

太陽光電系統與可靠度

工研院 綠能與環境研究所

太陽光電技術組

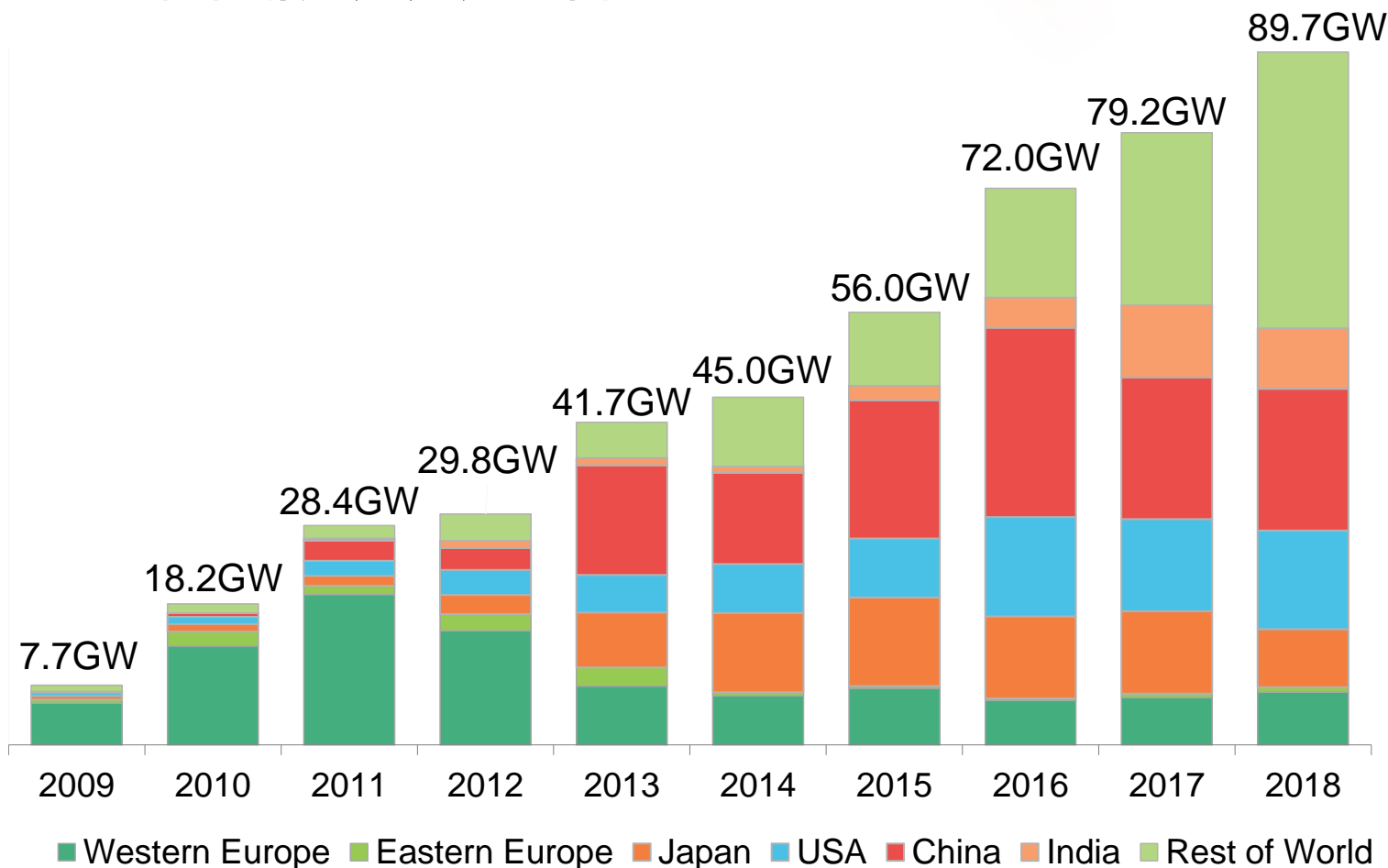
林福銘

(fminglin@itri.org.tw)

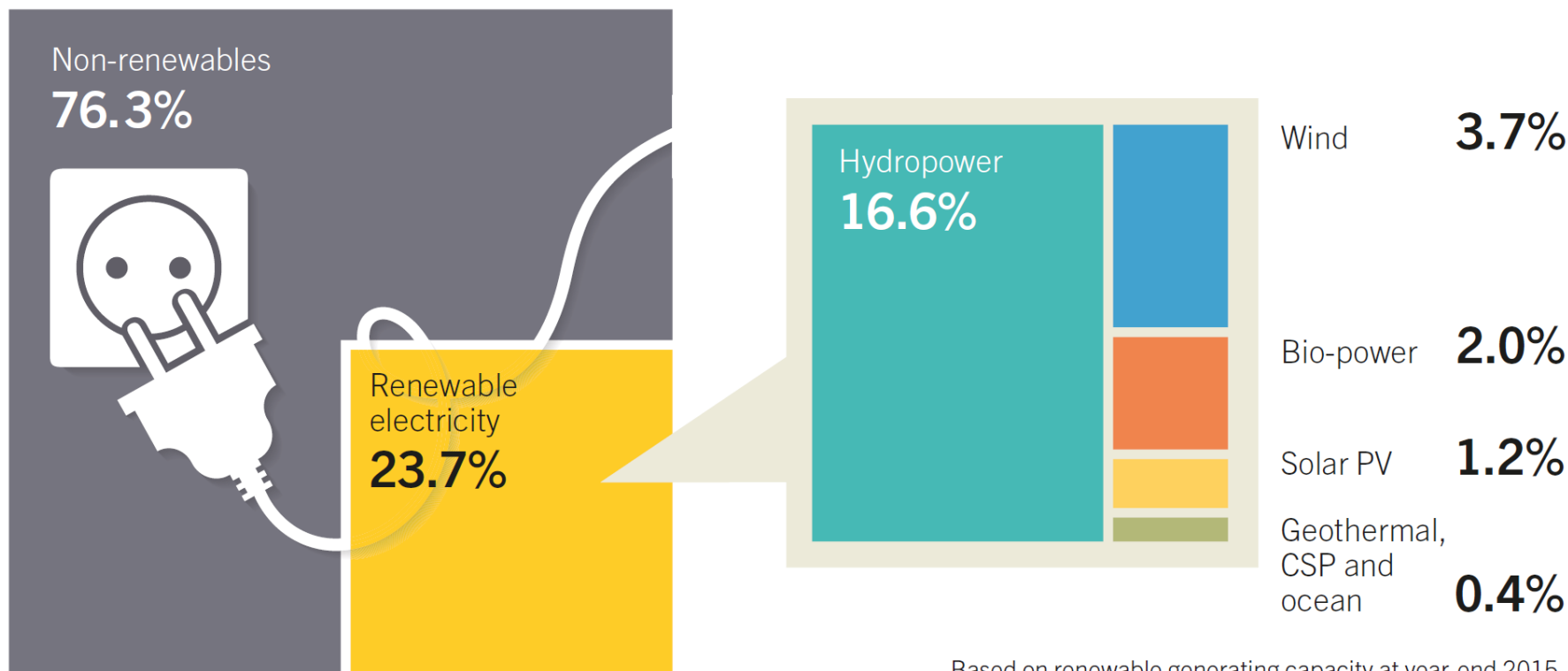
2016年 10月 26日

太陽光電系統終端市場預測

- 彭博社預測，2016年全球市場樂觀情況可超越70GW
- 全球市場越趨近遍地開花



2015全球電力供給預估

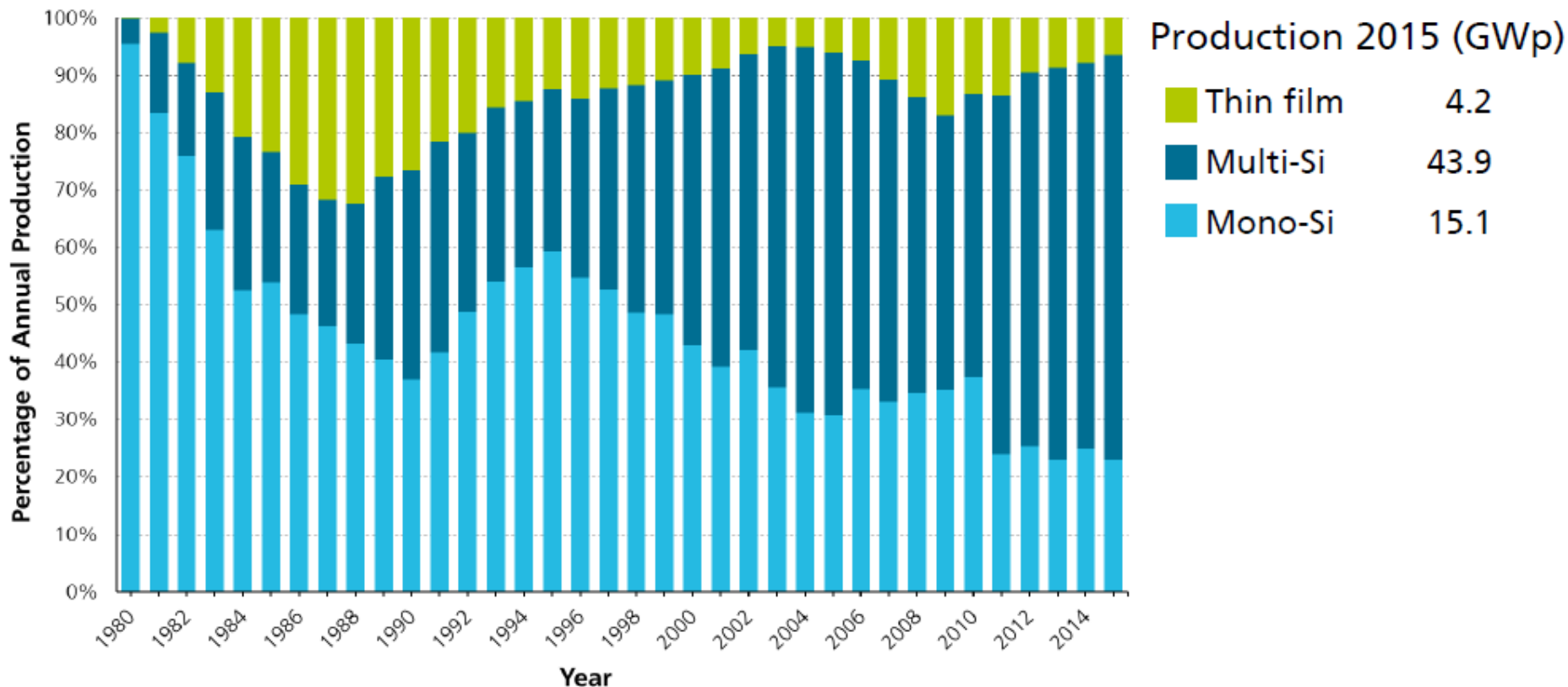


Based on renewable generating capacity at year-end 2015.
Percentages do not add up internally due to rounding.

