

行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書
出國報告（出國類別：會議）

美國芝加哥

材料回收設施營運論壇暨

紙類與塑膠回收會議

**(Materials Recovery Facility Operations Forum,
MRF Operations Forum & Paper and Plastics
Recycling Conference, PPRC)**

服務機關：環境部資源循環署

姓名職稱：連高級環境技術師奕偉

派赴國家：美國

出國期間：中華民國 112 年 10 月 8 日至 10 月 14 日

報告日期：中華民國 113 年 1 月

摘要

為瞭解我國與美國之資源回收體系、回收管道、回收分類處理技術、再生料高值化技術及管理制度（含法規命令）等方面差異，檢視是否可作為我國學習參考，參加在美國芝加哥舉行的「材料回收設施營運論壇（Material Resource Facility Operations Forum, MRF Operations Forum）」及「紙和塑膠回收會議（Paper and Plastic Recycling Conference, PPRC）」；另配合大會行程參觀「湖岸回收系統公司（Lakeshore Recycling Systems, LRS）」。

LRS 公司收受來自家戶混合型資收物，於廠區進行回收、分選，產出單一回收物料再於市場上販售，與我國之細分類廠相似。LRS 產出回收物料包含：紙類、紙箱、PET、HDPE、PP，整廠以自動化設備為主，分選作業涵蓋 7 個階段，包含螺旋篩、磁選、光學分選等多項單元，再由人工在流程末端篩選，至於機械手臂因考量效率與品質並未導入。LRS 配置 Fire Rover 公司消防系統，兼具監測、撲滅、保護三重功能。

MRF Operations Forum 及 PPRC 兩場大型會議均為商業導向，主要是針對現階段美國 MRF 業者面臨的挑戰、引進先進處理線及設備，以及發展再生料市場的機遇等方面，由業者與研究機構現身說法，等於整體美國資源回收體系縮影。MRF Forum 上各家業者對於中國自 2017 年起實施利劍政策（禁廢令）後，面對全美家戶產出的廢棄物劇增，紛紛改進原有處理設備，強化分選效率，嘗試增加自動化處理設施，如機械設備及 AI 人工設備等，以利分選後的回收物料能於市場上有好價格，但其搭配的雲端管理系統對 MRF 業者而言，也有擔憂資料可能會成為競爭者竊取目標之一。另一方面，自民眾端所回收的資收物，雜質率介於 15%~25%，平均約 14%，且各地方政府對可回收資收物種類定義都不同，造成民眾認知混亂，亟需各州政府甚至是全美採取一致認定方式。

PPRC 會議上，廢棄物處理工業機構（ISRI）分享全球塑膠公約談判進度與觀察心得，呼籲應建立及運作延伸生產者責任制度，包含鼓勵提高「可」回收性、促進更高的回收率、加強對塑膠以及塑膠製品全生命週期（及國際供應鏈）中生產者及進口商之產品安全及無害化的管理責任，諸如此類之源頭管制措施等。此外，化學回收法（涵蓋熱裂解及化學處理）雖然可解決難回收處理的平板塑膠、雜塑膠及塑膠綁繩等，但製程所消耗能源較比物理/機械方式高仍待克服。

另一個 PPRC 會議上關注的物料則是廢紙，全球廢紙分類中有將近 61% 來自家戶產出，另有 31% 需經二次分選過獲得，估計在美國有將近 2,300 萬廢紙被送至掩埋場，對於資源消耗及廢棄物處理皆為負面影響。目前美國回收的廢紙以運至東南亞及台灣居多，但要求資收物的品質不同，需要雇用更多人力，增加分選效率以控制成本。綜上，國際市場需求成長、廢紙類無法有效回收再利用、市場供需波動風險等三項，為當前美國廢紙回收再生產業所面臨的問題。

會議亦安排了延伸生產者（EPR）及回收項目標準化等議題，相較各州 EPR 政策對回收材料的需求及供應所產生的影響，及其影響回收及清運方式所產生的利益及弊端，臺灣的 EPR 制度完善程度與及公告列管項目的統一及完整性，與其國各州差距甚大。業者也強調回收品項的標準性及統一性，尤其呈現於商品外部識別或包裝，有助於增加民眾的產品回收意識，及有利於形成規模經濟。

目錄

壹、前言與目的	8
貳、考察行程	9
參、考察重點與內容紀要	10
一、湖岸回收系統公司 (Lakeshore Recycling Systems, LRS)	10
二、材料回收設施營運論壇 (MRF Operations Forum)	12
三、紙類與塑膠回收會議 (Paper and Plastic Recycling Conference)	15
四、設備展 (Exhibition)	22
肆、心得與建議	27

表目錄

表 1. 美國芝加哥考察行程表.....	9
表 2. 三間系統廠比較情形.....	23

圖目錄

圖 1 芝加哥郊區湖岸回收系統公司	10
圖 2 LRS 回收系統公司處理流程.....	11
圖 3 產出資收物料打包情形.....	11
圖 4 Fire Rover 消防系統.....	12
圖 5 Penn Waste 火災現場.....	13
圖 6 設備商提供之現代化 MRF 設計	14
圖 7 挪威設備商 TOMRA 結合廠區設備及雲端資料分析處理.....	15
圖 8 2021 年美國消費後塑膠廢棄量.....	16
圖 9 廢塑膠各項回收處理方式.....	17
圖 10 廢塑膠中難回收處理類型.....	17
圖 11 2023 年 1 月至 9 月間 HDPE 收益情形.....	18
圖 12 全球廢紙類統計情形	19
圖 13 回收品項於美國各州列管情形	20
圖 14 美國延伸生產者責任制落實現況	21
圖 15 聚丙烯回收聯盟計畫績效.....	22
圖 16 風選設備	24
圖 17 In-flight 分選設備.....	24
圖 18 NIR 分選設備	24
圖 19 RGB 彩色掃描照相分選技術.....	24
圖 20 Everestlab 於展場展示自動分揀機	25
圖 21 Green Machine 自動分揀機	26

