

112 年度工作研究報告

題目：科學園區事業廢棄物資源循環再利用之技術
研析

撰寫人：單位 產學及園區業務處

職稱 助理研究員(二)

姓名 李泔涓

如有意願參加本會獎勵科技行政研究發展評獎(有意願者請打勾)

單位主管評語	
推薦參加本會 獎勵科技行政 研究發展評獎	(請打勾)
單位主管簽章	

備註:

- 一、報告內容以 10 頁為原則。
- 二、本篇工作研究報告，如有意願參加本會獎勵科技行政研究發展評獎，請依本會獎勵科技行政研究發展作業要點規定辦理。

摘要

全球經濟發展迅速，使得地球資源急遽消耗，循環經濟發展已成為國際及我國政策趨勢，如何將有限的地球資源永續利用，並減輕廢棄物最終處置對環境帶來之負面影響，發展廢棄物資源回收再利用模式，則在循環經濟議題中扮演至關重要的角色。科學園區事業廢棄物再利用率於 111 年達 93.4%，非資源化廢棄物中又以廢塑膠混合物、高含水或黏稠性溶劑為大宗，若能透過現有成熟技術或資源化新興技術之研發將其逐步朝資源化方向推動，並建立更完善循環產業發展網絡，將有助於提升園區事業廢棄物再利用率。

非資源化事業廢棄物之處理技術多尚處於學術研究階段，且因原廢棄物來源組成複雜，製作成 SRF 再生燃料，於燃燒時易會造成積垢、腐蝕、有害氣體排放等問題，因此，仍需再進行評估與改善，方能確保再利用之可行性。評析國內資源再生產業發展所面臨瓶頸，為達永續資源再利用，需從製造、生產、廢棄的線性經濟翻轉為推動循環經濟模式，串聯上、中、下游事業產業鏈，建立廢棄物資源循環管道，讓循環產業發展網絡更完整，以提升事業廢棄物減量與達到資源化目標，並建立更多元的循環模式，以朝資源循環零廢棄目標邁進。

關鍵字：資源循環、事業廢棄物再利用、新興技術

目錄

壹、前言	1
一、研究緣起	1
二、研究方法	1
貳、科學園區事業廢棄物	1
一、類別與處理現況	1
二、非資源化事業廢棄物困境	2
參、非資源化廢棄物之新興技術	4
肆、結論與建議	7
伍、參考文獻	11

圖目錄

圖 1 科學園區事業廢棄物類別與處理現況	2
圖 2 崑鼎公司含水異丙醇回收再利用流程	5
圖 3 資源化技術研發現況	6
圖 4 資源循環推動策略示意圖	9
圖 5 提升科學園區事業廢棄物再利用方案示意圖	10

表目錄

表 1 事業廢棄物難以資源化困境	4
表 2 氨氮廢水處理技術應用濃度範圍	6

壹、前言

一、研究緣起

國家發展委員會於 2022 年 3 月 30 日偕各部會公布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」，以 4 大轉型及 2 大治理基礎制定行動計畫，並輔以 12 項關鍵戰略，落實淨零轉型目標，其中關鍵戰略第 8 項為「**轉型資源全循環，邁向零廢棄時代**」。再者，考量臺灣於自然資源的不足與事業廢棄物持續的產出，如何強化自然資源永續管理與高效使用、源頭減廢、提升廢棄資源之材料化及能源化等措施，將有助於經濟成長與環境退化的脫鉤，朝資源循環零廢棄目標邁進。^[1]

而臺灣作為地球村的一員，於全球產業中扮演重要的關鍵技術與零組件供應角色，因此，在面對全球供應鏈重組、新興科技應用，以及環境永續發展之趨勢挑戰下，須持續推動科學園區事業廢棄物管理及發展資源化技術，進而提升科學園區事業廢棄物再利用率，以打造科學園區循環經濟。

