

資源循環及減碳效益驗證技術(2/4)

成果報告 (定稿)

執行期間：113 年 2 月 27 日至 113 年 12 月 31 日

計畫經費：1,050 萬元整

受託單位：財團法人工業技術研究院

受託單位執行人員：許心蘭、張添晉、陳俞瑾、黃韻潔、陳威仁、葉庭岑、鄒育雯、黃蜂運

中國民國一一三年十二月印製

計畫成果報告基本資料表

「資源循環及減碳效益驗證技術(2/4)」

委辦單位	國家環境研究院		
執行單位	財團法人工業技術研究院		
參與計畫人員姓名	許心蘭、張添晉、陳俞瑾、黃蜂運、黃韻潔、陳威仁、葉庭岑、鄒育雯		
年 度	113	計畫案號	113FB012
研究性質	<input checked="" type="checkbox"/> 基礎研究 <input type="checkbox"/> 應用研究 <input type="checkbox"/> 技術發展		
研究領域	資源循環		
計畫屬性	<input checked="" type="checkbox"/> 科技類 <input type="checkbox"/> 非科技類		
全程期間	113年02月~113年12月		
本期期間	113年02月~113年12月		
本期經費	10,500千元		
	資本支出		經常支出
	土地建築_____千元	人事費 <u>2,780</u> 千元	
	儀器設備_____千元	業務費 <u>880</u> 千元	
	其 他_____千元	材料費 <u>5,330</u> 千元	
		其 他 <u>1,510</u> 千元	
摘要關鍵詞 (中英文各三則)			
<u>資源循環(Resource Circulation)</u>			
<u>再生塑膠(Recycled Plastics)</u>			
<u>生質碳含量(Biobased Carbon Content)</u>			

計畫成果中英文摘要 (簡要版)

- 一、中文計畫名稱：
資源循環及減碳效益驗證技術(2/4)
- 二、英文計畫名稱：
Resource circulation and verification technologies for carbon reduction benefits(2/4).
- 三、計畫編號：
NERA024113036
- 四、執行單位：
財團法人工業技術研究院
- 五、計畫主持人(包括共同主持人)：
許心蘭，張添晉
- 六、執行開始時間：
民國113年2月27日
- 七、執行結束時間：
民國113年12月31日
- 八、報告完成日期：
民國113年12月4日
- 九、報告總頁數：
253
- 十、使用語文：
中文，英文
- 十一、報告電子檔名稱：
資源循環及減碳效益驗證技術2期__成果報告.DOC
- 十二、報告電子檔格式：
WORD 2021
- 十三、中文摘要關鍵詞：
資源循環、再生塑膠、生質碳含量
- 十四、英文摘要關鍵詞：
Resource circulation, Recycled plastics, Biobased carbon content
- 十五、中文摘要(約三百至五百字)

國家環境研究院於2023年訂定資源循環與淨零排放技術發展藍圖，從短期發展建議中聚焦4+3個循環項目，並針對該循環項目擬資源循環及減碳效益驗證機制，綜合國際間技術發展趨勢及研究方案，具驗證機制短期發展需求如電池再生料科學檢測技術、熱塑性塑膠、焚化飛灰、電池及紡織數位化流向追蹤管理系統及焚化飛灰循環再製建材環境安全性基線研究；中期則應發展熱塑性塑膠、紡織品等再生料科學檢測技術；目前尚無商轉之戰略項目如再生玻璃、再生碳纖、氟化鈣污泥回收再利用則列為長期研究發展方向。另也同步蒐集國際資源循環領域技術新知、法規趨勢，並以近五年間國際間資源循環法規趨勢，研提一國內部會於資源循環政策修法方向。

於塑膠循環材料驗證技術，本期採集國內前三大酯粒製造廠之不同應用之原生或再生PET酯粒及容器，共計34件次，以BSI Flex 6228建立相關特徵。結果顯示BSI Flex 6228方法於17件原生酯粒(排除非容器酯粒)準確率為76%、1件原生PET瓶為100%；而8件再生酯粒準確率為100%，2件再生PET瓶為0%。計畫以熱示差掃描儀圖譜研提創新作法，本作法以第二段升溫的結晶溫度及熔融峰有無 α 峰進行定性分析，以改善部分樣品使用BSI Flex 6228方法產生誤判情形(包括部分原生酯粒及再生PET瓶)，創新作法可將原生

酯粒及再生 PET 瓶準確率提升至100%。

另已完成國內高溫燃燒爐與低背景液體閃爍計數器量能建置，根據本計畫執行標準品及 SRF 樣品檢測結果，建議方法準確度為30%絕對誤差，而方法精確度則為20%標準差。而本計畫本計畫建置的生質碳比率檢測方法可應用於資源循環燃料。若需擴大應用到液體燃料或化學品等不同的樣品基質尚須驗證。

十六、英文摘要：

In 2023, the National Environmental Research Academy formulated the Blueprint for the Development of Resource Circulation and Net Zero Emission Technologies. The plan focuses on 4+3 circular projects from short-term development recommendations, drafting verification mechanisms for resource circulation and carbon reduction benefits for these projects. Based on international technological development trends and research initiatives, the short-term priorities include developing scientific testing technologies for recycled materials from batteries, thermoplastic plastics, incineration fly ash, and digital flow tracking management systems for strategic projects, as well as conducting baseline studies on the environmental safety of using recycled incineration fly ash in construction materials. In the medium term, efforts should focus on advancing scientific testing technologies for recycled materials, such as thermoplastic plastics and textiles. For long-term research and development, strategic projects that are not yet commercially viable—such as recycled fiberglass, recycled carbon fiber, and the reuse of fluorinated calcium sludge—are identified as key priorities.

This projects collected 34 samples of virgin or recycled PET resins from the top three domestic polyester pellet manufacturers with different applications. Relevant characteristics were established using the BSI Flex 6228 method. The results showed that the BSI Flex 6228 method achieved an accuracy rate of 76% for 17 virgin resins (excluding non-container resins) and 100% for one virgin PET bottle. Meanwhile, the accuracy for 8 recycled resins was 100%, but the accuracy for 2 recycled PET bottles was 0%. We also developed an innovative approach using a differential scanning calorimeter (DSC) spectrum for further analysis. This method uses the crystallization temperature and the presence or absence of an α peak in the second heating stage to conduct qualitative analysis, improving the misclassification issues found when using the BSI Flex 6228 method (including for certain virgin resins and recycled PET bottles). The new method increases the accuracy rate for virgin resins and recycled PET bottles to 100%.

Additionally, the domestic high-temperature incineration furnace and low-background liquid scintillation counter have been established. Based on the detection results of standard and SRF samples in this project, the recommended method has an accuracy of 30% absolute error and a precision of 20% standard deviation. The biomass carbon ratio detection method developed in this project can be applied to resource-recycling fuels. However, further validation is

needed if the method is to be extended to liquid fuels or chemicals with different sample matrices.

目 錄

計畫成果報告基本資料表	i
計畫成果中英文摘要（簡要版）	i
目 錄	i
圖 目 錄	v
表 目 錄	ix
報告大綱	xi
計畫成果中英文摘要（詳細版）	i
第一章 緣起與目標	1-1
1.1 計畫緣起	1-1
1.2 計畫目標與工作內容	1-2
1.3 工作進度與查核點	1-4
第二章 資源循環國際政策及法規研析	2-1
2.1 國際資源循環新訊更新	2-1
2.2 國際資源循環法規、標準及驗證制度	2-11
2.2.1 國際資源循環法規及趨勢	2-11
2.2.2 國際資源循環標準蒐集	2-30
2.2.3 資源循環材料驗證制度	2-42
2.3 我國資源循環法規與材料驗證制度推行成果	2-50
2.3.1 資源循環法規與政策推行沿革	2-50
2.3.2 我國資源循環材料驗證制度	2-53
2.4 國內外資源循環行動方案差異比較	2-59
2.4.1 資源循環政策與行動	2-59
2.4.2 再生材料驗證制度	2-62
2.4.3 資源循環相關政策修法方向建議	2-63
第三章 資源循環減碳效益驗證機制	3-1
3.1 資源循環技術發展藍圖優先發展項目篩選	3-1
3.1.1 循環項目優先發展篩選原則	3-2

3.1.2 「4+3」個循環項目篩選成果說明	3-5
3.2 資源循環減碳效益驗證機制	3-14
3.2.1 資源循環與減碳效益驗證機制研擬	3-14
3.2.2 循環項目國內需求與解決方案研析成果	3-15
3.2.3 「資源循環減碳效益驗證機制研擬討論」專家諮詢會	3-54
第四章 再生塑膠循環材料驗證方法	4-1
4.1 再生塑膠驗證流程評估與研究	4-1
4.1.1 再生塑膠重要性與國內外發展現況	4-1
4.1.2 再生塑膠供應鏈資訊盤整	4-14
4.1.3 BSI Flex 6228 v2.0 方法建立原生 PET 及再生 PET 特徵數據	4-24
4.1.4 BSI Flex 6228 v2.0 方法改善建議	4-44
第五章 固體再生燃料生質碳比率檢測技術	5-1
5.1 固體再生燃料(SRF)定義	5-1
5.2 生質碳比率檢測技術建置	5-3
5.2.1 碳 14 量測生質碳比率之原理	5-3
5.2.2 碳 14 量測流程	5-4
5.2.3 生質碳比率檢測方法之品保品管	5-9
5.2.4 生質碳比例檢測技術建置及分析成果	5-11
5.3 生質碳檢測擴大應用可行性評析	5-18
第六章 結論與建議	6-1
6.1 結論	6-1
6.2 建議	6-1
參考文獻	1
附件一、歷次審查意見回覆對照表	
附件二、資源循環中文研析報告	
附件三、每月資源循環新訊彙整	
附件四、循環項目與廢棄物代碼對照	
附件五、10 項循環項目量化指標數據成果	
附件六、再生塑膠供應鏈訪視表單	

附件七、液體閃爍計數器原始數據

附件八、會議記錄

圖 目 錄

圖 2.2-1、歐盟循環經濟行動計畫推動架構整理	2-12
圖 2.2-2、BS 8001:2017 循環經濟標準之執行章節結構	2-33
圖 2.2-3、BS 8001 循環經濟六大原則	2-34
圖 2.2-4、ISO 59000 系列文件.....	2-35
圖 2.2-5、ISO 59004、ISO 59010 及 ISO 59020 之相關性.....	2-36
圖 2.2-6 循環經濟實施指引架構.....	2-37
圖 2.2-7、量測和評估循環績效框架	2-39
圖 2.2-8、回收二次材料的活動和過程簡化表示.....	2-41
圖 2.2-9、C2C 認證標準 5 大面向.....	2-44
圖 2.2-10、搖籃到搖籃(C2C)認證流程	2-45
圖 2.2-11、SCS 回收材料驗證流程	2-45
圖 2.2-12、全球回收標準(GRS)申請流程.....	2-47
圖 2.3-1 資源循環零廢棄推動架構	2-52
圖 2.3-2、塑膠再生料溯源驗證流程	2-54
圖 2.3-3、EcoT 環保及可追溯紡織品管理系統架構	2-55
圖 2.3-4、EcoT 合格標籤（以 PET 應用示範例）	2-56
圖 2.3-5、資源再生綠色產品認定申請之主要審查程序	2-57
圖 2.3-6、供作食品容器具包裝製造使用之 PET 再製酯粒原料適宜性申請作業流 程	2-58
圖 3.2-1、資源循環及減碳效益驗證機制規劃流程	3-15
圖 3.2-2、塑膠再生料溯源驗證申請程序	3-23
圖 3.2-3、國內再生料供應業者及 PCR 含量	3-26
圖 3.2-4、歐洲各國廢輪胎磨粉再利用的比例	3-28
圖 3.2-5、焚化底渣委託廠商處理再利用監督組織	3-35
圖 3.2-6、全球原生纖維及再生纖維占比	3-37
圖 3.2-7、纖維材料驗證資訊數位化與試行	3-40

圖 3.2-8、再生綠建材評定要項.....	3-44
圖 3.2-9、產品數位護照未來推動進度規劃.....	3-48
圖 3.2-10、DPP 推動期程.....	3-49
圖 3.2-11、資源循環及減碳效益研擬討論專家諮詢會議.....	3-55
圖 4.1-1、全世界塑膠生產量.....	4-3
圖 4.1-2、塑膠生命週期年度碳排放量.....	4-3
圖 4.1-3、EMF 新塑膠全球經濟承諾 2022 年 PCR 使用比例.....	4-5
圖 4.1-4、EMF 新塑膠全球經濟承諾 2022 年原生塑膠產量.....	4-5
圖 4.1-5、塑膠結構圖.....	4-10
圖 4.1-6、塑膠分類圖.....	4-10
圖 4.1-7、我國資源回收體制.....	4-11
圖 4.1-8、塑膠物理及化學回收機制.....	4-13
圖 4.1-9、111 年度應回收容器塑膠材質回收佔比.....	4-14
圖 4.1-10、我國再生塑膠供應鏈廠訪篩選原則.....	4-16
圖 4.1-11、國內依塑膠材質、用途、顏色分類之廢瓶磚.....	4-19
圖 4.1-12、PET 瓶磚至瓶片處理程序彙整示意.....	4-19
圖 4.1-13、瓶片至再生酯粒製造程序彙整示意.....	4-20
圖 4.1-14、PET 結構式.....	4-26
圖 4.1-15、本計畫原生 PET 塑膠片的 DSC 曲線.....	4-27
圖 4.1-16、原生（左）與再生（右）PET 酯粒樣品圖.....	4-28
圖 4.1-17、原生與再生 PET 塑膠加工程序之特徵差異.....	4-29
圖 4.1-18、混煉射出片先期測試成果.....	4-30
圖 4.1-19、熱充填酯粒之產品應用.....	4-31
圖 4.1-20、原生酯粒特徵（2nd Tc 峰、無 α 峰）.....	4-32
圖 4.1-21、再生酯粒特徵（無 2nd Tc 峰、有 α 峰）.....	4-32
圖 4.1-22、酯粒直測與混煉射出片的 T _{p,c,C} 溫度比較.....	4-33
圖 4.1-23、酯粒直測、混煉射出與熱壓成型的 T _{p,c,C} 溫度比較.....	4-34
圖 4.1-24、原生酯粒以 BSI Flex 6228 方法個別量測數據.....	4-39
圖 4.1-25、N-08 原生紡用酯粒的混煉射出片.....	4-39

