

太陽光電板回收機制探討

一、引言

太陽光電板正常運作下，壽命可長達 20 年以上，而我國太陽光電累積裝置量在 2010 年開始明顯增加，雖 2030 年過後才會開始明顯出現廢棄太陽光電板，但世界各國如歐盟、美國、日本已開始制定相關回收對策，我國目前也在積極規劃相關措施。因應我國近年隨著太陽光電裝置量快速提升，應及早建立符合我國國情的回收機制，為避免讓未來數量龐大的太陽光電板廢棄物造成環境問題，甚至能回收再利用，提升附加價值。

本文針對未來欲報廢之太陽光電板的回收機制構面加以評量，參考國外太陽光電板的回收經驗和機制措施，以作為我國發展有效、適宜的策略方案。

二、各國太陽光電板回收機制探討

(一) 德國採強制回收且獨立的回收模式

在歐盟 2003 年發布的廢棄電器電子設備指令(WEEE)之下，要求生產者負擔廢棄電器電子產品的回收責任，並且於 2012 公布新版 WEEE 指令，新增太陽光電板納入回收管制。由於歐盟法律體系中，指令之性質係對於應達成的目標具有拘束力，會員國必須轉換成各國家之法律才能執行，德國於 2015 年正式轉換新版 WEEE 指令，在德國《電子電氣設備法》將太陽光電板正式納入強制回收，並且要求模組生產者、經銷商、進口商必須負起回收的責任和費用。

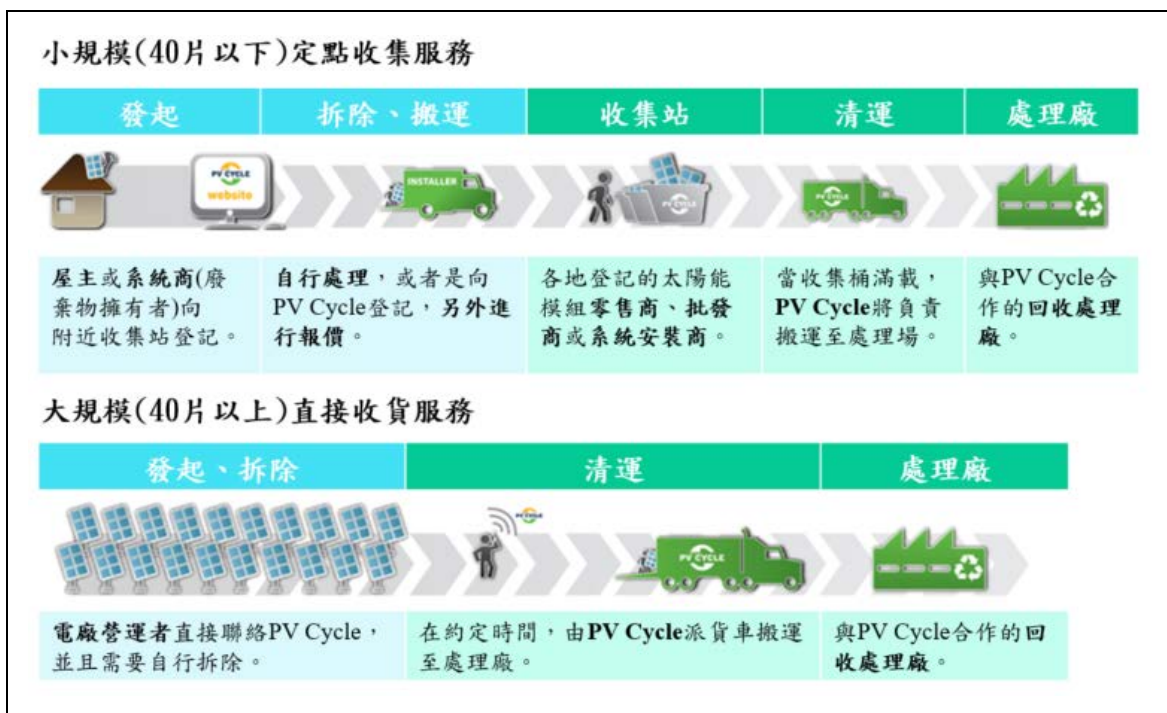
德國聯邦環境署於 2005 年成立了電子設備註冊基金會(EAR)，欲通過系統協調電子廢棄物的流向、分配生產商的責任份額並監控回收情況。相關電子設備的生產者、經銷商、進口商欲進入到德國市場必須要先在 EAR 註冊。EAR 為德國聯邦環境署所成立的第三方機構，定期要向該主管機關報備，負責串聯生產者和回收組織或業者，以及收取回收費用和支出。生產者必須按月在 EAR 平台之上登記銷售狀況及年度銷售狀況，統