壹、前言與目的

為加強資源有效利用，減少廢棄物產生，改制前環保署於 1998 年成立「資源回收管理基金」，推動全員參與回饋式資源回收四合一計畫，利用社區民眾、地方清潔隊、回收商及回收基金四個重要環節緊密合作，推動資源回收工作，多年來這項體制已成功帶領我國資源回收體系大幅成長，資源回收率已達 58%以上，也獲得外媒極高評價。近年來因為中國禁廢令的外溢效果，導致先進國家正視自己所產生的廢棄物，無法順利再送往其他國家，需自行建立起國內資源回收系統，尤其資源回收工作也證實具減碳效果，世界各國無不積極投入相關資源與技術，希望迅速建立起國內自有循環經濟模式。

而美國挾著技術與資源優勢，目前其國內系統運作情形如何，是否有優點供我國學習，故為瞭解我國與美國之資源回收體系、回收管道、回收分類處理技術、再生料高值化技術及管理制度（含法規命令）等方面差異，規劃參加於美國芝加哥舉行的「材料回收設施營運論壇（Material Resource Facility Operations Forum, MRF Forum）」及「紙和塑膠回收會議（Paper and Plastic Recycling Conference, PPRC）」；另配合大會行程參觀「湖岸回收系統公司（Lakeshore Recycling Systems, LRS）」。本計畫希望藉由參與論壇及參訪資收物再利用機構，取得污染防制（治）技術與再利用方式等資料，彙整與參訪主題內容相關之制度管理及成果，以協助精進我國未來在廢塑膠回收管理上及處理技術，並利後續探討國內相關法令及政策對廢塑膠回收清除處理之影響。據會前瞭解，此次 MRF Forum 及 PPRC 兩場大型會議均為商業導向，相較於過去學術或相關研討會等研究導向會議，MRF Forum 及 PPRC 更多是針對現階段美國 MRF 業者面臨的挑戰、引進先進處理線及設備，以及發展再生料市場的機遇等。

貳、考察行程

表 1. 美國芝加哥考察行程表

日期	行程
第一天 10月8日(日)	桃園機場搭機至美國芝加哥歐海爾國際機場，再搭車至飯店，芝加哥過夜。
第二天 10月9日(一)	湖岸回收系統公司 (Lakeshore Recycling Systems, LRS) 參觀
第三天 10月10日 (二)	材料回收設施營運論壇 (MRF Operations Forum)
第四天 10月11日 (三)	紙和塑膠回收會議 (Paper and Plastic Recycling Conference)
第五天 10月12日 (四)	紙和塑膠回收會議 (Paper and Plastic Recycling Conference)
第六天 10月13日 (五)	返程，搭機飛返臺灣
第七天 10月14日 (五)	返程，搭機飛返臺灣

參、考察重點與內容紀要

一、湖岸回收系統公司（Lakeshore Recycling Systems, LRS）

湖岸回收系統公司（LRS）主要收受來自五大湖區鄉鎮市所產出的家戶混合型資收物。LRS 自家戶收取資收物後，於廠區進行回收、分選，產出單一回收物料再於市場上販售。此類型回收公司在美國稱為 Material Recover Facility（MRF，物料回收設施，相當於我國之回收業）。依據 MRF 收受之資收物及產出之回收物料類別，與我國之細分類廠相似。

LRS 最終產出的回收物料包含：紙類、紙箱、PET、HDPE、PP；然而因其收取的資收物混雜性高（美國資收系統於資收物收取時無依材質進行分類），分選作業需涵蓋 7 個階段，才得以分出可銷售之回收物料。湖岸回收系統公司於美國有近 80 個 MRFs，於芝加哥本地有 5 個設施，此次參訪的廠區位於芝加哥郊區，如圖 1 所示。



圖 1 芝加哥郊區湖岸回收系統公司

由家戶收集回來的混合資收物會送入廠內，先以螺旋篩分選出紙板紙箱及其他塑膠製品，後續經過紙類光學、磁選、塑膠光學分選、渦電流共計 7 道處理程序（如圖 2 所示），得出單一回收物料（如圖 3 所示）後，方可於市場上販售，回收物料區分

PET、HDPE-原色、HDPE-有色、紙箱、雜紙、鐵罐、鋁罐等，另篩下物比率約 20% 左右。若販售客戶對於資收物如紙磚、瓶磚的雜質率有疑慮，該廠會另外進行再次分選。另，LRS 針對黑色塑膠之分選部分，將於明年引進「vivid Air 設備」，該設備可與 AI 偵測器結合，再配合同一設備商之 MSS 空氣噴射系統，可提高揀選速率 10 倍，並提升吞吐量及分選作業之效率；同時，同一輸送帶上無需如傳統揀選設備安裝多支機械手臂，以減少出錯率。整廠以自動化設備為主，再由人工在流程末端篩選，以兼顧分選速度與保障品質。

