

出國報告（出國類別：其他）

參加第 27 屆國際太陽光電科學與工程 會議出國報告

服務機關：核能研究所

姓名職稱：洪慧芬 研究員

范振彥 助理研發師

派赴國家：日本

出國期間：106 年 11 月 12 日~106 年 11 月 18 日

報告日期：106 年 12 月 15 日

摘要

第 27 屆國際太陽光電科學與工程會議(27th International Photovoltaic Science and Engineering Conference, PVSEC-27)於 2017 年 11 月 12~18 日在日本大津市 Lake Biwa Otsu Hotel(圖 1)舉行，其主要之目的為提供一個完善的平台，以展示及分享太陽能發電技術的最新發展，並促進與會來賓相互交流相關研究成果，以刺激太陽光電產業之進步。本次會議舉行口頭和海報會議，並邀請全球太陽能相關領域的知名專家蒞臨演講，總計有 766 篇論文發表，會議議題涵蓋所有太陽能發電的內容，包括矽晶、薄膜、鈣鈦礦、有機染敏、III-V 族聚光型太陽能相關技術，新材料、市場、政策及系統的製造、模擬、可靠度等。核研所洪慧芬研究員及范振彥助理研發師奉派參加本次會議，期望能瞭解太陽能之國際發展趨勢，蒐集資訊，建立交流管道，裨益國家能源政策之順利達成。

日本於 2012 年實施政府收購電力制度(Feed-in Tariff, FIT)，至 2017 年 7 月已累計安裝 39GW 的 PV 太陽能裝置容量，然而因有大量虛報太陽系統，技術不成熟或設計不良造成之安全議題，導致消費者在 2017 年須承擔高達約 270 萬兆日幣的額外稅收，進而影響裝置意願。由此可見，後者之模組之設計及可靠度對太陽能的普及具有極關鍵的影響。經過一連串的測試與研發，核能研究所成功設計出高效率之微型聚光太陽能模組，目前已通過 IEC-62108 之相關環境預先測試，並技轉予國內廠商。此次亦於會議中發表測試相關結果，獲得熱烈之迴響。

目次

頁碼

一、目的.....	1
二、過程.....	2
三、心得.....	3
四、建議事項.....	10
五、附圖.....	12

附圖目錄

頁碼

圖 1、PVSEC-27 會場(日本大津 Lake Biwa Otsu 飯店).....	12
圖 2、PVSEC-27 會議現場.....	12
圖 3、PVSEC-27 演講現場.....	13
圖 4、本次會議張貼於會場之海報.....	13
圖 5、PVSEC-27 論文發表國家及數量.....	14
圖 6、PVSEC-27 論文種類分佈.....	14
圖 7、預測日本之 PV 市場.....	15
圖 8、結晶矽太陽電池與材料.....	15
圖 9、結晶矽太陽電池與材料.....	16
圖 10、薄膜太陽能電池與材料.....	16
圖 11、薄膜太陽能電池與材料.....	17
圖 12、III-V 族及太空用太陽電池與材料.....	17
圖 13、有機染料敏化太陽電池與材料.....	18
圖 14、鈣鈦礦太陽電池與材料.....	18
圖 15、鈣鈦礦太陽電池與材料.....	19
圖 16、PV 模組性能與可靠度.....	19
圖 17、PV 系統包含系統平衡與智慧電網.....	20
圖 18、PV 系統包含系統平衡與智慧電網.....	20
圖 19、PV 模組之均化發電成本.....	21
圖 20、以 EL 量測之結果預測 PV 模組的效率衰退.....	21
圖 21、利用影像辨識搭配 EL 量測結果檢測 PV 模組.....	22
圖 22、非接觸式 PL 戶外量測與 EL 量測結果比較.....	22
圖 23、日本 NPC 集團開發分解模組的方法.....	23
圖 24、Sumitomo 在橫濱架設的聚光型及儲能系統.....	23
圖 25、Sumitomo 在摩洛哥建置的 1MW 聚光型系統.....	24
圖 26、可重複使用基板的磊晶方法.....	24
圖 27、以 SMR 值為 1 的情況下量測 1 至 15 倍太陽光強度的 IV 特性.....	25
圖 28、輕量化的雙軸追日架.....	25
圖 29、Toyota 公司實際量測之數據.....	26
圖 30、低倍率聚光一次光學透鏡.....	26

一、目的

在歷經福島核災後，核電廠的安全性及核廢料的處理成為全球關注的議題，在政府積極推動於 2025 年達成非核家園目標下，能源轉型及綠能發展勢在必行，藉由發展及推廣潔淨替代能源來降低對化石能源之依賴，一方面可以減緩溫室效應的惡化，減少溫室氣體排放，以促成我國將碳排放量在 2025 年回到 2000 年水準政策目標之達成；另一方面則扶植國內替代能源相關產業之國際競爭力，來促成我國另一波以綠能產業為主之經濟發展。

本次會議之目的為與國外之先進研究團隊交流太陽能相關研究技術，且推廣本所研究成果，並蒐集相關之技術資訊、發展方向。會議中與國外團隊交流熱絡，探討國外之研究方向，亦有許多與會人員積極詢問本所之技術，成功提升本所國際間之能見度，其中更有矽基廠商對本所技術深感興趣，未來有機會進行合作與交流。

本次參加 PVSEC-27 會議，係以海報方式展示本所微型聚光太陽模組之技術，海報展示之題目為：微型聚光模組之可靠度與戶外效率(Reliability and Outdoor Performance of Micro-CPV System)，探討微型聚光模組錫膏孔隙率對可靠性的影響。

二、過程

本次公差為期 7 天，自 2017 年 11 月 12 日至 11 月 18 日，詳細行程如下：

表 1 出國行程表

日期	行程
11 月 12 日	由桃園機場出發，抵達日本大津市
11 月 13 日	註冊報到、參加開幕式
11 月 14~16 日	參加 PVSEC-27 會議(圖 2、圖 3)
11 月 17 日	參加 PVSEC-27 會議、至會場張貼海報及解說(圖 4)
11 月 18 日	由日本大津市出發，返抵桃園機場

三、心得

PVSEC 會議在日本共舉行 11 次，從第一屆開始，每兩年舉辦一次，到了第 13 屆每四年舉辦一次，顯示日本在替代能源的發展極具企圖心。本次會議共有 766 篇論文(含海報)發表，涵蓋 10 個不同的主題領域，分成約 260 場演講。由於地利的關係，以地主國日本發表最多占 54%；其次是韓國占 12%，我國居第三占 5%(圖 5)。除本所外，我國其他論文來自學界、業界及財團法人。由論文發表數可知，國內在太陽能方面的研究，在亞洲仍居前茅。

PV 依製程及結構可區分為晶矽材料、矽晶片、太陽電池、模組與系統等五類，會議論文的分布以太陽電池及材料居多，占比由高排至低，分別為：矽晶與薄膜矽晶 193 篇占 25%、薄膜半導體化合物 135 篇占 18%、模組效率與可靠度 89 篇占 12%、新概念(Advanced Concepts and New Emerging Materials for Future PV)64 篇約占 11%、鈣鈦礦 (Perovskite)81 篇約占 11%、有機染料敏化 52 篇約占 7%、包含系統平衡元件之 PV 系統(PV Systems Including BOS Components)52 篇占 7%、III-V 族聚光型及太空用 48 篇占 6%(本所發表論文歸於此類)、智慧電網之 PV 系統整合 29 篇占 4%、太陽能產業市場及政策 18 篇占 2%(圖 6)。

以下報告依序為全球太陽能動態、最新材與料技術的發展、各太陽電池及模組效率、PV 模組及系統價格與均化發電成本、PV 模組檢測與回收及聚光型模組。

(一) 全球太陽能動態

全球暖化現象日益嚴重，再加上 2011 年因 311 大地震發生福島核災，日本政府積極推動替代能源，自 2012 年實施政府收購電力制度(Feed-in Tariff, FIT)後，PV 建置容量急遽上升，根據大會報告資料，2012 年總建置容量為 6.6 GW，2016 年大增至 42.7 GW，並預測 2030 年總建置容量可以達到 150 GW(圖 7)，總發電量 1,065 TWh。在中國方面，其第 13 個五年計

畫目標在 2020 年使 PV 總建置達 105 GW，聚光太陽能熱發電系統達 5 GW，在 2017 年第一季即建置 7.14 GW，預計在 2017 年底即可完成目標。會議中有提到一個新興的太陽能市場：越南，越南雖然現在總建置容量僅 10 MW，但在 2016 年越南政府啟動第七次國家型能源發展計畫，預計在 2020 年、2025 年及 2030 年使總建置容量分別到達 850 MW、2G W 及 12 GW。在歐洲方面，歐盟會議在 2016 年決議 2030 年使再生能源於所有能源消耗的占比達到 35%，其中太陽能發電須提供 330 TWh 的發電量。

(二) 最新材與料技術的發展

1. 結晶矽(Crystalline Silicon, c-Si)太陽電池與材料(圖 8、圖 9)

(1) 日本鐘淵化學工業股份有限公司(Kaneka Corporation)展示單一電池及模組效率分別高達 26.7 %及 24.5 %的異質背接觸(Back Contact HJ)太陽能電池，成為目前最高效率之 c-Si 太陽電池，然而 Dr. Yamamoto 也強調：發展低成本製程是異質背接觸太陽能電池產業化相當重要的議題。