二、研究方法

本研究主要針對科學園區事業廢棄物類別與處理現況分析，並探討目前科學園區非資源化廢棄物種類及其資源化技術之可行性評估，期望透過新興技術之研發，逐步朝資源化方向邁進。其研究方法如下所示：

- (一) 資料蒐集與彙整：科學園區事業廢棄類別與處理現況、科學園區非資源化廢棄物種類及其資源化技術。
- (二) 資料分析：非資源化廢棄物之新興技術探討。
- (三) 研究報告撰寫。

貳、科學園區事業廢棄物

一、類別與處理現況

科學園區事業廢棄物可分為溶劑類、酸鹼類、污泥類、廢塑膠混合物、

高含水或黏稠性溶劑、非有機性固態事業廢棄物及其他等類別，而處理方式可分資源化技術及焚化、掩埋、固化處理，其類別及相關處理方式彙整如圖 1 所示。^{[2][3]} 111 年科學園區事業廢棄物再利用率達 93.4%，非資源化廢棄物占比為 6.6%，其中以廢塑膠混合物、高含水或黏稠性溶劑為主，比例有 5.7%，若能透過現有成熟技術或資源化新興技術之研發將其逐步朝資源化方向推動，並建立更完善循環產業發展網絡，將有助於提升園區事業廢棄物再利用率。

111年	廢棄物類別	處理方式
資源化廢棄物	溶劑類(占比29.7%) (如異丙醇、光阻劑、去光阻劑、顯影劑、NMP、丙酮等)	物理處理(蒸餾)
	酸鹼類(占比24.5%) (如硫酸、硫酸銨、含銅廢酸、氫氟酸、磷酸、硝酸等)	化學處理(稀釋、酸鹼中和、提銅)
	污泥類(占比15.2%) (如有機、無機、氟化鈣等)	熱處理(燒結)、水泥固化
	其他可資源化類(占比24.0%) (如廢電子零件、廢電路板等)	物理處理(破碎分選)
非資源化廢棄物	廢塑膠混合物、高含水或黏稠性溶劑(占比5.7%)	焚化處理
	非有機性固態事業廢棄物(占比0.3%) (如非有害集塵灰、廢石英陶瓷、廢磨石等)	掩埋處置
	其他非資源化類(占比0.6%) (如有害物等)	固化處理

圖 1 科學園區事業廢棄物類別與處理現況

二、非資源化事業廢棄物困境

科學園區非資源化事業廢棄物以廢塑膠混合物、高含水或黏稠性溶劑為主，包括含鋁包裝袋、研磨墊片、偏光板、含水異丙醇、氫氮廢水、黏稠性溶劑及黏稠蒸餾餘物等七類^[11]，目前處理方式雖以焚化處理為主，然含鋁包裝袋及偏光板於焚化時易結塊而附著於爐床和產生紫煙(碘化物)，進而易遭焚化廠拒收，因其組成特性及現行處理技術無法將此七類廢棄物回收再利用，而致其難以資源化，其組成特性及資源化困境略述如下並彙整如表 1 所示：

(一) 含鋁包裝袋：主要由聚乙烯對苯二甲酸酯 (PET)、鋁、尼龍及

低密度聚乙烯 (PE) 貼合後，再做表面抗靜電處理後製做而成的抗靜電鋁箔袋，能隔離靜電及水氣，多用於對靜電、溼氣較敏感的電子元件。因屬複合型塑膠廢棄物，不易使用機械技術進行分離^[5]，故難以一般廢塑膠方式回收。

(二) 研磨墊片：以聚氨酯 (PU)、紡織布、PET、乙烯醋酸乙烯酯 (EVA)、雙面膠等材料製成，多應用於光學鏡片、晶圓及矽片的拋光。因屬 PU 複合材料而無法以一般廢塑膠方式回收。

(三) 偏光板：結構以三醋酸纖維 (TAC)、聚乙烯醇 (PVA)、感壓膠 (PSA)、離型膜與保護膜組成^[6]，再用碘溶液對內層的 PVA 進行染色，製成可允許某方向的光線才能透過的光板。偏光板因含碘在高溫燃燒時會產生紫色煙霧，造成民眾恐慌，故易遭焚化廠拒收。屬多層塑膠的複合材料且含碘而無法回收再利用，因此，最終處置方式多以掩埋為主。