圖 4.1-26、原生酯粒的 PrPET 機率值	4-40
圖 4.1-27、再生酯粒及容器以 BSI Flex 6228 方法個別量測數據.....	4-41
圖 4.1-28、原生及再生酯粒混煉射出片	4-41
圖 4.1-29、N-12 再生紡用酯粒的混煉射出片	4-42
圖 4.1-30、再生酯粒的 PrPET 機率值	4-42
圖 4.1-31、不同再生料添加比例的 PrPET 機率值	4-43
圖 4.1-32、不同再生料添加比例以 BSI Flex 6228 方法個別量測數據.....	4-43
圖 5.2-1、高溫燃燒前處理進行碳-14 活度分析之作業流程圖.....	5-4
圖 5.2-2、評估不同 3H 試樣之燃燒溫度示意圖	5-5
圖 5.2-3、Pyrolyser-2 Trio™ 工作區域示意圖.....	5-6
圖 5.2-4、LSC 量測原理圖.....	5-6
圖 5.2-5、Quench 影響 LSC 之偵檢效率	5-7
圖 5.2-6、LSC 光譜受 Quench 影響示意圖	5-7
圖 5.2-7、高溫管式燃燒儀系統	5-11
圖 5.2-8、低背景液態閃爍計數儀系統	5-11
圖 5.2-9、高溫燃燒爐前處理操作程序	5-12
圖 5.2-10、Pyrolyser 2 燃燒儀之 600°C 加熱升溫曲線（梯度）	5-13
圖 5.2-11、Pyrolyser 2 燃燒儀之 900°C 加熱升溫曲線（快速）	5-13
圖 5.2-12、Pyrolyser 2 燃燒儀之 900°C 加熱升溫曲線（梯度）	5-13
圖 5.3-1、生質能技術總覽	5-19
圖 5.3-2、生物基產品上中下游的價值鏈	5-19
圖 5.3-3、一般石化塑膠與生質塑膠分類	5-21
圖 5.3-4、歐洲生質塑膠組織預估生質塑膠未來產能	5-22
圖 5.3-5、歐洲生質塑膠組織盤點 2023 年生質塑膠應用	5-22
圖 5.3-6、國際能源總署 42 種分類系統的生物質轉化技術	5-24
圖 5.3-7、LanzaTech 生產生質化學品應用於生質塑膠包裝.....	5-25
圖 5.3-8、美國再生燃料預估量	5-28
圖 5.3-9、IEA 全球生質燃料預估量	5-31

表目錄

表 1.3-1、本計畫之查核點規劃.....	1-4
表 1.3-2、實際預定進度及查核點說明.....	1-5
表 1.3-3、本計畫預定進度及查核點規劃.....	1-6
表 2.1-1、塑膠國內外法規、技術等新訊重點彙整.....	2-2
表 2.1-2、電器與電子產品國內外法規、技術等新訊重點彙整.....	2-4
表 2.1-3、儲能及電動車用電池國內外法規、技術等新訊重點彙整.....	2-5
表 2.1-4、廢棄物能源化與生質能國內外法規、技術等新訊重點彙整.....	2-7
表 2.1-5、紡織品國內外法規、技術等新訊重點彙整.....	2-9
表 2.1-6、紡織品國內外法規、技術等新訊重點彙整.....	2-10
表 2.2-1、歐盟與國內資源循環零廢棄十大關鍵項目中相關之關鍵項目政策框架 關鍵時間軸.....	2-13
表 2.2-2、美國與國內資源循環零廢棄十大關鍵項目中相關之關鍵項目政策..	2-19
表 2.2-3、日本與國內資源循環零廢棄十大關鍵項目中相關之關鍵項目政策..	2-23
表 2.2-4、韓國與國內資源循環零廢棄十大關鍵項目中相關之關鍵項目政策..	2-25
表 2.2-5、各國近五年重點循環材料政策比對.....	2-29
表 2.2-6、全球塑膠公約所規範的內容.....	2-30
表 2.2-7、UL 3600 循環係數認證評估項目及參考標準.....	2-43
表 2.3-1 我國資源循環政策沿革摘要.....	2-50
表 2.3-2、西元 2022 年各部會資源循環推動成果摘要.....	2-52
表 2.4-1、以我國 10 個關鍵項目分類彙整國際間相關政策.....	2-59
表 3.1-1、項目篩選原則與權重.....	3-5
表 3.1-2、10 項資源循環項目質化指標彙整.....	3-10
表 3.1-3、10 項資源循環項目量化指標彙整.....	3-11
表 3.1-4、10 項資源循環項目篩選原則與分數統計結果.....	3-13
表 3.2-1、國內廢塑膠容器近 3 年回收量(公斤).....	3-17
表 3.2-2、擬似污染物之示例物質.....	3-21

表 3.2-3、日本底渣類資源化產品環境安全基準	3-33
表 3.2-4、重金屬成份 TCLP 檢出值標準表	3-46
表 3.2-5、電池使用回收料占比	3-48
表 3.2-6、4+3 循環項目之國內外需求及發展需求彙整表	3-52
表 3.2-6、「資源循環減碳效益驗證機制研擬討論」專家諮詢會議程	3-55
表 3.2-7、專家諮詢會委員名單	3-55
表 3.2-8、專家評分結果	3-58
表 4.1-1、歐洲再生塑膠推動情形	4-7
表 4.1-2、英國 WRAP 再生塑膠目標	4-8
表 4.1-3、塑膠回收辨識碼標準	4-12
表 4.1-4、再生塑膠供應鏈廠商訪視清單	4-17
表 4.1-5、混煉射出先期評估的酯粒樣品	4-30
表 4.1-6、31 件次 PET 酯粒樣品說明	4-35
表 4.1-7、34 件次 PET 樣品特徵數據	4-37
表 4.1-8、原生酯粒、再生酯粒量測值彙整	4-44
表 4.1-9、酯粒於定性方法判斷原則的符合性	4-44
表 4.1-10、寶特瓶於定性方法判斷原則的符合性	4-44
表 4.1-11、rPET 酯粒壓片於定性方法判斷原則的符合性	4-45
表 5.1-1、可作為固體再生燃料原料之廢棄物種類	5-1
表 5.2-1、計畫評估準確度之 10 件次 SRF 樣品	5-10
表 5.2-2、以標準物質測試高溫燃燒系統不同升溫梯度成果	5-14
表 5.2-3、以樣品總碳含量進行樣品回收率評估成果	5-14
表 5.2-4、固體再生燃料之二氧化碳轉化回收率結果彙整	5-15
表 5.2-5、不同生質碳比率固體再生燃料樣品準確度評估	5-16
表 5.2-6、不同生質碳比率固體再生燃料樣品準確度評估	5-16
表 5.3-1、全球公司生產的生質化學品概覽以及示範規模（擷取部分）	5-23

報告大綱

一、緣起與目標

說明計畫緣起、關鍵議題、計畫目標與工作內容、進度與工作查核點。

二、資源循環國際政策及法規研析

透過了解和借鑒國際資源循環法規、標準、驗證、趨勢、技術水平等新知，有助於推動我國更實效的資源循環政策擬定和技術發展規劃。另也彙整歐盟、美國、日本及韓國循環經濟方面近 5 年之政策法令趨勢，以及循環標準則與循環材料驗證制度發展內容；同時描述我國資源循環法規沿革及材料驗證制度。最終，將根據我國資源循環 10 個關鍵項目進行分類、彙整和分析，提出未來發展之建議，以作為我國推動資源循環政策調整及施政參考依據。

三、資源循環減碳效益驗證機制研擬

研擬五大質化指標如供應鏈要求、國外法規規範、國內綠色費率、未來政策需求、具污染環境之虞及三大量化指標申報量、再利用量及再利用率等篩選出 4+3 個循環項目研擬國內資源循環及減碳效益驗證機制。此循環項目包括熱塑性塑膠、底渣、橡膠殘餘物、飛灰及紡織品、循環建材及戰略項目。依上述聚焦的循環項目研析國內外目前的問題及需求，蒐研國際間的研究方案、技術發展趨勢等，並以蒐研的資料研析該循環項目是否具驗證機制發展需求，並將其分為三大類，一為無驗證機制需求（目前驗證機制完善）、二為具驗證機制需求，最後將目前政策或趨勢尚不明朗者列為具潛在驗證需求，並召開一「資源循環及減碳效益驗證機制研擬」專家諮詢會議，於會內請專家給予評分與建議，依此作為國環院短、中、長期研究方向發展建議。

四、再生塑膠循環材料驗證方法

為建立我國原生 PET 及再生 PET 特徵數據，計畫自事業廢棄物申報及資訊管理系統查詢民國 111 至 112 年 D 類廢塑膠混合物和 R 類公告應回收塑膠之申報量，並予以統計排序，篩選國內前十大再生塑膠供應鏈廠商，針對再生塑膠回收處

理、再生塑膠粒製程及再生塑膠粒使用，蒐集其製程資訊、再生塑膠驗證需求及業者對於國內塑膠回收政策之意見。

除外，篩選出國內生產 183094 聚酯粒前三大廠商，採集其不同產品應用如大型瓶用（五加侖桶）、汽水瓶用、熱充填用、紡用等原生及再生 PET 酯粒 30 件次，以改善之 BSI Flex 6228 方法量測(1)熔融後結晶溫度(Crystallization Peak Temperature on Cooling, $T_{p,c,C}$ (°C))、(2)色度(Colorimetry, L^*)及(3)波長 678 nm 下的穿透度(Transmission, $T_{678\text{nm}}$ (%))，評估方法是否得以辨識原生 PET 或再生 PET。另選取各一件原生及再生酯粒，以 15%、25%、30% 及 60% 重量百分比方式混合均勻後，熔融押製成塑膠片，進行再生塑膠添加比例線性評估，以廣泛評估 BSI Flex 6228 方法於我國原生或再生 PET 酯粒產品之適用性。

五、固體再生燃料生質碳比率檢測技術

為建置我國本土低背景液體閃爍計數器檢測 SRF 生質碳比率量能，進行 10 件次不同生質碳比率之 SRF 樣品評估準確度，並以國際標準品評估高溫燃燒儀的回收率、方法精確度、準確度及偵測極限等品保品管數據。

另蒐集國際間於生質碳材料的政策或供應鏈要求產生的驅動力，依其驅動力歸納未來生質碳材料或產品應為液態或固態居多，而以目前建置之高溫燃燒系統與低背景液體閃爍計數器方法原理及國際標準方法公告情形，評估其技術確實有擴大應用之可行性。

六、結論與建議

針對本期計畫執行成果提出結論與建議。

計畫成果中英文摘要（詳細版）

計畫名稱：資源循環及減碳效益驗證技術(2/4)

計畫案號：113FB012

計畫執行單位：財團法人工業技術研究院

計畫主持人(包括協同主持人)：許心蘭，張添晉

計畫期程：民國113年02月27日起民國113年12月31日止

計畫經費：1,050萬元整

摘要：

國家環境研究院於2023年訂定資源循環與淨零排放技術發展藍圖，下階段將從短中期的10項循環項目，篩選出4項研擬資源循環及減碳效益驗證制度。計畫羅列5個質化指標如供應鏈要求、國外法規規範、國內綠色費率、未來政策需求、具污染環境之虞及3個量化指標申報量、再利用量及再利用率等篩選出4+3個循環項目熱塑性塑膠、底渣、橡膠殘餘物、飛灰及紡織品、循環建材、戰略項目等研擬國內資源循環及減碳效益驗證機制。其機制係透過國內外問題及需求，盤點國內外相呼應之研究方案及技術發展趨勢，綜整除底渣國內驗證機制已完善，其它循環項目皆具有再生料科學檢測技術、數位化流向追蹤管理系統或循環再利用產品基線研究不等之驗證需求。其研析成果以「資源循環及減碳效益驗證研擬」專家諮詢會進行意見交流與討論，最終聚焦短期國環院應發展之驗證機制應為熱塑性塑膠、焚化飛灰、紡織及電池循環利用之數位化流向追蹤管理系統，於再生料科學檢測技術（如熱塑性塑膠、紡織品等）尚有技術無法突破之際，科學檢測技術可納為中期逐步建構之目標，而目前尚無循環材料產品於市面商轉（如再生玻纖、氟化鈣污泥再製氫氟酸等）則應為長期研究發展建議。另計畫亦定期蒐集國際資源循環新知，與近五年資源循環法規發展趨勢，提供各部會未來修法方向參考。

於塑膠循環材料驗證技術部分，計畫自國內再生塑膠供應鏈訪視出發，蒐集我國再生塑膠特徵影響因子、製程與產品用途及我國業者於塑膠回收管理策略建議。並先行自事業廢棄物申報及資訊管理系統查詢我國民國111~112年 D 類廢塑膠混合物和 R 類公告應回收塑膠材質

申報量較大者，擇定採樣標的。樣品採集完成後，使用 BSI Flex 6228 方法建立我國原生及再生 PET 酯粒之特徵數據，並以 BSI Flex 6228 方法關係式計算其為再生酯粒機率值是否準確預判。結果顯示 BSI Flex 6228 方法於 17 件原生酯粒（排除非容器酯粒）準確率為 76%、1 件原生 PET 瓶為 100%；而 8 件再生酯粒準確率為 100%，2 件再生 PET 瓶為 0%。計畫以熱示差掃描儀圖譜研提創新作法，本作法以第二段升溫的結晶溫度及熔融峰有無 α 峰進行定性分析，以改善部分樣品使用 BSI Flex 6228 方法產生誤判情形（包括部分原生酯粒及再生 PET 瓶），創新作法可將原生酯粒及再生 PET 瓶準確率提升至 100%。

另已完成國內高溫燃燒爐與低背景液體閃爍計數器量能建置，根據本計畫執行標準品及 SRF 樣品檢測結果，建議方法準確度為 30% 絕對誤差，而方法精確度則為 20% 標準差。而本計畫本計畫建置的生質碳比率檢測方法可應用於資源循環燃料。若需擴大應用到液體燃料或化學品等不同的樣品基質尚須驗證。

The National Environmental Research Academy formulated the Blueprint for the Development of Resource Circulation and Net Zero Emission Technologies in 2023. In the next phase, it will select 4 out of 10 medium- and short-term circular projects to draft a verification system for resource circulation and carbon reduction benefits. The plan identifies five qualitative indicators—supply chain requirements, foreign regulatory norms, domestic green tariffs, future policy needs, and potential environmental pollution risks—and three quantitative indicators—reporting volume, reuse volume, and reuse rate—to screen 4+3 circular projects, including thermoplastic plastics, bottom ash, rubber residues, fly ash, textiles, circular construction materials, and strategic projects, for drafting mechanisms for resource circulation and carbon reduction benefit verification in Taiwan. The mechanism leverages domestic and international issues and demands, compiling research solutions and technological development trends from both local and global sources. It was noted that while Taiwan's verification mechanism for bottom ash is already well-established, other circular projects still require validation in areas such as scientific testing technologies for recycled materials, digital flow tracking management systems, or baseline

studies for circular reuse products. The findings were reviewed and discussed in the "Expert Consultation Meeting on Resource Circulation and Carbon Reduction Benefit Verification," which concluded that NERA's short-term focus should be on developing verification mechanisms for digital flow tracking management systems for thermoplastic plastics, incineration fly ash, and battery recycling. For scientific testing technologies, such as those for thermoplastic plastics and textiles, technical breakthroughs remain challenging, making them a medium-term goal for gradual construction. Furthermore, circular material products that are not yet commercially available, such as recycled fiberglass and regenerated hydrofluoric acid from fluorinated calcium sludge, should be prioritized as long-term research and development goals. Additionally, the project regularly collects the latest international insights on resource circulation and tracks trends in resource circulation regulations over the past five years to guide future legislative amendments across various governmental departments.