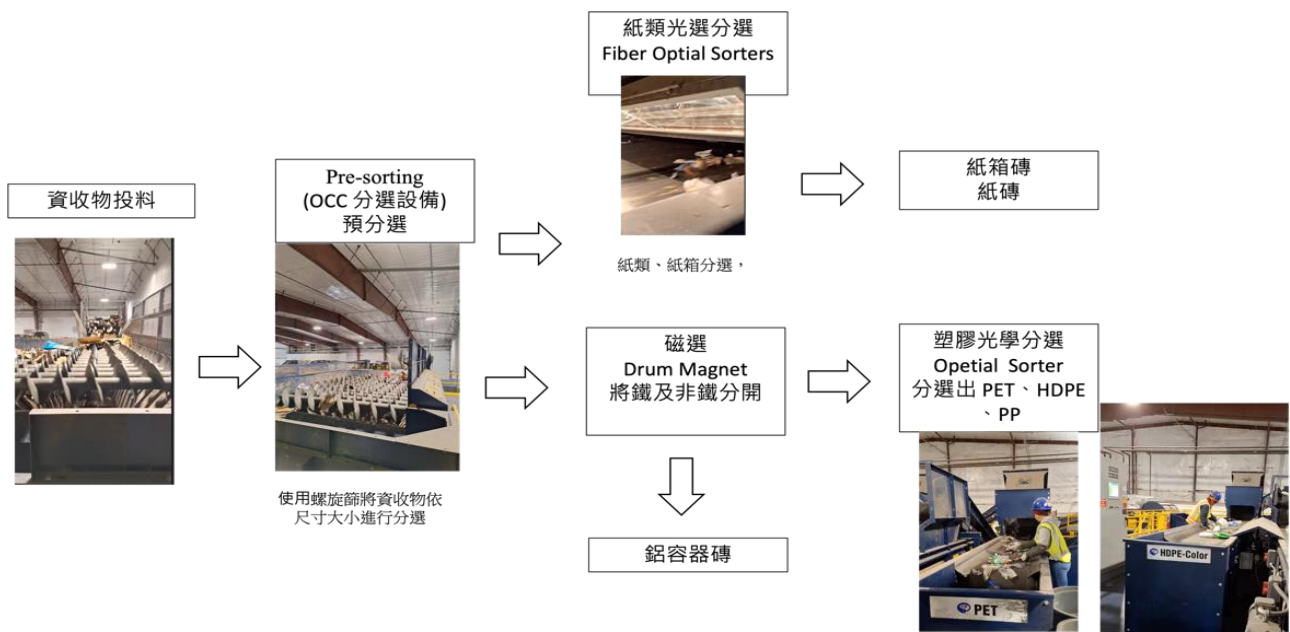


圖 2 LRS 回收系統公司處理流程



圖 3 產出資收物料打包情形

LRS 對工廠消防也相當重視，配置 Fire Rover 公司消防系統，兼具監測、撲滅、保護三重功能。主係透過軍用級熱探測和高解析視訊實現早期探測及全天候監控，所有資訊會被過濾分析以排除誤報。經確認的威脅將立即撲滅解決，使消防人員能集中在起火點救災，減少災後破壞和清理，較之國內回收業者大多仍僅依賴傳統滅火器，其系統顯得更為全面及預防效果（如圖 4 所示）。



圖 4 Fire Rover 消防系統

二、材料回收設施營運論壇（MRF Operations Forum）

美國 MRF 廠遍及全國，數量高達 700 多間以上，然而面對市場上需求的劇烈驟變，各家 MRF 業者不約而同投入大量資金進行精進及優化。

論壇當日（2023/10/8），先由 MRF 業者於台上分享現階段面臨的困境，2017 年以前，美國的回收業者將本土產出之大量、未確實分類的資收物送到中國，進行分選及處理後，再將回收物料轉賣至其他有需求的廠商或機構；但由於中國自 2017 年起實施利劍政策（禁廢令），拒絕接收從海外運來的廢棄物。之後，美國的回收業者雖嘗試轉送到東南亞國家，但此措施引起東南亞國家的抗議及反彈聲浪，且影響到國際對美國的國家觀感，故而作罷。在此局勢下美國家戶產出的廢棄物去化管道的縮減，使得 MRF 廠及處理業者，面對全美廢棄物劇增，只得朝向境內處理，紛紛改造及精進本

土原有處理設備，強化分選效率，以利分選後的回收物料能於市場上有好的販售價格。但實質上，在 MRF 廠自民眾端所回收的資收物，雜質率相當高，介於 15%~25%，平均約 14%；且自州到鄉鎮市、各區中，各層級定義的可收受資收物種類都有所不同，造成民眾對於「可回收」項目的認知混亂。

於上半天的會議當中，除了有 MRF 廠的業者進行案例解說及討論，也邀請了威斯康辛州的密瓦基（Milwaukee）消防隊（Fire Department）隊長 Aaron Lipski 就 MRF 廠消防問題提出建議。由於美國國內 MRF 廠業務量上升，導致廠房失火事件越來越嚴重，因此邀請 Aaron Lipski 與會，提供各地 MRF 業者消防安全管理資訊，包含工廠員工到班人數紀錄、廠區配置平面圖備存等事宜，以利消防隊在到廠進行任務時能即時、有效行動。圖 5 為 2022 年 3 月於 Penn Waste 所發生的火災現場。



圖 5 Penn Waste 火災現場

另外，由於美國民眾常將鋰電池混入一般資收物當中，使回收、分選過程中常常發生爆炸起火的情形。對此，Lipski 隊長表示，因任務目標不同，消防隊主要是將受困於廠房的人員自火場中救出、控制火場，不主動撲滅火勢，因此鋰電池所引發的爆

炸及火災，只能待其自然燃燒完畢。藉由此案例分享，Lipski 隊長期望各家 MRF 業者強化自身的火災警報系統及預防設施，以利減少相關火災的發生，避免過度消耗消防救災人力。

下午第三堂及第四堂會議，主要針對優化 MRF 廠設備及呈現雲端化管理的優勢。尤其進入 COVID19 後疫情時代，人力過度短缺下，MRF 業者嘗試增加自動化處理設施，如機械設備及 AI 人工設備等，如圖 6 展示現代化 MRF 廠區設計，走向設備自動化及精進分選效率，提升後端回收物料之品質，減少人工成本及流動人力帶來的影響。