(2) IMEC 以雙面 n-PERT (Passivated Emitter, Rear Totally-diffused)技術，研發 Ni/Ag 共面接觸(co-plated contacts)太陽電池，Fill Factor = 81.1%， $J_{sc} = 40.5 \text{ mA/cm}^2$ ， $V_{oc} = 694 \text{ mV}$ ，效率高達 22.8 %，成本亦可達到 0.28 USD/W_p。

(3) 晶科能源(Jinko Solar)發佈效率為 22.78 %的 p 型單晶矽射極鈍化及背電極(p-type mono-Si Passivated Emitter and Rear Cell)太陽電池。

(4) Yusuke Hayama 提出一種得以圖像化多晶矽晶棒(Multi-Crystalline Silicon Ingots)中之差排叢(dislocation clusters)的方法，這將可能是未來提升多晶矽品質的重要方法。

2. 薄膜(Thin Film)太陽能電池與材料(圖 10、圖 11)

(1) Solar Frontier 以銻表面處理技術製作出效率達 23.3 % (室內量測)的 CIGS 太陽電

池，Fill Factor = 79.45 %， $J_{sc} = 39.77 \text{ mA/cm}^2$ ， $V_{oc} = 738 \text{ mV}$ ，面積為 1cm^2 。

(2) AVANCIS 展示效率達 18 %、面積 $30 \times 30 \text{ cm}^2$ 且以無鎘緩衝層(Cd-free buffer layer)製作的 CIGS 太陽電池子模組(submodule)。

(3) 以添加鈉及氧處理製作之純硒鋅黃錫礦(Pure Se Kesterite)太陽電池效率達到 11.7 % 的新高紀錄。

3. III-V 族及太空用太陽電池與材料(圖 12)

(1) Fraunhofer ISE 以矽(Si)取代鍺(Ge)做為 III-V 族三接面太陽電池的底層(Bottom Cell)，並將頂層(Top Cell)做成奈米導線(Nanowire)，減少 80 % III-V 族材料的使用，以降低成本，效率為 32.4 %。

(2) 夏普集團(Sharp Corporation)用磊晶層轉換(Epitaxial Layer Transfer)技術製作效率達 31.2 % 的單顆 InGaP/GaAs/InGaAs 三接面太陽電池，模組效率更高達 31.2 %，被認為是目前陸地上最高效率之模組。

(3) Spectrolab 以 150 mm 晶圓的產線量產在 AM0 條件下效率高達 30.7 % 之三接面太陽電池，並命名為 XTJ-prime， $J_{sc} = 18.1 \text{ mA/cm}^2$ ， $V_{oc} = 2.715 \text{ V}$ ，面積為 27 cm^2 。並更進一步發展 XTJ-prime plus，目前在實驗室的量測效率達 31.7 %。

4. 有機染料敏化(Organic and Dye-Sensitized)太陽電池與材料(圖 13)

(1) 以 PTzNTzs-EHBO 製作之有機太陽電池具有極佳的結晶性(Crystallinity)，效率達 9 %，Fill Factor = 67 %， $J_{sc} = 16.0 \text{ mA/cm}^2$ ， $V_{oc} = 840 \text{ mV}$ ，且在 85 °C 氬氣環境下儲存 1000 小時皆無發現衰退現象。

(2) 以共敏化(Co-Sensitization)及將高效能 p 型碘化銅置入二氧化鈦的方法製作之固態矽晶太陽電池(Silicon Solar Cells, SSC)效率達 10 %。

5. 鈣鈦礦(Perovskite)太陽電池與材料(圖 14、圖 15)

(1) 松下集團(Panasonic Corporation) 提出面積達 203 mm^2 之鈣鈦礦模組，以 THG-YAG

(Third Harmonic Generation - Yttrium Aluminum-Garnet)雷射處理之電池因為將錫分散至殘餘的二氧化鈦中具有接觸電阻(Contact Resistance)，使 $V_{oc} = 38.6 \text{ V}$ 。

(3)日本南開大學將鈣鈦礦與效率超過 20 %之異質界面矽晶電池串聯並優化各接面的生產參數。

(4)H. Segawa 展示一個鈣鈦礦摻雜(Doping)鉀的方法，可以有效減少遲滯效應(Hysteresis)並提升鈣鈦礦層的一致性(Uniformity)。

(5)Dr. Sum 等人利用泵浦-探測(Pump-Probe)技術探討鈣鈦礦中的熱載子(Hot Carrier)。

(6)日本東京大學首次證實在室溫下同一個鈣鈦礦太陽電池中同時存在立方(Cubic)及四方晶系(Tetragonal)。

6. PV 模組性能(Performance)與可靠度(Reliability)(圖 16)

(1)松下集團(Panasonic Corporation)製作出效率達 31.5 %全塑膠聚光型太陽模組。

(2)Kensuke Nishioka 等人將熱偶極(Thermocouple)插入至太陽電池下方來量測更精確的溫度，進而算出更準確的太陽電池效率。

7. PV 系統包含系統平衡(Balance-of-System)與智慧電網(Smart Grid)(圖 17、圖 18)

(1)DTU Nanotech 利用黑矽(Black Silicon)吸光的特性，以蝕刻方式(Mask-Less Reactive Ion Etch, RIE)製作 PV 模組的前板，並塗佈 Al_2O_3 大幅降低反射率。

(2)新加坡太陽能研究中心(Solar Energy Research Institute of Singapore, SERIS)在 2016 年建置全世界最大的漂浮太陽能發電系統(約 1MW)，其中包含多種不同的 PV 模組、inverter 及漂浮結構，目的為探討其經濟效益、技術發展及對環境的影響。

(3)早稻田大學的 Hiroyuki Kawamoto 將兩向(Two-Phase)的低頻高電壓電極放置於 PV 模組表面，利用庫倫力(Coulomb Force)與介電泳力(Dielectrophoresis Force)去除表面灰塵顆粒。

(4) Masato Ajisaka 等人提出運轉性能指數(Operating Performance Index, OPI)，可以用來監測 PV 系統的發電量，並在發電量降低時判斷是模組故障或雲層遮蔽。

(5) 松下(Panasonic)相關企業在東京南方 50 公里處建設一個名為“Fujisawa SST”的智慧社區，社區內所有建築物皆建置太陽能發電及儲能系統，目標為減少 70 %的碳排放量(與 1990 年相比)。

(三)各太陽電池及模組效率

實驗室單晶矽太陽電池效率最高來到 26.7 %、多晶矽為 21.9 %、薄膜 CdTe 為 21 %、CIGS 為 23.3 %。鈣鈦礦太陽電池為 19.7 %，有機太陽電池為 11.2 %。實驗室單晶矽太陽電池模組效率來到 24.5 %。過去二年，商用模組平均效率由 16 %上升到 24 %。薄膜 CdTe 模組平均效率由 13 %上升到 18 %。聚光型多接面太陽電池在實驗室量測且未聚光下效率最高 31.2%，在 508 個太陽光強度下為 46 %、模組效率 38.9 %。

(三)模組及系統價格與均化發電成本(Levelized Cost of Electricity, LCOE)

以美國為例，根據 NREL(National Renewable Energy Laboratory)的資料顯示(圖 19)，2016 年第一季 PV 模組價格為 US\$0.57/W，到 2017 年第一季價格降至 US\$0.31(降低 45.6%)。在系統方面，包含模組、inverter 及其他軟硬體成本，2016 年第一季 PV 系統價格為 US\$1.35/W，而到了 2017 年第一季價格降到 US\$0.97/W，降幅更是達到 28.1 %。

從 2010 年至 2017 年，系統安裝、維護及 inverter 成本分別降低 80 %、17 %及 68 %，使 PV 系統的 LCOE 降低約 74 %。LCOE 會隨日照量而有所變化，因此以由日照量由高至低的美國鳳凰城、堪薩斯及紐約為例，在不考慮 30 %聯邦投資稅收抵免(Federal Investment Tax Credit, ITC)狀況下，2017 年 LCOE 分別為 US\$0.04/kWh、US\$0.05/kWh 及 US\$0.06/kWh。若考慮 ITC，LCOE 分別為 US\$0.03/kWh、US\$0.03/kWh 及 US\$0.04/kWh。

(四)PV 模組檢測與回收

本次會議中，多位講者提及 PV 模組之 EL(Electroluminescence)與 PL (Photoluminescence) 檢測，顯示 PV 模組之故障檢測隨著 PV 市場的發展日益重要，其中 SERIS、NREL 及 Trina Solar 經由三方跨國合作，在 2016 八月到 2017 年五月共同測試放置於三個不同氣候型態之區域(熱帶：新加坡，亞熱帶：中國，半乾燥：美國)的 PV 模組，量測其 IV 特性並且和以 EL 量測之結果做比較，成功以 EL 量測之結果預測 PV 模組的效率衰退(圖 20)。Panom Parinya 等人將 PV 模組通入不同大小的電流，以圖像辨識判斷 EL 量測之影像的灰階程度(Gray Scale)，並將其分級後分類成 Type A 及 Type B 兩種缺陷，將可以更有效地判斷 PV 模組的衰退程度(圖 21)。Raghavi Bhoopathy 等人首次以太陽光來進行非接觸式的 PL 戶外量測，利用在達到 V_{oc} 時開啟 PL 發射而在最大功率點(Maximum Power Point, MPP)近乎關閉，此方法不但不需要更換線路還可以在白天量測，且將量測數據與 EL 結果比較後，發現兩者具有極高的一致性(圖 22)。