In evaluating and researching the verification process for recycled plastics within the resource recycling material verification methods, the project conducted field visits along the domestic recycled plastic supply chain. This included collecting data on the characteristics, influencing factors, manufacturing processes, and product applications of recycled plastics in Taiwan and recommendations on plastic recycling management strategies from domestic industry stakeholders. Using the Business Waste Reporting and Information Management System, the project identified significant reporting volumes of Category D waste plastic mixtures and Category R publicly announced recyclable plastics from 2022 to 2023 as the sampling targets. After completing sample collection, the BSI Flex 6228 method was used to establish characteristic data for virgin and recycled PET pellets in the country. The probability values for identifying recycled pellets were calculated using the BSI Flex 6228 relational formula to determine predictive accuracy. The results showed that the BSI Flex 6228 method achieved an accuracy rate of 76% for 17 virgin resins (excluding non-container resins) and 100% for one virgin PET bottle. Meanwhile, the accuracy for 8 recycled resins was 100%, but the accuracy for 2 recycled PET bottles was 0%. We also developed an innovative approach using a

differential scanning calorimeter (DSC) spectrum for further analysis. This method uses the crystallization temperature and the presence or absence of an α peak in the second heating stage to conduct qualitative analysis, improving the misclassification issues found when using the BSI Flex 6228 method (including for certain virgin resins and recycled PET bottles). The new method increases the accuracy rate for virgin resins and recycled PET bottles to 100%.

Additionally, the domestic high-temperature incineration furnace and low-background liquid scintillation counter have been established. Based on the detection results of standard and SRF samples in this project, the recommended method has an accuracy of 30% absolute error and a precision of 20% standard deviation. The biomass carbon ratio detection method developed in this project can be applied to resource-recycling fuels. However, further validation is needed if the method is to be extended to liquid fuels or chemicals with different sample matrices.

前言：

為實現聯合國2021年制定之2050淨零碳排計畫，許多國內外企業已開始將循環經濟思惟納入發展的藍圖上，各國均認定循環經濟是推動未來經濟發展的新引擎，有別於以往的污染防治、廢棄物管理等環保作為，循環經濟更強調透過資源循環創造新的經濟利益。近幾年，各國紛紛頒布資源循環相關法令，並依此研擬諸多行動方案，我國國家發展委員會亦因應淨零碳排目標，於2022年3月30日公布十二項關鍵戰略，並將資源循環零廢棄納為其一戰略，於國際趨勢與國內關鍵戰略之推動願景下，應盡速完備我國資源循環發展規劃，落實行動方案，並提供多元化之減碳驗證技術以鼓勵各界證明自身減碳成效。

國家環境研究院（後簡稱國環院）於112年度已著手投入資源循環與淨零排放發展藍圖，並以毒性大小、量體多寡、政策需求等多方面篩選出10項優先發展項目；另以環境部資源循環署推動之固體再生燃料 (Solid Recovered Fuel, SRF)、再生塑膠等投入減碳效益技術等研究，前

者以國際標準方法 ISO 21644-2021 四種不同方法測定國內30件次 SRF，綜合技術門檻與建置績效，建議國內下階段應建立低背景液體閃爍技術器作為生質碳比率技術；後者再生塑膠添加先期則依據英國標準方法 BSI Flex 6228: v2.0 測試聚對苯二甲酸乙二醇酯 (Polyethylene Terephthalate, PET) 酯粒及再生 PET 商品，其預測準確率達85%以上。本期計畫期能聚焦4項資源循環優先發展項目，提出國際回收制度並研擬資源循環及減碳效益驗證機制；並持續精進資源循環材料驗證流程，包括再生 PET 酯粒與再生 PET 商品辨識準確度與方法改善建議，並建立國內低背景液體閃爍器生質碳技術檢測量能，以成為我國資源循環與減碳路徑推動之重要技術後援。

執行方法：

一、資源循環新訊更新

每月定期提供國內外資源循環相關資訊並進行趨勢分析，蒐集國內外資源循環發展趨勢與規範、發展技術方向、國內外新聞資訊發布之重要新技術或趨勢，成立資源循環趨勢新訊 LINE 群組，每月定期發布2次資源循環相關資訊。

二、資源循環國際政策及法規研析

以歐盟、美國、日本、韓國近5年(2018~2023)的法規、指令及國際循環經濟指標、循環材料驗證制度等相關資料進行分析，探討國際發展趨勢。同時彙整我國資源循環法規沿革及相關循環材料驗證制度，評估國內外發展之異同和趨勢。最終基於法規與驗證制度的分析，提供具體且可行之建議，以完善我國資源循環材料驗證制度方向與目標。

三、資源循環及減碳效益驗證制度需求評估

計畫羅列之質化指標及量化指標，自10個循環項目中盤點出4個循環項目分別為熱塑性塑膠、底渣、橡膠殘餘物及飛灰，另依據未來政策需求另納入資源循環署中長期個案計畫中欲建立再生商品驗證機制之紡織品、循環建材及戰略項目等，合計4+3個循環項目。

4+3個循環項目個別針對國內外待解決的問題及需求進行盤點，及國內外研究方案、技術發展趨勢等，最終盤點研析結果底渣(焚化底渣)而其餘循環項目如熱塑性塑膠、橡膠殘餘物、飛灰(焚化飛灰)、紡織品、循環建材、數項戰略項目等各具有各自驗證機制發展需求，依據評析結果於「資源循環及減碳效益驗證機制研擬討論」專家諮詢會議討論

短、中、長期發展需求。

四、再生塑膠循環材料驗證方法

再生塑膠供應鏈廠家篩選原則：(1)廢塑膠回收處理申報量大、(2)回收處理材質種類多。計畫透過事業廢棄物申報及資訊管理系統(後簡稱為事廢系統)查詢民國111~112年度國內廢棄物代碼 D-0299廢塑膠混合物、R-0201廢塑膠、R-0202廢塑膠容器(PET)、R-0203廢塑膠容器(PVC)、R-0204廢塑膠容器(PE)、R-0205 廢塑膠容器(PP)、R-0206廢塑膠容器(PS 發泡)、R-0207廢塑膠容器(PS 未發泡)、R-0208廢塑膠容器(其他塑膠)等代碼申報量加總再予以排序，刪除與再生塑膠無關製程，再次重新排序後，再依塑膠回收材質種類多的原則擇定國內10家再生塑膠供應鏈訪視廠家。

針對前期計畫中 BSI Flex 6228 再生酯粒預測失準原因，初步研判與塑膠加工程序過程的熱歷史不同有關，且熱壓製片程序亦導致試片表面不平整，影響穿透度與明亮度的測項，經塑膠加工程序測試調整後，計畫提出具體的方法精進建議。

依據精進之塑膠加工方法，建立本土 PET 原生及再生 PET 酯粒特徵，為確保特徵數據之代表性，同樣至事廢系統查詢民國111~112年 180394聚酯粒產出量最大之廠家，並計算個別占比，最後擇定至少採集遠東新世紀股份有限公司、南亞塑膠股份有限公司及新合纖股份有限公司前三大酯粒廠，並涵蓋不同應用端之酯粒如紡用、瓶用、平板容器用、化妝品用等的原生或再生酯粒，建立其特徵數據資料，以評估技術是否足以辨識原生、再生酯粒及其容器；再從中選取各一件原生及再生酯粒以重量百分比方式混摻成15%、25%、30%及60%以評估再生料添加比例之線性關係。

五、固體再生燃料生質碳比率檢測技術

此分析檢測技術之開發與建置主要參照 ISO 21644:2021進行設計。原理主要利用高溫燃燒儀將 SRF 樣品之所有碳轉化為二氧化碳¹⁴CO₂，再以碳捕捉液收集二氧化碳，最後與閃爍液充分混合後以低背景液體閃爍計量測碳-14活度，用以評估其 SRF 中生質碳比率。方法建置完成將包括基本品保品管建議，如準確度、精確度及偵測極限等。最後再以不同生質碳比率之10件固體再生燃料樣品評估方法之準確度，其準確基準值將參考國際實驗室可追溯至 NIST 國際標準品草酸(Oxalic Acid II, OX II)之量測值。

以國際間政策或供應鏈的驅動力評估生質碳樣品可能之基質與樣態，再以該樣態評估以國內刻正發展之高溫燃燒爐搭配低背景液體閃爍計數器技術是否適用於資源循環燃料。

結果：

一、資源循環新訊更新

目前已完成8份新訊摘要，與17份中文研析報告。於本年度蒐集較多法規、國內外新聞、技術新知探討的關鍵項目較多的是塑膠、儲能及電動車用電池、電器及電子產品、廢棄物能源化及生質能、紡織品與太陽能及風力葉片，其中又以塑膠在全球規範的法規力道與全球盛大會議關注度最高，期望可顯著減少石化塑膠產量，而我國環境部同樣於今年擴大限塑活動，並針對非食品容器添加再生料輔以綠色設計、無標籤等提高回收清除處理費率優惠。

二、資源循環國際政策及法規研析

本計畫將歐、美、日、韓相關政策以我國資源循環零廢棄政策中10個關鍵項目作為分類彙整；與其他先進國家相比，我國在塑膠、紡織品、化學品及儲能及電動車用電池政策的實施方式和效果上存在一些顯著的差異：

- (一) 塑膠：隨著生質塑膠使用的普及化，建議我國規劃生質塑膠的回收策略，建立完善的管理機制。並強化再生塑膠追溯系統和檢驗機制，確保達到國際標準。
- (二) 紡織品：歐盟要求生產者在紡織品設計中導入綠色理念並負責回收與再利用。我國雖有紡織品循環指引，但缺乏嚴格法規。建議未來制定與國際接軌的環保护法規，強化監管，明確生產者回收責任。
- (三) 化學品：持續發展液體化學品的流向控管，並參考國外評估流程調整租賃方式。同時建議建立再生化學品品質驗證制度，涵蓋認證、標示及追蹤系統，以確保安全性與品質穩定。
- (四) 儲能及電動車用電池：雖然已制定廢棄物清理工法，但需加強對再生材料的標準與測試。同時聚焦於回收及再生材料的使用，並推動電池護照制度，最終儘早規劃再生材料的驗證機制。
- (五) 產品數位護照：持續彙整歐盟的法規制度動向，並結合現有之制度及相關部會法規與資源，適時調整和完善我國產品數位履歷之

發展。

再生材料驗證制度對資源循環與環保推廣至關重要，然我國目前缺乏統一標準，影響市場競爭力，應參考國際驗證標準如 SCS 和 GRS，建立符合國際規範的驗證體系。此外，建議制定材料性能標準並設立專業機構負責認證管理，確保材料來源與處理過程符合要求；同時，完善查驗機制，進行產品抽查及數據監控，確保再生材料合法使用。

三、資源循環減碳效益驗證機制研擬

資源循環及減碳效益驗證機制又可分為數位化履歷管理系統、再生料科學檢測技術及循環產品環境安全性驗證。短期（三年內）聚焦於熱塑性塑膠、焚化飛灰、紡織及電池數位化履歷管理系統建立，電池再生料科學檢測技術及焚化飛灰及循環建材等環境安全性驗證；中期則逐步建構熱塑性塑膠、紡織等再生料科學檢測技術；橡膠再生料、循環建材等再生料科學檢測技術則為長期研究發展目標。

四、資源循環材料驗證方法

（一）再生塑膠供應鏈訪視彙整

再生塑膠供應鏈的製程包括塑膠回收處理和再生酯粒製造使用兩個階段。首先，回收商將廢瓶磚按材質和顏色分類壓縮打包後出售給處理商，PET 和 HDPE 會被分開處理。PET 材質的廢瓶磚經過熱洗、標籤去除、光學分選、粉碎和清洗，成為再生瓶片，非 PET 材質則根據比重進行密度分選。高品質的再生瓶片可直接製成長纖維，用於機能性衣服，次等級則製成短纖，如填充棉。另瓶片亦可以金屬檢測、光學分選和熔融射出成透明酯粒，利用固態聚合反應提高分子量和黏度，成為白色再生酯粒，用於各類容器和非食品包裝。

再生塑膠需求量大，但以國外市場為主，國內雖有環保標章和綠色費率，但再生酯粒價格較高，加上並無強制性法規規定，短期內難以成為廠家自主添加的經濟誘因。為滿足國外廠家要求，國內多數的再生塑膠回收處理業者和再生酯粒製造商多取得 GRS、RCS 等第三方驗證，通過文件履歷和質量平衡確保再生料使用比例，但亦有耳聞文件履歷系統存在人為偽造風險。故有部份大廠曾研析消費後再生塑料(Post-Consumer Recycled, PCR)中會存在微量有機化合物，而再生次數越多其再生塑膠的 Lab 值也會呈顯著差異。

推動再生塑膠對於全球淨零碳排有顯著貢獻，國內再生塑膠處理廠或製造廠亦有執行過產品碳足跡，並獲得第三方查證，經廠方提供之

數據，相較於自廠原生酯粒約可減碳56~62%。

(二) BSI Flex 6228系統性建立原生及再生 PET 酯粒特徵

計畫以 BSI Flex 6228方法進行原生、再生酯粒及其容器共計34件次的特徵分析，其量測測值再代回 BSI Flex 6228關係式進行原生酯粒或再生酯粒的準確率預判。結果顯示，以計畫精進之塑膠加工程序（以熱壓製片加工量測塑膠片的熔融後冷卻時的結晶溫度($T_{p,c,C}$)，及混煉射出片量測塑膠片的色度(L^*)與波長678 nm 的穿透度)，結果顯示扣除方法不適用的紡用酯粒外，則原生酯粒預判準確率為72%，而再生酯粒機率值均為1.000，其預判準確率達100%。惟進一步利用 BSI Flex 6228方法研判不同再生料添加比例，分別為15%、25%、30%及60%，但如有添加再生料其機率值即為1.000，並不具有機率值的線性關係，雖三個量測項目的特徵上具有一定趨勢，但亦未呈線性關係，研判目前欲得知樣品中塑膠再生料添加比例，可能科學上驗證技術上尚有無法突破的困境。

(三) BSI Flex 6228方法精進改善建議

為能準確預判該酯粒是否為原生或再生酯粒，計畫另提一熱示差掃描儀(Differential Scanning Calorimetry, DSC)的定性方法，由原本酯粒圖譜上可發現原生酯粒於 DSC 圖譜第二段升溫（即材料本身性質）均為出現結晶溫度(Crystallization Temperature, T_c)（為避免混淆以下將稱為 $2^{nd} T_c$ ），且熔融峰上不具有分岔的 α 峰(α Peak)；反之再生酯粒則因降溫時的結晶速率快，故第二段升溫時其晶體已完全呈結晶態，不會看到 T_c ，但可能因再生酯粒含其他成分（如雜質），故熔融峰上會出現分岔的 α 峰(α Peak)。

