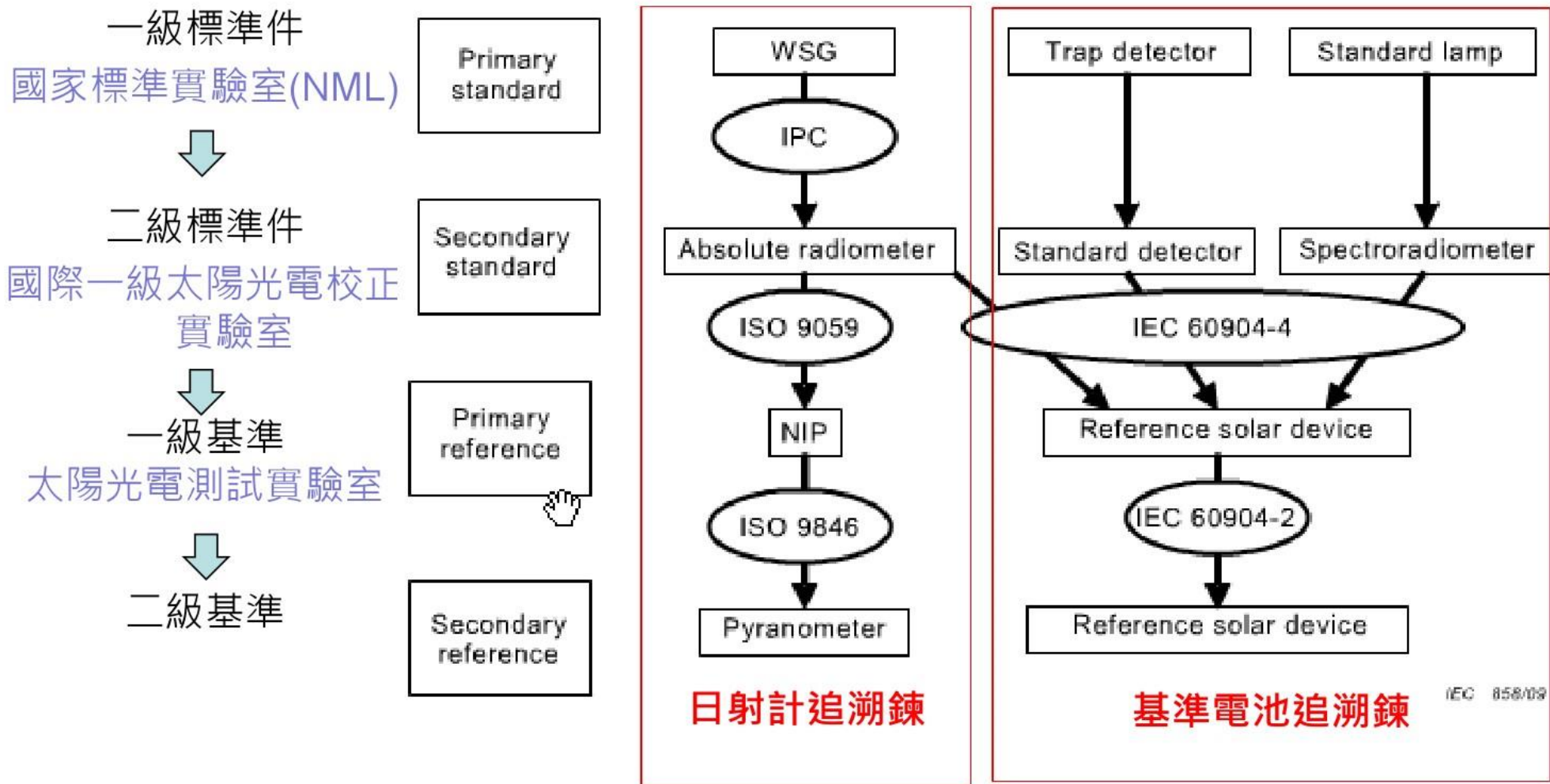
1. 產線生產模組的功率差異
2. 產線功率的量測誤差
3. 額定功率是否為光老化後結果

SUNTECH	
Model Number	STP280-24/Vd
Rated Maximum Power (P _{max})	280W
Output Tolerance	0/+5W
Current at P _{max} (I _{mp})	7.95A
Voltage at P _{max} (V _{mpo})	35.2V
Short-Circuit Current (I _{sc})	8.33A
Open-Circuit Voltage (V _{oc})	44.8V
Nominal Operating Cell Temp. (T _{cell})	45°C±2°C
Weight	27kg
Dimension	1956mm×992mm×50mm
Maximum System Voltage	1000V
Maximum Series Fuse Rating	20A
Cell Technology	multi-Si
Application Class A	
All technical data at standard test condition AM=1.5 E=1000W/m ² T _c =25°C	
  	
Add: 825-1 Yasuhara, Saku City Nagano, 385-0004, Japan STP Hot Line No. +81 3 3342 3838 Fax: +81 3 3342 6534 Made in Japan	

電性資料:	
最大功率 (±3%) (P _{max})	300 W
開路電壓 (±3%) (V _{oc})	39.25 V
短路電流 (±3%) (I _{sc})	9.94 A
最大功率電壓 (V _{pmax})	32.15 V
最大功率電流 (I _{pmax})	9.33 A
標準測試條件 (STC): 照射度: 1000W/m ² , 模組表面溫度: 25°C, 空氣大氣光程 (AM 1.5)	
耐火等級 (模組): C 級	防電擊保護等級:
最大串聯保險絲電流: 15 A	絕緣等級 II
重量: 18.5 kg	最大系統電壓: 1000 V
  	