(四) 含水異丙醇：半導體製程中，晶圓清洗時所使用之異丙醇 (IPA)，其廢液為具成分複雜、高含水率之難處理廢水^[7]。因異丙醇純度低，資源化經濟效益低，而易遭蒸餾處理廠拒收。

(五) 氨氮廢水：高科技產業氨氮廢水來源主要來自製程使用之含氮化學品；而光電業因於磊晶製程中會產生氨氣，再經由洗滌塔處理後則會產生氨氮廢水^[8]。因氨氮濃度高低且是否同時含有有機物/有機氮等特性，在處理程序選擇上涉及用地大小與操作可行性等問題，而降低其回收再利用率。

(六) 黏稠性溶劑：化學製程所產生，因黏稠性高，蒸餾處理廠拒收。

(七) 黏稠蒸餾餘物：由廠內蒸餾設備產出，因雜質與黏稠性高，蒸餾處理廠拒收。

表 1 事業廢棄物難以資源化困境

廢棄物種類	目前處理方式	難資源化困境
1 含鋁包裝袋	焚化	複合型塑膠廢棄物，難以機械技術分離
2 研磨墊片	焚化	PU 複合材料
3 偏光板	掩埋	多層塑膠的複合材料且含碘
4 含水異丙醇	焚化	純度低
5 氫氮廢水	化學處理	既有場域用地限制
6 黏稠性溶劑	焚化	黏稠性高
7 黏稠蒸餾餘物	焚化	雜質與黏稠性高

參、非資源化廢棄物之新興技術

針對上節所述之難資源化廢棄物，蒐整目前相關研發技術，以探討資源化技術之可行性評估，其技術說明如下：

一、含鋁包裝袋：所列技術尚在研究階段且為實驗室級規模，若要落地商業化尚需經過先導場規模及示範廠域驗證。

(一)水熱法：在 2.5 L 反應器中，以 225°C、60 min 的操作參數下，將產物進行固液分離，可將鋁中的塑膠含量減少為原來的 25%，進而減少廢棄物量。^[9]

(二)乳化反應：利用塑膠可溶於苯中的特性，以苯-乙醇-水的有機溶劑混合物作為分離試劑，比例為 30:20:50 時，於分離溫度 60°C、反應時間 5.85 min，分離率達 100%且總損失率較低。^[10]

(三)化學反應：利用親水性溶劑 (二甲基環己胺, DMCHA) 進行化學分離，當固液比為 3:10、溫度 75°C、反應時間 120 min 下進行超音波反應後，鋁的回收率可達 98%，且最終效益 633 美元/噸。^[11]

(四)熱裂解：以旋轉窯反應系統，進行熱裂解反應，以溫度 450°C 及 500°C 之鋁回收率較佳，可達 90.0 wt.% 以上。^[5]

(五)固體再生燃料 (SRF)：製程 SRF 其濕基低位發熱量可達 9,016.83 kcal/kg，然其乾基含硫量高，燃燒後會造成空氣污染。^[12]

二、研磨墊片：目前尚無相關技術研究。若是純 PU 材質，則有製成 SRF

之研究，其結果顯示濕基低位發熱量為 6,086.94 kcal/kg^[12]，然研磨墊片成分含有氯，若製成 SRF 燃燒後，在鍋爐中易形成低熔點沉積物而造成積垢現象、高溫腐蝕（氯氧化會形成鹽酸）、毒化觸媒、灰燼氣膠的粒狀物和戴奧辛污染排放等問題。因此，若製成 SRF 使用，須符合現階段嚴格的空氣污染物排放標準。