將上述原生酯粒中 BSI Flex 6228方法進行 DSC 圖譜特徵雙重確認，驗證結果顯示除紡用酯粒外，其它容器類原生酯粒的預判準確率可提升至100%（原 BSI Flex 6228方法不適用的原生酯粒，符合定性方法判斷原則，有 $2^{nd} T_c$ 且不具有 α 峰）。

五、固體再生燃料生質碳比率檢測技術

(一) 低背景液體閃爍計數器搭配高溫燃燒前處理法建置成果

計畫以國際標準品以草酸、木頭及大理石進行高溫燃燒前處理系統轉化效率評估，標準品以梯度升溫至900°C，燃燒至少5小時左右其轉化回收率為79~113%間，如以該升溫梯度燃燒固體再生燃料樣品，則依據其總碳含量推估其轉化回收率為40~109%，且回收率受樣品生質碳

含量降低而下降，研判應受樣品中不純物或無機物質所致。

以10件不同生質碳比率之固體再生燃料進行方法準確度評估，結果顯示於生質碳比率低(<30%)之量測值與國際可追溯至 NIST 國際標準品之生質碳認證標章實驗室基準值相當；而生質碳比率中(30~60%)為廢塑膠混摻木屑或廢紙排渣樣品，前者廢塑膠混摻木屑樣品其絕對誤差範圍為12.13~13.15%，後者廢紙排渣樣品則為0.15~30.28%；生質碳比率高(>60%)為廢木材組成樣品，其絕對誤差範圍為8.4~21.4%。經由本土低背景液體閃爍計數器方法建立後，評估現階段方法準確度為30%絕對誤差，而方法精確度則為20%標準差。

(二) 生質碳技術擴大應用可行性評析

生質技術應用除 SRF 生質碳量測利用溫室氣體排放量計算外，亦可應用至液態的生質柴油、生質酒精，甚至生質化學品已有正式商轉到包括生質正丁醇、異丁醇、琥珀酸、丁二醇、乙二醇、乙醇、丙二醇等，而生質化學品就可做相關二階化學品(Secondary Chemicals)的應用，如合成生質塑膠、生質材料等，均有潛在應用對象。而國際政策如歐盟、美國、巴西、印度均設有再生燃料(生質能)期程目標，並輔以免課徵能源稅或提供補貼等獎勵措施；國際間重要的運輸組織亦重視再生燃料於運輸碳排上的貢獻，顯示生質燃料於未來政策驅動下產量應逐年上升，且多以固態或液態樣品基質為主。如以目前現階段國內刻正發展之高溫燃燒爐搭配低背景液體閃爍技術器技術，於固態與液態樣品方法確實可行。

結論：

一、趨勢研析及驗證機制需求評估：

1. 適逢我國資源循環促進法訂定，針對塑膠、電池、紡織品等項目，可參考國際經驗強化生產者責任、綠色設計、回收驗證及減碳標準，並配合產品數位履歷規劃進行全生命週期之資訊登載，以符合我國推動建立廢棄資源循環型社會邁進。
2. 國際間因應淨零碳排，資源循環再利用已成為趨勢，為能確保資源循環材料之落實性，熱塑性塑膠、紡織、電池等之數位化履歷管理系統或流向追蹤系統為未來之發展方向。
3. 完成熱塑性塑膠、底渣、橡膠殘餘物、飛灰、紡織品、循環建材及

關鍵戰略等4+3個循環項目之資源循環及減碳效益驗證機制需求評估。評估結果驗證機制又可分為數位化履歷管理系統、再生料科學檢測技術及循環產品環境安全性驗證。又可分為數位化履歷管理系統、再生料科學檢測技術及循環產品環境安全性驗證。短期（三年內）聚焦於熱塑性塑膠、焚化飛灰、紡織及電池數位化履歷管理系統建立，電池再生料科學檢測技術及焚化飛灰及循環建材等環境安全性驗證；中期則逐步建構熱塑性塑膠、紡織等再生料科學檢測技術；橡膠再生料、循環建材等再生料科學檢測技術則為長期研究發展目標。

二、資源循環材料驗證技術（再生塑膠）：

1. PET 材質的廢瓶磚經過熱洗、標籤去除、光學分選、粉碎和清洗，成為再生瓶片，非 PET 材質則根據比重進行密度分選。高品質的再生瓶片可直接製成長纖維，用於機能性衣服，次等級則製成短纖，如填充棉。另可經金屬檢測、光學分選和熔融射出成透明酯粒，經固態聚合反應提高分子量和黏度製成白色再生酯粒，用於各類容器和非食品包裝。
2. 經 BSI Flex 6228方法計算國內34件次原生或再生酯粒及其容器再生料添加比例之機率值，結果顯示 BSI Flex 6228方法應用於17件原生酯粒（排除非容器酯粒）準確率為76%、1件原生 PET 瓶為100%；而應用於8件再生酯粒準確率為100%，2件再生 PET 瓶為0%。
3. 提出熱示差掃描儀定性方法改善 BSI Flex 6228於4件原生酯粒及2件再生 PET 瓶誤判情形，結果顯示原生酯粒及再生 PET 容器均符合定性方法之判斷原則。

三、資源循環材料驗證技術建置（生質碳）：

1. 完成低背景液體閃爍計數器搭配高溫燃燒系統分析生質碳比率技術，依據本計畫執行標準品及固體再生燃料樣品之檢測結果，初期建置系統的方法準確度為30%絕對誤差、精確度則為20%標準差。
2. 生質碳比率檢測方法可應用於資源循環燃料，包括初級固體生質燃料、固體再生燃料及廢棄物衍生燃料。若以國際目前政策需求及供應鏈驅動評估，未來有機會擴大應用至液體燃料或化學品等不同的樣品基質，但方法尚須驗證。

建議事項：

- 一、目前環境部針對3S(純料、原色、減標籤)1R(添加再生料且達25%)塑膠容器提供回收清除處理優惠費率，但因目前國際間推動再生塑膠添加比例受塑膠稅嚴格執行，故國內產製的再生塑膠多以外銷為主，或可透過提供更多經濟誘因如參考全球塑膠公約內容降低原生塑膠補貼、強化生產者延伸責任、接軌國際入法列管再生料添加比例等應可更有效推動塑膠產業資源循環再利用。
- 二、以 BSI Flex 6228方法所建立的原生酯粒及再生酯粒特徵雖具差異性，但解析度不足以定量容器中再生 PET 添加比例，未來可考慮以定性方法作為履歷管理制度執行之輔助技術。
- 三、如需進一步精進低背景液體閃爍計數器搭配高溫燃燒系統之準確度或精確度，則建議提供燃料高溫燃燒轉化之樣品克數，以蒐集更多¹⁴CO₂氣體上機計測。
- 四、本計畫建置的生質碳比率方法係參考 ISO 21644，適用於國內資源循環燃料。未來若要擴大應用到液體生質燃料或生質化學品的生質碳比率量測，建議應補充相關驗證數據。

第一章 緣起與目標

【章節摘要】本章說明計畫緣起、計畫目標、工作內容與執行時程。

1.1 計畫緣起

為實現聯合國 2021 年制定之 2050 淨零碳排計畫，許多國內外企業已開始將循環經濟思惟納入發展的藍圖上，各國均認定循環經濟是推動未來經濟發展的新引擎，有別於以往的污染防治、廢棄物管理等環保作為，循環經濟更強調透過資源循環創造新的經濟利益。近幾年，各國紛紛頒布資源循環相關法令，並依此研擬諸多行動方案，我國國家發展委員會亦因應淨零碳排目標，於 2022 年 3 月 30 日公布十二項關鍵戰略，並將資源循環零廢棄納為其一戰略，於國際趨勢與國內關鍵戰略之推動願景下，應盡速完備我國資源循環發展規劃，落實行動方案，並提供多元化之減碳驗證技術以鼓勵各界證明自身減碳成效。

國家環境研究院(後簡稱國環院)於 112 年度已著手投入資源循環與淨零排放發展藍圖，並以毒性大小、量體多寡、政策需求等多方面篩選出 10 項優先發展項目；另以環境部資源循環署推動之固體再生燃料(Solid Recovered Fuel, SRF)、再生塑膠等投入減碳效益技術等研究，前者以國際標準方法 ISO 21644-2021 四種不同方法測定國內 30 件次 SRF，綜合技術門檻與建置績效，建議國內下階段應建立低背景液體閃爍技術器作為生質碳比率技術；後者再生塑膠添加先期則依據英國標準方法 BSI Flex 6228: v2.0 測試聚對苯二甲酸乙二醇酯(Polyethylene Terephthalate, PET)酯粒及再生 PET 商品，其預測準確率達 85%以上。本期計畫期能聚焦 4 項資源循環優先發展項目，提出國際回收制度並研擬資源循環及減碳效益驗證機制；並持續精進資源循環材料驗證流程，包括再生 PET 酯粒與再生 PET 商品辨識準確度與方法改善建議，並建立國內低背景液體閃爍器生質碳技術檢測量能，以成為我國資源循環與減碳路徑推動之重要技術後援。

1.2 計畫目標與工作內容

一、依據本計畫評選須知內容，本計畫目標如下：

- (一) 彙整國際與國內資源循環法規、標準及技術發展方向，並參考「資源循環技術發展藍圖」，針對短、中期優先發展循環項目，提出可行的發展技術及研究議題。
- (二) 參考國外技術，評估以科學化方式，驗證再生塑膠添加比率的可行性及適用範圍。
- (三) 建立本土的固體再生燃料生質碳比率驗證流程，並評估應用到其它資源循環材料的潛力與可行性。

二、依據評選須知內容，本計畫工作項目有：

- (一) 國內外資源循環法規標準及驗證方法趨勢研析：
 1. 每月提供2次國內外與資源循環相關之法規、標準、驗證、活動、國際新聞或技術新知。
 2. 彙整資源循環近5年相關國際法規、標準及趨勢，以及我國相關部會資源循環政策修法方向，提供1份研析報告。
 3. 參考本院「資源循環技術發展藍圖」規劃之短、中期建議優先發展循環項目（包括底渣、溶劑殘餘液、重金屬泥料、汰役鋰電池、汰役鉛蓄電池、熱塑性塑膠、下水泥料、廚餘、橡膠殘餘物(ASR)、飛灰等10項），依據各循環項目的待解決問題，以及技術發展可行性，聚焦4個循環項目，提供國內外對待解決問題的研究方案、最新技術發展趨勢以及發展中的法規或指令等，從中建議本院短、中期發展的技術及研究議題（4個聚焦的循環項目須獲本院同意後，方執行研究）。
 4. 辦理「資源循環減碳效益驗證機制研擬討論」專家諮詢會議1場次，至少邀請8位相關領域之專家學者，彙整相關部會及專家、學者對本院未來發展

「資源循環減碳效益驗證機制」的範疇、方向及作法（附會議茶水、茶點或便當）。

(二) 資源循環材料驗證流程研析：

1. 再生塑膠驗證流程評估與研究

- (1) 訪視國內10家再生塑膠的供應鏈，包括回收廠、再生塑膠粒製造廠、再生塑膠粒使用廠等階段，每階段至少2家，歸納製程、塑膠材質的細部材料分類、用途等資訊。
- (2) 依前述的細部材料分類，採集國內較具代表性的原生 PET(Polyethylene Terephthalate)與再生 PET 之酯粒及包裝容器等樣品，總計30件。參照 BSI Flex 6228方法，建置熔融冷卻後結晶溫度($T_{p,c,C}$)、明暗度(L^*)、波長678nm之穿透度(T_{678nm})等方法，以前述採集的30件的酯粒及包裝容器樣品進行檢測，系統性建立原生 PET 及再生 PET 特徵數據。
- (3) 評析 BSI Flex 6228方法的適用範圍，並針對無法適用的樣品類型，提出方法改善建議與評估結果。

2. 固體再生燃料生質碳比率驗證流程建置

- (1) 參照 ISO 21644中碳-14（液體閃爍計數器）法，以低背景液體閃爍計數器搭配高溫燃燒前處理法，建立生質碳含量(Biobased Carbon Content)的測定流程，並提出品保、品管的品質管制建議。
- (2) 採集理論生質碳比率低(<30%)、中(30~60%)及高(>60%)的 SRF 產品（每個比率範圍至少採集2件，共計10件以上），檢測其生質碳含量，評析本計畫建置方法應用於不同 SRF 材料之準確度。
- (3) 評析本計畫建置之生質碳含量檢測方法擴大應用到其他資源循環物質的潛力與可行性。

(三) 其它行政配合事項：

1. 指派環工或化學領域學士以上畢業，並具良好溝通協調能力專任人員1名，專門辦理本計畫幕僚行政、會議資料及聯繫相關工作料及聯繫相關工作，並配合本院辦理計畫相關業務事項，人員須經本院同意認可（更換時亦同）。加班應依薪資支付加班費，每月以20小時為限，該人員如曾擔任本部相關工作經驗，經本院認可後，其年資應併入計算，另應編列公假與特別休假，且依該人員實際在職月數比率發放年終獎金，如計畫執行期間均在職者，應至少支付1.5個月實際薪資之年終獎金；如非本計畫執行期間均在職者，依實際在職月數之比例發放年終獎金，人員所需電腦及相關周邊設備由乙方提供。
2. 配合計畫所需，派員出席相關會議或提供相關資料，以及其它臨時交辦事項。

1.3 工作進度與查核點

本計畫工作團隊於簽約日起立即展開工作，依契約格式各工作項目進度與查核重點彙整如表 1.3-1，本次已完成成果報告之查核點，實際執行進度說明如表 1.3-2，預定進度與查核點規劃如表 1.3-3。

表 1.3-1、本計畫之查核點規劃

查核點	預定完成時間	查核點內容說明
第一次工作進度報告	113.04.30	<ul style="list-style-type: none"> ● 完成 1 次提供國內外與資源循環相關之法規、標準、驗證、活動、國際新聞或技術新知。 ● 擇定預計訪視的 10 家再生塑膠供應鏈廠商。
期中報告	113.07.31	<ul style="list-style-type: none"> ● 參考本院「資源循環技術發展藍圖」規劃，依待解決問題及技術發展可行性，選擇 4 個本年度欲探討的循環項目，並獲本院同意。 ● 採集國內較具代表性的原生 PET 與再生 PET 之酯粒及包裝容器等樣品，總計 30 件。 ● 採集理論生質碳比率低(<30%)、中(30~60%)及高(>60%)的 SRF 產品（每個比率範圍至少採集 2 件，共計 10 件以上。）
成果報告	113.11.15	<ul style="list-style-type: none"> ● 完成計畫工作項目（採購契約書補充條款第 4 條第 1 項規定）