TS-18AP2-16800 V3B478-BSMI	
 電器危險警告標語 模組於曝曬陽光下會產生電壓。 禁止於系統作動時直接斷開連線。	

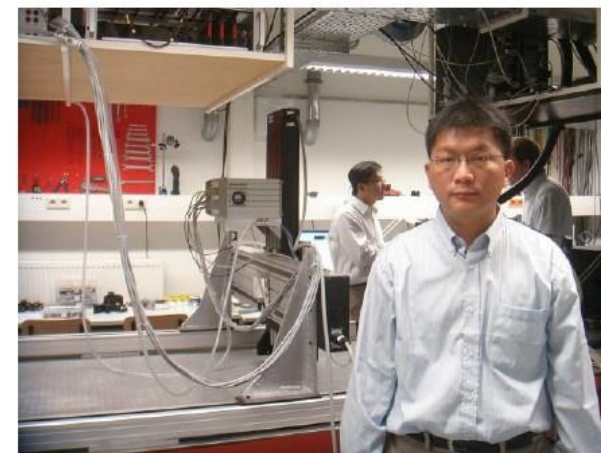
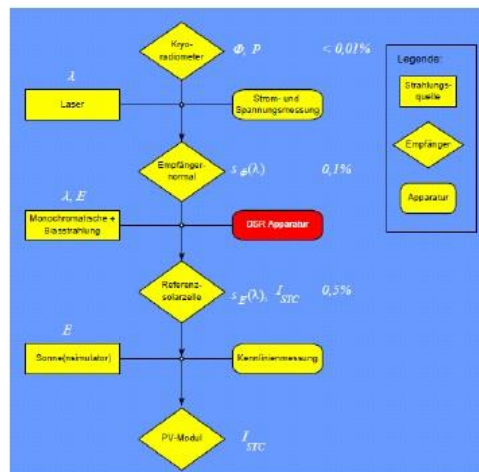
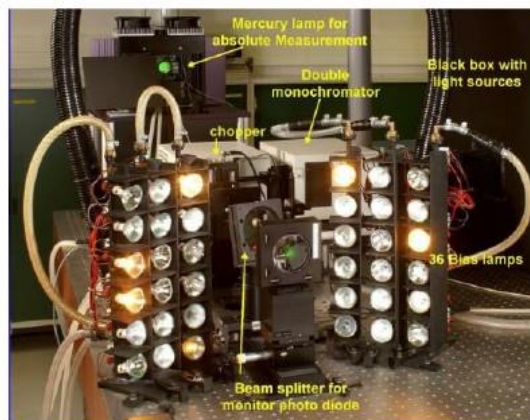
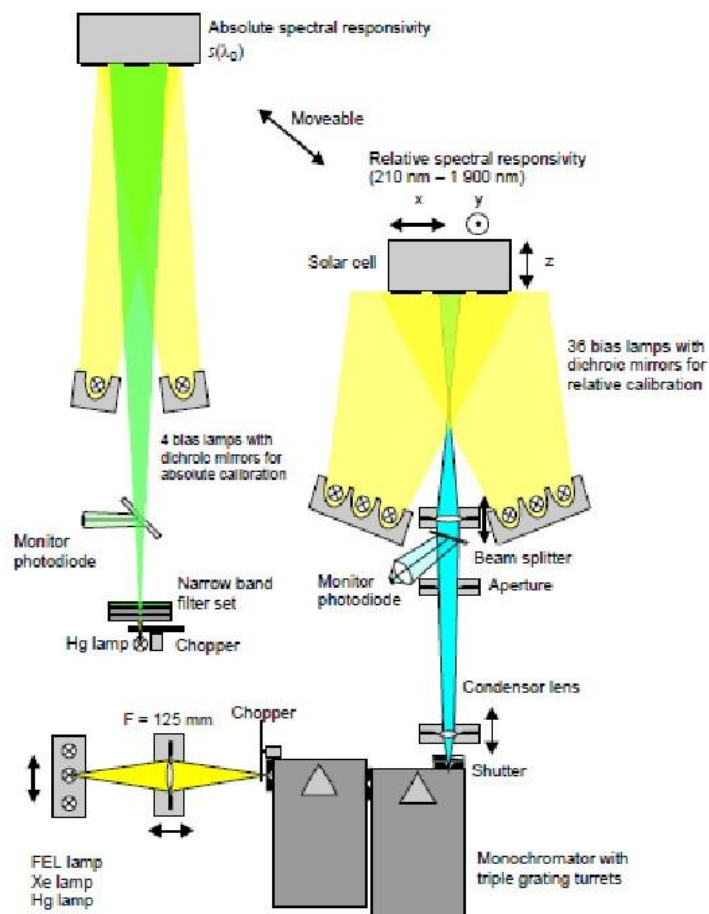
太陽光電模組查驗