三、偏光板：技術純熟，且工研院所研發之技術已技轉台塑能源科技，並進行噸級設備建置試驗。

(一) 利用萃取與蒸餾法將碘回收再利用：藉由四氯化碳 (CCl₄) 易溶於水、密度比水大及碘在 CCl₄ 中的溶解度大於水之特性，將碘萃取濃縮至 CCl_{4(aq)} 中，再經由蒸餾法取得 I₂ 結晶。^[6]

(二) 工研院利用固-液萃取系統，以特殊比例調製的萃取液，將碘萃取並純化還原成碘化鉀結晶，純度達工業級，另 PVA、TAC 等高分子材料回收率亦高達九成。^[13]

四、含水異丙醇：崑鼎公司利用蒸餾法可將低濃度 (15%) 廢異丙醇濃縮至 85%，進一步搭配萃取法可純化至 99.5%，並回收做為工業原料使用。^[14] 此技術已實際運作中，如圖 2 所示。

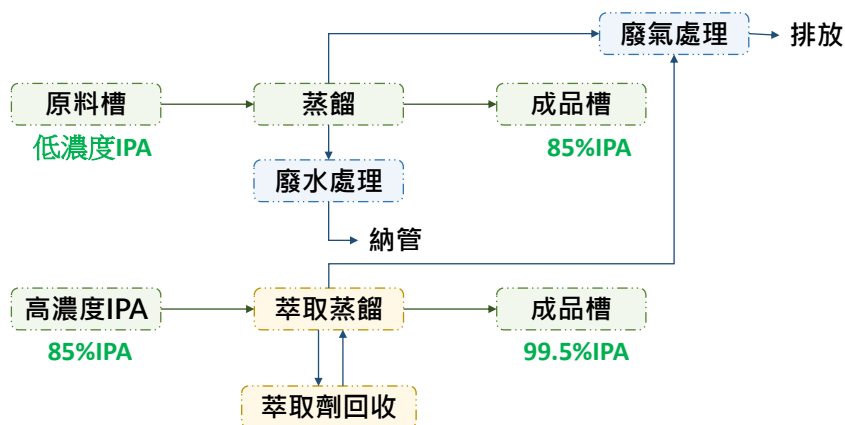


圖 2 崑鼎公司含水異丙醇回收再利用流程

五、氨氮廢水：依據氨氮濃度的高低來選擇處理技術，依序有汽提法、氣提脫除法、化學沉澱/結晶法、薄膜蒸餾法、吸脫附回收法、生物處理法及離子交換等，各項技術中，以生物處理法操作成本最低、

用地需求最高，反之，以化學處理法操作成本最高、用地需求最低，其各處理技術之應用濃度範圍如表 2 所示。[15]

表 2 氨氮廢水處理技術應用濃度範圍

		氨氮廢水濃度 (mg N/L)			
		≥1	10	100	≤1,000
技術成熟度	高	離子交換法 (操作成本高) 生物處理法 (如活性污泥法、薄膜生物反應器、厭氧氨氧化，占地面積大)	氣提脫除法 (硫酸銨副產物需進一步處理，效率低) 化學沉澱/結晶法 (需添加鎂、硫酸根離子)		汽提回收法 (利用蒸汽以直接回收氨水，效率高)
	低			薄膜蒸餾法 (須提升通量及避免薄膜積垢)	
			吸脫附回收法 (吸附劑材料之選擇)		

資料來源：本研究自行繪製。

六、黏稠性溶劑：因黏稠性溶劑成分複雜難以預測於熱裂解下之理論允收標準，然經熱裂解處理後，可得到液體油品、氣體燃料及固體焦炭三類產物，故能將難以處理之黏稠性溶劑轉化成再生燃料。[16]

七、黏稠蒸餾餘物：

(一)相關研究少，未來可朝向裂解為生質能，做為熱處理的輔助燃料。

(二)以微波蒸餾搭配真空系統將電子業廢溶劑餾餘物中的 N-甲基吡咯烷酮 (NMP) 回收再利用，其純度接近電子級 NMP (99.9%)。[17]