全球太陽光電設置量看似成長爆發，但占比仍只1.2%，成長空間很大

2015全球太陽光電技術占比

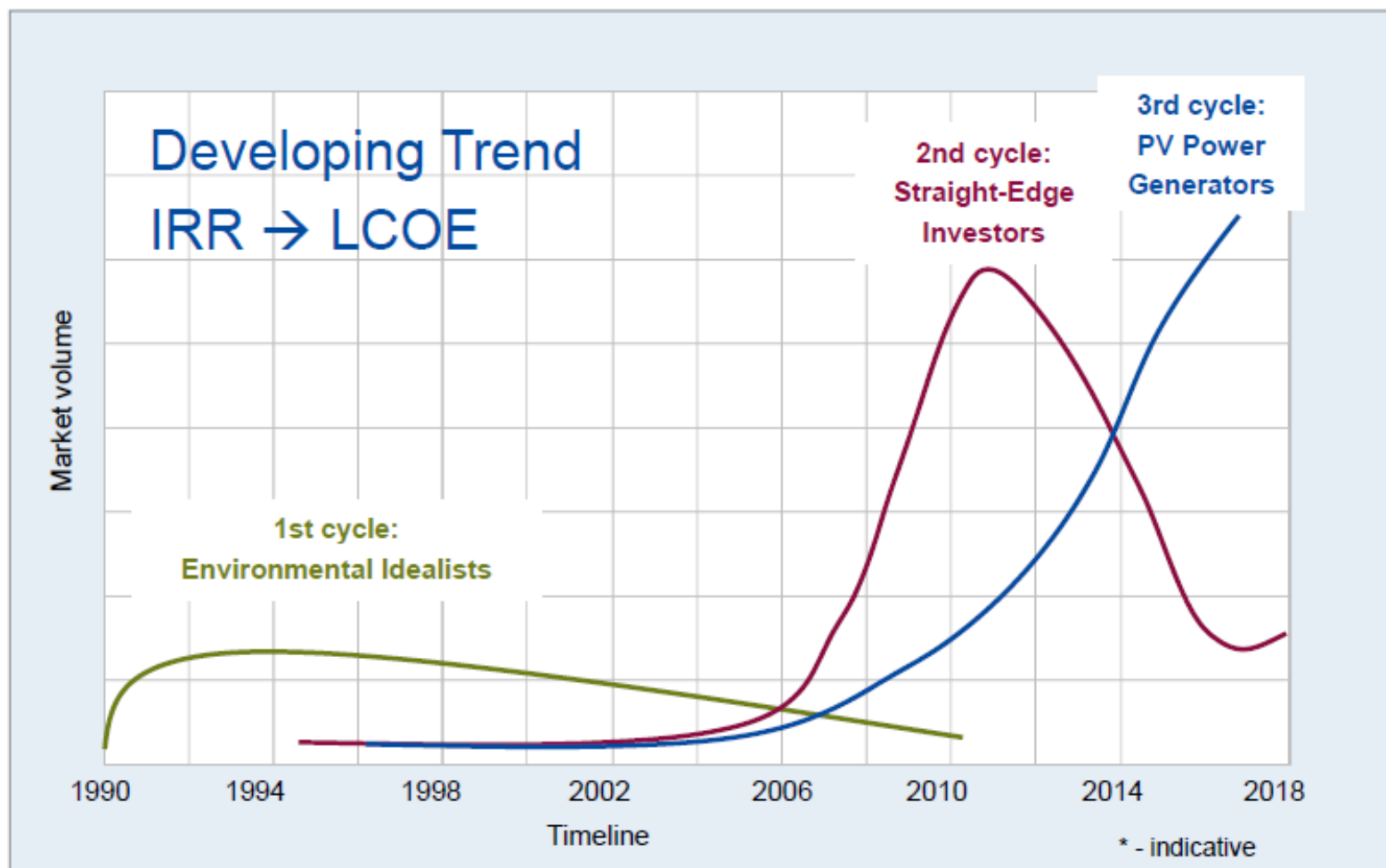
- 2015年矽晶技術產量占全球市場93.35%



Data: from 2000 to 2010: Navigant; from 2011: IHS (Mono-/Multi- proportion from cell production). Graph: PSE AG 2016

全球太陽光電系統發展歷程

- 隨著 LCOE (Levelized Cost of Electricity) 下降，太陽光電成為電力來源將越成趨勢



LCOE的影響因子

電廠的建置有相當多的因子需考量，非單一元件能主導

成本越低

Σ System costs
Capital costs
O&M costs, etc.

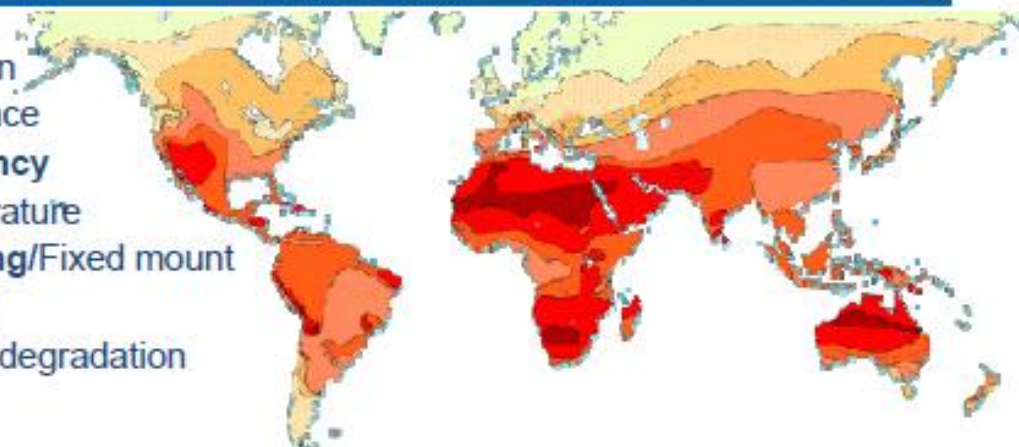
- Module cost
- BOS/inverter/labor cost
- Land cost
- Soft costs
- O&M cost
- Finance cost



kWh Generated

發電越多

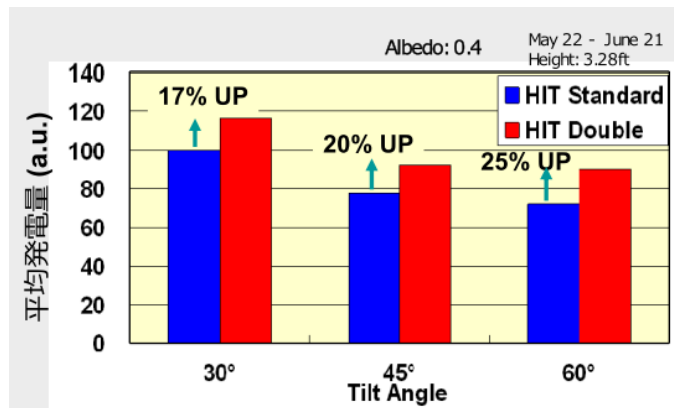
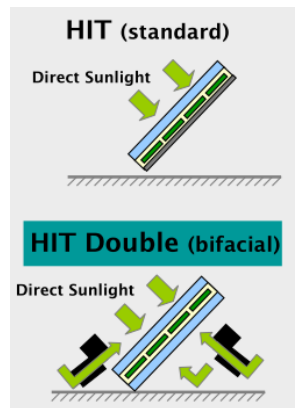
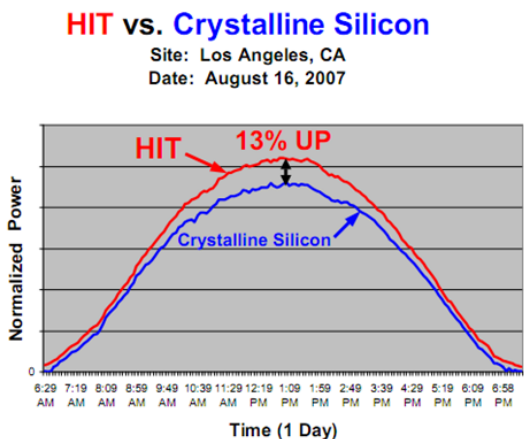
- Location
- Irradiance
- Efficiency
- Temperature
- Tracking/Fixed mount
- Uptime
- Output degradation