隨著 PV 模組大量生產，未來廢棄模組的處理勢必為重要議題，根據日本環境署預估，2040 年日本將產生約 80 萬噸的廢棄模組。日本 NPC 集團在 2016 年 8 月成立” PV 模組科技回收股份有限公司”，並以日本新能源產業技術綜合開發機構(NEDO)的計畫，開發出在不破壞玻璃或太陽電池的情況下可拆除模組鋁框、玻璃並使太陽電池與 EVA 膜分離的機台，達到 PV 模組回收並再利用(圖 23)。

(五)聚光型模組及追日架

Sumi tomo 在大阪及橫濱架設智慧電網聚光型系統，其中在橫濱電廠，更建置全日本最大的 CPV 系統(100kW)及 5MWh 的氧化還原(Redox Flow)儲能系統(圖 24)，大幅平衡氣候可能造成的發電量波動。此外，更在摩洛哥及澳洲布里斯本建置 1MW 及 30kW 的聚光系統(圖 25)，後者之目的為分析聚光系統的經濟效益。

E. Veinberg-Vidal 等人用 Surface-Activated Direct Wafer Bonding 的方法製作出

$\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}/\text{Si}$ 雙界面太陽能電池，此方法可以讓基板再利用(圖 26)。以 SMR 值為 1 的情況下量測 1 至 15 倍太陽光強度的 IV 特性(圖 27)，在 9.9 倍的太陽光強度下效率高達 23.7%，Fill Factor=82.6%， $J_{sc}=155.0 \text{ mA}/\text{cm}^2$ ， $V_{oc}=1.83 \text{ V}$ 。

Sun Marion 公司為了要克服市面上追日架笨重、無法密集排列且成本高的缺點，開發出一種新型輕量的微型追日架(圖 28)，上層架設一次光學聚光透鏡，下層放置太陽電池，利用透明且輕的材質作為支架，得以精準地控制追日架的角度。

由於汽車排放大量的二氧化碳，Toyota 集團提出將低倍率聚光模組架設至汽車上的想法，以 800 W 的模組、每日 3.7 kWh 的日照量及 74 % 的充電效率計算，Toyota 的 Prius 油電混合車款每日將可以行使約 16 公里，並且將減少 64 % 自用汽車的二氧化碳排放量。將薄膜太陽電池及聚光模組分別架設在 Prius 的車門及車頂、引擎蓋上，經過 100 天的實際量測後，平均每日可發電 2.1 kWh，將可行駛約 36 公里(圖 29)。聚光模組採用幾何聚光比 4 倍的 PMMA 透鏡，具有極佳的容忍角(Acceptance Angle)，大小及厚度分別為 $8*8 \text{ mm}^2$ 及 3 mm(圖 30)，太陽電池為 InGaP/InGaAs/Ge 三界面太陽電池(效率為 29.7 %)。

四、建議事項

自工業革命以來人們不停的消耗地球上的有限資源，不管是煤礦、石油或是天然氣等等，發展永續循環的再生能源勢在必行，再加上地球暖化與近年來發生的重大核災，「取之不盡，用之不竭」的太陽能實為上上之選。經過這次參加 PVSEC-27 會議，綜觀全球太陽能產業的發展，並反觀我國的現況，遂提出以下建議：

(一)對於政府收購電力制度之規劃，宜建立不良產品之退場制度，以健全太陽能產業之發展

世界各國政府皆致力發展太陽能產業的推動，減少全球暖化及能源短缺的問題，然而在發展初期需要政府提出相關的補助誘因，提升企業與民眾長期投入太陽能產業的開發與應用，在各種政策工具中又以「政府收購電力制度(Feed-in Tariff, FIT)」最為廣泛使用，以本次會議的主辦國-日本為例，2012 年開始實施 FIT，採用固定躉購電價費率(42 日圓/kWh)，收購實其間非住宅用 20 年、住宅用 10 年。在 2017 年，為了解決空頭專案及減少國民負擔進行 FIT 改革。其中較重要的事項說明如下：

- (1)認定制度修改：除了對太陽能模組的認定外，還增加對計畫的認定，亦即確認發電業者可以確實執行計畫，在營運後也會進行檢查，確保計畫的運行。
- (2)促進長期穩定發電：規定業者要對太陽能模組進行適當的檢查維護，定期報告發電量。違反規範時，政府將向業者提出改善命令，若不遵守就取消 FIT 認定資格。
- (3)參考成本效益高的優良發電模組，決定收購價格；大規模非住宅用太陽光電採競標方式，住宅用太陽光電和風力發電採預先設定降價時間表方式。
- (4)收購價格擬由固定價格改為變動價格，設定中長期的收購價格目標，提高事業經營之可預測性。
- (5)檢討稅金減免制度：確認補助對象的節能努力和對國際競爭力之影響下，設定不同的減稅率。由於目前日本太陽能裝置容量遠大於我國，以上四點雖然可能不完全符合我國情況，

但可作為未來可能碰到問題之解決辦法，甚至可以預先訂定相關法規，以日本作為前車之鑑。

(二) 加強 PV 模組回收相關制度及技術

隨著太陽能市場的發展，PV 模組大量應用，相對而言也會有更多的廢棄模組，德國、日本等國皆積極發展模組報費回收的相關研究應用，而將太陽能板上的玻璃分離，利於玻璃再利用，避免變成造成掩埋場的負擔，其中日本為此組成研究小組進行回收再利用的分離技術研究，但因每家廠商生產的太陽能板厚度及材質不同，無法大量分析拆解，只能仰賴人的技術判斷來分解，造成困難度高且耗人力。

根據環保署估計以太陽能板約 30 年的使用年限，2025 年我國將產生約 6 萬噸的廢棄太陽能板，然而目前我國沒有完整的規劃及明確的回收廠商與機制，因此建議應研發相關太陽能板回收技術及扶植回收廠商，並完善規劃回收再利用的相關規範，例如：要求模組出廠時須印製序號，避免隨意丟棄，若被發現則課予罰金，且在報廢回收後得以取得相對的補助，並在模組售價加上一定比例的金額，將此筆款項作為補助或發展太陽能產業之基金，不但促進永續發展，也得以持續推動太陽能產業的進步。

五、附圖



圖 1、PVSEC-27 會場(日本大津 Lake Biwa Otsu 飯店)