一由 EAR 進行監督與回報主管機關。

然而在太陽光電板產品部分，德國 EAR 將串聯歐盟 PV Cycle 在德國分部組織，該回收組織將負責廢棄太陽光電板回收到處理完畢流程。PV Cycle 分為以下的大規模直接收貨服務與小規模定點收集站兩種模式：

(1)小規模(40 片以下)定點收集站服務：主要針對住宅屋頂等一般民眾用戶提供的服務，若須回收之模組少於 40 片，用戶必須自行負責送到最近的回收站的收集箱內。

(2)大規模(40 片以上)直接收貨服務：主要針對工商型、地面型等用戶提供的服務，若須回收之模組達 40 片以上，用戶可聯絡 PV CYCLE 安排專車至現場清運。



資料來源: PV CYCLE(2015)、工研院 IEK Consulting 整理(2018/12)

圖 1 PV CYCLE 回收方式

PV CYCLE 並不會主動協助前端的拆除工作，這部分若有需求則屬於另外付費的解決方案，後段的收集、清運、處理才屬於 PV CYCLE 的服務內容。小規模定點收集站主要為各地登記的太陽光電模組零售商、批發商或系統安裝商與 PV CYCLE 進行合作。

PV CYLCE 收取了待回收模組，再將這些模組清運至特約的模組回

收處理公司(歐盟各國都有特約廠商)，進行模組後續的拆解回收。處理程序是先以人工將鋁框、接線盒、電線拆除，再將玻璃以機器碎裂至 3mm 粒徑，接著由磁選及渦電流分選系統分離鐵金屬和非鐵金屬，再由排氣系統分析 EVA 和 PVB，最後再以光學分選系統去除不透光的物質。經由上述過程，廢棄模組轉化為玻璃、金屬、塑料，視純度再做使用，但目前的情況通常是降階再利用。