生命週期發更多電的選項

- 低溫度係數
- 弱光發電
- 雙面發電結構。如Panasonic的HIT技術之測試結果，發電量可提高17~25%
- N型晶片，沒有傳統p型晶片因參雜硼與雜質氧會產生硼氧鍵導致光至衰減問題(Light Induced Degradation, LID)
- 模組長壽命、低衰退率

方案須具成本效益



	HIT(Panasonic) 240S	Mono(Canadian Solar) CS5P-240M	Multi(SHARP) ND-240QCJ
STC(標準測試最大功率發電)(W)	240	240	240
溫度係數(%/°C)	-0.30	-0.45	-0.485

STC : Standard Test Conditions (測試條件:25°C, AM1.5, 1000W/m²)

文獻上的模組衰退率

模組衰退率統計資料

Location	Test duration	Module Tech.	Degradation rate (%/year)
Perth (Australia) (溫帶氣候)	16-19 months	c-Si	0.5-2.7
		p-Si	1.0-2.9
		a-Si	18.8
		CIS	12.6
Mesa, Arizona (USA) (沙漠氣候)	2.4-4 years	c-Si	0.4
	2.4-2.7 years	p-Si	0.53
	2.7-6.7 years	a-Si	1.16-3.52
Negev desert (Israel) (沙漠氣候)	3.4 years	p-Si	1.3
Golden, Colorado (USA) (高山大陸氣候)	8 years	c-Si	0.75
Hamamatsu (Japan) (溫帶氣候)	10 years	c-Si	0.62

文獻上的模組衰退率(續)

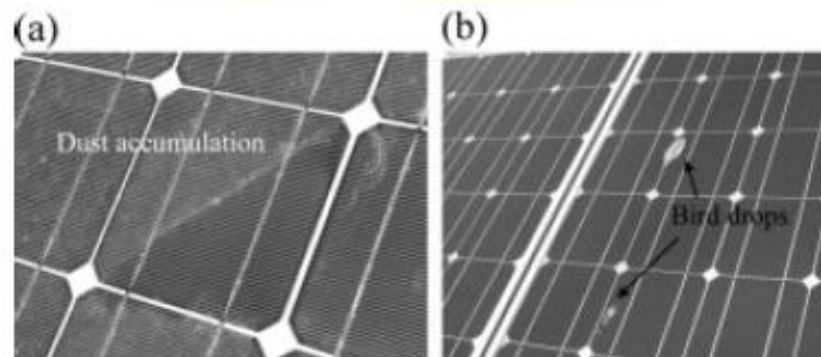
模組衰退率統計資料

Location	Test duration	Module Tech.	Degradation rate (%/year)
Trinidad, California (USA) (海岸區)	11 years	c-Si	0.4
Lugano (Switzerland) (溫帶氣候)	20 years	c-Si	0.53
Golden, Colorado (USA) (高山大陸氣候)	20 years	C-Si	0.8
Ispra (Italy) (溫帶氣候)	22 years	p-Si c-Si	0.3 (silicone) 0.67 (EVA)

矽晶模組衰退狀況：

1. 第一年約在1~3%
2. 第二年開始，衰退趨緩，呈線性，約為0.5~1%/年
3. 衰退狀況會隨時間增加，離散(variability)狀況也增加

灰塵與清潔對發電的影響

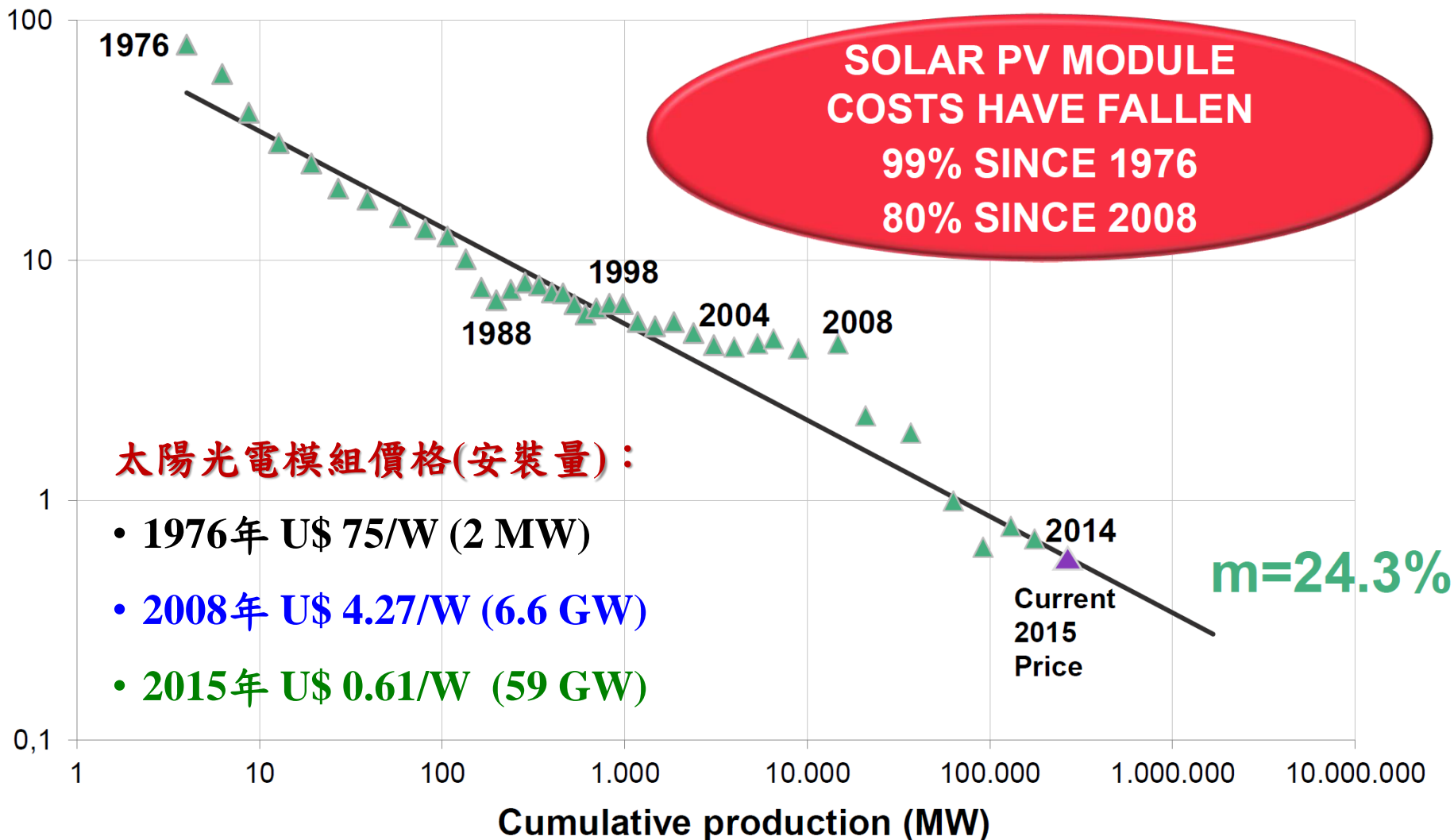


Region	Jordan	Taiwan	Thailand
Climate	Desert	Subtropics	Tropic
Site	Ground in industrial zone	roof of building in industrial zone	Ground in development zone
Lowest Temp.	4°C	11°C	21°C
Highest Temp.	36°C	35°C	35°C
Rainfall Time	Nor. to Mar.	Apr. to Sep.	May. to Oct.
Highest Rainfall	9cm	46cm	106cm
Energy loss	28%	4%	22%

- south of Navarre (Spain)
- 8 to 22% energy loss in the case of fixed horizontal surfaces
- 1 to 8% energy loss in the case of tracking surfaces
- During dry periods, the losses increased about 0.1–0.2% per day.
- daily rainfalls above 4–5mm noticeably clean the modules