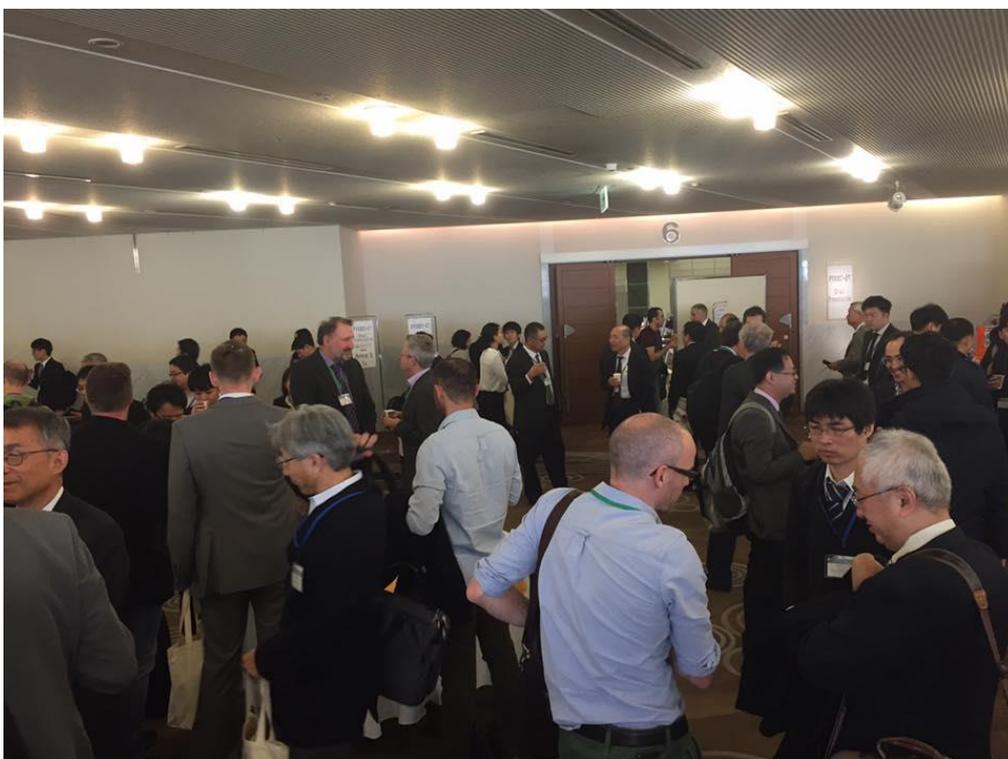


圖 2、PVSEC-27 會議現場



圖 3、PVSEC-27 演講現場

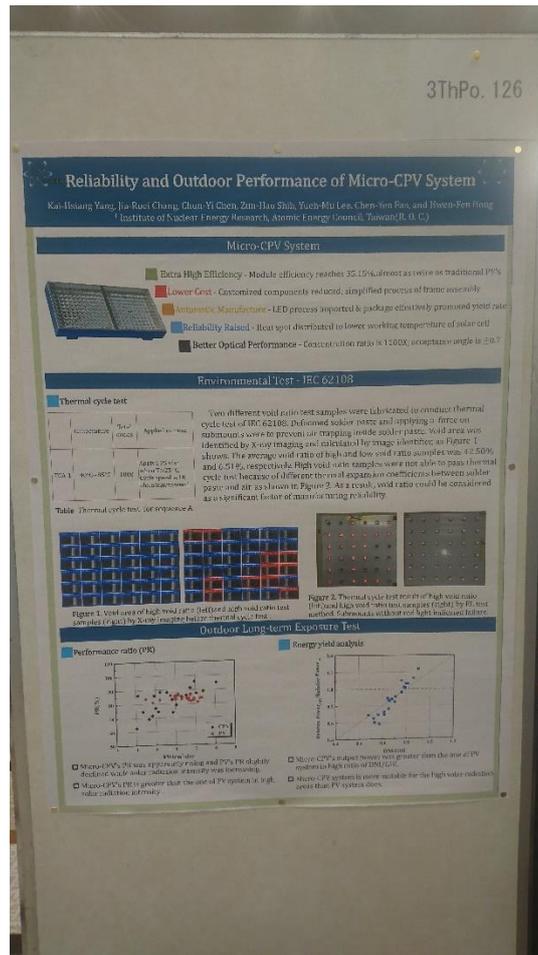


圖 4、本次會議張貼於會場之海報

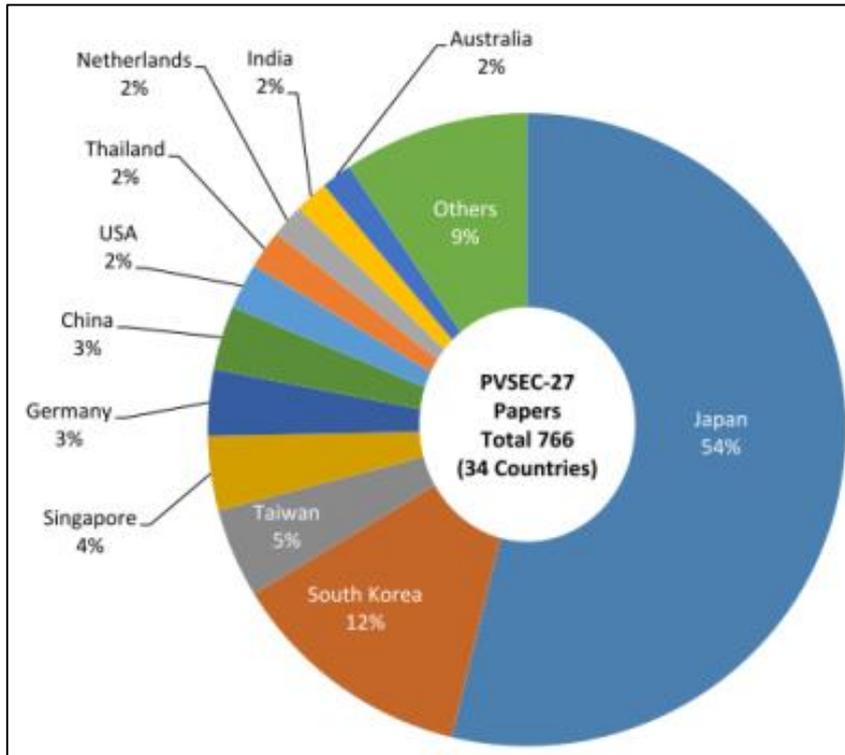


圖 5、PVSEC-27 論文發表國家及數量

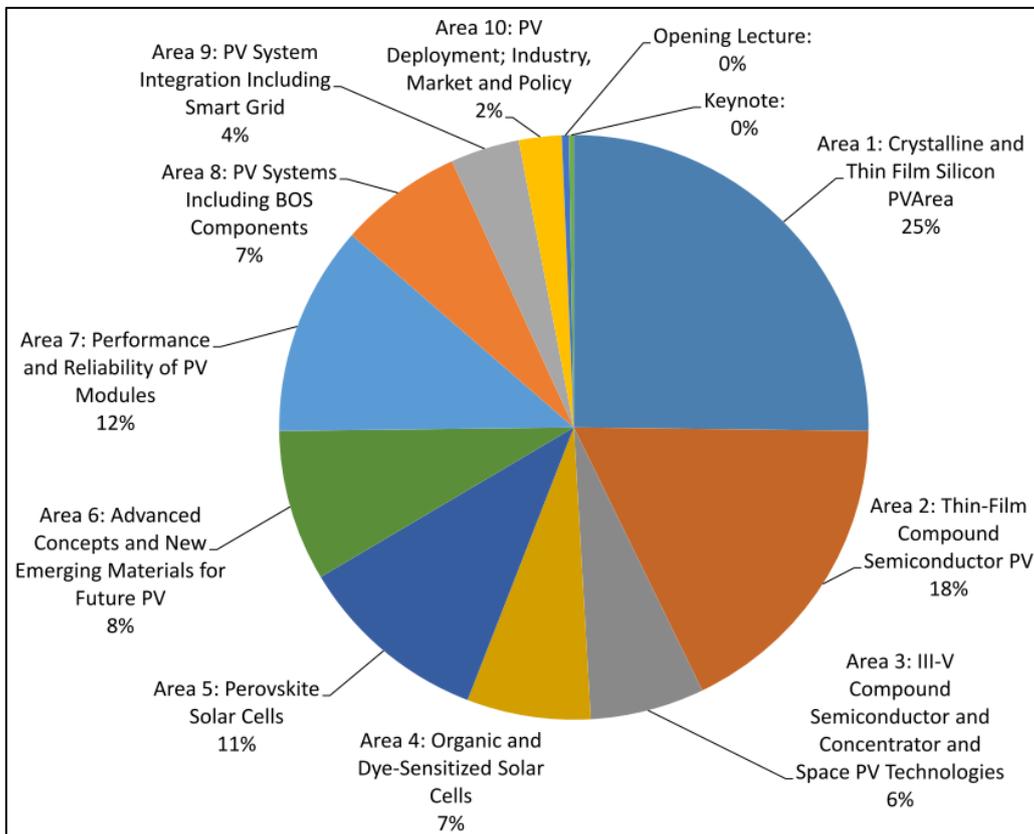


圖 6、PVSEC-27 論文種類分佈

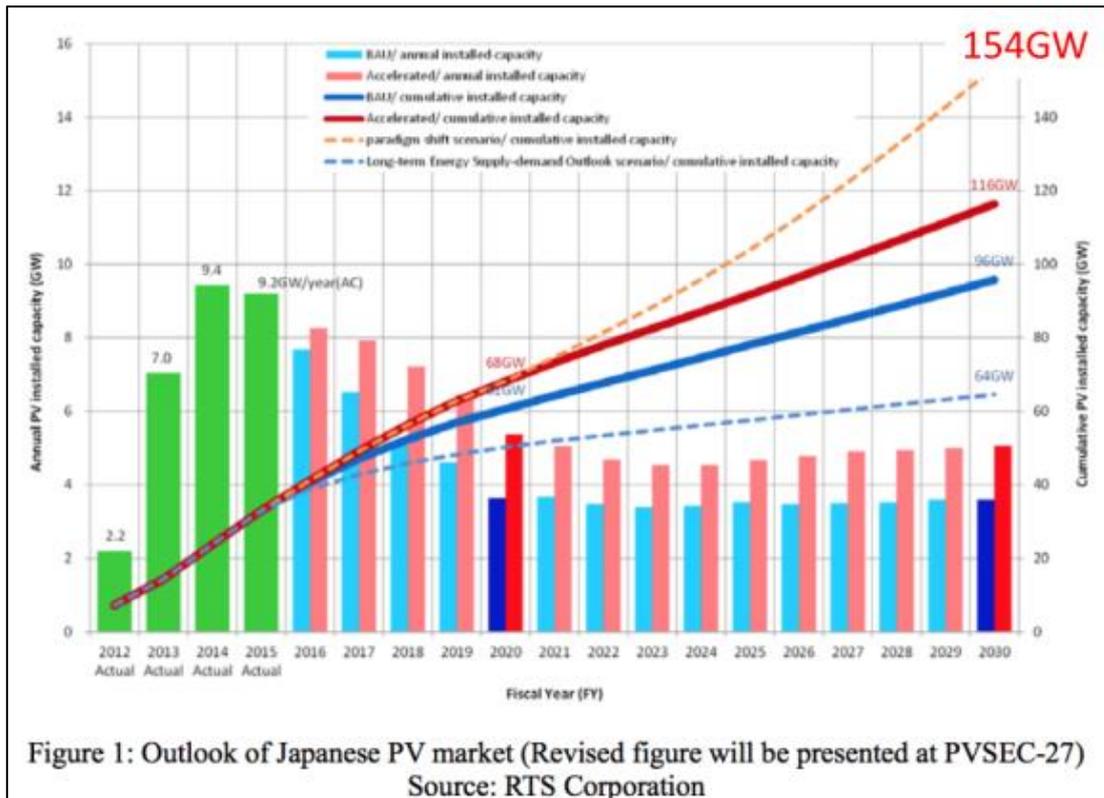
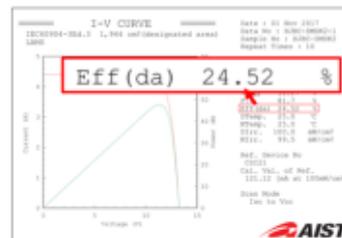


圖 7、預測日本之 PV 市場

Area 1

- World record efficiency for c-Si solar cell of **26.7%** and module of **24.5%** using back contact HJ solar cell was shown in Keynote speech. (KN-1)
- Dr. Yamamoto also stressed that development of low cost fabrication process for HJ-IBC is one of the most crucial issues for industry.
- IMEC introduces Ni/Ag co-plated contacts for high efficiency n-PERT solar cells. (Bifacial, 1MoO1.3)
- Jinko Solar showed the p-type mono-Si PERC cell with an efficiency of 22.78% (1TuPL1)



Record efficiency in c-Si solar cell module by product BIPV module size

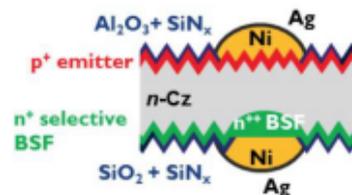


Figure 1: Cross-section of the imec n-PERT bifacial cell with co-plated contacts.