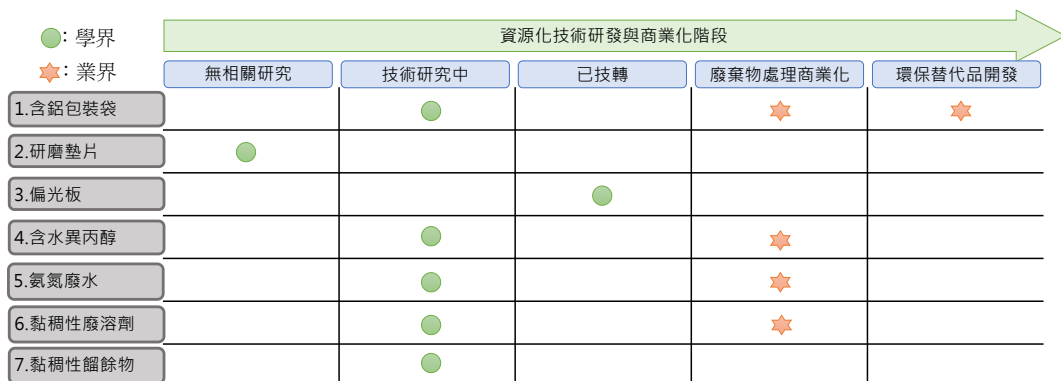


圖 3 資源化技術研發現況

肆、結論與建議

一、結論

針對此七類非資源化事業廢棄物技術之可行性研析，結論如下：

- (一) 針對含鋁包裝袋、偏光板、黏稠性溶劑及黏稠蒸餾餘物等非資源化事業廢棄物所彙整之處理技術多尚處於學術研究階段，仍須時間研發與驗證方能落地應用。
- (二) 氨氮廢水處理技術純熟，雖可依廢水濃度選擇所需處理技術，然考量設置成本與占地面積，需先於廠內既有場域尋覓適當位置與空間設置處理設備。
- (三) 研磨墊片因原廢棄物來源組成複雜，製作成 SRF 再生燃料，於燃燒時易會造成積垢、腐蝕、有害氣體排放等問題，因此，環境部為利推動廢棄物燃料化，提供選用 SRF 技術及品質管理，於 109 年 4 月 1 日公布「固體再生燃料製造技術指引與品質規範」，以確保 SRF 品質，也同步訂定「廢棄物燃料化推動目標」。
- (四) 偏光板之回收再利用技術純熟，刻正進行噸級設備建置試驗。
- (五) 改由研發環保替代品所需技術，開發效果相當或者更好、低毒性及易資源回收再利用之環保產品。

二、建議

而為落實國家推動之「資源循環零廢棄」關鍵戰略願景，因應園區產業未來多元化之事業廢棄物，且為打造科學園區成為國內科技產業永續循環領頭羊，建議作為如下：^{[18][19]}

(一) 實務面

1. 精進源頭管理

- (1) 透過「綠色設計」工法，在產品製造和使用的過程中，做到低污染、省能源、可回收的目標，以設計易循環再利用之產品。
- (2) 源頭減量：在不影響產品功能之前提下，從材料選擇（綠色材料、再生料）、機構設計（採易替換零件及易拆卸組合之結構）、製造程序（綠色製程）及包裝設計（包裝材料選擇、避免過度包裝）等推動策略減少資源之浪費。

2. 能資源化再利用

- (1) 強化原料、再生料與廢棄物分流，鼓勵升級回收再利用。
- (2) 無機廢棄物資源化、有機廢棄物能資源化。
- (3) 可燃廢棄資源及生物質轉廢為能，做為再生燃料使用。
- (4) 金屬廢棄資源材料化，並推動化學品資源再利用。

3. 建立循環產業發展網絡

- (1) 鏈結上、中、下游產業，橫向鏈結建立資源循環產業鏈。
- (2) 淨零科技事業得進駐科學園區：建立廢棄物資源循環管道，於廠區範圍內設處理設施進行廠內自行處理，並鼓勵廠商與其他類似產業共同合作，提升區內廢棄物能資源化比例，讓循環產業發展網絡更完整，提升事業廢棄物減量與達到資源化目標，進而建立綠色資源循環供應鏈。