太陽光電的學習曲線

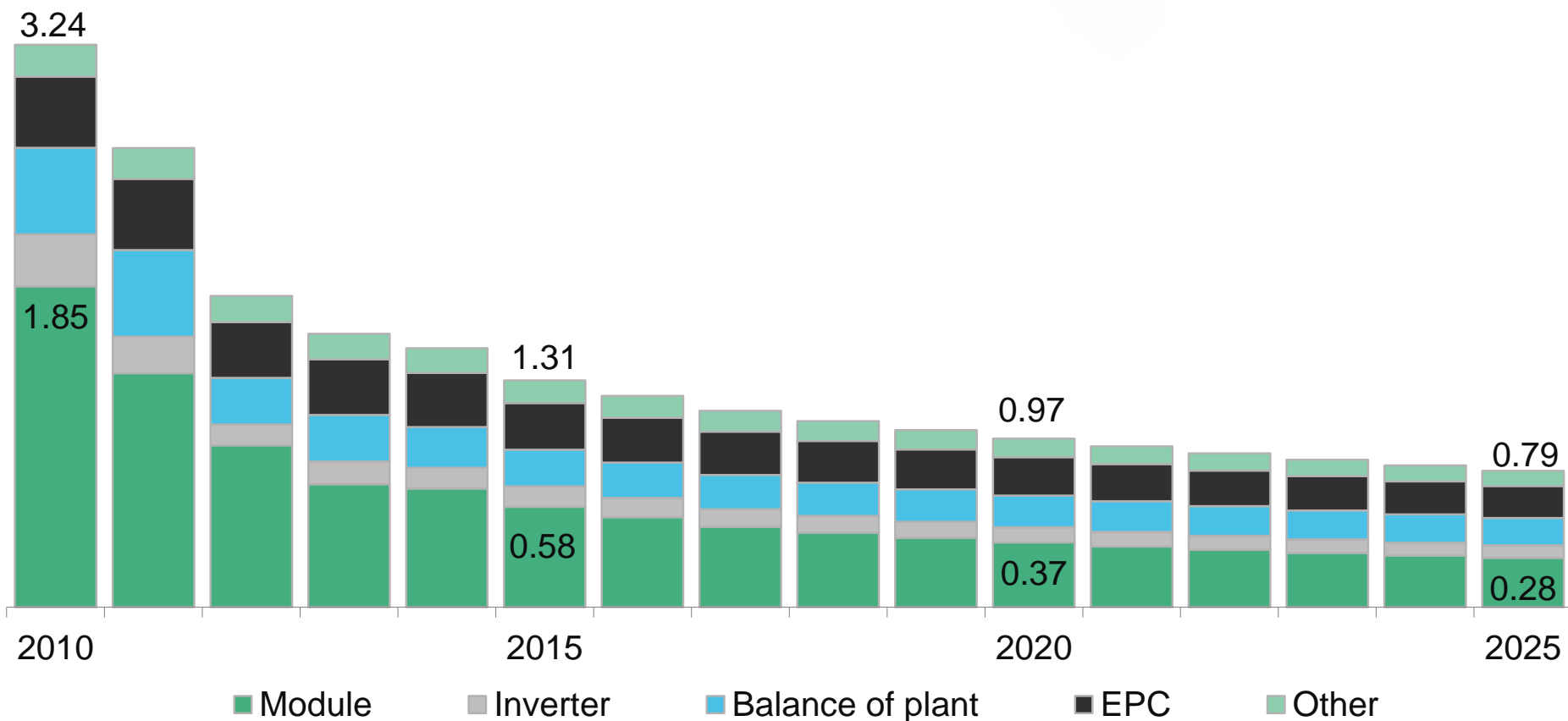
(US\$/Wp)



Note: Prices are in real (2014) USD. 'Current price' is \$0.61/Wp

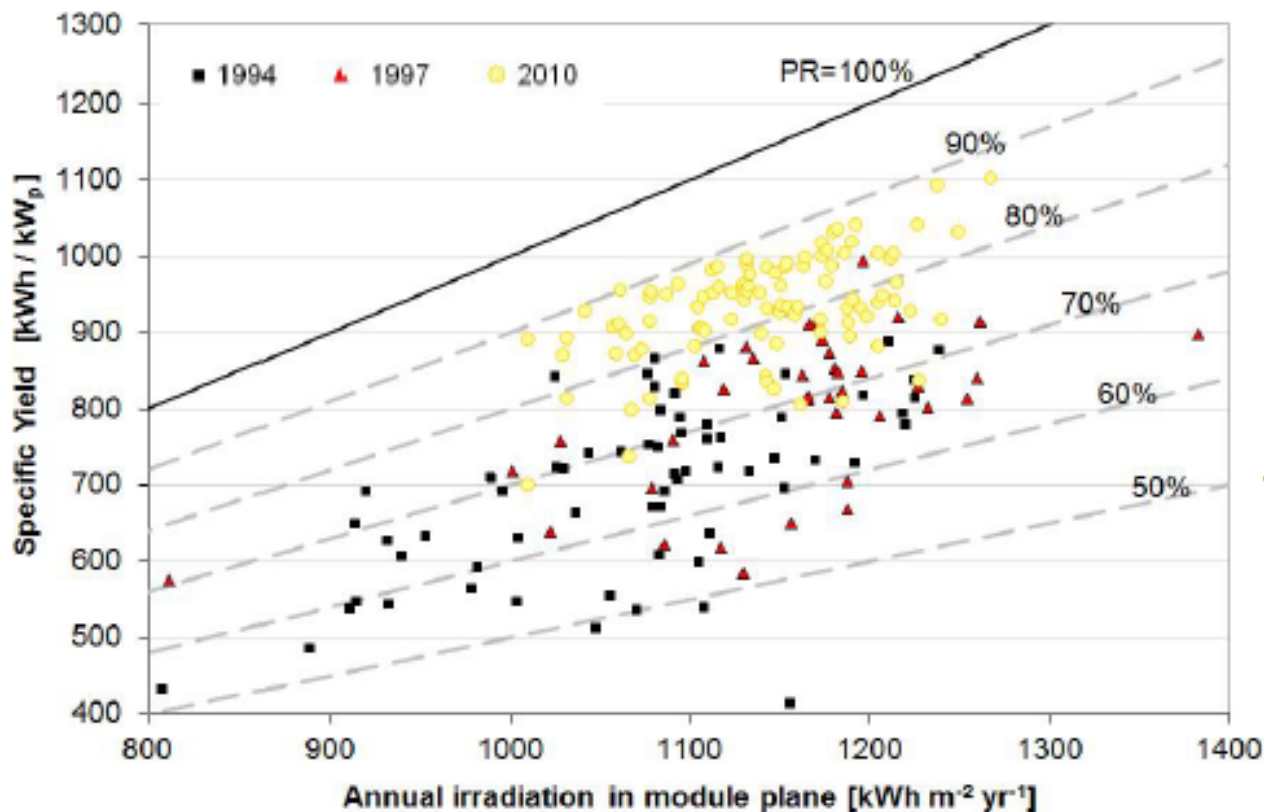
大型系統設置成本下降預測

- 以1MW地面、固定型設置作假設



系統PR值的進展(德國為例)

系統的PR值逐漸進步，由1990年代的70%，進展至今的80~90%



In the 1990's

- Typical PR ~70 %
- Widely ranging PR values

Today

- Typical PR ~80-90 %
- Less variance in PR as compared to 1990's

用好的元件不代表有好的系統

- 不良系統設計與安裝，將會造成發電收益損失與安全性問題。
- 透過合宜的系統生命週期管考模式，預防與改善問題，降低相關風險！

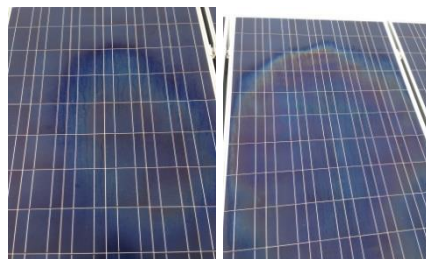
選用好的元件



好的系統



不同型式的模組串在一起



模組抗反射膜脫層
(彩虹斑)