圖 8、結晶矽太陽電池與材料

- Aluminum paste suitable for PERC is developed and LCO (Laser Contact Opening) geometry optimization is investigated by Toyo Aluminum KK. (1MoO2.3)



- Yusuke Hayama (1TuO1.4) : New methodology for visualizing dislocation clusters in multi-crystalline Silicon ingots was introduced, and it could become a very important method used to further improve mc-Si material quality.

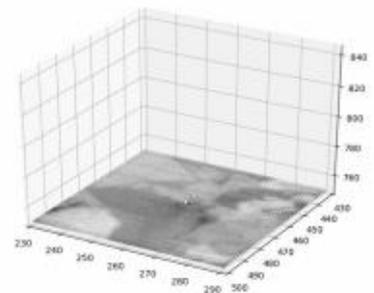
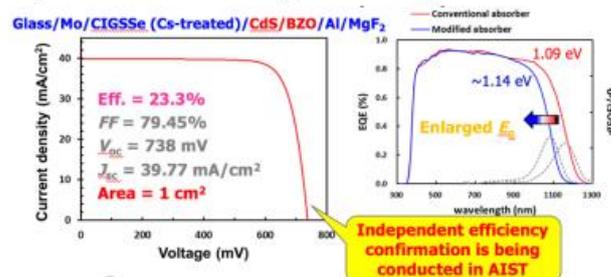


圖 9、結晶矽太陽電池與材料

Area 2

- 23.3% (in-house, under certification) CIGS solar cell by novel Cesium surface treatment and improved absorber was reported by Solar Frontier. (2ThO4.3)



- AVANCIS demonstrated 18% CIGS 30x30 cm² submodule using Cd-free buffer layer. (2TuO4.2)

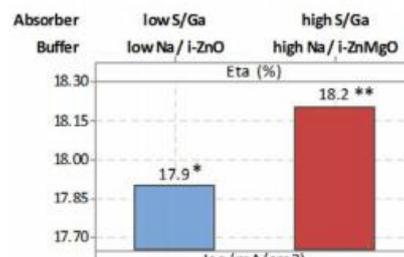


圖 10、薄膜太陽能電池與材料

- A new record efficiency for pure Se kesterite of 11.7% by Na addition + oxygen treatment was presented in 2WeO3.1.

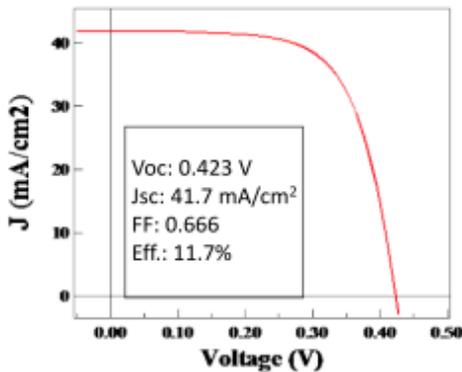


Fig. 1, J - V curve of our best performing CZTSe cell

Table I, comparison of device parameters to IBM reported CZTSe champion cell

	eff (%)	V_{OC} (V)	J_{SC} (mA/cm ²)	FF	n	j_0 (A/cm ²)	R_s (Ω cm ²)	R_{sh} (Ω cm ²)
IBM-CZTSe ^[7]	11.6	0.423	40.6	0.673	1.57	1.38×10^{-6}	0.32	602
AIST-CZTSe	11.7	0.423	41.7	0.666	1.56	1.15×10^{-6}	0.38	1000

圖 11、薄膜太陽能電池與材料

Area 3 (efficiency, III-V and Si tandem, EV)

- 33.3%: III-V + Si Wafer Bonding with topcom, and 2-terminal (3TuPl.2)
III-V nano-wire with 20% coverage was proposed, which reduces 80% III-V material usage (3TuPl.2)
- 33.0%: 4-terminal (III-V 2J + Si) was presented by Sharp. (3TuO5.2)
- 30.9%: 5J full MOVPE, InGaAsN, 30.7%: XTJ-prime (3TuO5.1)
- 20.7%: GaAs HVPE (3TuO5.4)
- Unique concept – low CPV module on board vehicle was demonstrated. (3FrO6.5)

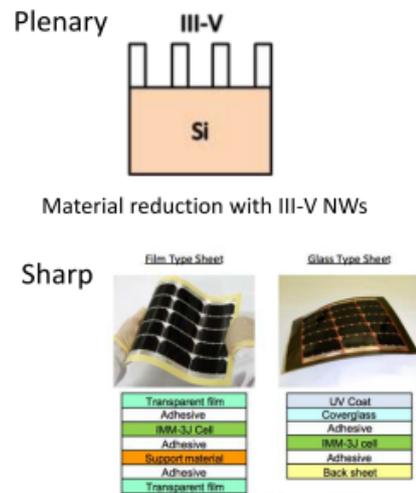


Fig. 1: Two types of space solar sheet

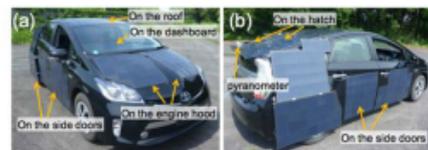


Fig.1 Photo of the test vehicle (Prius PHV).

Fig

圖 12、III-V 族及太空用太陽電池與材料

Area 4

- The steady development of new materials was discussed in 4WeO6.2. In the paper, quite good performance, and device stability depending on the structures and crystallinity of the materials were achieved.
- The solid-state SSCs achieving 10% efficiencies by co-sensitization and excellent p-type CuI filling in TiO₂ electrode method was demonstrated. (4WeO6.1)

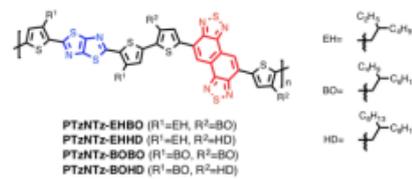


Figure 1 Chemical structure of PTzNTzs.

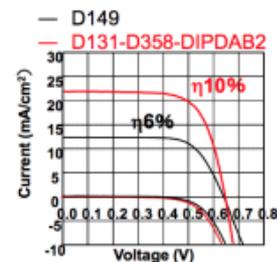


Fig.3 Current-voltage curves of the SDSCs with CuI using a single dye (D149) and multi-dyes (D131+D358+DIPDAB2)

圖 13、有機染料敏化太陽電池與材料

Area 5 (Large-area solar cells and tandem structure)

- Panasonic Group reported Module-scale perovskite cell with area of 203 x 203 mm². THG-YAG laser irradiation after mechanical scribe of cells gives low contact resistance due to Sn diffusion into residual-TiO₂ resulting in a Voc of 38.6V. (5MoO3.2)
- Nankai Univ. group reported two-terminal tandem perovskite-HIT (silicon solar cell over 20%) tandem cell with optimization of fabrication process of each layer and interface. (5MO3.3)

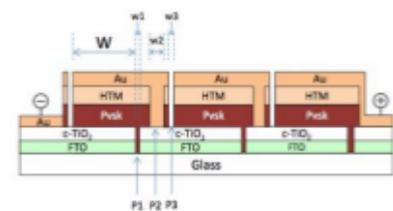


Figure 1: Schematic of perovskite solar module. TiO₂ layer remains between Au and FTO.