IEC 60904-4太陽光電光輻射照度校正追溯圖



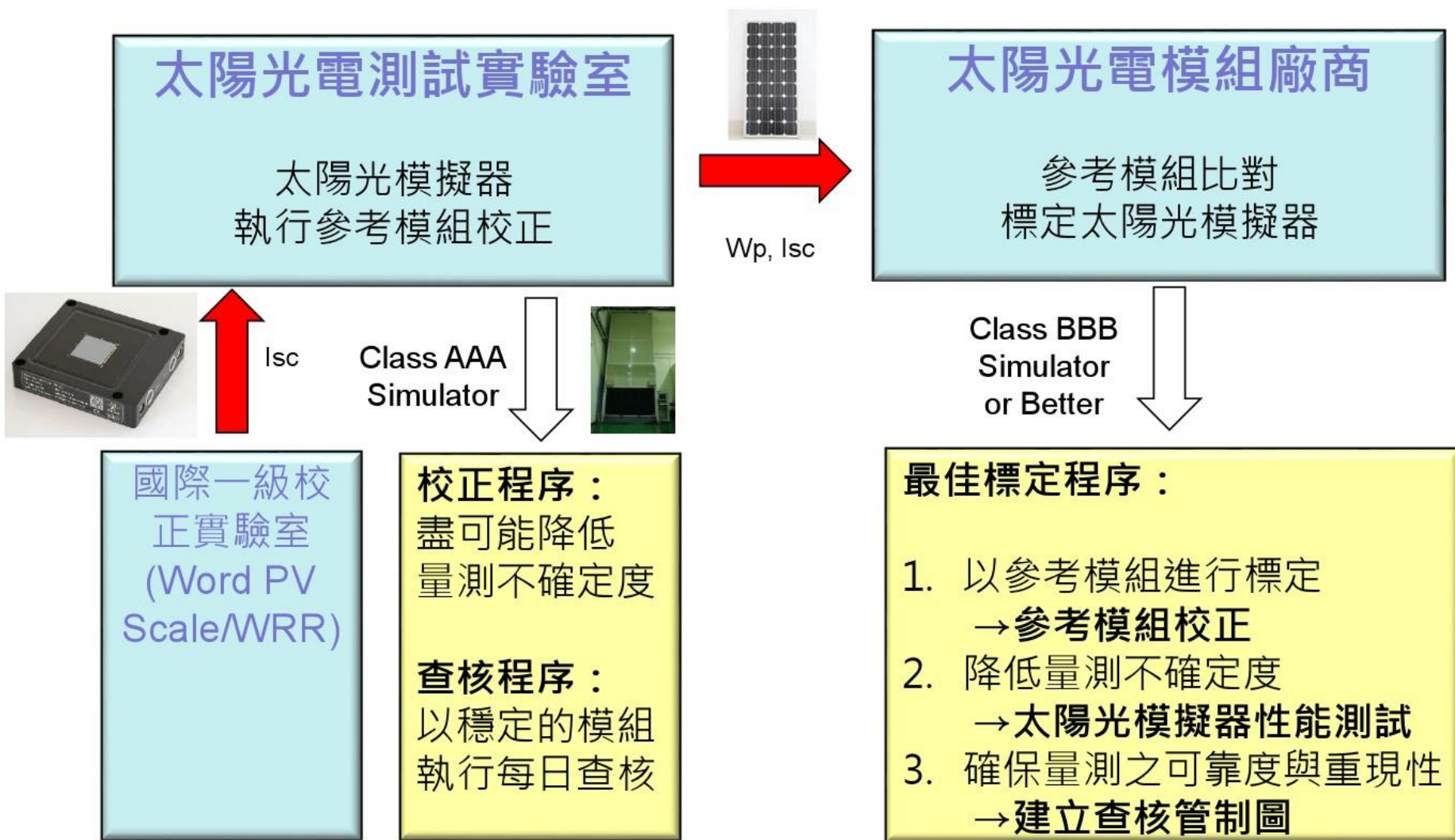
太陽光電模組查驗

- 國際一級太陽光電校正實驗室案例
- PTB德國物理技術研究院太陽光電校正實驗室



IEC 60904-4之一級基準電池校正案例 PTB 太陽光電校正系統追溯圖

太陽光模擬器的標定追溯



□太陽光模組標示的額定功率是否可靠？

- 模組標示的功率無論高估或低估都會帶來損失

→額定功率高估：

1. 買方多付了浮報功率費用
2. 系統變流器、配電箱、電纜等元件設計容量過大形成浪費
3. 後續現場抽驗模組功率結果可能偏低而違約
4. 模組商受到客訴

→額定功率低估：

1. 造成模組商的報價損失
2. 系統搭配元件可能容量設計不足形成過載

太陽光電模組查驗

□太陽光模組標示的額定功率是否可靠？

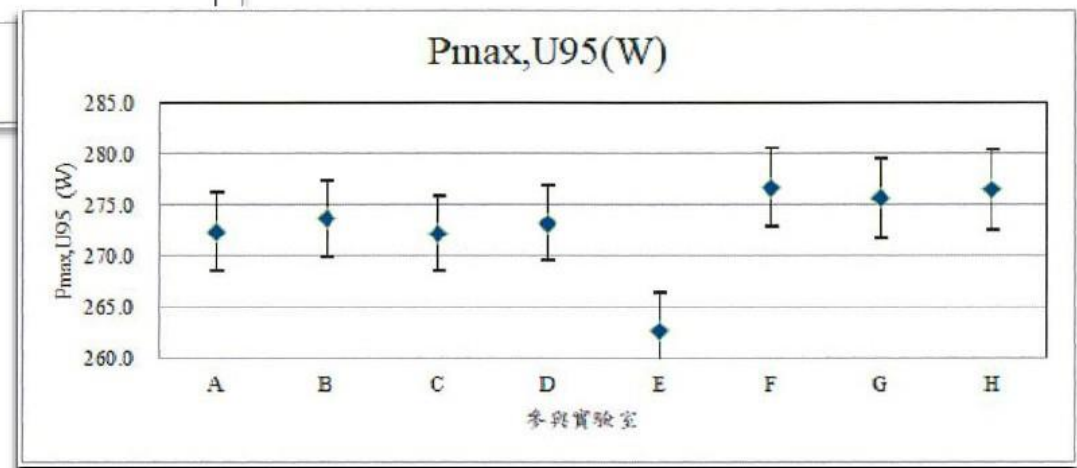
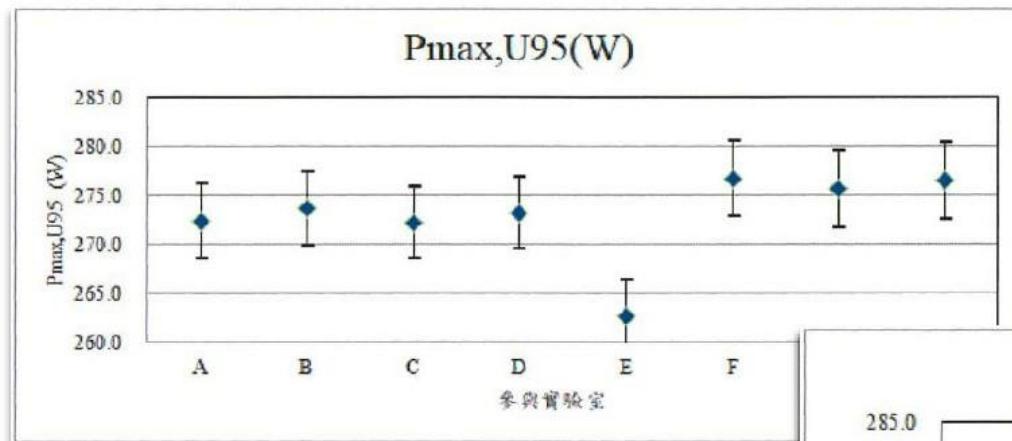
光電模組種類	每年衰退率 (%/年)
非晶矽(a-Si)	0.87
單晶矽(sc-Si)	0.36
多晶矽(mc-Si)	0.64
碲化鎘(CdTe)	0.40
銅銦鎳二硒化物(CIGS)	0.96
聚光型	1.00

代表性的光電模組退化率(光電退化率—分析審查D.C. Jordan與S.R. Kurtz, <http://www.nrel.gov/docs/fy12osti/51664.pdf>)

太陽光電模組查驗

□ 太陽光模組標示的額定功率是否可靠？

- 模組標示的功率須進行有效的查驗
 1. 模組商及系統商皆應避免委託功率水位差異太大的測試單位進行測試及標片追溯校正



太陽光電模組查驗

太陽光模組標示的額定功率是否可靠？

- 模組標示的功率須進行有效的查驗

2. 安裝階段及維運查驗階段抽驗模組的樣本數量應符合標準的最低要求

➤ 依照ISO 2859-1或CNS 2779-1，2 MW約6000片的系統，Level 1樣本數須抽測80片，Level 2樣本數須抽測200片

AQL抽樣表

表 A:

Lot Size	SAMPLE SIZE CODE LETTERS							
	General Inspection Levels			Special Inspection Levels				
	I	II	III	S-1	S-2	S-3	S-4	
2 to 8	A	A	B	A	A	A	A	
9 to 15	A	B	C	A	A	A	A	
16 to 25	B	C	D	A	A	B	B	
26 to 50	C	D	E	A	B	B	C	
51 to 90	C	E	F	B	B	C	C	
91 to 150	D	F	G	B	B	C	D	
151 to 280	E	G	H	B	C	D	E	
281 to 500	F	H	J	B	C	D	E	
501 to 1200	G	J	K	C	C	E	F	
1201 to 3200	H	K	L	C	D	E	G	
3201 to 10000	J	L	M	C	D	F	G	
10001 to 35000	K	M	N	C	D	F	H	
35001 to 150000	L	N	P	D	E	G	J	
150001 to 500000	M	P	Q	D	E	G	J	
500001 and over	N	Q	R	D	E	H	K	

表 B:

Sample size code letter	Sample size	SINGLE SAMPLING PLANS FOR NORMAL INSPECTION																							
		Acceptable quality levels(normal inspection)																							
		0.065		0.1		0.15		0.25		0.4		0.65		1.0		1.5		2.5		4		6.5			
Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re		
A	2																								
B	3																								
C	5																								
D	8																								
E	13																								
F	20																								
G	32																								
H	50																								
J	80																								
K	125																								
L	200																								
M	315																								
N	500																								
P	800																								
Q	1250																								
R	2000																								

↓ Use first sampling plan below the arrow, if sample size equals or exceeds lot or batch size, do 100% inspection.

↑ Use first sampling plan above the arrow.