模組接線盒過熱



模組遮蔭影響發電性能



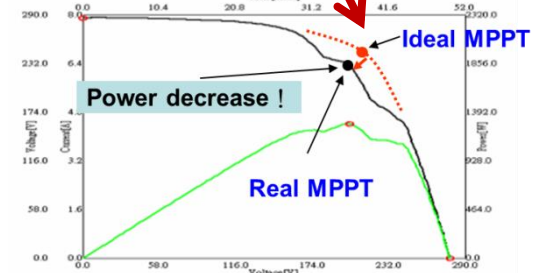
變流器安裝不當，進水
後易造成短路及銹蝕



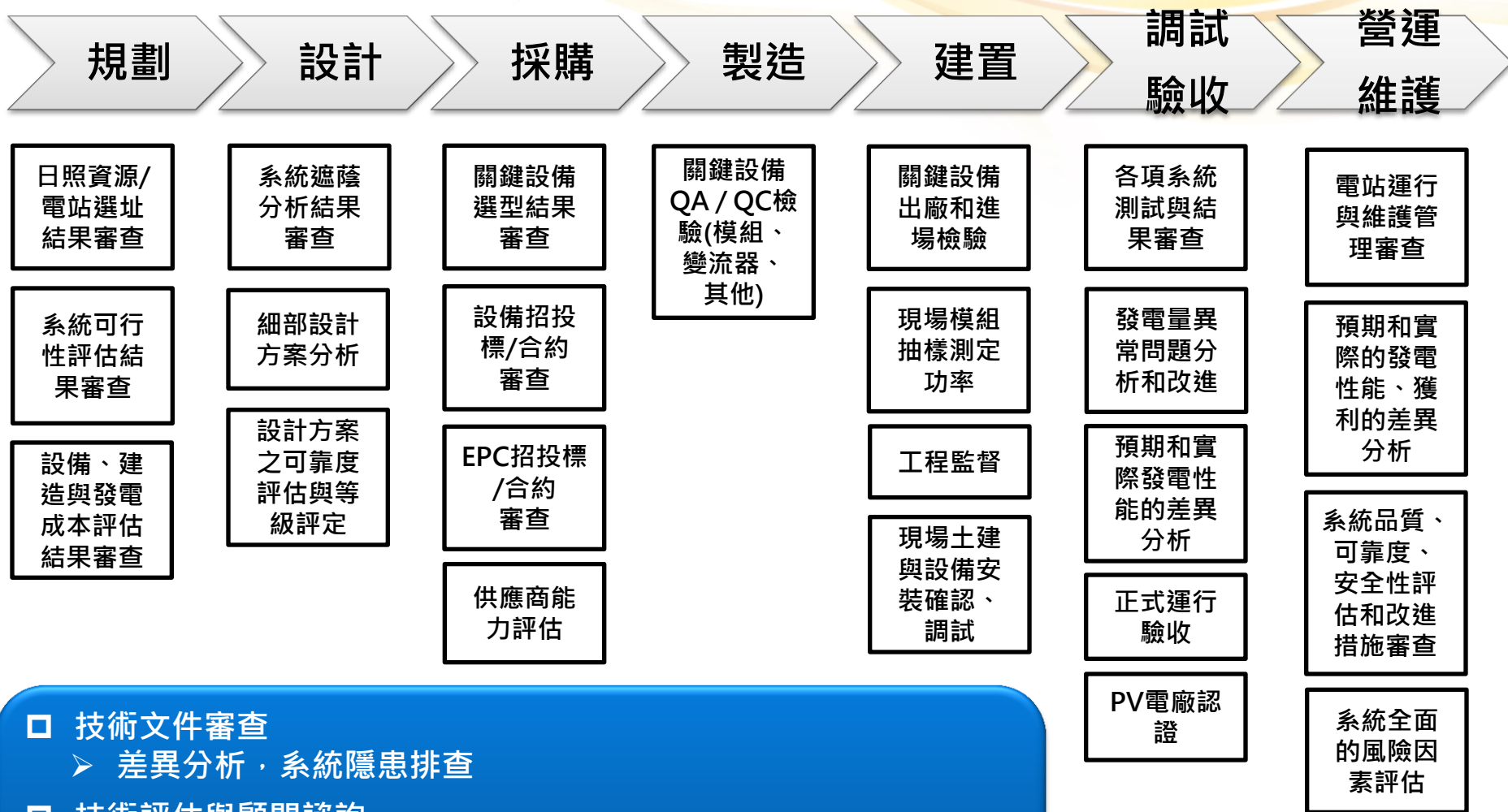
纜線無合適的固定與保護措施



直流匯流箱的保險絲過熱或
接觸不良



工研院綠能所系統全生命週期評估技術



- 技術文件審查
 - 差異分析，系統隱患排查
- 技術評估與顧問諮詢
 - 安全、品質、性能與可靠度優化建議
- 系統現場與工廠產品的測試與檢查
 - 安全、品質測試檢查，發電性能確認，可靠度與風險評估

共80項主要查核與測試項目

系統監測資料加值分析服務

加值分析目的：

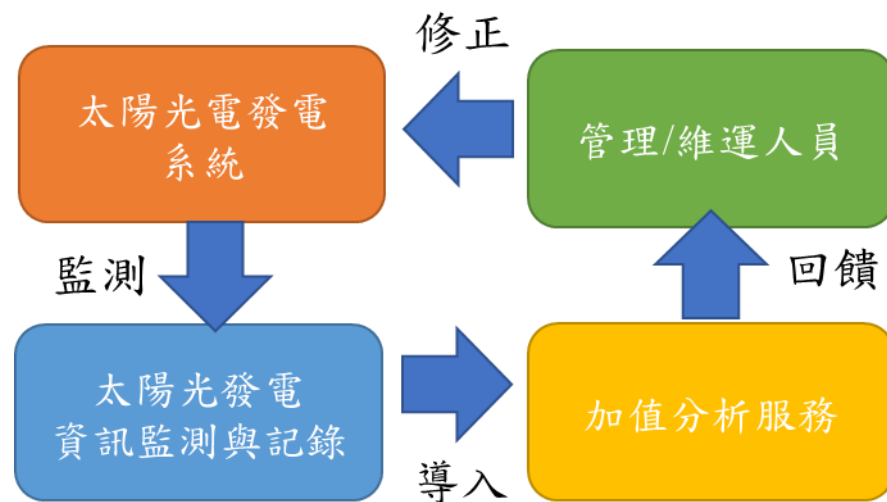
- 藉由記錄太陽光電發電相關資料，自動導入加值運算分析，找出影響發電效能之因子，回饋與協助管理人員進行管理與維運參考，達到提升整體太陽光電發電效能之目標。

資料來源：

- 由各個案場送至雲端系統之太陽光電發電相關資料。

加值分析輸出：

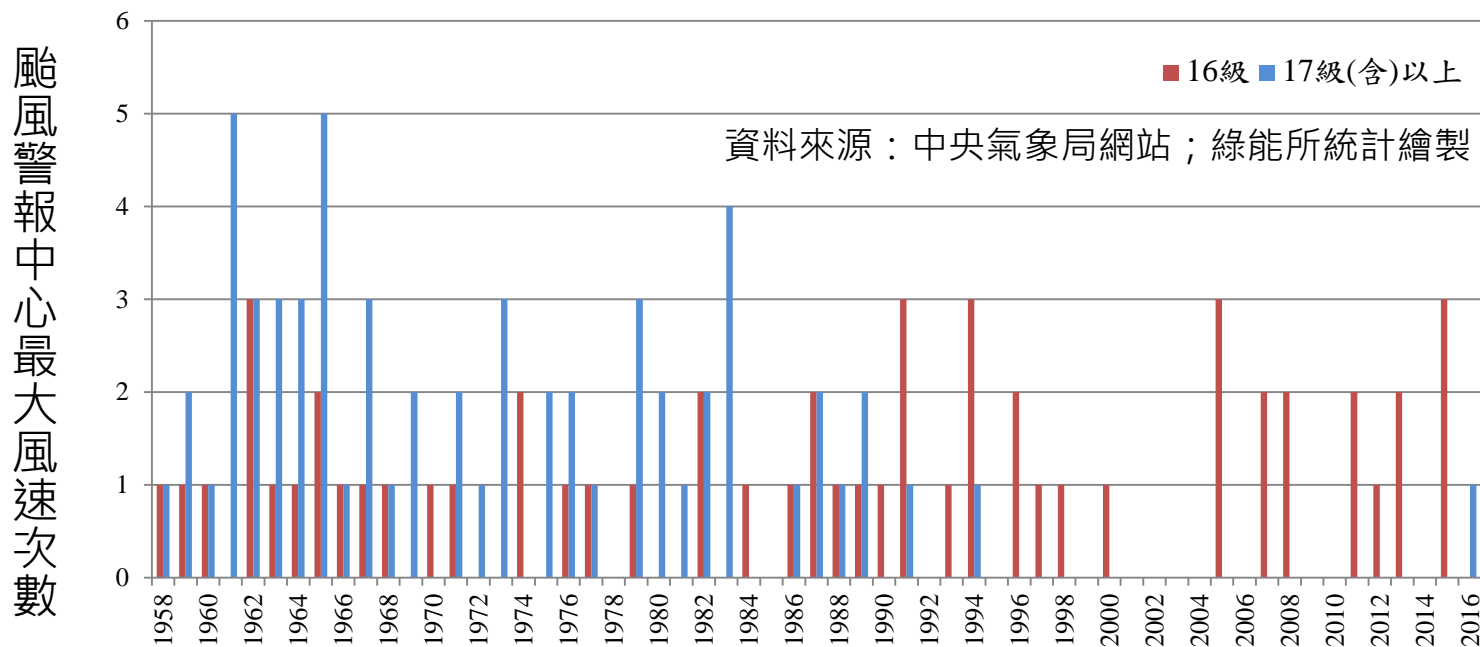
- 合理發電量分析
- 損失因子分析
- PR值修正分析
- 輸出功率衰退率分析
- 模組清洗提醒分析



侵台颱風數據統計

一、颱風侵襲次數與警報資料統計：

- 根據中央氣象局統計，颱風侵襲臺灣每年平均3~4次。
- 統計近台之近颱風中心最大風速(最大陣風)，最近20年來少有發布超過17級以上之警報，然而若從各氣象局測站查詢，則有不少颱風超過17級以上最大陣風風速，特別是2015、2016年有5個測站測得。



註：2016年尼伯特颱風其近颱風中心最大風速超過17級以上

註：最大風速為每10分鐘平均風速之最大值，其中觀測到的最大陣風，稱為最大陣風風速

侵台颱風數據統計

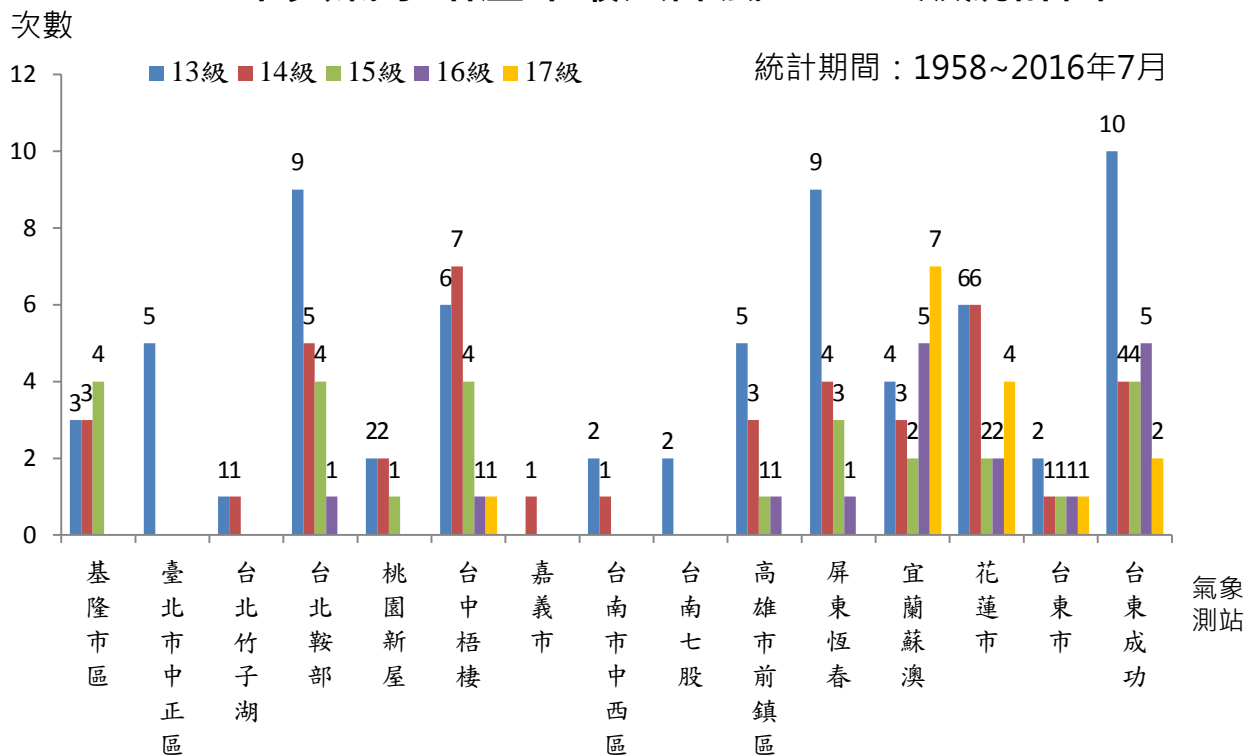
二、歷年侵台颱風，最大陣風達13-17級(含)的次數統計：

2016年莫蘭蒂的威力：恆春半島在莫蘭蒂的外眼牆掃過時，測得每秒23.5公尺持續風速及每秒52.2公尺(16級)；但外島蘭嶼持續風速和最高陣風更分別達到每秒44.2和59公尺(17級)，到了外島金門則測得每秒42.2公尺持續風速和每秒61.7公尺最高陣風(17級)。