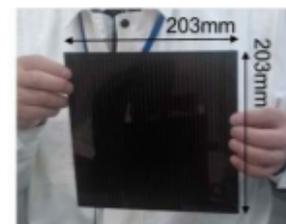
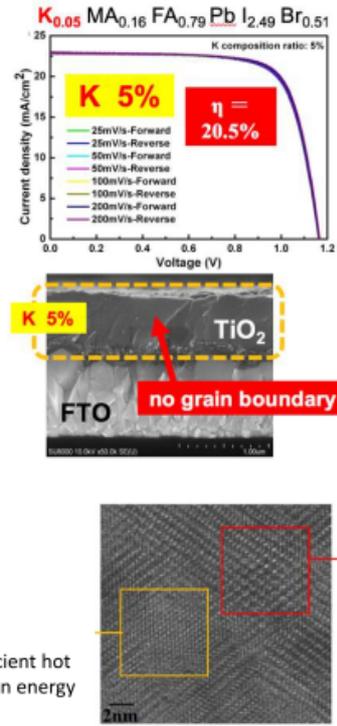


Figure 2: Perovskite module

圖 14、鈣鈦礦太陽電池與材料

Area 5 (New concepts and Basic Science)

- H. Segawa presented a perovskite doping method with cheap/scalable K which significantly reduced hysteresis and improved uniformity of the perovskite layer. (5MoO4.1)
- Using pump-probe techniques, Dr. Sum provided insights on hot carrier perovskite solar cells. (5TuO7.2)
- A new interesting findings were revealed for perovskite solar cells. The paper firstly confirmed the co-existence of crystal phase cubic and tetragonal in the same device at room temperature. (5WeO7.5)

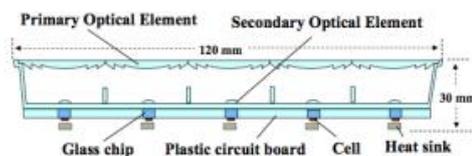


Schematic of highly efficient hot carrier extraction with an energy selective layer Bphen.

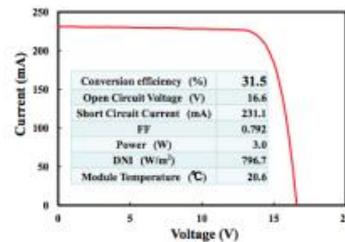
圖 15、鈣鈦礦太陽電池與材料

Area 6

- Panasonic presented all plastic CPV module (PIC) with an efficiency of 31.5%. (6TuO9.1)



(a) Cross sectional image



(b) I-V measurement (outdoors)

- R. Tamaki: good experimental presentation and result was shown. (6ThO5.2)

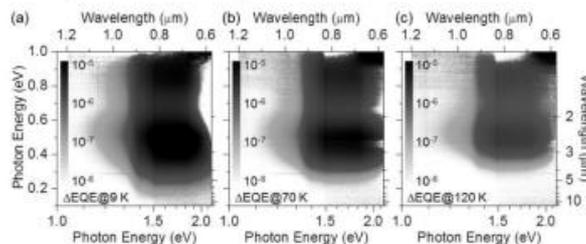
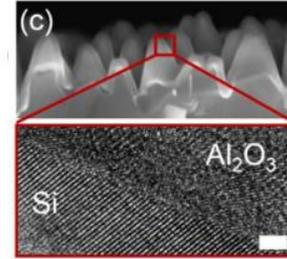


Figure 1: 2D-AEQE maps on a GaSb/GaAs quantum ring solar cell at (a) 9 K, (b) 70 K, and (c) 120 K

圖 16、PV 模組性能與可靠度

Area 8

- Replacement of pyramids with column structure for all-black front surfaces was demonstrated. (8TuO3.5)



- World largest floating PV testbed was introduced. (8TuO3.4)



- New way to remove dust particles was proposed. (8TuO3.6)

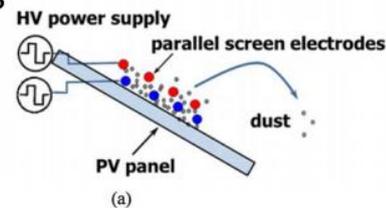


圖 17、PV 系統包含系統平衡與智慧電網

- Automatic failure detection method was developed using only PV output. (8WeO1.5)
- Fujisawa SST concept considering not only energy but also human community was demonstrated. (8WeO1.1)



Figure 1: Overview of Fujisawa SST

圖 18、PV 系統包含系統平衡與智慧電網

2010 USD per Watt DC	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Module	\$2.12	\$1.89	\$0.98	\$0.59	\$0.60	\$0.59	\$0.57	\$0.31
Inverter	\$0.24	\$0.28	\$0.24	\$0.16	\$0.11	\$0.10	\$0.10	\$0.05
Hardware BOS - Structural and Electrical Components	\$0.66	\$0.58	\$0.50	\$0.43	\$0.37	\$0.34	\$0.22	\$0.22
Soft Costs - Install Labor	\$0.54	\$0.48	\$0.45	\$0.44	\$0.21	\$0.18	\$0.14	\$0.12
Soft Costs - Others (PII, Land Acquisition, Sales Tax, Overhead, and Net Profit)	\$1.22	\$0.81	\$0.59	\$0.48	\$0.59	\$0.52	\$0.31	\$0.27
Total	\$4.78	\$4.03	\$2.77	\$2.10	\$1.88	\$1.73	\$1.35	\$0.97
Total Inverter Replacement Price (\$/W)	\$0.17	\$0.15	\$0.14	\$0.12	\$0.11	\$0.09	\$0.07	\$0.05
O&M Expenses (\$/kW-yr)	\$20	\$19	\$19	\$18	\$17	\$17	\$17	\$17
LCOE Phoenix, AZ, no ITC	\$0.19	\$0.16	\$0.11	\$0.08	\$0.07	\$0.06	\$0.05	\$0.04
LCOE Kansas City, MO, no ITC	\$0.24	\$0.20	\$0.14	\$0.10	\$0.09	\$0.08	\$0.06	\$0.05
LCOE New York, NY, no ITC	\$0.26	\$0.22	\$0.15	\$0.12	\$0.10	\$0.09	\$0.07	\$0.06
LCOE Phoenix, AZ, ITC	\$0.12	\$0.10	\$0.07	\$0.05	\$0.05	\$0.04	\$0.03	\$0.03
LCOE Kansas City, MO, ITC	\$0.15	\$0.12	\$0.09	\$0.07	\$0.06	\$0.05	\$0.04	\$0.03
LCOE New York, NY, ITC	\$0.17	\$0.14	\$0.10	\$0.08	\$0.07	\$0.06	\$0.05	\$0.04

圖 19、PV 模組之均化發電成本

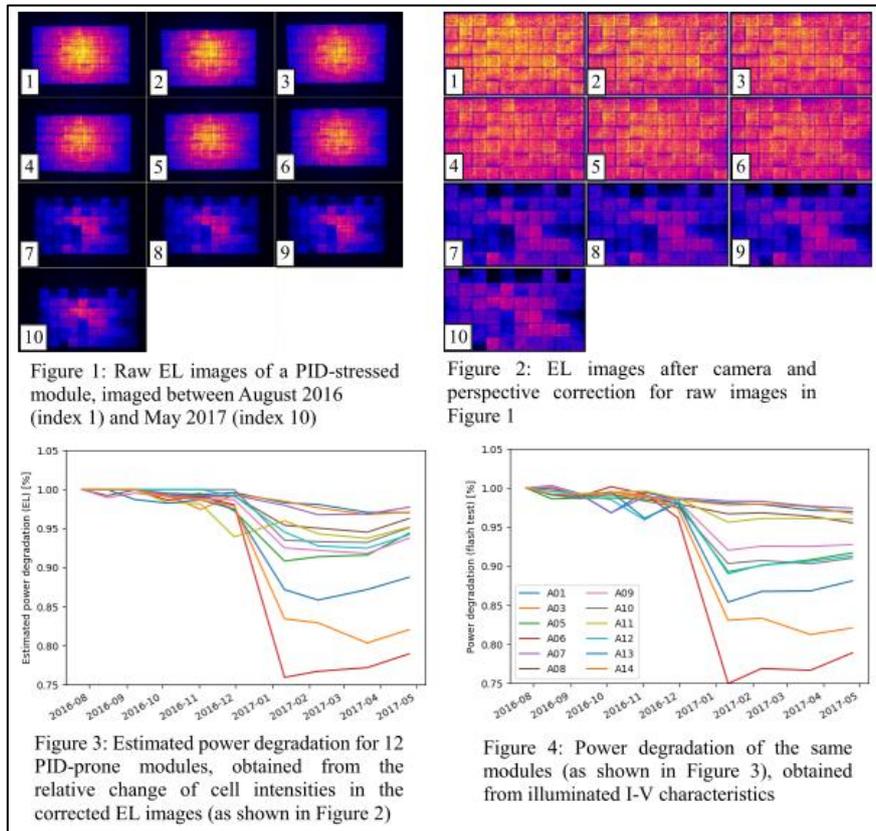


圖 20、以 EL 量測之結果預測 PV 模組的效率衰退

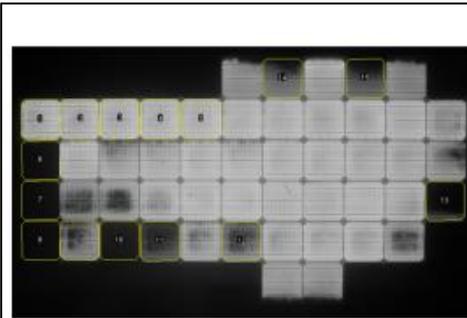


Figure 1: EL image of mono-Si PV module

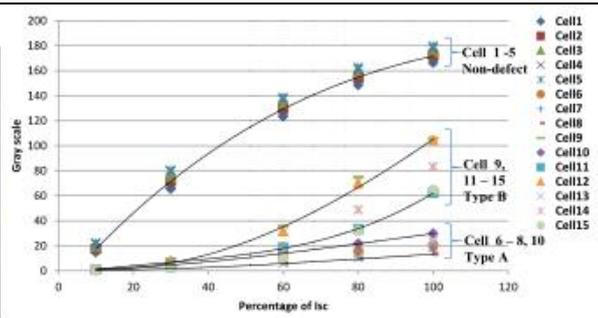


Figure 2: Relation between gray scale and applied current as a percentage of short-circuit current (I_{sc}) of 15 defective cells in the module.