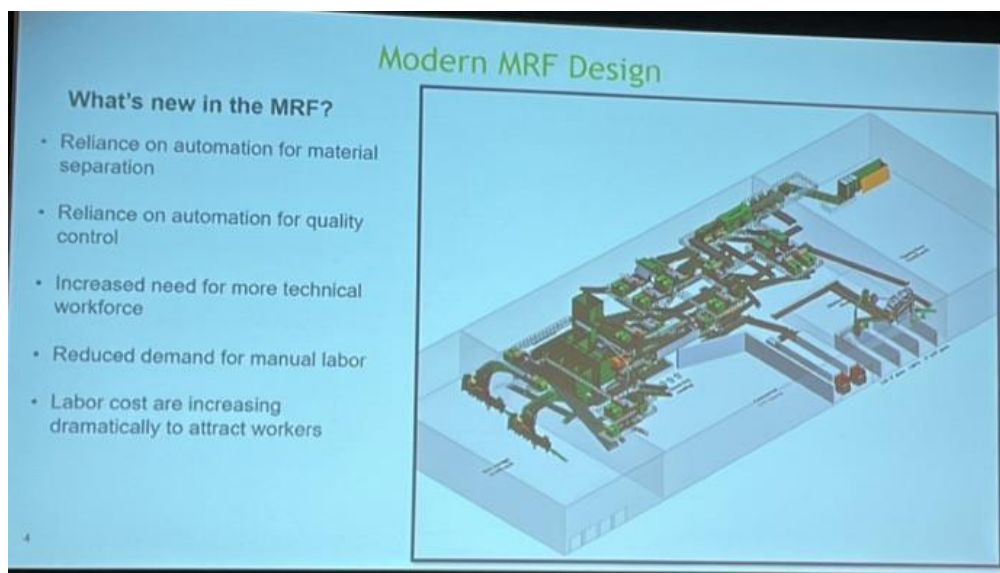


圖 6 設備商提供之現代化 MRF 設計

在設備商現場中，挪威設備商 TOMRA 展示該公司對於雲端數據掌握的服務能力。如圖 7 所示，TOMRA 可在加分選線中的自動化、機械化過程，同時搭配智慧化系統管理，此舉有利於 MRF 業者可以從雲端掌控現在廠區的進出貨情況，以及對照回收物料市場變化，來因應廠內分選的管理機制。

然而，相較於設備供應商的樂觀看待資收物處理問題，MRF 業者則指出於分選線中採用高度自動化及機械化後，反而導致資收物的雜質率上升，應該是資收物種類多及自動化機械手臂未能準確移除雜質，一般光學分類機估計每分鐘可分揀多達 1,000

件物品，自動化機械手臂可分揀約 80 件，分選人員每分鐘分揀約 50 至 80 件，因此實廠內逐步移除自動化機械手臂，改為強化分選人員的教育訓練；另雲端管理系統對於 MRF 業者而言，也有資料外洩的疑慮。該堂討論中，各家 MRF 業者均表達出對資訊安全存有疑慮，以及擔憂資料可能會成為後續競爭者竊取目標之一。

Components of TOMRA Insight

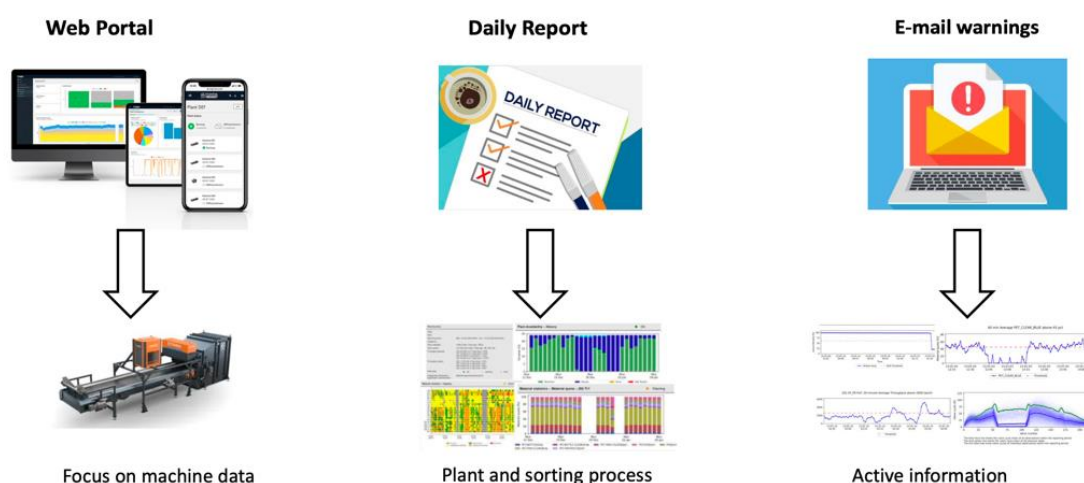


圖 7 挪威設備商 TOMRA 結合廠區設備及雲端資料分析處理

三、紙類與塑膠回收會議 (Paper and Plastic Recycling Conference)

紙類與塑膠回收處理會議於 10 月 11 日至 10 月 12 日於同時段不同會議室中進行。

(一) 塑膠 (Plastic)

會議首先由廢棄物處理工業機構 (Institute of Scrap Recycling Industries, ISRI) 負責國際事務的 Adam Shaffer，分享年初全球塑膠公約 (A global Plastic Agreement) 的零號草案發布情形，以及該公約對美國的影響。Shaffer 於簡報中提供了美國 2021 年各類型消費後廢塑膠產出情形 (如圖 8 所示)，可知占比最高為 PET 容器，約有 1,931.5 百萬磅，其次是平板塑膠 1,106.2 百萬磅。自 2012-2021 年期間，美國的廢 PET 容器產出年成長率約 9.3%，為成長率最高的類別；而 HDPE 年成長率約為-1.7%，代表 HDPE 產出量有減少的趨勢。

面對美國巨量的塑膠廢棄物產出，以及因應全球塑膠公約要求，如各締約方應建

立及運作延伸生產者責任制度，包含鼓勵提高「可」回收性、促進更高的回收率、加強對塑膠以及塑膠製品全生命週期（及國際供應鏈）中生產者及進口商之產品安全及無害化的管理責任，諸如此類之源頭管制措施。同時，公約中也提出四項減廢策略：1. 投資廢棄物管理系統基礎建設，2. 促進投資及資源調動以彌補財政缺口，3. 需特別針對沒有相關基礎設施的國家，4. 提高消費者對於塑膠製品永續消費知識及回收處理的認識。



圖 8 2021 年美國消費後塑膠廢棄量

塑膠論壇的第二堂為 Chemical Recycling: Why are we now（化學回收：我們現階段的發展情形）。在廢塑膠再利用領域中，化學回收（涵蓋熱裂解及化學處理）也成為討論度極高的話題。化學回收原理為藉由高溫及化學溶劑，破壞塑膠資收物的分子結構，使原單體分子得以重組，易於再製，如圖 9 所示廢塑膠各項回收處理方式。以化學回收的方式進行則可以對難回收處理的平板塑膠、雜塑膠及塑膠綁繩等如圖 10 所示，藉此採取更有效的回收處理方式而非送至掩埋處理。但相對的，化學回收的缺點為製程所消耗的能源較比物理/機械方式高。