各測站曾出現17級風速(含)以上颱風

站別	年度	颱風名稱	瞬間極大風風速
蘇澳	1994	道格	59.9
蘇澳	1994	葛拉絲	68.6
蘇澳	2008	辛樂克	58.6
蘇澳	2008	薔密	62.4
蘇澳	2015	蘇迪勒	66.1
蘇澳	2015	杜鵑	68.4
蘇澳	2016	梅姬	56.2
梧棲	2016	梅姬	57.2
花蓮	1959	魯依絲	62.1
花蓮	2005	海棠	58.5
花蓮	2005	龍王	64.9
花蓮	2010	凡那比	58.4
台東	2016	尼伯特	57.2
台東成功	2001	碧利斯	78.4
台東成功	2006	凱米	60.1

中央氣象站歷年最大陣風13~17級統計圖



風級、風速與風壓

三、颱風強度與風級、風速、風壓對照表

強度	風級	風速	風壓
(無風)	1 級	0 -1.5 (m/s)	< 1 kgf /m ²
(輕風)	2 級	1.6 -3.3 (m/s)	1 kgf /m ²
(微風)	3 級	3.4 -5.4 (m/s)	1-3 kgf /m ²
(和風)	4 級	5.5 -7.9 (m/s)	3-7 kgf /m ²
(清風)	5 級	8.0 -10.7 (m/s)	7-14 kgf /m ²
(強風)	6 級	10.8 -13.8 (m/s)	14-23 kgf /m ²
(疾風)	7 級	13.9 -17.1 (m/s)	23-35 kgf /m ²
輕度 颱風	8 級	17.2 -20.7 (m/s)	35-52 kgf /m ²
	9 級	20.8 -24.4 (m/s)	52-72 kgf /m ²
	10 級	24.5 -28.4 (m/s)	72-97 kgf /m ²
	11 級	28.5 -32.6 (m/s)	97-128 kgf /m ²
中度 颱風	12 級	32.7 -36.9 (m/s)	128-164 kgf /m ²
	13 級	37.0 -41.4 (m/s)	164-206 kgf /m ²
	14 級	41.5 -46.1 (m/s)	206-256 kgf /m ²
	15 級	46.2 -50.9 (m/s)	256-312 kgf /m ²
強烈 颱風	16 級	51.0 -56.0 (m/s)	312-377 kgf /m ²
	17 級	56.1 -61.2 (m/s)	377-499 kgf /m ²
	> 17 級	> 61.2 (m/s)	> 499 kgf /m ²

說明：

- 風壓單位由kgf/m²換算至N/m² (Pa)，只要乘以10。
- 模組IEC 61215機械負荷測試要求，正向壓力最高5400Pa，反向2400Pa。此機械負荷施加為均佈載重(uniform loading)
- 根據IEC 61215機械負荷測試之註解說明，當模組可能受到嚴重積雪荷重時，可在機械負荷測試最後一回合(正、反、正，共三回)，將壓力由2400Pa提高至5400Pa
- IEC 61215機械負荷測試是以電性衰退為通過與否當判斷依據，非結構強度。

◆PV支撐架設計與檢核該使用哪一章？

- 第二章 建築物設計風力之計算
- 第三章 局部構材及外部被覆物之設計風壓
- 封閉式或部分封閉式建築物使用各面不同的風壓係數，來計算主要風力抵抗系統所受的風力。開放式建築物使用風力係數及投影面積，來計算設計風力。第二章所規定之風力，使用於建築物整體抵抗風力結構系統之分析與設計，至於局部構材及外部被覆物之設計風力，應考慮局部風壓之提高及內風壓效應，不得以第二章規定之風力設計，應依照第三章之規定設計之。
- PV模組安裝與連結、斜屋頂平鋪式都應該用第三章作檢核。

■基本設計風速是否足夠？

➤一般受破壞者說法：氣象站雖未測得超過當地平均設計風速，但受地形或環境影響，使風加速而超越規範很多，所以被吹壞！

➤陣風反應因子(G)探討

- G為將順風向造成的動態風壓轉換成等值靜態風壓處理。
 - 1.設計規範中對於風力分為順風向、橫風向、扭轉向分別作風力設計，然距置式PV系統因正、背面結構不對稱，故順風向風力應再區分為正風向與背風向作檢討較恰當。
- PV支撐架依柔性建築物($f_n < 1\text{Hz}$)或普通建築物($f_n > 1\text{Hz}$)設計？
- 柔性建築物？(依規範公式2.13計算G值，通常小於1.88)
- 普通建築物取**G=1.88**最為保守、妥當。

■ 用途係數(I)

- 一般建築物基本設計風速係對應於 50年回歸期，為提高重要建築物之基本設計風速為100年回歸期，並降低重要性較低建築物之基本設計風速為25年回歸期，訂定用途係數I。
 - **第一類建築物**：風災發生後，必需維持機能以救濟大眾之重要建築物與相關之附屬或獨立結構物， $I = 1.1$ 。
 - **第二類建築物**：儲存多量具有毒性、爆炸性等危險物品之建築物與相關之附屬或獨立結構物， $I = 1.1$ 。
 - **第三類建築物**：下列供公眾使用之建築物與相關之附屬或獨立結構物， $I = 1.1$ 。
 - **第四類建築物**：建築物破壞時，對人類之生命危害度小，如臨時性設施及非居住性儲藏設施等， $I = 0.9$ 。
 - **第五類建築物**：其他一般建築物與相關之附屬或獨立結構物， $I = 1.0$ 。
- 通常支撐架設計採用 $I=1.0$ ，若真有必要，建議可針對用途係數酌量提高。

台灣與日本設計風力比較

	台灣建築物耐風設計規範與解說	JIS C 8955
風速壓 (kgf/m ²)	$q(z) = 0.06K(z)K_{zt}[IV_{10}(C)]^2$ <p>I:用途係數 V₁₀(C):基本設計風速(m/s) q(z):風速壓(kgf/m²) K(z):地況係數 K_{zt}:地形係數</p>	$q(z) = 0.06E * I * V^2$ <p>E:環境係數(相當於地況係數) I:用途係數(重要太陽光電系統此值為1.32) V:基本設計風速(m/s)</p>
風力 (kgf)	$W_p = C_f \times q(z) \times A_W \times G$	$W_p = C_w \times q(z) \times A_W \times G$
風力係數 (C _f 或 C _w)	<p>依據陣列的傾斜角與長寬比L/B值查表 C_f=0.2~1.3 Θ:10°≤Θ≤30°</p>	<p>依據設置方式為傾斜角度之函數關係 C_w=0.65+0.009Θ (地面型) C_w=0.71+0.016Θ (平屋頂) Θ:15°≤Θ≤45° C_w=0.95-0.017Θ (斜屋頂) Θ:12°≤Θ≤27°</p>
陣風反應因子(G)	<1.88	依據不同高度及不同區域查表最小1.8 最大3.1

支撐架組立施工

施工面檢討

◆ 設計面加強進步，施工面也要配合

◆ 施工面常發生的問題：

- 未按圖施工 (用料或施工不符)
- 雖按圖施工，但施工不確實
 - 漏鎖螺絲、少打一支、忘了加(彈簧)墊片、沒鎖到位、鎖太緊、鎖歪了、沒鎖/釘到結構材、植筋或化錨深度不夠.....
- 維護檢查疏失
 - 平時巡檢、颱風前特別檢查有待加強

[另外需有一觀念]：結構技師通常不是作PV支撐架設計，PV支撐架通常都是由PV系統廠商或專業支撐架廠商提出組裝設計圖與構材斷面資料，技師根據這些資料做結構應力分析檢核，若不足會做加強之設計，最後完成詳細圖說及結構計算書。

目前進行中之工作

◆ 支撐架安全提升目前進行中工作：

- 在能源局支持下，工研院綠能所與結構技師公會合作，完成國內太陽光電系統支撐架結構設計準則(草案)，並進行參考案例製作，後續將進行說明會及教育訓練推廣工作。
- 後續將開發太陽光電系統支撐架結構設計輔助檢核軟體，協助進行設計檢核。
- 開發模組扣件及螺絲鎖固之測試機台設備，提供鎖固力評估。
- 透過專家座談會、研討會、說明會，加強支撐架安全應用宣導，強化安全觀念，落實制度面、設計面、施工面之強化改進。