表 1.3-2、實際預定進度及查核點說明

契約書之預定進度 累積百分比(%)		100			實際執行進度(%)		100
工作內容項目	實際執行 情形	差異分析(打√)			落後 原因	困難檢討 及對策	預計改善 完成日期
		符合	落後	超前			
1. 第一次進度報告	已完成	√			-	-	-
2. 期中報告	已完成	√			-	-	-
3. 成果報告	已完成	√			-	-	-
查核點	預定完成 時間	查核點內容說明					
第一次 工作進度報告	113.04.30	<ul style="list-style-type: none"> ● 完成 1 次提供國內外與資源循環相關之法規、標準、驗證、活動、國際新聞或技術新知。 ● 擇定預計訪視的 10 家再生塑膠供應鏈廠商。 					
期中報告	113.07.31	<ul style="list-style-type: none"> ● 參考本院「資源循環技術發展藍圖」規劃，依待解決問題及技術發展可行性，選擇 4 個本年度欲探討的循環項目，並獲本院同意。 ● 採集國內較具代表性的原生 PET 與再生 PET 之酯粒及包裝容器等樣品，總計 30 件。 ● 採集理論生質碳比率低(<30%)、中(30~60%)及高(>60%)的 SRF 產品（每個比率範圍至少採集 2 件，共計 10 件以上。） 					
成果報告	113.11.15	<ul style="list-style-type: none"> ● 完成計畫工作項目（採購契約書補充條款第 4 條第 1 項規定） 					

表 1.3-3、本計畫預定進度及查核點規劃

預定進度(以甘特圖表示)												
工作內容項目	月次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	年別	113										
	月份	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
(一)國內外資源循環法規標準及驗證方法趨勢研析												
1. 每月提供2次資源循環新知												
2. 彙整資源循環法規、標準及趨勢，提供研析報告												
3. 聚焦4個循環項目，提出短中期發展技術及研究議題												
4. 辦理「資源循環減碳效益驗證機制研擬討論」專家諮詢會議1場次												
(二)再生塑膠驗證流程評估與研究												
1. 訪視再生塑膠供應鏈10家												
2. 採集30件酯粒及包裝容器，參照BSI Flex 6228方法建立特徵數據												
3. 評估方法適用範圍，提出改善建議與評估結果												
(三)固體再生燃料生質碳比率流程建置												
1. 以ISO 21644中LSC搭配高溫燃燒前處理，建立生質碳測定流程												
2. 以生質碳比率低、中、高之SRF，評析技術準確度												
3. 生質碳含量檢測方法擴大應用之可行性評估												
預定進度累積百分比(%)		15	30	40	55	65	70	80	90	100	100	
查核點	預定完成時間		查核點內容說明									
第一次工作進度報告	113.04.30		1. 完成1次提供國內外與資源循環相關之法規、標準、驗證、活動、國際新聞或技術新知。 2. 擇定預計訪視的10家再生塑膠供應鏈廠商。									
期中報告	113.07.31		1. 參考本院「資源循環技術發展藍圖」規劃，依待解決問題及技術發展可行性，選擇4個本年度欲探討的循環項目，並獲本院同意。 2. 採集國內較具代表性的原生PET與再生PET之酯粒及包裝容器等樣品，總計30件。 3. 採集理論生質碳比率低(<30%)、中(30~60%)及高(>60%)的SRF產品(每個比率範圍至少採集2件，共計10件以上。)									
成果報告	113.11.15		完成計畫工作項目(採購契約書補充條款第4條第1項規定)									

第二章 資源循環國際政策及法規研析

【章節摘要】

透過了解和借鑒國際資源循環法規、標準、驗證、趨勢、技術水平等新知，有助於推動我國更實效的資源循環政策擬定和技術發展規劃。另也彙整歐盟、美國、日本及韓國循環經濟方面近 5 年之政策法令趨勢，以及循環標準則與循環材料驗證制度發展內容；同時描述我國資源循環法規沿革及材料驗證制度。最終，將根據我國資源循環 10 個關鍵項目進行分類、彙整和分析，提出未來發展之建議，以作為我國推動資源循環政策調整及施政參考依據。

2.1 國際資源循環新訊更新

透過了解和借鑒國際資源循環法規、標準、驗證、趨勢、技術水平等新知，有助於推動我國更實效的資源循環政策擬定和技術發展規劃，故透過各種不同型式之媒體揭露包括歐盟、美國、日本等先進國家官方新聞平台、各大媒體或報章雜誌等蒐集相關資訊，並聚焦於環境部主責資源循環零廢棄的 10 大關鍵項目。

蒐集國內外與資源循環相關之法規、標準、驗證、活動、國際新聞或技術新知，即時更新於 line 群組，並提供資料連結。針對以上新知部分隔月初將重要新訊彙整成一份新訊報告，並依據環境部資源循環零廢棄關鍵戰略予以分類，重點式摘要新訊亮點提供予國環院。除外，針對資源循環相關的技術文獻、國際重要會議或以上新訊的衍生閱讀，每月提供 2 篇中文研析報告，並彙整於雲端硬碟供閱覽。相關成果如所示。目前已完成 4 份新訊摘要，與 10 份中文研析報告詳附件一，以下將針對有較多法規、國內外資源循環及減碳效益技術探討的關鍵項目綜整說明，其它關鍵項目新訊彙整詳附件二：

一、塑膠

重要新訊彙整如表 2.1-1 所示。由表中可看到 113 年度國內外針對塑膠均有相對應的法規修訂，也有大型的全球活動及會議。首先為歐盟修改包裝廢棄物指令，又世界地球日重啟塑膠議題，呼應於加拿大渥太華舉行之第四次全球塑膠公約第

四輪談判，均希望降低石化塑膠的碳排量，倡導再生塑膠的添加與再利用。各國透過不同的法規與力道規範再生塑膠的添加，歐美國家透過指令強制性規範再生比例，甚至修改產品包裝型式，規範瓶蓋需要連同瓶身一同回收，而我國無論是在減塑或再生塑膠添加比例均為鼓勵性方式，但總言之減少石化塑膠使用已成為全球行動。這也促使科學家們研發新的生質塑膠，如透過二氧化碳和木質素，合成可取代傳統石油原料的長鏈分子；亦或者是由藻類萃取出來的藻油合成可被單一微生物降解的聚氨酯(Polyurethane, TPU)。

表 2.1-1、塑膠國內外法規、技術等新訊重點彙整

日期	新訊類別	新訊摘要
2024.03.04	法規 歐盟包裝廢棄物指令	禁止諸如水果、蔬菜、機場行李、醬料袋等使用一次性包裝，並全面禁止全氟烷基物質和多氟烷基物質應用於食品接觸用包裝。預定 2030 年先行減少 5%，2040 減少 15%。
2024.04.22	活動 世界地球日倡議	重回塑膠議題，呼應全球塑膠公約，期望全球於 2040 年減少 60%石化塑膠產量，延伸生產者責任，並未替代石化塑膠公司部分應投資研發創新技術，也要禁止廢塑膠禁出口，終結塑膠焚化處理的做法。
2024.04.23 2024.04.29	活動 全球塑膠公約第四輪談判	各國代表針對第三輪會議中提出的草案進行討論。在會議期間，祕魯及盧安達主張於 2040 年前減少石化塑膠產量 40%，但遭到石化及化工產業強烈反彈，尚待第五次於韓國釜山召開的最後一輪談判決議。
2024.06.18	法規 歐盟 SUP 指令	歐盟於 7 月前進一步修改飲料包裝規定，要求業者需讓瓶蓋能與寶特瓶一起回收。
2024.06.24	法規 美國塑膠公約路徑途 2.0	確保塑膠包裝得重複使用、回收及堆廢，而非廢棄資源。減少一次性塑膠使用量，並減少石化塑膠 30%使用量。
2024.04.29	法規 我國環境部	塑膠襯墊與泡殼之材質種類多元，常見使用之塑膠材質至少達 4 種以上，又因形體相似，增加後端回收業者之分類難度。環境部修訂「回收物品或容器應遵行事項」除了包裝藥品、健康食品或第三等級醫療器材得免標示塑膠材質辨識碼，要求責任業者未來應標示材質，既有責任業者至遲應於 115 年 7 月 31 日前完成標示。
2024.07.02	法規	資源循環署宣布與全國 22 縣市、47 市場串

日期	新訊類別	新訊摘要
	我國環境部	聯「減塑」,鼓勵民眾在傳統市場自備環保袋。
2024.09.03	法規 我國環境部	為因應塑膠過度使用及聯合國全球塑膠公約之規範,台灣推動源頭減量的限塑政策,從民國 113 年 9 月起全國不得使用一次性塑膠杯,預計每年可減少約 7.9 億個塑膠杯的消耗
2024.09.20	法規 我國環境部	環境部預告修正「容器回收清除處理費費率」,若是採用「純料、原色、減標籤」等綠色設計,最高可獲 45%優惠費率(原最高為 30%優惠費率)。但回收塑膠目前最大阻礙仍是再生料成本比優惠費率高,且也須建立完善的再生料驗證機制,確保再生料來源。
2024.04	技術新知 國際	佛羅里達州州立大學與佛羅里達農工大學聯合經營的工程學院將二氧化碳與木質素合成取代傳統石油基的長鏈分子,變成生質塑膠。且在使用後亦可回收,將聚合物解聚成單體,進而再製為再生塑膠產品。
2024.06	技術新知 國際	聖地牙哥加州大學的科學家利用藻油合成出一種藻類生物塑膠,俗稱聚氨酯 TPU(TPU-FC1),可於 45°C 被微生物降解至原有的 97%。
2024.08	技術新知 國際	瑞典生質塑膠公司 Gaia Biomaterials 研發以石灰石、甘蔗、植物油、酯類等物質組成的全新材料質,非塑膠且環保可堆肥,可替代傳統塑膠應用於袋子、餐具、瓶罐、玩具等用途。此材質不會產生塑膠微粒,並具生物降解特性,已獲得美國 BPI 和歐洲認證機構的可堆肥認證;除外石灰石被分解後亦可摻混於土壤中,作為土壤改良劑。
2024.08	技術新知 國內	財團法人精密機械研究發展中心透過 AI 調節製程的溫度控制,有效控溫同時減少能源消耗,預計使用 AI 後可以節能 15%以上,而 3D 打印、精密注塑成形和自動化生產線等先進製造技術也能提高生產效率。
2024.10	技術新知 國際	環境污染期刊(Environmental Pollution)研究顯示,白色及銀色的塑膠在相同的風吹日曬條件後,相比紅色、藍色和綠色保有更完整的結構,表明部分染料可能會使塑膠製品容易受紫外線輻射影響。

二、電器與電子產品

重要新聞及技術新知彙整如表 2.1-2。聯合國已盤點未來全球電子廢棄物於 2022 年已多達 6,200 萬噸，但僅有 22%被妥善回收。電子廢棄物中含有珍貴的金屬資源，如有被妥善回收萃取再利用則可以創造很高價值，如隨意丟棄或掩埋則有造成環境污染之虞。而我國為因應每年大量的手機廢棄物，資源循環署於 113 年 8 月 7 日也預告手機回收之草案，除希望透過手機租賃或維修等方法外，也希望手機製造、販售業者等提供回收服務，並將本年度 10 月訂為手機回收月，以抽獎活動吸引民眾將手機有效回收。

表 2.1-2、電器與電子產品國內外法規、技術等新訊重點彙整

日期	新訊類別	新訊摘要
2024.03	國際新聞	聯合國發表 2022 年全球電子廢棄物總量創新高，多達 6200 萬公噸，其中僅 22% 有妥善回收，這些廢棄物包括手機、玩具、微波爐、筆電、光電板等，裡面除有珍貴的金屬資源，也可能含汞或鉛等有毒重金屬，隨意掩埋、棄置或燃燒將造成不可預期之環境與健康。
2024.06	國際新聞	日本制定 2030 年電子垃圾回收量需提高至 50 萬噸的目標，為此日本建立從廢家電、電腦、廢基板等城市礦山中回收金屬的體制，並與政企合作，設立 10 處回收利用設施，從城市礦山中萃取貴金屬。
2024.09	國際新聞	為達成蘋果設定 2030 年達到整體碳中和目標，新發表的 iPhone 16 Pro 和 iPhone 16 Pro Max 整體採用超過 25% 的回收再生材料，包括內部結構框架採用 100% 再生鋁金屬，多個零組件採用 80% 以上的再生鋼。電池採用 100% 再生鈷金屬。此外，iPhone 也首度採用超過 95% 的再生鋰金屬。
2024.08.08	法規 我國環境部	環境部資源循環署 8 月 7 日預告手機回收草案，要求手機製造、輸入及販賣業者負起回收責任，並希望業者提供手機租賃或維修等循環服務，期望 2026 年達成循環率 15% 的目標，草案預計於 2025 年 1 月 1 日上路。
2024.03	技術新知 國際	蘇黎世聯邦理工學院(ETH Zürich)利用酸將廢主機電腦板件溶解成溶液，再經由蛋白質奈米纖維吸附黃金離子，將纖維高溫燃燒後可提取出黃金。

2024.05	技術新知 國內	事務機廢棄碳粉過去僅能焚化或掩埋，經台灣富士軟片與工研院共同研發經顏色分類後，再加上工研院的獨特配方液，可以用於牆面或地面的塗料，亦可變成水彩。
---------	------------	--

三、儲能及電動車用電池

重要新聞及技術新知彙整如為解決鋰電池易燃問題，各國也朝向固態電池進行研發，其原理是將中間電解液變成固態，大幅提升其安全性，但目前尚未正式商業化，而除了固態電池鋅離子電池也是目前研究之對象，將傳統鋰電池之正極以鋅錳雙氧化物取代，也不具有高溫易燃的特性，但其耐用性仍需改善。

表 2.1-3。隨電動車普及化，未來將有可能逐步淘汰大量鋰電池，然而鋰電池於堆疊存放不當具易燃疑慮，因此於國內目前得處理鋰電池之處理業者與量能少。目前環境部為推動廢鋰電池回收，正在研擬優惠費率機制，另也同步輔導處理廠，期望未來能大幅提升我國處理量能。廢棄鋰電池並非僅能作為降階使用，經由適當破碎、磁選及渦電流可萃取出其中的有價貴金屬如鎳、鈷、錳、鋁、鋰、銅等，作為電池再生料使用。

為解決鋰電池易燃問題，各國也朝向固態電池進行研發，其原理是將中間電解液變成固態，大幅提升其安全性，但目前尚未正式商業化，而除了固態電池鋅離子電池也是目前研究之對象，將傳統鋰電池之正極以鋅錳雙氧化物取代，也不具有高溫易燃的特性，但其耐用性仍需改善。

表 2.1-3、儲能及電動車用電池國內外法規、技術等新訊重點彙整

日期	新訊類別	新訊摘要
2024.06	法規 我國環境部	環境部為促進廢鋰電池回收，正在研擬優惠費率機制。由於不同產品性質中，鋰電池的三元素「鎳、鈷、錳」或「鎳、鈷、鋁」混合比率可能不同，未來也會依據鋰電池用途細分車用儲能型、一般使用及電子產品上的消費型鋰電池，以提升電池高值循環。
2024.04	國際新聞	柏克萊依據加州灣區 2018 年到 2022 年的數據研究證實，電動車普及化已使該地區的二氧化碳年碳排放量減少 1.8%，距離 2045 的碳