Ac: Acceptance number Re: Rejection number

□ 太陽光電系統-測試要求、文件和維護營運標準

■ IEC 62446-2 ED1: 太陽光電系統-測試、文件和維護營運-第二部： 併網系統-太陽光電系統維護營運

- 6. 類別1測試
- 7. 類別2測試
- 8. 附加測試
- 11. 確認工作
 - 11.1 現場目視檢查
 - 11.2 元件檢查與安全相關維護
 - 11.3 性能相關維護
- 12. 故障排除及矯正維護
- 13. 附加程序

The image shows a screenshot of the IEC 62446-2 ED1 Committee Draft for Vote (CDV) form. The form is titled "82/1407/CDV" and "COMMITTEE DRAFT FOR VOTE (CDV)". It includes the IEC logo and the project number "IEC 62446-2 ED1". The date of circulation is "2018-04-20" and the closing date for voting is "2018-07-13". The superseding documents are "82/1164/CD, 82/1224/ACC".

The form is divided into several sections:

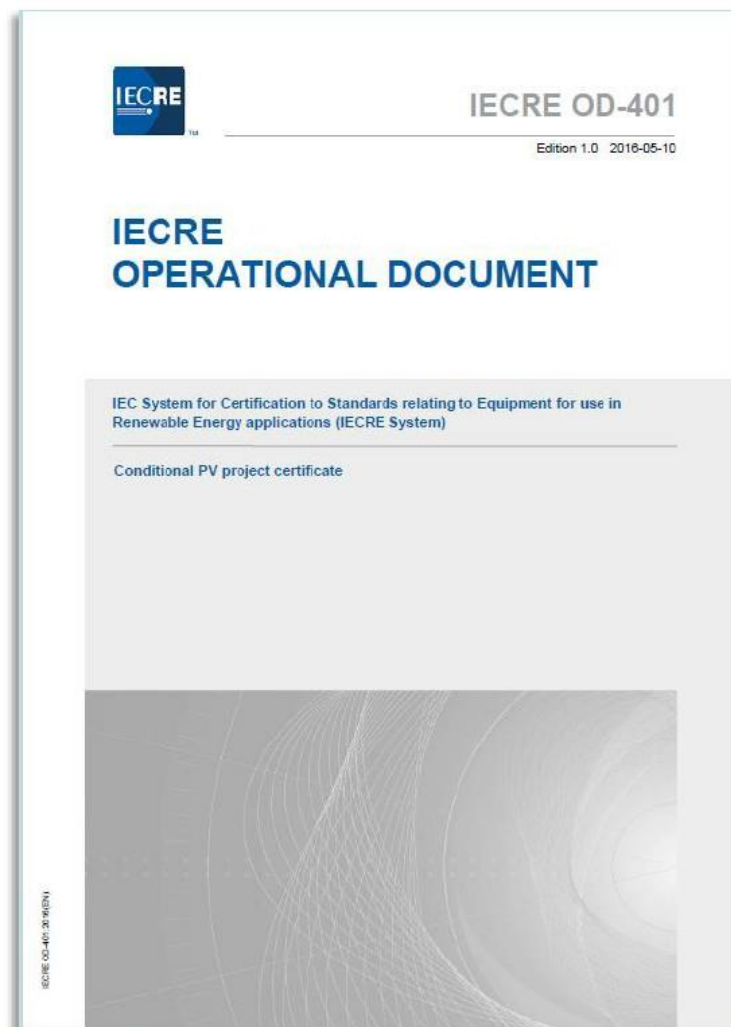
- SECRETARIAT:** United States of America
- SECRETARY:** Mr. George Kelly
- PROPOSED HORIZONTAL STANDARD:**
- FUNCTIONS CONCERNED:** EMC, ENVIRONMENT, QUALITY ASSURANCE, SAFETY
- STATUS:** SUBMITTED FOR CENELEC PARALLEL VOTING, NOT SUBMITTED FOR CENELEC PARALLEL VOTING
- TITLE:** Photovoltaic (PV) systems - Requirements for testing, documentation and maintenance - Part 2: Grid connected systems - Maintenance of PV systems
- PROPOSED STABILITY DATE:** 2021
- NOTE FROM TC/SC OFFICERS:** This project was discussed by WG 3 during their meeting in Madrid in 2017-11, and it was agreed to move forward to the CDV stage.

At the bottom, there is a copyright notice: "Copyright © 2018 International Electrotechnical Commission, IEC. All rights reserved. It is permitted to download this electronic file, to make a copy and to print out the content for the sole purpose of preparing National Committee positions. You may not copy or 'mirror' the file or printed version of the document, or any part of it, for any other purpose without permission in writing from IEC."

□ 太陽光電系統-測試要求、文件和維護營運標準

■ IECRE OD-401:2019 IEC系統對於應用於再生能源的設備認證標準

5. 設備認證與品質監督管理檔案
6. 系統設計認證檔案
7. 太陽光電系統試運行認證
8. 太陽光電系統性能測試結果
 - 8.1 輸出功率量測
 - 8.2 PR值量測
9. 測試報告



□ IECRE OD-401:2019 CH7太陽光電系統試運轉認證

- 認證機構根據檢測機構出具的報告來進行太陽光電系統試運轉符合性評價。
- 太陽光電系統應該依據IEC 62446-1 2019 試運行下表所示的其中一個類別，並且依據 IEC 62446-1:2016 標準要求 出具相關的檢驗報告。

IECRE OD-401:2016: IEC 62446-1 不同類別太陽光電系統的維運要求

Project Type	IEC 62446-1	
U1 – Utility 電廠	類別2(含類別1)	≥2 MW
U2 – Residential 住宅 (屋頂)	類別1	2–10 kWp
U3 – Commercial商業(屋頂)	類別2(含類別1)	10 kWp and multi-MW
U4 – Distributed 分散	類別1	<2 MW