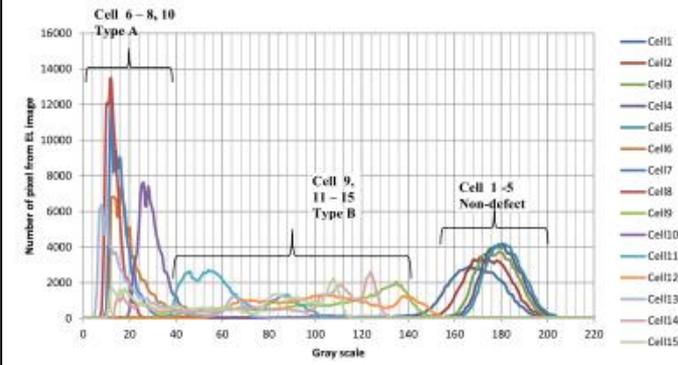


Figure 3: Histogram of gray scale of different defective and non-defect cells.

圖 21、利用影像辨識搭配 EL 量測結果檢測 PV 模組

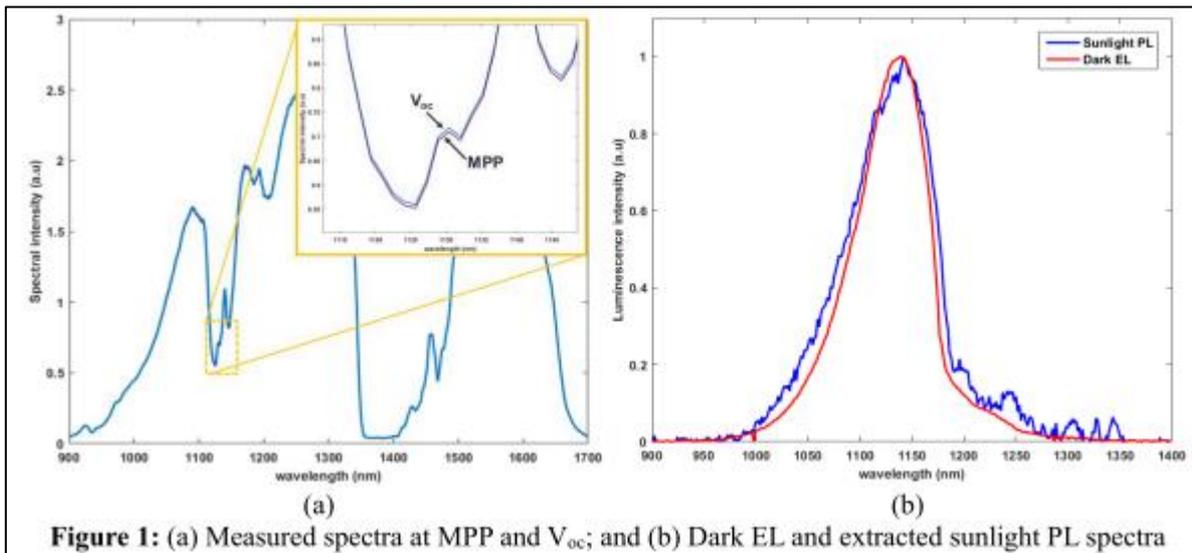


Figure 1: (a) Measured spectra at MPP and V_{oc} ; and (b) Dark EL and extracted sunlight PL spectra