日期	新訊類別	新訊摘要
		中和 3.5%已達成一半。
2024.09	國際新聞	挪威為西歐最大的產油國，但於 2023 年 8 月份電動車銷售量達到新車掛牌之 94.3%，針對電動車的稅收優惠讓電動車銷量大幅提升。
2024.06	國內新聞	環境部資源循環署統計，隨著隨著電動車及儲能產業近年快速發展，預估未來兩、三年將迎來鋰電池大規模退役潮，2030 年國內的鋰電池回收量可能超過 9,000 公噸，然而目前國內廢鋰電池回收總處理量能約 3,990 公噸。目前環境部正在輔導中部興設兩座電池回收處理廠，2026 年起可陸續運轉，屆時國內鋰電池總處理量可超過 9,000 公噸。
2024.06	國內新聞	目前國內共有 6 家電池處理大型企業，三大未來是其中唯二的國內處理廠，主要原因為鋰電池堆疊放置不當具易燃疑慮。國內業者將廢乾電池回收經放電、破碎，接著進入磁選、渦電流，透過專業活性碳吸附、集塵與洗滌塔設備等，讓廢電池在處理過程中對環境影響降到最低，最終得出碳粉、廢鐵與銅鋁混合物。
2024.08	國內新聞	廢鋰電池量在 2023 年達到 900 公噸，其中含鎳、鈷、錳、鋁等貴金屬，但台灣現行之法規將鋰電池歸類為「應回收廢棄物」，使得廢鋰電池須先由業者繳納回收清除費後，再經由政府補貼交由廢鋰電池廠再利用處理，使得多數業者選擇將廢電池運往國外。
2024.09	國內新聞	鋰電池循環永續責任聯盟是由聯友能源、名仁、天弘三家在地實廠化處理的龍頭廠商所組成，三方合作將由名仁資源進行國內汰役鋰電池的物理拆解及破碎前處理，聯友能源對處理後之電池黑粉進行高值化萃取及純化，提取高價金屬鋰、鎳、鈷等元素，再由天弘化學精煉成車用級電池正極原材料，回到電動車電池供應鏈，完成汰役鋰電池循環再製(Battery To Battery)。
2024.03	技術新知 國際	CarbonScape 利用木屑經熱裂解生成生物炭(Biochar)，這些富碳材料經加工轉化成石墨，僅需要塗層及純化即可構成鋰離子電池負極。
2024.05	技術新知 國際	德國電池回收業者將電池切碎，並透過化學工藝得到電池「黑土」，並從中提取貴金屬如

日期	新訊類別	新訊摘要
		鎳、鈷、錳、鋰、鋁、銅作為新電池的材料。
2024.06	技術新知 國際	大陸智己汽車即將在 10 月量產並推出其第一代光年固態電池，其產品液含量僅 10%，屬於半固態電池，該電池擁有 400kW 的超快充電功率，僅需 12 分鐘就可增加電動車 400 公里的續航能力。
2024.06	技術新知 國際	麻省理工學院(MIT)團隊研發出一種創新的超級電容技術，新型電容由水、水泥和碳黑混合而成，其技術亮點為這款電容可以快速充放電，解決能源儲存問題。
2024.09	技術新知 國際	《科學》期刊的最新研究，觀測鋰電池充放電過程，發現電解液鋰的氫分子，會緩慢與電池陰極的脫鋰氧化物起反應，氫分子占據了鋰離子的位置，讓鋰離子無法回到陰極；且氫分子亦會從電解液中不斷脫離，使電解液效力下降，破壞電池壽命，最終導致鋰電池衰退。

四、廢棄物能源化與生質能

重要新聞及技術新知彙整如表 2.1-4。我國環境部目前大力推動固體再生燃料替代煤炭應用於鍋爐，也將參考歐盟規範針對固體再生燃料含氯量予以分級，並加強管制其燃燒排放的環境友善性。除外，廢棄物作為生物質化尚包括轉化為綠色的氫能、生質材料、生質塑膠、生質化學品等，也可經由再生後將其回收再利用，減少化學品消耗及廢棄物的產生。

表 2.1-4、廢棄物能源化與生質能國內外法規、技術等新訊重點彙整

日期	新訊類別	新訊摘要
2024.06	法規 我國環境部	環境部於 6 月 20 日預告將就 SRF 含氯量進行分級管制，明列各類燃料使用對象及要求裝設高規格的空氣污染防治設備，並加強管制使用資源循環燃料衍生的空氣污染排放，如戴奧辛排放濃度就比照大型焚化爐排放標準。
2024.08	法規 我國環境部	環境部於 8/14 預告固定汙染源檢測標準，將 SRF 分為三個等級，第一類固體生質燃料為不經化學處理或塗裝程序的燃料，檢測頻率維持為 2 年一次；第二類為 SRF，檢測頻率為 1 年兩次；第三類未經造粒之廢棄物燃料

日期	新訊類別	新訊摘要
		則需每季檢測。
2024.04	國際新聞	阿拉伯聯合大公國透過氣化反應，將垃圾中的塑膠與木材廢料，轉換成綠色的氫能。該技術每年處理 30 萬噸廢棄物，每小時可輸出 3 萬度乾淨電力。
2024.04	國內新聞	永豐餘企業提出「醣經濟」的概念，透過植物或農作物吸附二氧化碳，經由光合作用轉化為氧氣和醣，再利用醣轉化為生質材料。
2024.05	國內新聞	為因應減碳政策，大園汽電在 2015 年開始佈設天然氣管線汰換煤碳機組，以求達到 100% 以 SRF 作為燃料，預計可將電力碳排係數從 0.75 降至 0.45 CO ₂ e kg/Kwh。
2024.08	國內新聞	承德油脂每年可回收廢食用油約 7 萬公噸，使用氫氧化鈉催化廢食用油及甲醇，進行加熱酯化後靜置分層，可得到生質柴油及甘油，取出生質柴油後利用乙酸中和酸鹼值並使用清水及飽和食鹽水水洗雜質，最後蒸餾完畢可得到純淨的生質柴油。經過測試，使用此生質柴油所排放的廢氣可減少 47% 的懸浮微粒、48% 的一氧化碳、80% 的多環芳香烴等致癌物質、100% 的硫化物等空氣污染物，二氧化碳排放也可減少每年 15~16 萬噸的排放量。
2024.03	技術新知 國際	奧地利 AustroCel Hallein 年產 16 萬噸優質溶解木漿(DWP)，可利用農林廢棄物纖維素生產生質乙醇，每年可生產多達 3,500 萬公升，為全球最大。
2024.04	技術新知 國際	生質材料可分為由(1)植物行光合作用形成的碳水化合物，再進行發酵等作用生成或(2)直接將 CO ₂ 轉化生成。目前除生質酒精外尚有生質聚乳酸(PLA)、生質聚對苯二甲酸乙二酯(PET)及生質化學品如乙烯、丙烯、碳酸酯、醋酸、丙酸等。

五、紡織品

重要新聞及技術新知彙整如表 2.1-5。依據紡織交易所統計全球纖維總產量聚酯材料占 5 成以上，但其中僅有 15% 來自回收再製，其回收處理困難度除紡織品

上有配件增加處理困難度，又衣物可能存在複合材質。因此紡織品應推動如塑膠項目的材質單一化、精準的分選技術，將有利於後續紡織品循環再利用。

表 2.1-5、紡織品國內外法規、技術等新訊重點彙整

日期	新訊類別	新訊摘要
2024.03	國內新聞	新光紡織推行全臺灣首個單一材質回收再製計畫，克服回收聚酯(R-PET)於強硬度方面的限制，打造成鈕扣、拉鍊等服裝配件，完成封閉式回收循環(Close Loop)。
2024.05	國內外新聞	根據紡織交易所(TextileExchange)調查統計，聚酯(Polyester, PET)是服裝產業中最廣泛使用的材質，約佔全球纖維總產量的 52%。2021 年全球聚酯纖維總使用量約 5,700 萬噸，但只有 15%的聚酯原料來自回收再製，其中 99%來自聚酯寶特瓶。目前國內已導入纖維材料循環驗證方案，並將其數位化，建立一「循環材料驗證與媒合平台」，以追蹤紡織產業再生料的來源。
2024.06	國內新聞	醫用紡織品大多為拋棄式產品，為符合衛生、醫療、滅菌等不同需求，醫用紡織品多為複合型材質，也造成不易回收。衛普實業使用易於回收的 PP 膜和 PP 不織布同材質醫療材料，材料單一化將促進塑膠回收之循環經濟。
2024.10	國內新聞	福懋興業開發「全球首創低碳高透氣防水一站式電紡同材質耐隆布料製造技術」，此材質具有製程為無氟、纖維膜的防水性、透濕性、透氣值好的優點。
2024.03	技術新知 國際	日本信州大學(Shinshu University)工程學院從蕈類子實體中萃取出富含蛋白質、幾丁質(Chitin)以及天然多醣(Polysaccharid)的菌絲漿，有機會可作為製成皮革及包材的永續性原料。
2024.05	技術新知 國內	午洋企業以稻穀、咖啡渣、成衣廢料及海洋廢棄物等作為材料，經揀選分色、去除輔料配件、機台設備破碎、加壓、成型到最終產品設計程序，生產多達 60%以上的回收紡織纖維。
2024.05	技術新知 國內	工研院研開發「織物回收用纖維分選器技術」，結合材料光譜技術及 AI 辨識演算法，透過光學掃描衣服辨識紡織品材質種類，將

日期	新訊類別	新訊摘要
		衣物材質精準分選後可提升再生聚酯纖維純度達 95%以上。
2024.10	技術新知 國內	南亞建立永續品牌「SAYA 餘創」，回收寶特瓶、廢棄邊角布料等，利用化學處理將紡織絲重新再生，製成織物化學回收絲、Chromuch 節水染色原著色絲、Nyudex-TPEE 新型彈性絲等多項產品；遠東新與明基材料旗下的機能織物品牌 Xpore，聯手推出的 PET 回收技術「e2cycle」，將電子廢棄物轉化為 Xpore 的布料及 PET 薄膜。

六、太陽能光電板及風力葉片

重要新聞及技術新知彙整如表 2.1-6。我國為因應 2050 淨零排放，太陽能及風力發電迫切需要快速發展，根據經濟部能源署提供之資訊，在民國 113 年 9 月份太陽能及風力發電比例分別為 5.7 %及 1.7 %，相比去年同期之 5.3 %及 1.2 %略有成長，於再生能源需求急迫性的政策推動下，目前太陽能發電及離岸風電案場規模越趨龐大，未來如這些資源物逐漸汰役，則將會使該些資源物具去化處理問題，因此應提前彙整可能之技術趨勢。

表 2.1-6、紡織品國內外法規、技術等新訊重點彙整

日期	新訊類別	新訊摘要
2024.08	國際新聞	國際能源機構「能源研究院」2023 年再生能源全球總發電量達到 30%，太陽能及風力發電皆由中國作為世界發電量最多的國家，太陽能裝置容量 2023 年即新設置 346 GW，風力發電總裝置容量也達到 442 GW。
2024.08	國內新聞	2025 非核家園、2050 淨零排放及 RE 100 等目標，台灣的再生能源也迅速發展，在 2022 年太陽能發電量達到 21 億度，可供 35 萬戶家庭使用，另外經濟部也擬定「風力發電 4 年推動計畫」，推動風力發電的基礎建置。
2024.08	技術新知 國際	Nature Communications 上發表，改變有機太陽能電池中的光伏薄膜，將陽極層直接沉積在活性層上，使各層間形成更好的附著力，克服以往有機太陽能電池柔韌性不足且無法防水的障礙。研究測試新型薄膜可完全浸泡於水中 4 小時，性能仍為最初性能的 89%，

日期	新訊類別	新訊摘要
		將其拉伸 30%多達 300 次，亦可保有 96%性能。
2024.10	技術新知 國際	日本千葉大學與大阪大學、京都大學共同合作，利用金屬鹵化物鈣鈦礦材料具有高發光效率的特徵，可望成為次世代太陽電池或發光元件材料，此材料隨照射光越多，溫度會隨之降低。
2024.08	技術新知 國內	鈣鈦礦電池太陽能再轉化太陽能有極佳的表現，但在長期使用的穩定性上仍有疑慮，台北城市大學工學院研究團隊研發出新型塗層技術，能藉由塗層釋放的化學物質進行鈣鈦礦電池的修復，此塗層為一種頓化劑，可藉由濕氣及高溫激發而成的共價鍵對太陽能電池進行修復，提高光電轉換率達 25% 以上，並能在高溫潮濕環境下穩定運行 1000 小時。

2.2 國際資源循環法規、標準及驗證制度

2.2.1 國際資源循環法規及趨勢

一、歐盟

在西元 2019 年，歐盟通過「歐盟綠色政綱」(European Green Deal)，旨在審查現有氣候法規並引入新的立法，包含循環經濟、建築改造、生物多樣性、農業和創新方案；根據此計畫，到 2030 年擬定相較於 1990 年須減少 55%的溫室氣體排放，成為全球第一個達到氣候中和(Climate Neutrality)且實現淨零排放的組織。隨後在西元 2020 年，歐盟進一步提出「新循環經濟行動計畫」(New Circular Economy Action Plan, NCEAP)，促成更潔淨、更有競爭力的歐盟。該計畫包括：永續產品政策綱要、關鍵產品價值鏈、減廢創值、服務社會、跨域行動、引領全球、監控進度等 7 大關鍵行動與 35 項行動項目，如圖 2.2-1 所示。除立法推動永續產品，延長壽命，鼓勵重複使用及循環利用，優先選用循環材料；並推動產品數位護照促使消費者進而獲得產品維修和耐用性資訊；針對資源較多且循環可能性較高的關鍵產品採取相關的具體措施：如新的電池監管架構，以增強電池的永續性和循環潛力；對歐盟包

裝市場的新強制性要求，包括減少過度包裝；對可回收的塑膠提出新的強制性要求，並特別關注塑膠微粒以及生物可分解塑膠及歐盟紡織品新戰略，旨在增強該行業的競爭力和創新能力，並促進歐盟紡織品再利用市場等。

本計畫參考歐盟官方網站蒐集有關資源循環經濟之資料，同時先根據我國資源循環零廢棄十大關鍵項目分類，這些項目包含塑膠、紡織品、生物質、無機材料與粒料、電器與電子產品、儲能及電動車用電池等之推動策略與行動，並以摘要形式列出近五年關鍵產品相關政策、法規相關的時間軸，具體內容如表 2.2-1 所示