□ IEC 62446-2 : CH11 確認工作

11.1 案場目視檢查

11.1.1 全系統適用

- 確認**電氣箱**只能由**授權人員**操作，須以工具或鎖開啟並有警示標示
- 檢查**電氣箱外觀**與**支架**的**腐蝕**
- 檢查整個案場的**清潔**—**模組**陣列上、**變流器**設備區域、或其他區域**不應有廢棄物**；**模組**陣列上不可**放置物品**；**妨害通風**以及**散熱**的障礙物。無**可燃物**存放變流器四周以降低火災風險。
- 檢查**植被生長**長度以及動物、**昆蟲**在**模組**陣列上的活動跡象。
- 檢查系統在關鍵部位**線槽**及**配管**的**強度**，關鍵部位**線槽**及**配管**的缺陷會導致斷電。

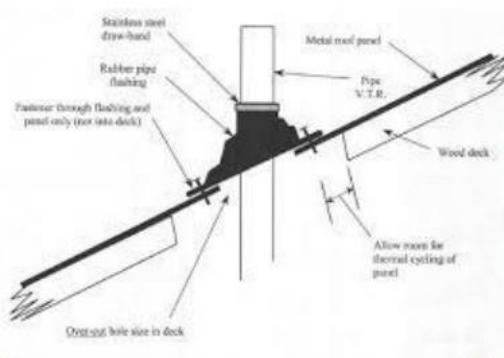


□ IEC 62446-2 : CH11 確認工作

11.1 案場目視檢查

11.1.2 屋頂系統

- a) 檢查植被的生長或其他新的**遮蔽物**例如安裝在屋頂系統旁的衛星接收碟
- b) 若有使用**屋頂穿孔**須確定其**防水性**
- c) 確定有充足的**排水性**，排水沒有阻塞，並且確認模組陣列附近沒有過高的積水
- d) 確認長**金屬管**的**伸縮縫變形**符合設計預期，並且**接縫處**沒有**過鬆**與**過緊**。



□ IEC 62446-2: CH11 確認工作

11.1 案場目視檢查

11.1.3 地面系統

- a) 檢查地面**支架**靠近地基處的**腐蝕**情形。
- b) 檢查靠近或在店面**支架**下方會干涉到模組、電纜或電箱的**雜草**或**植被**。
- c) 採用**追日支架**的系統，檢查是否有任何**單獨**與四周**支架**方向不同的**支架**。



□ IEC 62446-2 : CH11 確認工作

11.3 性能相關維護

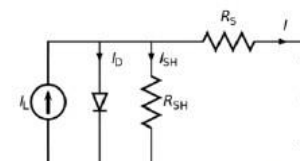
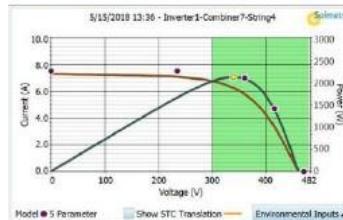
11.3.1 線路連接阻抗：連接阻抗過大會造成整體系統不必要的電力損失

11.3.2 遮陰評估：評估建物、植物、樹木遮陰的影響

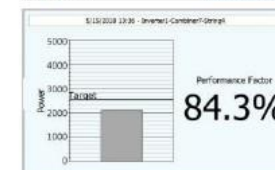
11.3.3 模組串列或裝配電路測試：在額定值及基準值之間測試模組串列或裝配線路的電壓及電流做為長期比對的紀錄

- a) **電壓檢查**：量測模組串列或裝配電路的開路電壓，檢查模組接線及匹配是否正確或辨識是否有旁路二極體導通的功率損失及其他問題。
- b) **運行電流檢查**：量測模組串列或裝配電路的運行電流，在穩定的日照條件下，個串列的差異應在5%以內。
- c) **I-V 曲線測試**：

Inverter 01 E1-1-3-1-(40)
串列端子氧化

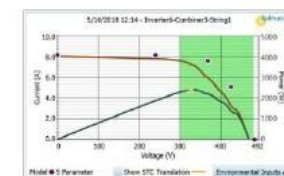


	Production	Measured	STC
Power (W)	2534	2321	2790
Vmp (V)	309.1	339.0	397.3
Imp (A)	6.98	6.26	7.02
Voc (V)	479.2	499.3	536.5
Isc (A)	7.51	7.28	8.02
Strad (W/m²)	868.3	890.9	
T Module (°C)	57.8	57.8	
T Cell (°C)	80.4		
Resis (Ohms)	0.06		

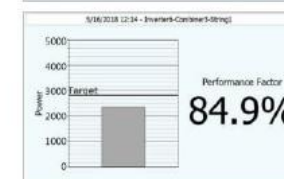


Inverter 06 E2-2-1-3-13

模組表面積垢



	Production	Measured	STC
Power (W)	2793	2373	2708
Vmp (V)	368.1	326.1	372.7
Imp (A)	7.59	7.28	7.48
Voc (V)	481.9	467.7	516.4
Isc (A)	8.15	8.00	8.11
Strad (W/m²)	947.4	923.7	
T Module (°C)	52.2	52.2	
T Cell (°C)	55.1		
Resis (Ohms)	0.06		