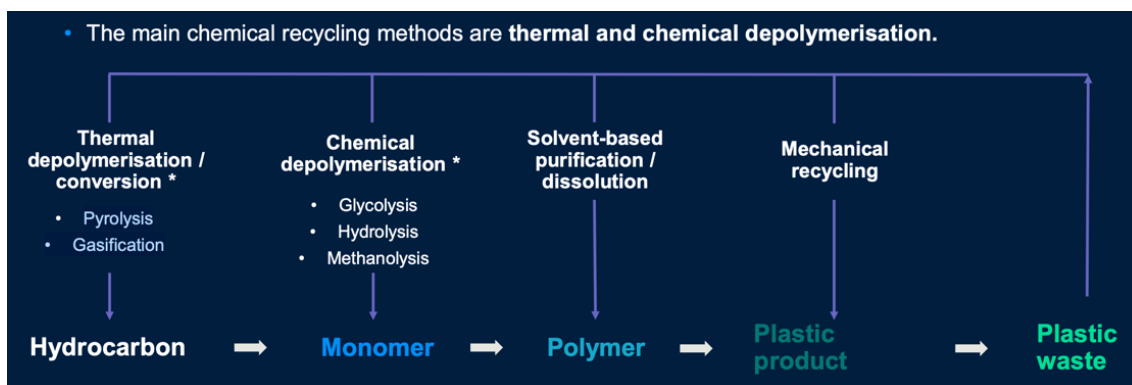


圖 9 廢塑膠各項回收處理方式



圖 10 廢塑膠中難回收處理類型

塑膠論壇中的第三堂及第四堂，分別為聚烯烴（Polyolefins）及 PET 的回收情勢分析。會議中講員及與談員都分別提到，疫情期間再生塑料的市場價格飆漲；但實際上，資收物分選技術的良率普遍不足，再生塑料的雜質成分偏高，而更嚴重的是需求端對於再生塑料的需求期間很短，種種原因使得現階段再生料的價格及品質無法和新料相比，造成市場價格狂跌，如 HDPE 再生料之交易價由近 USD 70 元/磅（2023 年 1 月）降至約 USD 24 元/磅，僅經歷 8 個月的時間（見圖 11）。因此，如何建立穩定且長遠的供需市場，為再生塑料發展的首要目標。

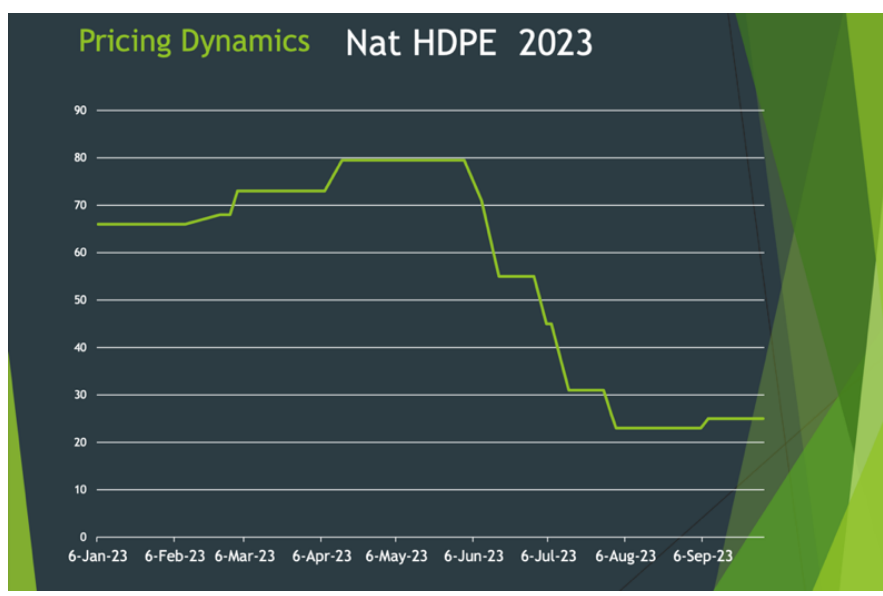


圖 11 2023 年 1 月至 9 月間 HDPE 收益情形

在場塑膠處理廠業者也透過會議向地方政府喊話，目前家戶產出的平板塑膠、塑膠容器的雜質率非常高，有其必要提升一般民眾對於回收項目的認識，以利後續 MRF 廠進行分選及處理時，能提供更高品質及純度的再生塑料。主持人也再次強調，雖然全球對於再生塑料的需求可能於 2025 年後恢復，但如何提升廢塑膠的回收品質、分選技術以及後續再生塑料的品質，都是需要現階段業界需要克服的難關。

(二) 紙類論壇 (Paper Conference)

紙類一直都是美國回收再生產業最大宗的項目，同時也是遭受中國禁廢令影響最關鍵的資收物，會中 Willington Group 總裁 Bret Lurie 分享該公司如何調整策略，以應對利劍政策實施帶來的影響。該公司提供各項資收物的回收、分選、打包作業，超過 350 名以上的員工分散在 14 個廠區，每年人工處理近 2 百萬噸的紙箱。在禁廢令之後，能送到中國的訂單及資收物數量遞減，過去一年有近 40-60 的貨櫃運至中國大陸；該公司現階段都以運至東南亞及台灣居多，但要求資收物的品質也非常不同；在成本控制上面，也需要雇用更多人力，來增加其分選效率。

而於第二堂的瓦楞紙箱、紙板及舊瓦楞紙箱 (Old Corrugated Containers, OCC)，講者分享繼 2021 年後，OCC 的需求持續增長，導致價格創下歷史新高。會議中討論到

兩種廣泛使用的廢紙類市場變化動態。圖 12 為美國現階段回收紙類的統計資料，由圖中可知全球廢紙分類中有將 61% 的 OCC（由家戶產出），另有 31% 經二次分選過後乾淨的 OCC。