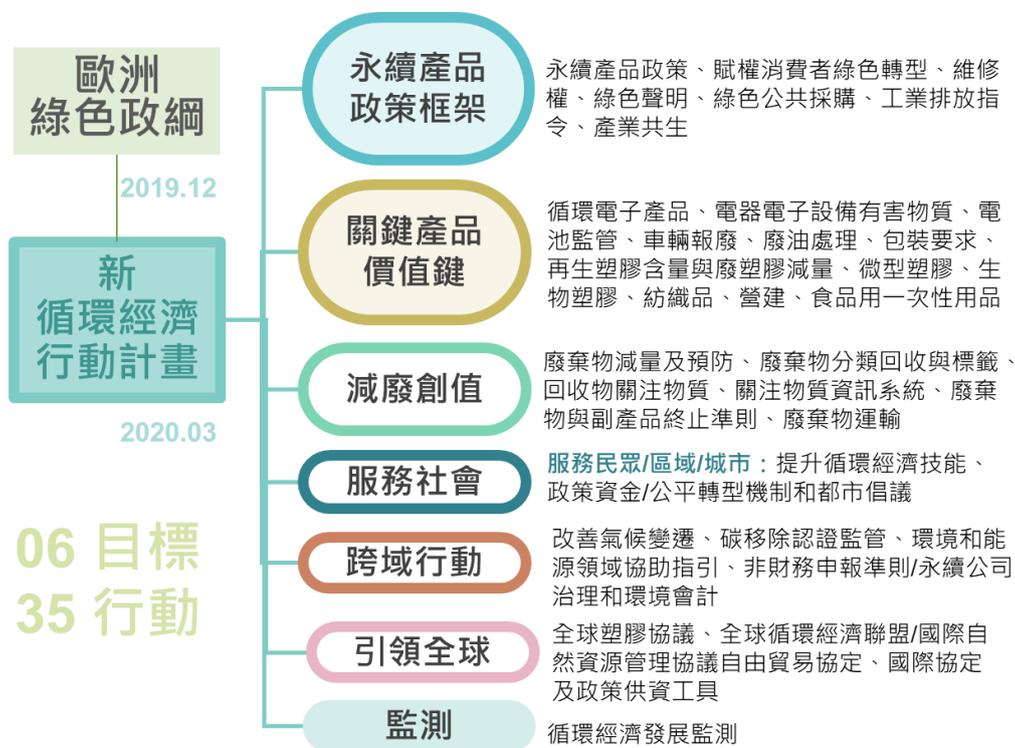


圖 2.2-1、歐盟循環經濟行動計畫推動架構整理

表 2.2-1、歐盟與國內資源循環零廢棄十大關鍵項目中相關之關鍵項目政策框架
關鍵時間軸

項目	政策	政策架構/關鍵時間軸/相關法規措施				
塑膠	限制特意添加的微型塑膠和無意釋放微型塑膠的措施	2024.04.23	該提案通過歐洲議會一讀			
		2023.09~10	針對微塑膠採取多項措施 • 於 REACH 法規附件 17 限制物質的框架下，禁止在產品中有意添加微型塑膠 • 提出防止顆粒損失以減少微塑膠污染的法規 • 歐盟應對微塑膠污染的行動手冊			
		2022.11.30	歐盟委員會發表關於生物基、生物可分解與可堆肥塑膠之政策架構			
		2020.03.11	歐盟委員會發布新循環經濟行動計畫，包括廢棄物修法提案中制定了一系列針對微型塑膠的防制措施			
		2019.07.02	一次性塑膠指令生效			
		2018.05.28	歐盟委員會提出一次性塑膠指令			
		2018.01.16	歐盟委員會採用歐盟塑膠策略			
	生物質塑膠、生物可分解或可堆肥塑膠的政策	2022.11.30	歐盟委員會發表關於生物質、生物可分解與可堆肥塑膠之政策架構			
		2022.01.18~03.15	網路公開徵詢「生物基、生物可分解與可堆肥塑膠之政策架構」			
		2021.09	歐盟委員會發布生物質、生物可分解與可堆肥塑膠之政策架構路徑圖			
	提出可重複使用在食品用，替代一次性使用的包裝及餐飲用具倡議	2021.05.31	歐盟委員會發布了關於一次性塑膠指令的解釋和實施的指南			
		2020.12.17	歐盟委員會發布一次性塑膠產品的統一標記規範的實施法規((EU) 2020/2151)，列出一一次性塑膠產品的統一標記規範規則			
	包裝和包裝廢棄物指令修正	2024.04.24	議會一讀通過修正包裝和包裝廢棄物指令 (Revision of Directive 94/62/EC on Packaging and Packaging Waste)，設定了包裝廢棄物回收和循環標的外，並提出目標值：			
				2008 年底	2025 年底	2030 年底
			所有包裝廢棄物	55~80%	65%	70%
			玻璃	60%	70%	75%
紙和紙板			60%	75%	85%	
金屬			50%	70% (黑色金屬) 50% (鋁)	80% (黑色金屬) 60% (鋁)	
木頭	15%	25%	30%			
塑膠	22.5%	50%	55%			

			(僅計算回收到塑膠中的材料)																									
			<ul style="list-style-type: none"> 包裝在歐盟市場上市應符合永續要求，如包裝材料及零件其中之鉛、鎘、汞和六價鉻總含量不得超過 100 mg/kg；與食物接觸之包裝所含全氟烷基物質(PFAS)須符合相關限制；並設立塑膠包裝之再生材料添加目標。 																									
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>包裝類型</th> <th>2030年1月1日起</th> <th>2040年1月1日起</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PET製成之接觸敏感包裝</td> <td>30%</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>PET以外的塑膠材料製成之接觸敏感包裝</td> <td>10%</td> <td>25%</td> </tr> <tr> <td>一次性塑膠飲料瓶</td> <td>30%</td> <td>65%</td> </tr> <tr> <td>其他包裝</td> <td>35%</td> <td>65%</td> </tr> </tbody> </table>	包裝類型	2030年1月1日起	2040年1月1日起	PET製成之接觸敏感包裝	30%	50%	PET以外的塑膠材料製成之接觸敏感包裝	10%	25%	一次性塑膠飲料瓶	30%	65%	其他包裝	35%	65%										
包裝類型	2030年1月1日起	2040年1月1日起																										
PET製成之接觸敏感包裝	30%	50%																										
PET以外的塑膠材料製成之接觸敏感包裝	10%	25%																										
一次性塑膠飲料瓶	30%	65%																										
其他包裝	35%	65%																										
			<ul style="list-style-type: none"> 應標示其材質組成相關資訊，俾利消費者分類；尚為可再利用或可堆肥之包裝亦均應清楚標示。 包裝應符合之標示規範：在歐盟上市之包裝運營商的義務，如禁止某些包裝型式，以及設定再利用和再填充目標。 																									
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>包裝類型</th> <th>2030年1月1日起</th> <th>2040年1月1日起</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>大型家電（如冰箱、冷凍庫洗/乾衣機或洗碗機）</td> <td>可重複使用運輸包裝的產品比例 90%</td> <td>--</td> </tr> <tr> <td>冷、熱飲（在銷售處裝入容器供外帶）</td> <td>可重複使用包裝或可重複填充的飲料比例 20%</td> <td>可重複使用包裝或可重複填充的飲料比例 80%</td> </tr> <tr> <td>外送現成食品（立即食用，無須任何進一步準備，通常於容器中食用）</td> <td>可重複使用包裝或可重新填充的產品比例 10%</td> <td>可重複使用包裝或可重新填充的產品比例 40%</td> </tr> <tr> <td>含酒精飲料</td> <td>可重複使用包裝或可重新填充的產品比例 10%</td> <td>可重複使用包裝或可重新填充的產品比例 25%</td> </tr> <tr> <td>葡萄酒</td> <td>可重複使用包裝或可重新填充的產品比例 5%</td> <td>可重複使用包裝或可重新填充的產品比例 15%</td> </tr> <tr> <td>不含酒精飲料</td> <td>可重複使用包裝或可重新填充的產品比例 10%</td> <td>可重複使用包裝或可重新填充的產品比例 25%</td> </tr> <tr> <td>運輸包裝（用於運輸或包裝之托盤、</td> <td>可重複使用的包裝</td> <td>可重複使用的包裝</td> </tr> </tbody> </table>	包裝類型	2030年1月1日起	2040年1月1日起	大型家電（如冰箱、冷凍庫洗/乾衣機或洗碗機）	可重複使用運輸包裝的產品比例 90%	--	冷、熱飲（在銷售處裝入容器供外帶）	可重複使用包裝或可重複填充的飲料比例 20%	可重複使用包裝或可重複填充的飲料比例 80%	外送現成食品（立即食用，無須任何進一步準備，通常於容器中食用）	可重複使用包裝或可重新填充的產品比例 10%	可重複使用包裝或可重新填充的產品比例 40%	含酒精飲料	可重複使用包裝或可重新填充的產品比例 10%	可重複使用包裝或可重新填充的產品比例 25%	葡萄酒	可重複使用包裝或可重新填充的產品比例 5%	可重複使用包裝或可重新填充的產品比例 15%	不含酒精飲料	可重複使用包裝或可重新填充的產品比例 10%	可重複使用包裝或可重新填充的產品比例 25%	運輸包裝（用於運輸或包裝之托盤、	可重複使用的包裝	可重複使用的包裝	
包裝類型	2030年1月1日起	2040年1月1日起																										
大型家電（如冰箱、冷凍庫洗/乾衣機或洗碗機）	可重複使用運輸包裝的產品比例 90%	--																										
冷、熱飲（在銷售處裝入容器供外帶）	可重複使用包裝或可重複填充的飲料比例 20%	可重複使用包裝或可重複填充的飲料比例 80%																										
外送現成食品（立即食用，無須任何進一步準備，通常於容器中食用）	可重複使用包裝或可重新填充的產品比例 10%	可重複使用包裝或可重新填充的產品比例 40%																										
含酒精飲料	可重複使用包裝或可重新填充的產品比例 10%	可重複使用包裝或可重新填充的產品比例 25%																										
葡萄酒	可重複使用包裝或可重新填充的產品比例 5%	可重複使用包裝或可重新填充的產品比例 15%																										
不含酒精飲料	可重複使用包裝或可重新填充的產品比例 10%	可重複使用包裝或可重新填充的產品比例 25%																										
運輸包裝（用於運輸或包裝之托盤、	可重複使用的包裝	可重複使用的包裝																										

		塑膠貨箱/摺疊箱、桶子)	比例 30%	比例 90%	
		電商用運輸包裝	可重複使用的包裝比例 10%	可重複使用的包裝比例 50%	
		運輸包裝(托盤包裝跟網紮帶)	可重複使用的包裝比例 10%	可重複使用的包裝比例 30%	
		單元包材(在銷售包裝外用於存貨的盒子,不包括紙板)	在系統內進行重複使用的比例 10%	在系統內進行重複使用的比例 25%	
			<ul style="list-style-type: none"> 會員國包裝廢棄物之預防、減量及回收等目標之設立,如減少包裝廢棄物的目標以及一次性塑膠飲料瓶和金屬飲料容器之押金和退貨系統、和綠色公共採購之相關規定。 		
		2020.09.30 ~ 2021.01.06	公開諮詢關於審查包裝要求和其他防止包裝浪費的措施		
		2018.05.30	修訂包裝指令,並促進包裝廢棄物的再利用和回收		
		2015.04.29	修訂包裝指令以減少輕質塑膠購物袋的消耗		
	審查以加強包裝的基本要求並減少(過度)包裝和包裝廢棄物	2024.04.24	公開徵詢期截止		
		2023.03.16	環境工作組完成提案討論,舉行第一次政策辯論		
儲能及電動車用電池	電池法規 (Battery Regulation)	2023.08.17	<p>新電池法規生效</p> <ul style="list-style-type: none"> 將於西元 2025 年廢除電池指令 電池法規生效後 42 個月,電動車電池、輕型運輸工具電池及容量超過 2 kWh 的工業用電池應具備產品數位護照。法規中對電池數位護照的關鍵規劃： <ol style="list-style-type: none"> 適用範圍：> 2kWh 之工業用電池與電動車電池 每顆電池須有獨立唯一辨別碼,刻印於電池上 辨別碼可透過線上資料庫查詢該型號電池之資訊 資訊須包含電池之效能與耐用度資訊 電池經維修或再利用須更新護照資訊 		

			<ul style="list-style-type: none"> 訂定了廢棄電池項目及金屬材料回收目標，及明訂來自生產製造和消費廢棄物用於新電池材料的製造最低回收材料占比 <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th colspan="2">項目</th> <th>廢電池及材料回收目標</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">電池項目</td> <td>便攜式電池</td> <td>至2023年回收率達45%、 至2027年回收率達63%、 至2030年回收率達73%。</td> </tr> <tr> <td>輕型交通運輸工具(LMT)電池</td> <td>至2028年回收率達51%、 至2031年達61%。</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">金屬材料</td> <td>鋰</td> <td>至2027年回收率達50%、 至2031年回收率達80%。</td> </tr> <tr> <td>鈷、銅、鉛、鎳</td> <td>至2027年回收率達90%、 至2031年回收率達95%。</td> </tr> <tr> <th colspan="2">項目</th> <th>新電池製造使用回收料占比</th> </tr> <tr> <td colspan="2">法規生效後的8年</td> <td>鈷：16%、鉛：85%、 鋰：6%及鎳：6%。</td> </tr> <tr> <td colspan="2">法規生效後的13年</td> <td>鈷：26%、鉛：85%、 鋰：12%及鎳：15%</td> </tr> </tbody> </table>	項目		廢電池及材料回收目標	電池項目	便攜式電池	至2023年回收率達45%、 至2027年回收率達63%、 至2030年回收率達73%。	輕型交通運輸工具(LMT)電池	至2028年回收率達51%、 至2031年達61%。	金屬材料	鋰	至2027年回收率達50%、 至2031年回收率達80%。	鈷、銅、鉛、鎳	至2027年回收率達90%、 至2031年回收率達95%。	項目		新電池製造使用回收料占比	法規生效後的8年		鈷：16%、鉛：85%、 鋰：6%及鎳：6%。	法規生效後的13年		鈷：26%、鉛：85%、 鋰：12%及鎳：15%
項目		廢電池及材料回收目標																							
電池項目	便攜式電池	至2023年回收率達45%、 至2027年回收率達63%、 至2030年回收率達73%。																							
	輕型交通運輸工具(LMT)電池	至2028年回收率達51%、 至2031年達61%。																							
金屬材料	鋰	至2027年回收率達50%、 至2031年回收率達80%。																							
	鈷、銅、鉛、鎳	至2027年回收率達90%、 至2031年回收率達95%。																							
項目		新電池製造使用回收料占比																							
法規生效後的8年		鈷：16%、鉛：85%、 鋰：6%及鎳：6%。																							
法規生效後的13年		鈷：26%、鉛：85%、 鋰：12%及鎳：15%																							
		2020.12	<p>發表永續電池法規提案(Proposal for A nNew Regulation on Sustainable Batteries)</p> <ul style="list-style-type: none"> 法規的範圍將包括輕型交通工具的電池。永續發展要求將從 2024 年起逐步引入，而生產者延伸責任條款將於 2025 年中期開始實施 																						
紡織品	歐盟紡織品策略	2023.07.05	<p>歐盟委員會透過針對性地修訂廢棄物綱要指令的提案</p> <ul style="list-style-type: none"> 所有歐盟成員國引入強制性和統一的紡織品生產者延伸責任(Extended Producer Responsibility, EPR)計畫。 																						
		2023.06.06	歐盟委員會發布由委員會和該產業相關參與者共同創建「紡織品生態系統轉型路徑」																						
		2023.03.22	歐盟委員會提出綠色聲明指令																						
		2023.01.26	歐盟委員會發起「重置趨勢」活動，提高公眾對歐盟紡織品策略的認識																						
		2022.03.30	歐盟委員會透過綠色轉型指令賦權給消費者																						
		2022.03.30	歐盟委員會通過永續產品生態設計法規																						
		2022.03.30	歐盟委員會通過了永續和循環紡織品策略																						
	歐盟廢棄物架構指令修訂－紡織品	2024.02	<p>歐洲全體會議一讀通過「歐盟廢棄物架構指令修訂－紡織品和食品廢棄物」</p> <ul style="list-style-type: none"> 所有歐盟國家引入強制性和統一的紡織 																						