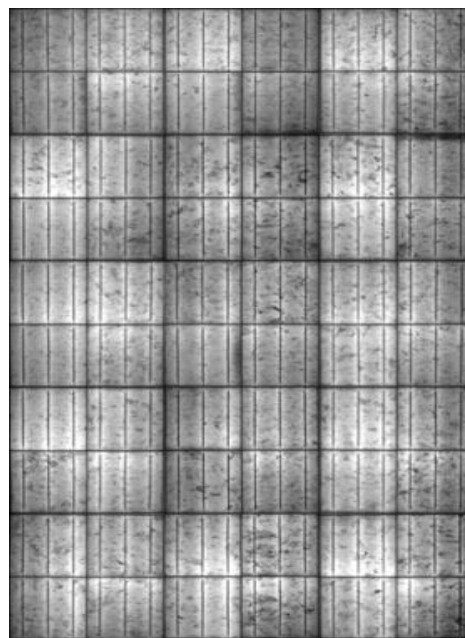
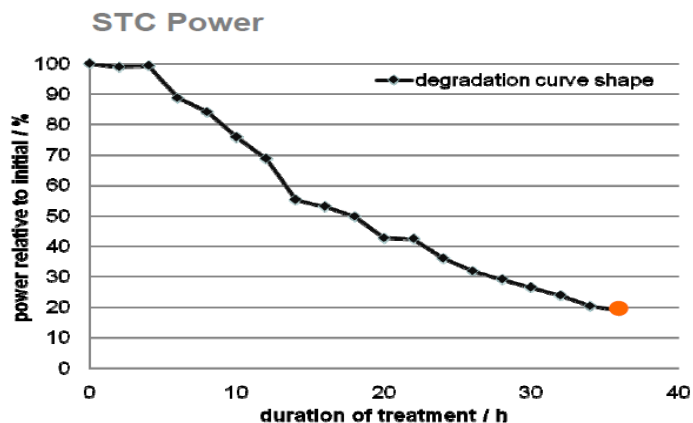
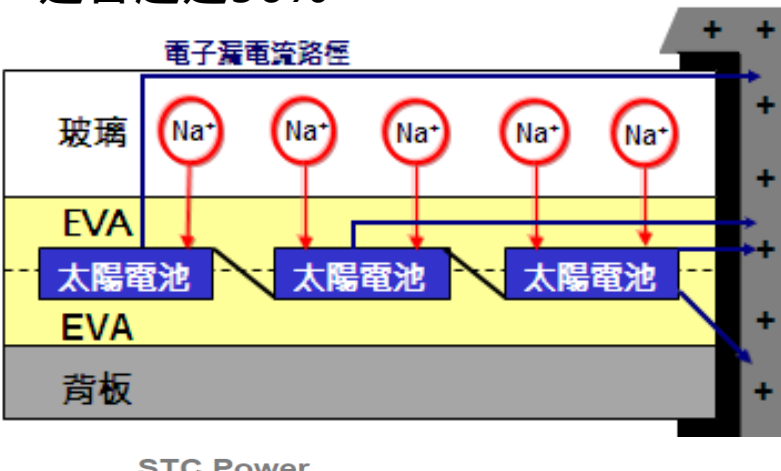
矽晶模組電位誘發功率衰減問題

電位誘發功率衰退原理

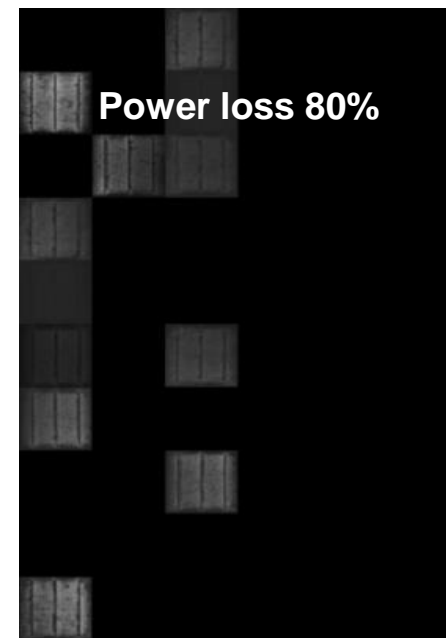
系統電位差導引正電荷累積於矽晶電池表面，產生漏電流路徑，導致功率衰退。嚴重時，功率衰退會超過50%。

PID (Potential Induced Degradation) 測試條件：

- 85°C、85%RH、-1000 V、96小時(連續)
- IEC 62804



PID前EL照片



PID後EL照片

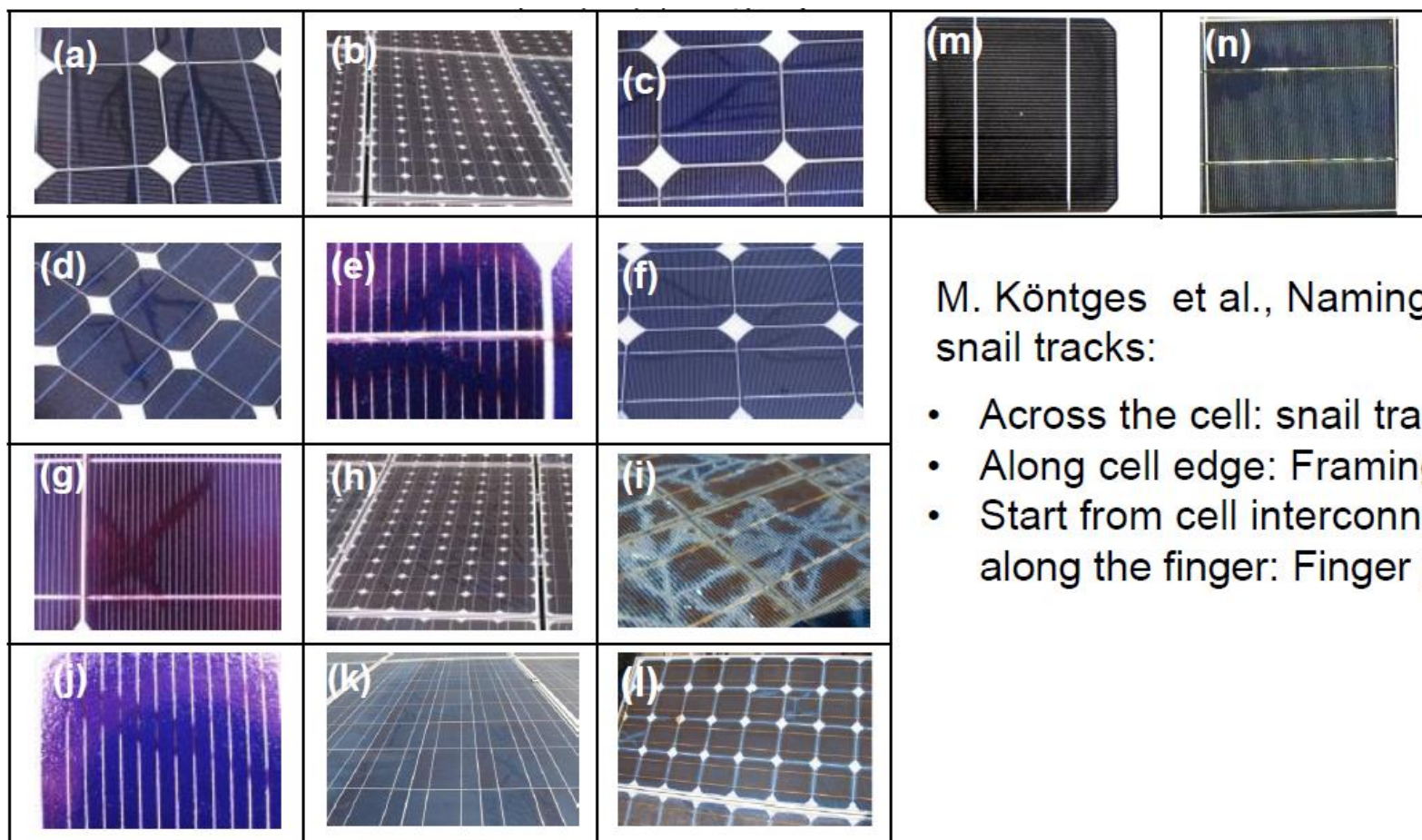
Source: ITRI, GEL

PID衰減解決方式

	PID解決方案	使用對象	風險
電池	改善發射極	對封裝材料，逆變器和系統接地無特殊限制	電池效率可能下降 產能可能下降
	改良SiN或SiO ₂ 減反射膜	對封裝材料，逆變器和系統接地無特殊限制	電池效率可能下降 需要改良的SiN沉積設備 產能可能下降
模組	使用高體電阻的封裝玻璃	對電池，封裝材料，逆變器和系統接地無特殊限制 光學響應有可能提高	成本高
	使用高體電阻的封裝材料	對電池，封裝玻璃，逆變器和系統接地無特殊限制	成本高 可能有光學損失 層壓工藝可能變長
系統	串聯組件負極接地	易受PID影響的組件	需要使用帶有變壓器的逆變器 存在更加高效的逆變器拓撲結構
	在夜間對組件施加正偏壓	易受PID影響的組件 可以使用高效逆變器(>>97%) 可對現有光伏系統進行升級	需要新增電氣設備
	微型逆變器	對電池及封裝材料沒有限制 高於中央逆變器的運行壽命預期 對單個組件的Mpp跟蹤	成本高逆變器效率目前為95%