圖 22、非接觸式 PL 戶外量測與 EL 量測結果比較



圖 23、日本 NPC 集團開發分解模組的方法



圖 24、Sumi tomo 在橫濱架設的聚光型發電及儲能系統



圖 25、Sumitomo 在摩洛哥建置的 1MW 聚光型系統

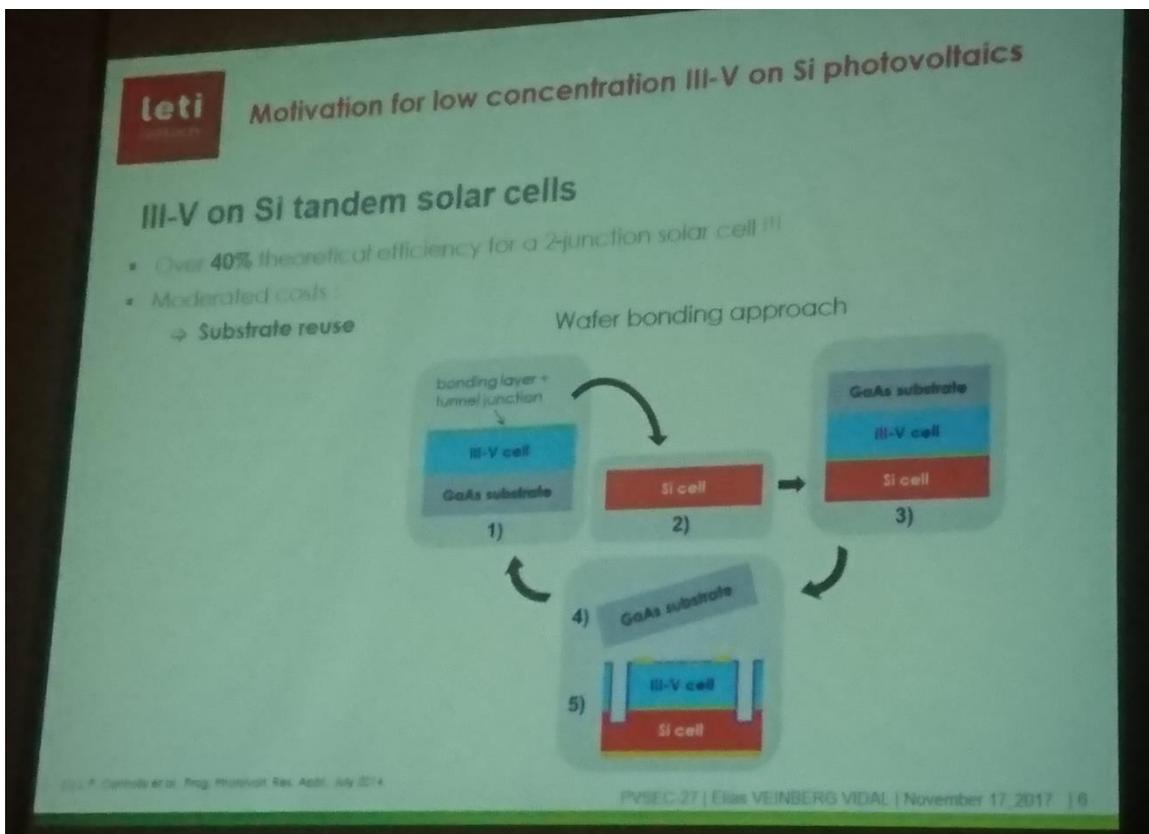


圖 26、可重複使用基板的磊晶方法

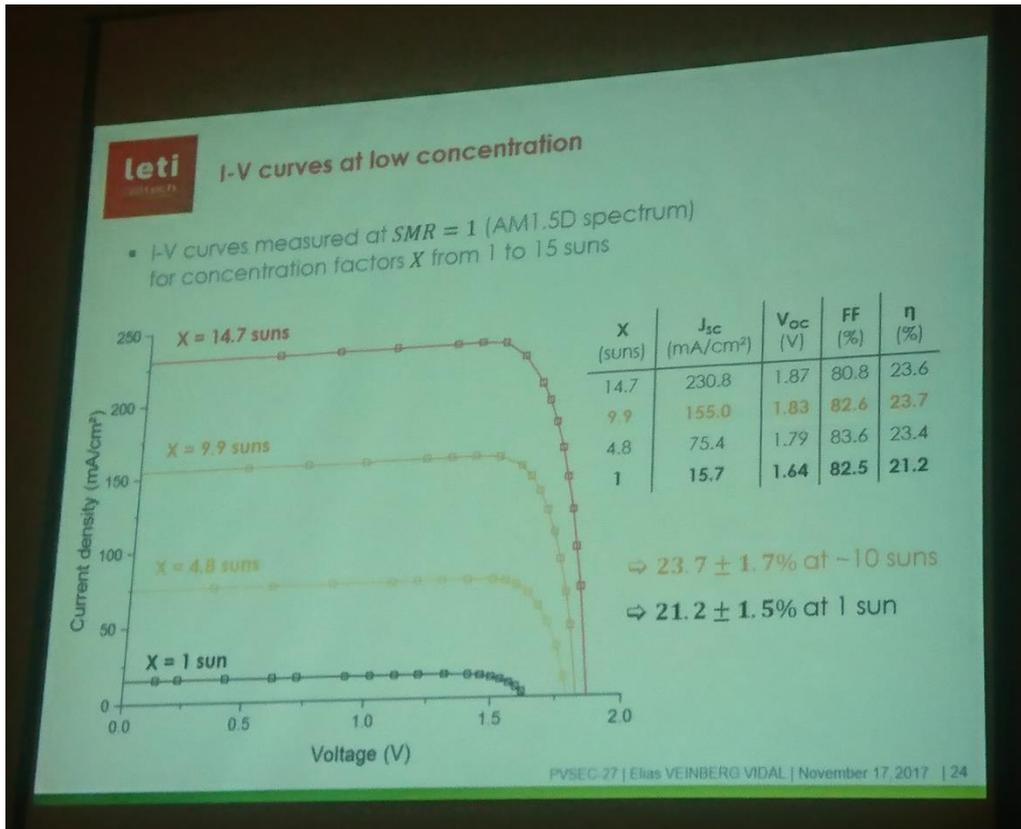


圖 27、以 SMR 值為 1 的情況下量測 1 至 15 倍太陽光強度的 IV 特性

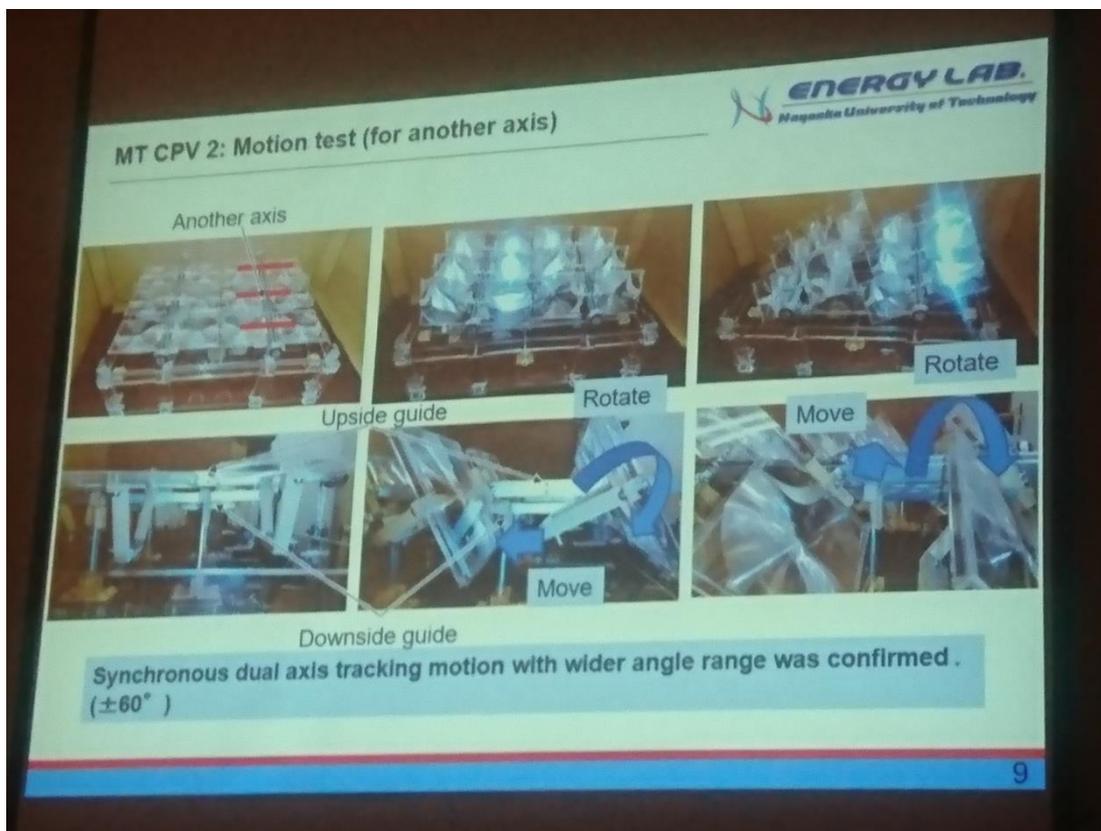


圖 28、輕量化的雙軸追日架

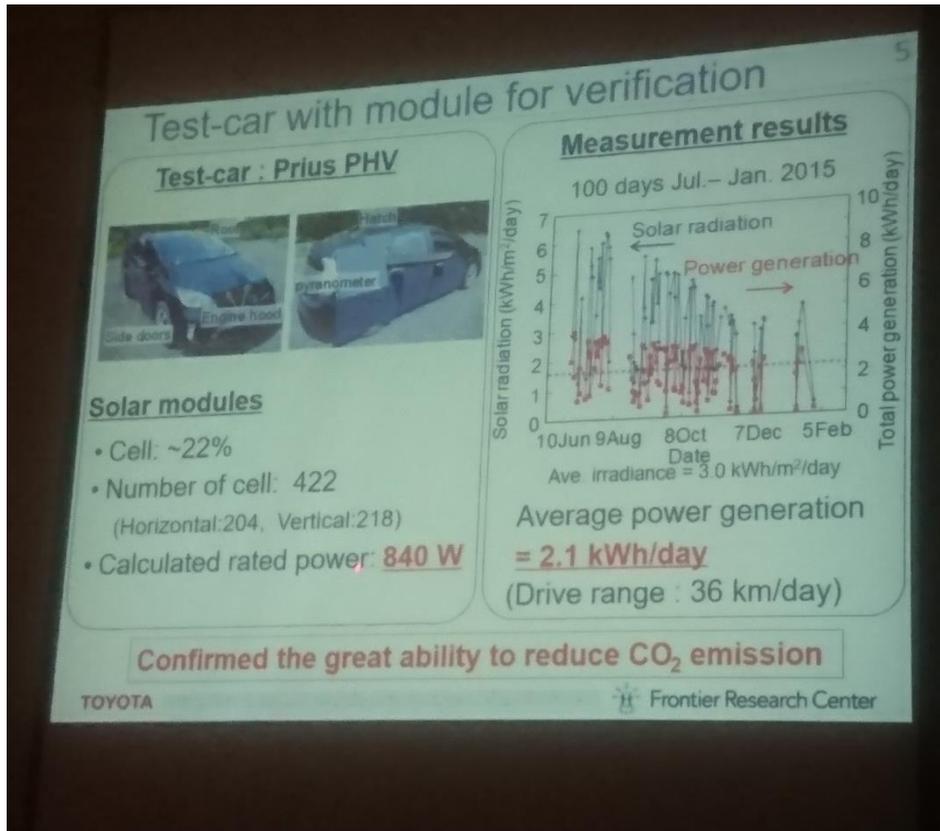


圖 29、Toyota 公司實際量測之數據

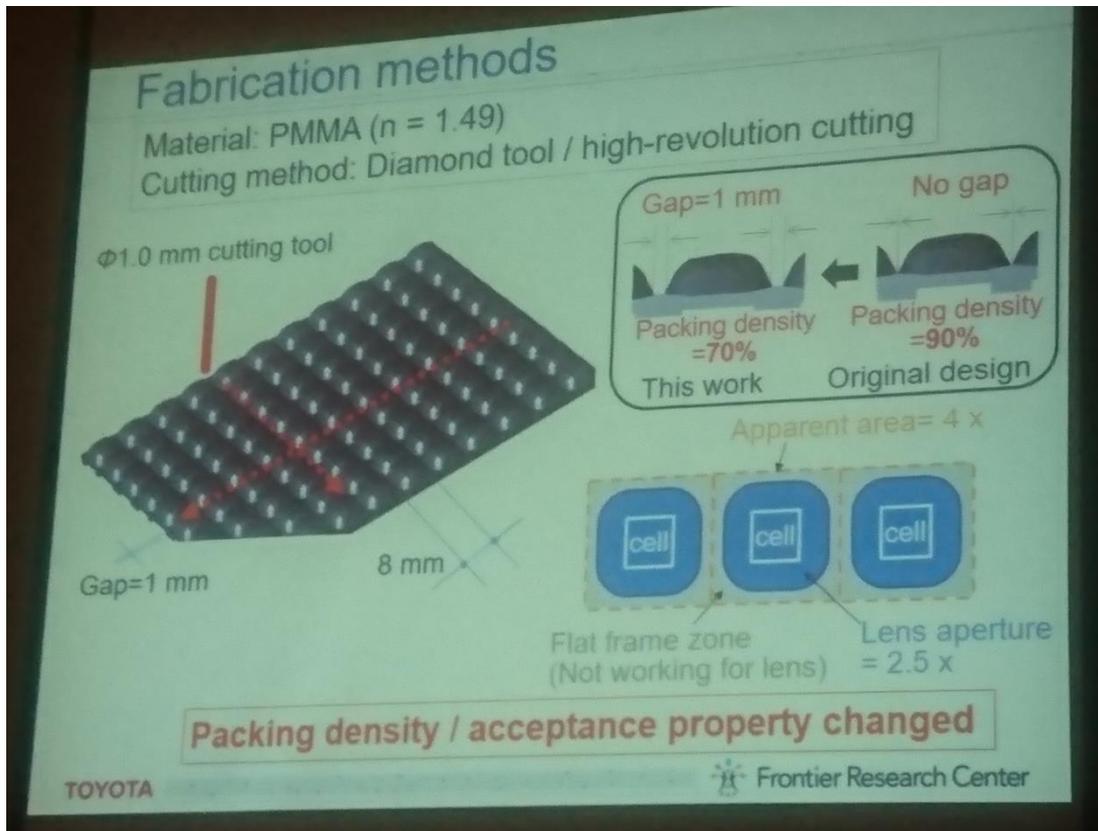


圖 30、低倍率聚光一次光學透鏡