4. 加值化處理廢棄物

- (1) 新興技術研發：適時導入更為低溫、低壓或節能等新興處理技術，提升再生資源品質高值化應用，創造循環價值。
- (2) 媒合國際資源再生技術交流合作：輔導技術輸入，促進再生產品高值化及資源再生產業升級。

(3) 結合國內學研單位，建構廢棄資源再生技術研發中心，建立核心資源再生技術。

(4) 開拓再生產品市場：建立再生產品清單、二次物料供需平台、再生產品驗證體系及履歷制度等，提升市場使用量。



圖 4 資源循環推動策略示意圖

資料來源：本研究自行繪製。

三、政策面

科學園區現行管理作為主要可分為產品前端的原料減量及後端的廢棄物再利用處理兩大主軸，綜整考量國家整體目標為資源循環零廢棄，爰本研究建議更精進作法，其規劃概念如下所述：

(一) 輔導園區事業加強鏈結上、下游產業，並橫向鏈結，以建立資源循環產業鏈，透過「產品綠色設計」、「廢棄物加值化處理」之具體措施執行，以打造科學園區循環經濟。

1. 產品綠色設計：相較於現有源頭減量方式減少廢棄物產生量，爰建議輔導廠商從產品設計著手，設計出易替換零件、易拆卸組合的結

構，使其產品更容易循環再利用，除可有效減少自然資源之浪費外，更可有效降低廢棄物的產生量。

2. **廢棄物加值化處理**：考量現有回收再利用多針對資源化事業廢棄物進行處理，爰建議透過媒合與導入新興技術，將目前非資源化事業廢棄物回收再利用，製成再生料回到製程中，減少自然資源的使用；亦可再製成再生產品使用，透過促進再生產品高值化及資源再生產業升級，以利強化廢棄物循環再利用。

(二) **補助學研機構研究廢棄物管理智慧化前瞻科技，並結合專業團隊透過輔導、補助園區事業導入相關成熟技術**：現行廢棄物處理多以人工方式進行查核追蹤，考量生成式 AI 將是下一波工業革命的核心，建議在廢棄物管理方面，透過生成式 AI 的導入與循環經濟新思維的共伴效應，推動循環經濟全面革新。以台積電為例，其於 2020 年導入 AI 人工智慧技術取代現場抽查，透過無線網路監控鏡頭，辨識並逐筆記錄廢棄物處理現況，另更可遠端追蹤以防堵廢棄物違法棄置，使其廢棄物的整體處理效率提升 65 倍。^[20] 因此，建議可大廠帶小廠，以串聯上下游供應鏈方式，共同建立淨零生態圈，加速形成低碳新興產業聚落。此外，亦可應用於產品設計，透過 AI 技術之模擬，將可節省更多資源與成本，爰建議可以推廣運用到園區適用的廠商，以打造科學園區循環經濟。