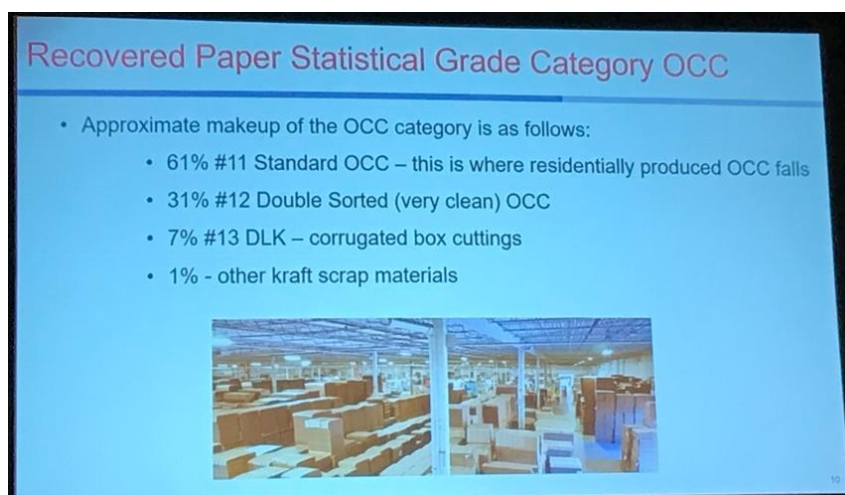


圖 12 全球廢紙類統計情形

由 OCC 的供應情形可發現，大部分都由已開發國家產出，而印度及東南亞地區對於 OCC 的需求也持續成長。廢紙類為可回收再利用的物料，但在美國有將近 2,300 萬的紙類被送至掩埋場，並無妥善的分類及處理，對於資源消耗及廢棄物處理皆為負面影響。於 2011 年時，美國對於 OCC 的需求僅有 40%，預計到 2025 年時會成長到 59%；雖然紙類需求有上升趨勢，但是以長年市場供需波動而言，OCC 的需求都是短期性，而非需要長期供應，此供需特性易造成業者備貨困難，同時也有金流上的壓力。會議中，美國最大的廢棄物清理機構 Waste Management (WM) 也表示，近年來所投資的基礎建設，為增加廢紙處理的品質、效能、處理線，期望未來能應對再生紙料的市場需求，並減少對掩埋場的負擔。

綜上，國際市場需求成長、廢紙類無法有效回收再利用、市場供需波動風險三者，為當前美國廢紙類回收再生產業所面臨的問題。

(三) 綜合性議題 (Integration)

除廢紙及廢塑膠的議題討論外，本次大會也安排了延伸生產者 (Extend Producer Responsible, EPR) 及回收項目標準化等議題，期望藉由相關議題的延伸討論，激發與

會者應對及思考市場變動下的策略執行。首先針對各州的 EPR 政策頒布上，講者著重闡述各州立法對於回收材料的需求及供應所產生的影響，及其如何影響回收及清運方式所產生的利益及弊端。

相較於臺灣於 EPR 制度上的完善程度與及公告列管項目的統一及完整性，美國各州對於公告應回收項目差距甚大（如圖 13 所示）。此外，聯邦政府對於 EPR 法案的頒布及落實進度相對緩慢，一直到 2021 年方才公告針對廢紙類、廢塑膠類、包裝材料的管理方式。

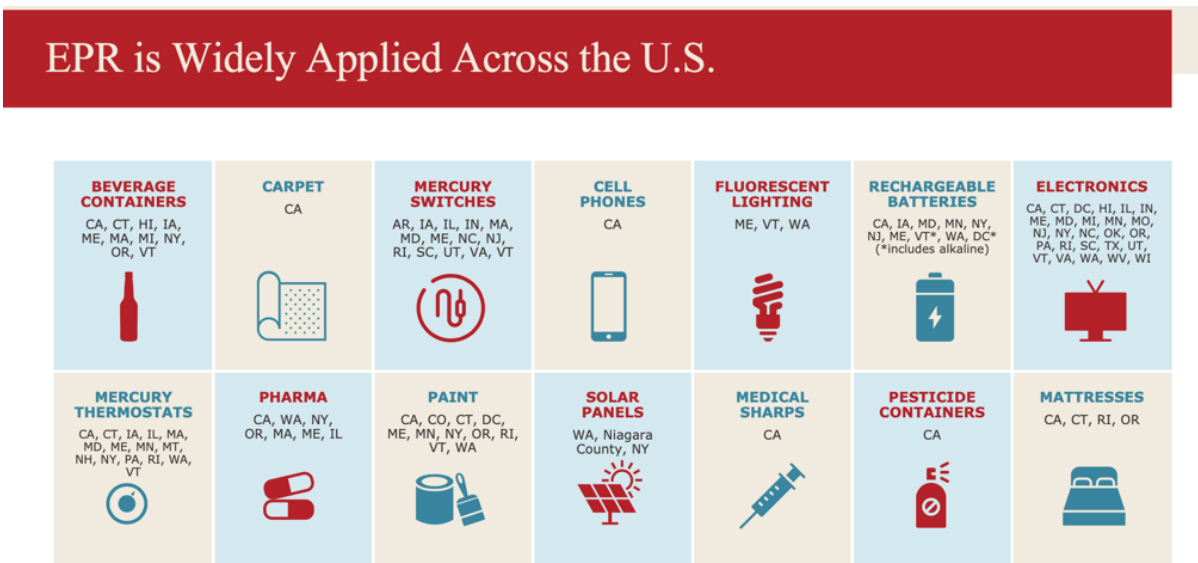


圖 13 回收品項於美國各州列管情形

美國現有緬因州（Maine）、俄勒岡州（Oregon）、科羅拉多州（Colorado）、加利福尼亞州（California）已將紙類及塑膠類包裝納入 EPR 的列管範圍內。如圖 14 所示，其中僅緬因州由州政府自行立法管理；俄勒岡州是由延伸生產者責任組織（Producer Responsibility Organization, PRO），一種類似於民營的回收基金管理會，以基金方式來管理；科羅拉多州亦為 PRO 方式管理，但非以基金方式運作；而加利福尼亞州的塑膠包裝則是部分列管，EPR 亦僅針對列管項目執行。四州皆由各鄉市政府來運作執行實際回收管理方式，科羅拉多州及加州僅有一間延伸生產者責任組織協助各鄉市政府來運作。