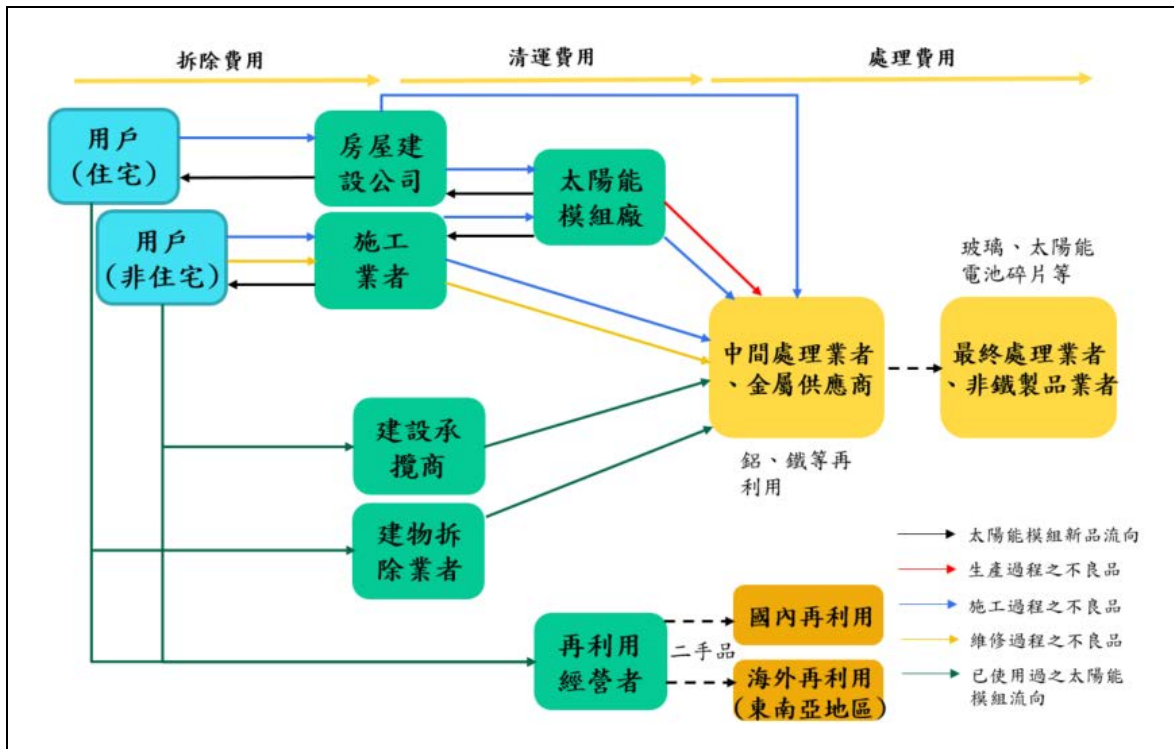
(二) 日本目前採既有的廢棄物回收流程

自 2012 年日本開始實施再生能源躉購制度(FIT)之後，太陽光電裝置量快速提升，因此日本環境省開始重視太陽光電板回收議題，從 2014 年開始著手太陽光電板相關回收調查，並且與 NEDO 進行合作開發低成本拆除、回收及處理等相關調查和研究。

日本雖然目前按照既有的廢棄物回收機制執行，但是從日本環境省制定的相關對策來看，日本在推動回收機制的過程同步也在持續考量強制回收的必要性，觀察目前自主回收的狀況以及歐洲發展動向。另一方面，日本環境省也在持續調查住宅用戶、相關業者負擔回收處理費用的適當成本，也可以此作為未來計算回收費用的估計數據。

在日本《廢棄物處理法》之下，太陽光電系統的拆除工作屬於第 21-3 條第一款中的「與土木工程建設有關的建設」，該法規認定從事建物拆除工程者視為排放廢棄物者，由於該產品特性為安裝與拆除都需要專業人士執行，因此將廢棄太陽光電板歸類為產業廢棄物，在此規範下能夠統一以產業廢棄物管理。

根據日本《廢棄物處理法》的規定，產業廢棄物處理必須由排放者負責，此類角色多為事業單位或者是建物拆除業者。廢棄物排放者應按照規則，交由擁有處理產業廢棄物資格的處理者進行處理。日本政府對於產業廢棄物制定了傳票制度，嚴格監督產業廢棄物的流向，排放者必須確認廢棄太陽光電板都有妥善處理完畢，否則後續若是有不當處理狀況，排放業者仍會受到連帶處罰。



資料來源：日本環境省(2016)、工研院 IEK Consulting 整理(2018/12)

圖 2 日本廢棄太陽光電板回收流程

日本的回收方式以主要案場做區別，如果是住宅型太陽光電系統，就交由房屋建設公司或是系統商擔任面對民眾的第一道回收起點，若非住宅場域，就由系統商或專門摘除的業者擔任第一道回收起點。

在日本廢棄太陽光電板回收後，部分可再次銷售作為二手商品，銷售至東南亞地區，或是作為國內再利用，少部分進入模組製程中，例如晶圓，大部分重新成為原料，例如玻璃片、鋁製品等。目前在日本大部分的廢棄太陽光電板來自太陽能模組製造廠，但如同我國狀況廢棄量仍相對較少。