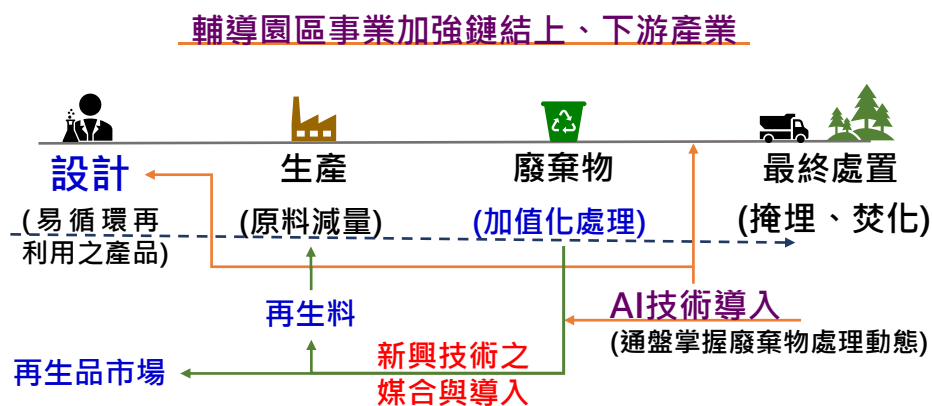


圖 5 提升科學園區事業廢棄物再利用方案示意圖

伍、參考文獻

1. 行政院環境保護署，臺灣 2050 淨零轉型「資源循環零廢棄」關鍵戰略行動計畫（草案），3 版，2023。
2. 國家科學及技術委員會南部科學園區管理局，園區事業廢棄物處理所需淨零科技及未來永續規劃-提高園區循環資源化處理技術評估，2023。
3. 環境部，事業廢棄物申報及管理資訊系統，2022。
4. 國家科學及技術委員會，立法院委員索資資料，2023。
5. 陳宣宇、江康鈺，含鋁塑膠包裝廢棄物熱處理回收鋁及能源之可行性研究，中華民國環境工程學會，2021 廢棄物處理技術研討會。
6. 林慈婷、關旻宗、王思淋、周文賢，偏光板膜材的回收與應用—PVA 去碘再生與應用，工業材料雜誌，371 期，2017 年。
7. 王春盛，半導體高濃度廢水之高級氧化處理與有機廢液之異丙醇回收，元智大學化學工程學系，2002。
8. 林宜璇、許國恩、朱敬平，高科技產業之氨氮廢水處理技術及資源化產物再利用現況，工業材料雜誌，409 期，2021 年。
9. Prawisudha, P.; Mu'min, G.F.; Yoshikawa, K.; Pasek, A.D. Experimental study on separation of metal layer in aluminum-plastic packaging by employing hydrothermal process. *In Proceedings of the Advancement in Technology and Management for Tomorrow*; 2014.
10. Zhang, S.F., Zhang, L.L., Luo, K., Sun, Z.X., Mei, X.X. Separation properties of aluminium - plastic laminates in post-consumer Tetra Pak with mixed organic solvent. *Waste Management & Research*, 32, 317-322, 2014.
11. Yousef, S., Mumladze, T., Tatariants, M., Kriūkienė, R., Makarevicius, V., Bendikiene, R., Denafas, G. Cleaner and profitable industrial technology for full recovery of metallic and non-metallic fraction of waste pharmaceutical blisters using switchable hydrophilicity solvents. *Journal of Cleaner Production*, 197, 379-392, 2018.
12. 張芸瑄、洪嘉蓮、林以潔、陳志成，不同廢塑膠之成分特性分析與製成固體再生燃料之最佳成分混配方式探討，中華民國環境工程學會，2021 廢棄物處理技術研討會。
13. 財團法人工業技術研究院，廢偏光板找對「碘」循環利用不是夢，經濟部產業技術司，2021。
14. 林婉妤，廢 IPA 可回收再利用，崑鼎電子報，NO. 007，2019。
15. 張冠甫、徐樹剛、黃盟舜、李茂松、張王冠，氨氮廢水處理與回收技

術及案例，工業技術研究院。

16. 蕭柏文，多種事業廢棄物在熱裂解製程的最佳摻配比-實廠測試，國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系，2021。
17. 黃凱銘，利用微波系統處理餾餘物回收高純度 NMP 溶劑之研究，南臺科技大學化學工程與材料工程系，2023。
18. 行政院環境保護署資源循環辦公室，淨零轉型關鍵戰略「資源循環零專題報導廢棄」之推動，台灣經濟論衡，Vol. 21，No. 1，2023。
19. 行政院環境保護署，臺灣 2050 淨零轉型「資源循環零廢棄」關鍵戰略行動計畫（核定本），2023。
20. 郭逸，台積電減碳幫手！這家 AI 技術處理廢棄物效率增 65 倍，ESG 遠見電子報，2023。