EPR for PPP in the US: Key Elements

Key Element	Maine	Oregon	Colorado	California
EPR Model	State Managed	Broad modernization of recycling with certain elements PRO funded / managed	Conventional EPR / PRO managed	Partial EPR + plastic waste prevention and plastic pollution mitigation
Program Delivery	Municipal	Municipal	Municipal / Private	Municipal
Financial Structure	Municipal Reimbursement	Producer-funding for new programs and "gap filling"	Reimbursement for municipalities that opt-in; contracting for services in other areas	Producer-funding for new programs and "gap filling"
PRO	Contracted to the state	Multiple	Single PRO (multiple allowed in future)	Single PRO (multiple allowed in future)
Covered Materials	Packaging	Packaging and Paper Products	Packaging and Paper Products	Packaging and single-use plastics



圖 14 美國延伸生產者責任制落實現況

另外美國回收項目缺乏全國一致標準，各州、郡、區政府所公告應回收項目及回收計畫的差異性極大，也嚴重影響資收物產出的價值是否能得以成型為規模經濟。會議中，美國非營利性組織回收夥伴關係（The Recycling partnership）的資深顧問 Scott Mouw 分享回收品項一致性所能帶來的利基，以及其挑戰及策略。美國非營利性組織回收夥伴關係由 80+ 的品牌大廠贊助運作，藉由非營利性組織的特性，與各級行政單位、私人企業及機構單位溝通，於美國各地積極推動各項回收計畫。面對美國現階段回收項目的差異性過大，Scott 顧問建議若將全國回收項目統一，則有利於減少消費者在分類回收的認知困難、重新建立民眾對於回收系統的信任，同時也會提高回收率，更可使品牌業者的自我宣告可信度。尤其在美國本土，回收系統隨時間不斷變化，其中取決（1）包材流：品牌業者如何選擇包材；（2）包裝設計：影響技術及其可回收性；（3）當地回收業者的處理知識、量能及動機；（4）MRF 廠分選技術：後端再生料的需求及其價值；（5）各區域的差異性；（6）利害關係人所採取的行動。上述六項因素都會影響整體回收系統的價值，以及其運作情形。

改善回收體系不良的關鍵策略主要為干涉系統及政策。以聚丙烯為例，藉由提升處理業者的知識、有效回收處理廠內的聚丙烯、增加聚丙烯類型產品的回收管道，而美國非營利性組織回收夥伴關係與利害關係人組織了聚丙烯的回收聯盟，提升 10%

的聚丙烯回收，有 3,400 萬人受益更獲得了 41 項的經費補助（圖 15）。

Polypropylene Coalition Impact to Date



圖 15 聚丙烯回收聯盟計畫績效

會議的最後，Scott 顧問強調回收品項的標準性及統一性，尤其呈現於商品外部識別或包裝，有助於增加民眾的產品回收意識，普及應回收品項的認知，若後續能強化政策對於回收品項的標準性，而非單以市場需求來定義品項回收的必要性，則有利於形成規模經濟之效益。

四、設備展 (Exhibition)

為提升我國資源回收物的分選、處理程序中，自動化處理及人工智慧辨識的設置率，藉由訪查此次大會場內參展的設備廠商，評估各公司相關設備提供我國提升處理量能的可能性及潛力。下面針對系統供應商及單一設備供應商進行初步分析評估；惟各家設備供應商所提供的分選處理資料其處理基礎都以美國資收物的投料為準，與我國資收物組成差異性甚大，分選效果也會非常的不同，因此若實際應用於國內尚需進一步審度。

(一) 整廠輸出系統商

此次企業規模較大的整廠系統輸出商有 Van Dyk recycling solutions、Bulk handing system、MSS。

Van Dyk Recycling solution 主要提供一站式服務。若以我國廢塑膠，在分選設備上與 TOMRA 合作，提供 TOMRA NIR 的光學分選機，可分選塑膠涵蓋 PE、PP、PET、

HDPE、PS、PVC 及 7 號塑膠（其他）。據該公司現場人員指出，客戶在更換分選設備後，PET 處理量可提升至 490 噸/月、HDPE 處理量至 250 噸/月。

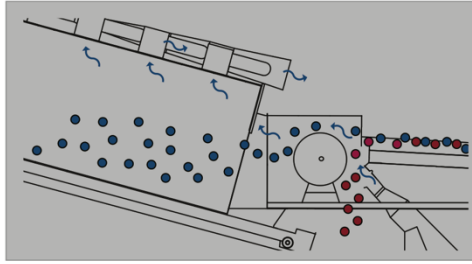
Bulk handing system 則有風選設備及光學分選設備。業者說明全球有超過 750 處理廠使用 Nihot 風選設備，可用於將紙類及塑膠分選開來，並且可以依客戶要求建置不同程度的 in-flight 系列光學分選，該分選技術擁有超過 30 項的專利權，分選品項包含 PET、HDPE 及混合性塑膠廢棄物。不同於其他分選設備於資收物傳送至臨近機器時進行辨識，In-flight 分選設備則是於資收物在接觸到光源時，由機器立即辨識，後由下端噴氣裝置風選出塑膠類別。此一方式以透射式檢測穩定訊號傳遞及檢測正確率，減少由於移動所導致的偵測錯誤。

MSS 有 42 年的感測分選經驗，針對塑膠分選提供的設備有 plastic Max、PurePlastic Max、FilmMax 以及 Flake Make。PlasticMax 主要用於 MRF 廠，初步分選自民眾端所收回的家戶資收物；PurePlasticMax 則是提供給塑膠處理廠，針對具複雜的混合性塑膠進行分選，如含膜的 PET 瓶、含收縮膜的 PET 容器；FilmMax 則配置專用的材質分離技術，可預先切碎塑膠薄膜和軟包裝中的污染物，以及變色材料；FlakeMax 則提供了解析度的 NIR 辨識，可在混合資收物中將塑膠薄片（含黑色塑膠）及雜質分選出來。