日本現有的處理廠主要還是拆解和破碎掩埋為主，然而日本環境省自 2016 年陸續公布相關處理技術能量，也有部分示範處理廠可以進行回收處理，尚能應付目前的少量廢棄量。

(三) 美國尚未有明確回收機制，採個別廠商執行

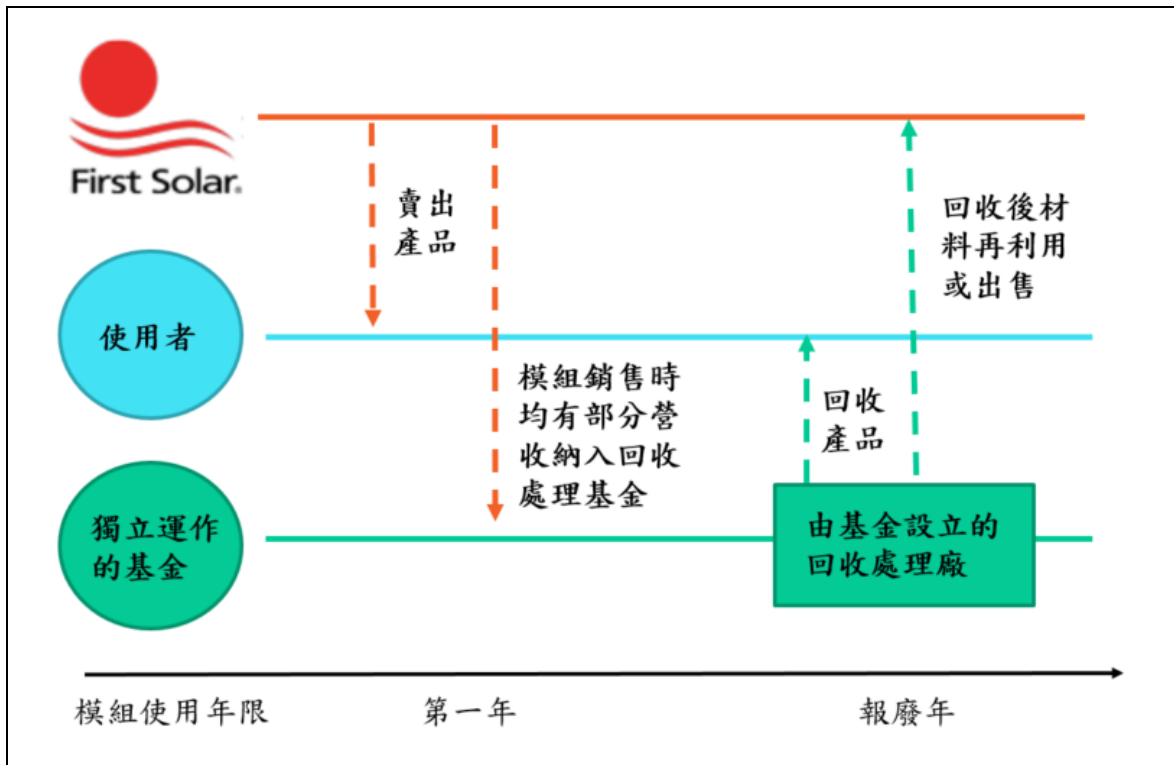
美國太陽能產業協會(SEIA) 於 2012 年促成太陽能產業環境與社會責任協議，其中廢棄太陽光電板回收為重要議題，由環境健康與安全委員會成立之回收專案小組負責，當時重要的美國太陽能一線廠商均參與。

美國太陽能產業協會(SEIA)認同歐洲太陽光電板回收平台經驗及效益，並且於 2013 年開始催生回收法案，但是在 2014 年回收法案被參議院退回，由於相關內容與美國現行資源回收保護(RCRA)法案有所重疊。因此美國目前廢棄太陽光電板是由聯邦資源回收保護法(RCRA)以及個別州政府的廢棄物管理辦法執行，美國太陽能產業協會(SEIA)目前角色為居中串聯產業與政府管制要求。