□ IEC 62446-2: CH11 確認工作

11.3 性能相關維護

11.3.5 植被管理：地面系統植被管理

- a) **鋪碎石**：成本高又有諸多問題造成工作地面不平整影響排水，無法提供長期減少雜草的解決方案
- b) **使用除草劑**的方式可能受到當地法規的限制
- c) **機械式除草**的方式，可能會把石頭彈起並損壞模組。
- d) **種植低成長植物**：重新種植根據現場土壤與氣候條件所選擇的低成長的品種，包括本特草(bent grass)白三葉草(white clover)和野牛草(buffalo grass)結合格蘭馬草(blue grama)。
- e) **原生植物**：保留既有或原生的植物，有時候能夠降低雜草的快速生長。
- a) **羊電共生**：一些德國的公司，還有美國北卡羅萊納州與夏威夷的光電系統，與當地牧場與農場合作，使用綿羊放牧來進行植被管理，但山羊及牛則不適用本方案。





□ IEC 62446-2 : CH11 確認工作

11.3 性能相關維護

11.3.6 污漬與陣列清潔：

模組陣列的清洗週期可依經驗訂定或以量測裝置之污漬量化值來決定，可採集現場粉塵分析種類來源以便訂定清洗維護策略。

- a) 農業粉塵：清洗可排在耕作期之後，沒有做好水土保持的地區則需要定期的清洗。
- b) 建築粉塵：清洗可排在附近工地完工之後，要求工地負責人採取抑制粉塵的措施。
- c) 花粉：清洗可排在花粉季節之後。
- d) 鳥糞：各種防護措施詳見規範。
- e) 油垢：城市中或巴士站的油垢可能需要定期的清洗。
- f) 工業粉塵：鍋爐或生產的排放氣體。

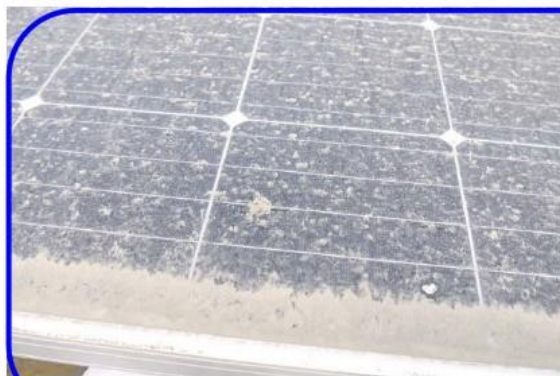
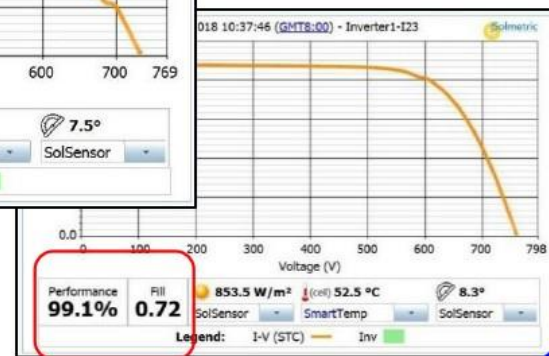
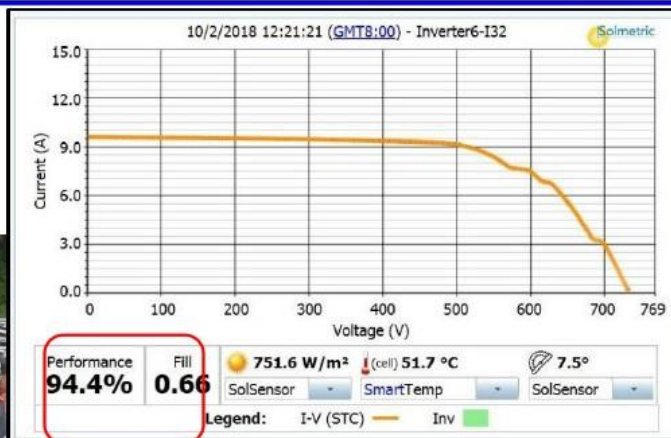
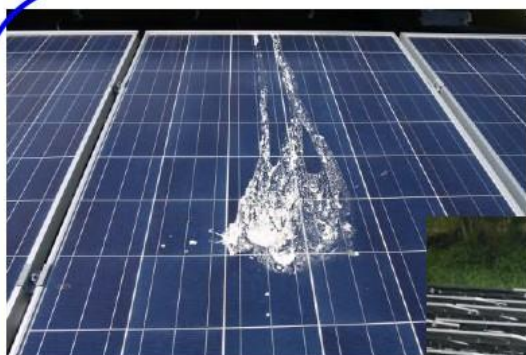


避免使用高壓水柱及刺激性清潔劑，不可磨損模組玻璃。

☐ IEC 62446-2: CH11 確認工作

11.3 性能相關維護

11.3.6 污漬與陣列清潔：





□ IEC 61724-1: CH7 污損率 (Soiling ratio)

方法一：污漬最大功率損失法

- 使用兩片與電站陣列同規格之模組
- 架設於相同環境且積塵速度相近
- 一片定期清洗、另一片不洗
- 量測兩片樣本STC最大功率計算污損率

方法二：污漬短路電流損失法



IEC 61724-1比對法計算污損率



污損率自動化量測裝置

☐ IECRE OD-401:2019 CH8太陽光電系統性能測試結果

- PV系統性能應根據IEC 61724的指南進行下表記錄。
- 依據PV系統的規模及使用者的目標不同對於監測系統的精度與複雜度的要求也不同，IEC 61724T-1定義了監測系統的三個等級。