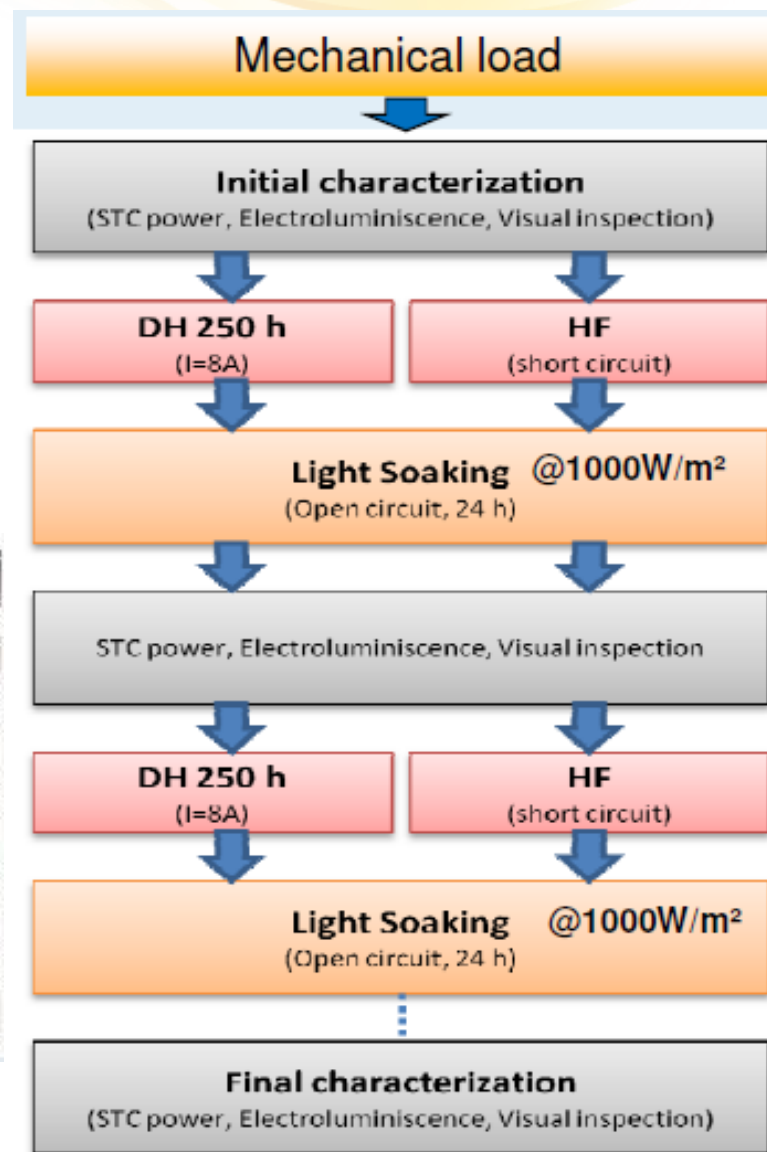
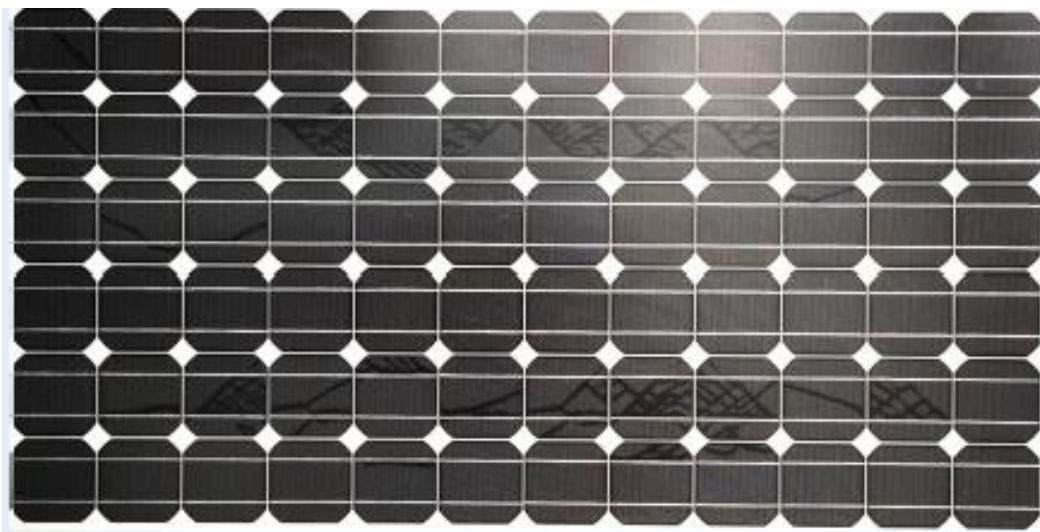
矽晶模組蝸牛紋問題

1. 模組內電池隱裂或電池邊緣，經陽光曝曬發電後在隱裂或邊緣處的銀電極與EVA進行化學反應，造成銀電極及EVA褪色，外觀上看去類似蝸牛爬行過痕跡，此現象稱為蝸牛紋(snail track)、Worm marks或閃電紋。
2. 微裂或破片是蝸牛紋產生的主要原因。**安裝系統時，不要踩踏模組！**



蝸牛紋可以從封裝材料進行解決

- EVA中的醋酸是加速蝸牛紋發生的因子
- 文獻指出，控制EVA的抗氧化劑磷含量，可抑制蝸牛紋
- 蝸牛紋通常發在EVA封裝膜，離子型封裝膜不會發生
- 蝸牛紋模組的功率損失來自於電池破片程度，影響程度待觀察

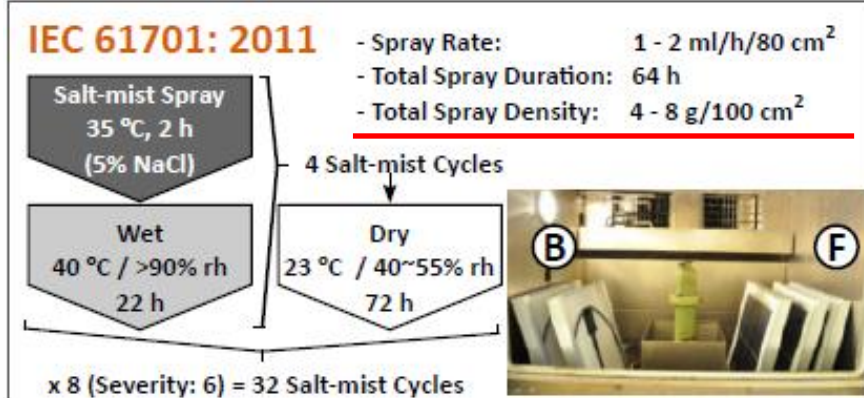
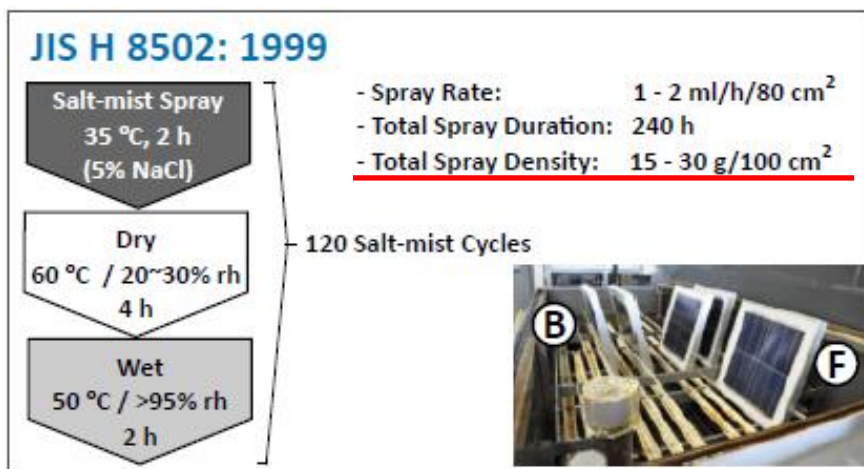


更容易誘發PID失效的測試方法

1. 高溫、高濕熱環境，更容易引起模組PID問題
2. AIST於2015年在Japanese Journal of Applied Physics期刊發表，鹽霧可加速PID劣化的研究。模組先經過鹽霧測試，可讓鈉離子滲入模組，作為後續PID測試的加嚴前置測試作業。

日本JIS的鹽霧測試條件比IEC標準嚴格

文獻加嚴測試結論



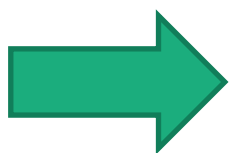
- ❑ 抗PID電池+抗PID封裝材之模組：進行鹽霧測試後可通過PID測試
- ❑ 不抗PID電池+抗PID封裝材之模組：進行PID測試可通過測試
- ❑ 不抗PID電池+抗PID封裝材之模組：進行鹽霧測試後無法通過PID測試



必須電池與模組封裝材料都抗PID，才能通過鹽霧及PID的序列測試

水上型模組的需求

1. 目前沒有針對水上型模組之國際規範
2. 更高的抗腐蝕、抗水氣及抗PID的要求是必要的
3. 水面對日照的反射，可能導致更多的UV光量作用於模組背板(與浮體設計有關)，雖含氟背板抗UV效果佳，但長期而言對高分子材料裂化仍有影響，進而使水氣更易滲入模組，引起腐蝕、衰退等現象



最嚴苛的UV、鹽霧、PID序列測試，可考慮做為評估條件。

結語

- 有好的元件，不代表有好的系統。
- 太陽光電系統的安全性、效能、可靠度、耐久性，應從生命週期各階段考量與評估。
- 太陽光電系統之第三方驗證制度，可符合Bankability的需求與保障。
- 太陽光電系統驗收及運維管理階段的檢測評估更重要於模組的驗證證明，相關的檢測評估、損失因子分析與老劣化預測等，是未來應該要做的工作。
- 太陽光電結構系統因具有大量夾扣件接合設計，與傳統結構工程不同，從風力引用規範、接合扣件或螺絲檢核、施工確認等，都具備特殊性，需同時完備才足以抵抗風災。