表 2. 三間系統廠比較情形

廠商	Van Dyk recycling solutions	Bulk handing system	MSS
設備	使用 TOMRA 的 NIR 光學分選機	Nihot 風選設備及 in-flight 分選系列中（含 NIR 及 RGB） ¹	Plastic Max PurePlasticMax FilmMax FlakeMax
可分選塑膠	PE、PP、PET、HDPE、PS、PVC 及 7 號塑膠（其他）	PET、HDPE、混合性塑膠廢棄物	PET、混合性塑膠廢棄物、薄膜塑膠、
量能	（2017 實廠實績） 490 tons/month of PET 250 tons/month of HDPE	資訊未提供	資訊未提供

註 1：圖 16 為 Nihot 風選設備，圖 17-圖 19 為 in-flight 的系列分選設備。



Air Separation

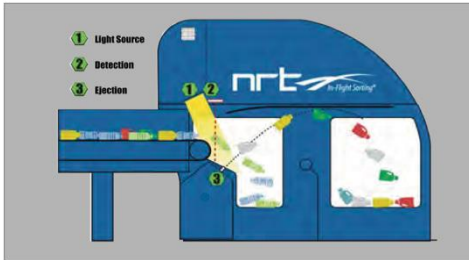
With more than 65 years' experience and 750 reference sites, Nihot has perfected air separation technology.

Most efficient removal of light material from glass

Extremely high separation efficiency at high throughput

Durable and reliable with minimum maintenance and low operating costs

圖 16 風選設備



In-Flight Sorting®

While other sorters typically detect material over the belt and eject sometime later, NRT's In-Flight Sorting® technology detects and ejects off the belt while the material is in flight, achieving superior purity and hit rates.

Reduces motion-related error

Eliminates signal error from belt interference

Full array of spectrometers allows for identification across entire belt width

Enables transmissive detection for robust signal and accurate detection

圖 17 In-flight 分選設備



NRT SypDIR®

NIR technology to accurately recover a wide variety of plastics, paper, metal, wood and other materials

In-Flight Sorting® and full array of spectrometers provide industry leading purity rates

Transmissive or reflective detection of multiple polymers offers flexibility

Color and metal detection combinations available

圖 18 NIR 分選設備



NRT ColorPlus™

RGB color line-scan camera technology detects color, transparency, opacity and physical form factors

Transmissive In-Flight Sorting® provides industry's most clear and robust signal

Opaque analysis and label recognition for errorless object targeting

High speed processing and proprietary algorithms detect color and form

圖 19 RGB 彩色掃描照相分選技術

(二) AI 及機械手臂

此次展覽聲稱有 AI 技術的設備商非常多，但有實際已有 MRF 廠在使用此的技術的並不多，已有 MRF 使用其技術強化廠內分選效率的單位，為 Everestlabs、Green Machine 及 Greyparrot 三間。

Everestlabs 的偵測設備架設在輸送帶上，使用工業 3D 照相技術可將輸送帶上的回收物進行拍攝後，傳送到雲端後由 AI 辨識，可辨識的資收物種類有 31 種、準確率約 95%；

再由後台進行資料處理及分析，將結果傳送到儀表板上。同時，也由 AI 系統發送命令予自動分揀機採取行動。經詢問熟識 MRF 業者，一台機械分揀機手臂的售價是 3.5 萬美金（圖 20）。



圖 20 Everestlab 於展場展示自動分揀機

相較於 Everestlab 的智慧型系統，Green Machine 則是於傳送帶上架設一包廂式分選站，其準確率達 98%，分檢速度達每分鐘檢選 80 個資收物。Green Machine 的多夾具真空式吸盤頭正在申請專利中，可以改善嚴重變形的資收物（如牛奶罐和清潔劑瓶）的分選正確率；而自動調節平頭可確保足夠的接觸表面積，從而提高分選率和純度等級。有多種夾具設計的分選設施適合多種應用，並有機會根據資收物的組成進行客製化，但因 Green Machine 業務範圍僅限美國本土，尚無法擴展到海外市場（圖 21）。



圖 21 Green Machine 自動分揀機

Greyparrot 是提供人工智慧驅動的廢棄物分析平台，可即時辨識資收物的類別，目前可辨識 67 項由家戶產出的資收物，準確率高達 98%。Greyparrot 自身並無配合的設備廠商，主要服務為僅提供廢棄物的分析及辨識技術，因此如果要與既有設備的廠商合作，在溝通成本上的花費及機器使用介面的整合上，將可能會耗費大量時間及人力。

肆、心得與建議

- 一、我國當前塑膠類公告應回收類別之法規僅列管容器類，其他塑膠包材或收縮膜僅部分地方政府納入回收項目，或是藉由推動諸項減塑規定加以管理，如塑膠袋不得免費取得。但隨著便利性、成本便宜、飲食習慣不同等原因，容器以外的塑膠包材使用與廢棄數量逐漸增加，回收成效不顯著也造成化爐負擔。建議可考慮制定塑膠包材設計指引供商品業者與民眾參考，以及檢討焚化爐收費適度考慮廢塑膠因子，讓塑膠包裝從設計階段與廢棄階段都有減量誘因。
- 二、美國多間 MRF 業者均逐步移除機械手臂於分選線上的運作，仍依賴光學分選設備與人工輔助分選，以確保產出之再生物料品質，顯示增加機械手臂於分選線上的運作實則提高了再生料的雜質率，並無增加產出速率，因此未來鼓勵回收廠增加自動化或半自動化模式，仍需要滾動式評估。
- 三、美國分類廠 (MRF) 直接自民眾回收資收物，與我國 6 都清潔隊回收資收物後交給得標綜合性回收商方式相似，惟我國得標回收商之細分選廠引進自動化分選設備比例仍低，直接影響分類品質與效率，進而需有更大貯存緩衝空間，一旦市場價格不佳或處理廠收受意願降低，導致分類廠吞吐能力降低，甚至轉向中央尋求協助。未來協助 6 都陸續建立自動化程度高的細分類廠，應是努力方向。