SEIA 目前正推動美國太陽光電板回收示範計畫，藉由美國太陽能產業協會本身內部成員開始推廣，整合回收業者以及太陽能模組製造商，美國太陽能產業協會希望先讓有回收需求的業者或大眾可以很容易地找到相對具有成本效益和有利於環境的解決方案。目前與 SEIA 合作的回收廠商包括 First Solar、Dynamic、Green Century Recycling、Cleanlites Recycling。回收廠的收費方式則會因不同廠商有所差異，以下就 First Solar 的回收機制案例進行探討。

美國 First Solar 公司為全球領先的碲化鎘(CdTe)薄膜太陽能模組製造公司。由於碲化鎘太陽能模組含有少量對人體有害的重金屬物質「鎘」，該產品的廢棄物回收顯得更加重要，First Solar 為此發展出一套完整的產品回收機制，以及回收基金運作方式。如圖三所示，這套回收基金運作方式是當 First Solar 每賣出一組產品，就從該產品的銷售收入中劃撥一定比例作為回收基金。這個回收基金專門只作為回收的特定目的，因此將委託獨立的第三方機構管理。藉由第三方基金所運作的專門回收處理廠會負責將產品回收，並且負擔回收處理和循環再利用過程成本費用。

由於此基金是藉由第三方獨立運作，因此不會受到 First Solar 公司營運狀況影響，以此才可以保證所有販售出去的太陽光電模組都可以受到回收且妥善處理的保障。並且這個第三方基金所運作的回收處理廠將太陽光電模組回收處理後，還可以把回收回來的部分材料再販售回 First Solar 公司，進行循環再利用。



資料來源: First Solar、工研院 IEK Consulting 整理(2018/12)

圖 3 First Solar 回收基金運作

First Solar 的客戶大多為工程開發商、系統整合商、太陽能發電系統業者等，因此客戶本身具備安裝設計與拆除之專業技術，所以當太陽光電板壽命終結或是損壞時，First Solar 會提供相關指示以及包裝材料，太陽光電板擁有者必須自行拆除並且包裝。

拆除與包裝完成之後，才是由 First Solar 負責進行收集和運送至處理廠，從收集和運送端開始，太陽光電板使用者不用額外負擔回收相關費用。

目前 First Solar 的回收處理廠座落於 First Solar 的全球三座製造廠，分別是在越南的胡志明市、馬來西亞的居林市以及美國的俄亥俄州佩里斯堡市。根據 First Solar 提供的數據，其中的 95% 半導體材料碲跟鎘可以被還原，可以再販售回 First Solar 作為循環再利用製造新太陽光電模組原料，由於玻璃原料佔薄膜太陽光電模組比重約 90%，這些玻璃原料則是會回收再利用製作其他玻璃製品等用途。

三、結語

若是採取德國強制回收且獨立的回收模式，優點在於每一片太陽光電板回收成本均由生產者負擔，能夠大幅降低隨意丟棄的可能性，但是缺點在於生產成本提高後將會反映在產品價格，以及獨立運作的回收組織需要額外的營運成本。因此關鍵議題在強制回收的必要性以及獨立的回收基金和組織運作方式。

採取日本既有的廢棄物回收流程，優點在於民眾和業者遵循的標準一致並且政府不需要額外負擔回收過程的營運成本，但是缺點在於若回收處理成本無法負擔回收效益，處理廠進行妥善回收的意願低。因此關鍵議題在預防隨意丟棄和處理的可能，並且要確保未來能夠負擔回收成本。

再者如 First Solar 這家模組製造廠自行建立回收機制，由於該公司產品特性較特殊，所以發展出回收機制讓客戶能夠放心採用該公司產品。對於廠商而言，投入回收機制以及回收技術仍需要一定的資金，除非回收產品能夠對公司整體效益提升或有利可圖才會主動執行。