IEC 62446-2 不同類別的PV系統性能測量要求

Project Type	U1 – Utility 電廠	U2 – Residential 住宅 (屋頂)	U3 – Commercial 商業(屋頂)	U4 – Distributed 分散
IEC 61724 監測 器等級	A	C	B	B
IEC /TS 61724-2 輸出功率測試	需要	需要	需要	需要

數據取樣與紀錄頻率要求

	Class A	Class B	Class C
最大取樣頻率 (輻照、溫度、風速、電氣輸出)	3秒	1分	1分
最大取樣頻率 (降塵、降雨、降雪、濕度)	1分	1分	1分
最大記錄頻率	1分	15分	60分

□ IEC 61724-1 太陽光電系統性能第一部：監測

不同監測分級的量測參數要求

類別	Class A	Class B	Class C	類別	Class A	Class B	Class C
照射面輻照度	√	√*	√*	陣列直流電壓	√		
水平輻照度	√	√*		陣列直流電流	√		
直射	√	√*		陣列直流功率	√		
散射	√	√*		交流輸出電壓	√	√	
模組溫度	√	√*	√*	交流輸出電流	√	√	
環境溫度	√	√*		交流輸出功率	√	√	√
風速	√	√*		發電量	√	√	√
風向	√			輸出功率因數	√	√	
污損率	√						
降雨	√	√*					
積雪							
濕度							

□ *可採用當地氣象資料數據

☐ IEC 61724-1 太陽光電系統性能第一部：監測

日照感測器選用與要求

類別	Class A	Class B	Class C
熱電堆日照計	二級標準或不確定度 $\leq 3\%$	一級基準或不確定度 $\leq 8\%$	無特別要求
參考模組	不確定度 $\leq 3\%$	不確定度 $\leq 8\%$	無特別要求

日照感測器校準精度

類別	Class A	Class B	Class C
傾角	1°	1.5°	2°
方位角	2°	3°	4°

太陽光電電站檢測驗證服務

IEC62446-1 類別1

- 接地連續性及等電位導體測試
- 電極極性測試
- PV串列配電箱測試
- PV串列開路電壓量測
- PV串列電流量測
- 功能測試PV陣列絕緣阻抗測試

IEC 61724測試服務

- PR值測試
- 日平均發電量
- 系統效率
- 直流發電比RA

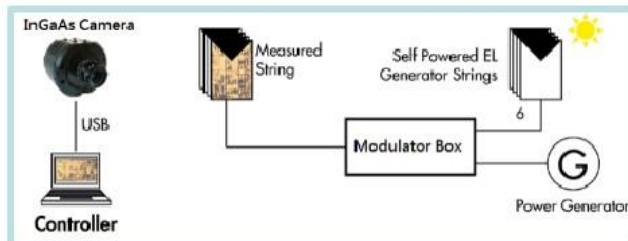
IEC62446-1 類別2

- PV串列I-V曲線量測
- PV陣列紅外熱影像檢測程序

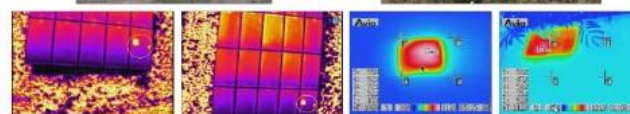
全日太陽光電陣列EL檢測

- 隱裂、破片
- PID電致衰減
- LID衰減
- 斷線、脫線

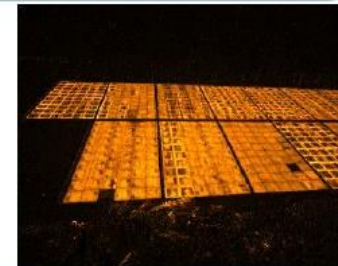
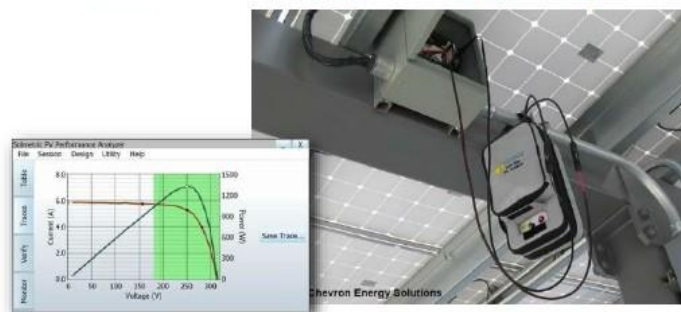
全日太陽光電陣列EL檢測



太陽光電陣列熱影像檢測



太陽光電陣列I-V曲線檢測



結論

1. 國內將近**90 %**容量的PV系統建置尚**不超過5年**，部分未符合規範建置的系統在**後續20年**的營運期間將面臨全球極端氣候下的**嚴峻挑戰**。
2. 依據國際規範及國家規範訂定**設計、建置及維運的作業標準**，是**降低投資風險、縮短學習曲線以及減少成本浪費**的有效方式。
3. **模組功率**的額定值應注意**測試單位的水位校正追溯與比對**，**抽驗**也須有**足夠的樣本數**。
4. 獲得**第三方的PV**電站IEC系統驗證，可提升電站**可靠度**，利於業主**申請融資、提高收益及後續的資產轉移**。

感謝聆聽