	和食品廢棄物		品及其相關產品、和鞋類產品的 EPR 計劃，並對費用進行生態調節 <ul style="list-style-type: none"> • 確保紡織廢棄物管理符合廢棄物等級的要求，包括停止出口的規定 生效後 18 個月內建立 EPR 計劃，並確保紡織品在西元 2025 年 1 月 1 日前分類蒐集，以進行再利用和回收
無機材料與粒料	廢棄物框架指令	2018.09.18	推出建築和拆除廢棄物議定書和指南
		2008.12.12	廢棄物綱要指令生效，包括建築和拆除廢棄物(Construction and Demolition Waste, CDW)規則
生物質	歐盟廢棄物架構指令修訂－紡織品和食品廢棄物	2024.02	歐洲全體會議一讀通過「歐盟廢棄物架構指令修訂－紡織品和食品廢棄物」 <ul style="list-style-type: none"> • 2030 年食品加工和製造業減碳目標從 10%提高到 20%，而零售、餐飲、食品服務和家庭的人均目標從 30%提高到 40%
		2023.07.05	以減少廢棄物（包括食物廢棄物）以及廢棄物管理對環境的影響，提出廢棄物框架指令修訂 <ul style="list-style-type: none"> • 到 2030 年底，歐盟國家必須將加工和製造環節的食物浪費減少 10%，零售和消費層面（餐廳、食品服務和家庭）的人均食物浪費減少 30%
	廢棄物框架指令	2022.12.31	廢油處理措施立法提案的截止日期
		2010.12.12	廢棄物綱要指令生效，包括有關廢油的規定 <ul style="list-style-type: none"> • 要求歐盟國家採取措施 • 依照廢棄物等級處理廢油，保護人體健康和環境 • 確保廢油單獨收集 • 確保不同特性的廢油不混合，且廢油不與其他種類的廢棄物或妨礙其處理的物質混合
		2010.12.12	廢除舊的廢油指令
電器與電子產品	電器和電子設備廢棄物 (Waste Electrical and Electronic Equipment, WEEE)	2024.03	指令正式簽署並於官方公報上發布 <ul style="list-style-type: none"> • 管理和處置 2012.08.13 後投放到市場的光電廢棄物，其費用將由電氣或電子設備的生產商承擔 • 2018 年加入該指令範圍的電器和電子設備產品，應適用新投放到市場的電子產品 • 規定委員會有義務在 2026 年前評估該指令修訂的必要性
		2023.10	委員會採納了國家當局增加廢棄手機、平板

			<p>電腦和筆記型電腦回收率的政策建議</p> <ul style="list-style-type: none"> • WEEE 是歐盟成長最快的廢棄物流之一，每年增長 2%。2020 年人均約 10.5 公斤 WEEE • 成員國應支持為小型消費性電子產品（即手機、平板電腦和筆記型電腦）的回收財政獎勵措施 • 成員國制定手機、平板電腦和筆記型電腦的再利用目標 • 成員國要求經銷商告知購買小型消費性電子產品的消費者，可退回用過或廢棄的電器和電子設備
		2023.06	公眾諮詢關於 WEEE 指令評估
		2019.12	實施 2019/2193 決定
	限制電器和電子設備中使用	2022.10.18	歐盟委員會將 REACH 修訂延遲至西元 2023 年第四季
	循環電子產品計畫，通用性充電器方案，回收舊設備的獎勵系統	2022.11.23	歐盟委員會簽署電子設備通用充電器的提案，並發佈指令(EU) 2022/ 2380
		2020.03	歐盟委員會提出一項新循環經濟行動計畫，宣布了一項循環電子產品計畫，促進產品壽命及具體的回收目標

二、美國

美國環保署在永續策略規劃上延續「2017 年至 2022 年美國環保署永續物料管理策略計畫」(簡稱 SMM 計畫)，主要目的是推動永續物料管理最大程度的減少產品生命週期中的浪費及環境影響。該計畫設定四大目標：減少垃圾最終處理率、減少原料對環境影響、提高社會經濟效益及鼓勵地方政府及利害關係人實施永續物料管理；此外，計畫還明訂三大優先推動方向，包括建築、食品及包材廢棄等領域。

在包裝廢棄物方面，美國於西元 2020 年簽署塑膠公約，旨在 2025 年所有塑膠包裝達 100%可重複使用、可回收或可堆肥的目標。在 2025 年之前，50%為可回收或可堆肥的塑膠包裝，並確保包裝中至少有 30%的材料來自回收或生物質。此外還計畫 2025 年淘汰 PVC、PS 和 PFAS 等包裝材。

而在西元 2021 年 11 月發布之「2021 年版國家回收策略」，旨在建立比 3R (Reduce、Reuse、Recycle)概念的廢棄物管理體系，以實踐循環經濟。該策略因應日益迫切的氣候變遷問題，並設定 2030 年美國國內回收率達 50%之目標。其五大目標為：

- (一) 改善商品回收再利用市場
- (二) 增加蒐集和改善物料管理基礎設施
- (三) 提高正確回收的價值，減少回收物的污染
- (四) 加強支持循環的政策
- (五) 標準化量測並增加數據收集

本計畫以美國環保署官方網站及相關政策法令資料為依據，蒐集有關資源循環經濟之資料內容，並按照我國 10 大關鍵項目分類，表 2.2-2 彙整了近五年相關法規或措施訂定之時間軸。

表 2.2-2、美國與國內資源循環零廢棄十大關鍵項目中相關之關鍵項目政策

項目	政策	相關法規/措施	
塑膠	塑膠污染防制國家策略草案	2023.07.31	美國環保署結束公眾意見徵詢期
		2023.04	發布了「塑膠污染防制國家策略草案」三大目標 <ol style="list-style-type: none"> 1. 減少塑膠生產過程中的污染 2. 改善塑膠使用後的管理 3. 防止垃圾和微/奈米塑膠進入水道並清除環境中逸散的垃圾 「塑膠污染防制國家策略草案」轉型至循環方法管理塑膠的行動： <ol style="list-style-type: none"> 1. 了解計畫和政策的有效性，並透過減少、再利用、收集和攔截陸地來源的塑膠來防止塑膠污染 2. 提高再利用和替代產品的能力 3. 增加數據可用性並進行生命週期評估，以了解塑膠對環境、經濟、社會和健康的影響 4. 解決和改善消費者對塑膠和其他廢棄物適當管理的影響和瞭解

項目	政策	相關法規/措施	
			5. 改善廢水/雨水管理和收集系統
	「美國塑膠公約」(U.S. Plastics Pact)	2020.08	<p>美國塑膠公約-2025 年路徑圖 (Roadmap to 2025)四大目標</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 於 2021 年定義一份有問題或不必要的包裝清單，並在 2025 年採取淘汰措施 2. 確保 100%的塑膠包裝可重複使用、可回收或可堆肥 3. 採取行動進行有效地回收或使用 50%可堆肥的塑膠包裝 4. 確保塑膠包裝中的平均回收含量或塑膠包裝的生物質含量達到 30%
	拯救我們的海洋 2.0 法案	2020	制定了海洋 2.0 法案(2020 Save Our Seas 2.0 Act)，強調廢塑膠管理和減少塑膠廢棄物挑戰和解決方案。
紡織品	美國貿易與投資法案(The Americas Trade and Investment Act)	2024.03	<p>旨在支持美國紡織品製造業加速時尚和紡織產業向循環經濟轉型</p> <ul style="list-style-type: none"> • 為收集、轉售、重複使用、租賃、維修、分類、預處理或回收服裝、鞋類和家居紡織品之企業，提供 15%淨收入免稅額。 • 提供 100 億美元貸款和 30 億美元補助金，用以實施紡織品重複使用及回收計畫。 • 支持製造商建設新設施、擴建或改造現有設施，並為紡織品重複使用和回收提供低碳運輸。 • 向企業提供紡織品重複使用和回收所需要的零組件、化學品及機械的補助金和貸款。 <p>提供 10 億創新研究和開發及 1 億美元公共教育計畫。</p>
無機材料與粒料	SMM 計畫	-	<p>使用工業無害次級材料代替建築原始材料（例如煤灰代替混凝土中的矽酸鹽水泥煙氣脫硫石膏，鑄造砂部分摻入人造土壤和路基中等）</p> <p>建築與拆除物料用於建築、道路和橋樑以及其他領域的永續管理</p>
生物質	減少糧食損失和浪費以及回收有機物的國家策略草案	2024.02.03	美國環保署、美國農業部和美國食品藥物管理局結束意見徵求
		2023.12.02	<p>美國環保署、美國農業部和美國食品藥物管理局發布了「減少糧食損失和浪費，及回收有機物的國家策略草案」</p> <ul style="list-style-type: none"> • 「少糧食損失和浪費，及回收有機物的國

項目	政策	相關法規/措施					
		<p>家策略草案」四大目標</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 盡可能防止食物流失 2. 盡可能防止食物浪費 3. 提高所有有機廢棄物的回收率 4. 獎勵和鼓勵預防糧食損失和浪費以及有機物回收的政策 					
電池	電池收集最佳作法和電池標籤指引	2021	<p>「基礎設施投資和就業法案」(Pub. L. 117-58) (也稱為「兩黨基礎設施法」)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 美國環保署負責制定多項新的固體廢物回收計畫，藉由制定電池自願標籤指引以及電池生產商和消費者的宣傳材料促進電池回收 • 根據美國能源部 (Department of Energy, DOE) 預測，未來電池中高達 40% 的關鍵材料可能由回收電池提供 • 該法案要求美國環保署 2026 年 9 月 30 日前完成電池收集最佳實踐和電池標籤指南制定。 				
電池類型	1a：小型-消費性電子和可攜式電池	1b：小型-消費性電子和可攜式電池	2：中型	3：大型+車輛和設備電池	4：大尺寸-儲能和工業電池		
重點作法	標籤	收集	標籤和收集				
對話溝通	2024 年			2024~2025 年	2025 年		
標的物	4.4 磅以下的原電池和 11 磅以下的可充電電池標籤，包括電子和電氣設備中的可拆卸和嵌入式電池	收集 4.4 磅以下的原電池和 11 磅以下的可充電電池，包括電子和電氣設備中的可拆卸和嵌入式電池	標記和收集中型電池，即重量在 11~25 磅之間、額定功率為 300~2,000 瓦時的可充電電池。這包括電動自行車、電動踏板車、便攜式發電	討論標記和收集用於車輛中超過 25 磅的大型電池。這包括電動車、混合動力車、商用車和其他動力電池	標記和收集用於儲能和工業環境(例如備用電池、醫院和醫療設備、電網、離網和資料中心)的超過 25 磅的大型電池		

項目	政策	相關法規/措施				
					站和戶外動力設備	
		2011	<p>國家電子管理策略 (National Strategy for Electronics Stewardship)</p> <ul style="list-style-type: none"> 聯邦政府為改善電子產品的設計和加強對廢棄電子產品的管理奠定基礎 <p>四大目標：</p> <ol style="list-style-type: none"> 為環保電子產品的設計制定獎勵措施，並加強美國的科學、研究和技術發展 確保聯邦政府以身作則 加強廢棄電子產品的安全有效管理與處置 減少美國出口電子廢棄物造成的危害，並改善開發中國家對廢棄電子產品的處理 			

三、日本

近年來，日本積極推動減少廢棄物、重複使用、回收再利用和廢熱回收，以實現循環經濟型態。自西元 2000 年開始，即制定了「循環型社會形成推進法」，建立完整之法規體系、制定相關優惠政策，並致力於發展革新技術及推廣國內綠色採購等，旨在實現廢棄物循環再利用之目標，並以每五年為一期週期進行調整和評估。而在西元 2018 年 6 月，日本提出了「第四次循環型社會形成推進基本計畫」，包含七大方向願景及「2050 循環經濟路徑圖」，該計畫利用四個指標來展示循環型社會之達成情況，包括「資源生產力」、「進口之循環利用率」、「出口之循環利用率」及「最終處置量」。目前第五次循環型社會基本計畫的草案已經完成制定，並新增了指標如「人均自然資源消耗量」、「可再生資源和循環資源輸入比例」。此外，日本環境省還針對包裝廢棄物、食品回收再利用、汽車回收再利用、建築回收再利用、家電回收再利用和小型家電回收再利用等 6 項廢棄物訂定再利用專法與相關推動工作。這些措施與我國十大關鍵項目相關之政策、法規及措施以彙整於表 2.2-3。

表 2.2-3、日本與國內資源循環零廢棄十大關鍵項目中相關之關鍵項目政策

項目	政策	相關法規/措施	
塑膠	塑膠資源循環策略	2022.04.01	實施「塑膠資源循環促進法」
		2021	提出塑膠資源循環推動草案
		2020.07	實施塑膠購物袋收費
		2020	實施「2020年包裝3R自發行動計畫」
		2019.05	通過了「塑膠資源循環策略」 <ul style="list-style-type: none"> • 2025前累計減少25%一次性塑膠 • 2025前所有容器、包裝產品都需為可重複利用/可回收設計 • 2030前所有容器和包裝回收率達60% • 2035實現100%的再利用/回收，有效利用廢舊塑膠 • 2030將回收材料使用量增加1倍 • 2030前引進使用約200萬噸生物質塑膠
塑膠	第4次循環基本計畫	2018.06	提出2030年策略方向 <ul style="list-style-type: none"> • 塑膠和廢油 <ol style="list-style-type: none"> 1. 降低塑膠使用量，推廣回收再利用，減少廢棄物產生 2. 推進生物基塑膠的使用，減少石油塑膠的使用，降低環境負擔 <ul style="list-style-type: none"> • 生物質 推廣永續利用生物質，生產再生能源，製造生物質塑膠
	包裝廢棄物回收再利用法	1997.04	實施「包裝廢棄物回收再利用法」(容器包装リサイクル法)
無機材料及粒料	第4次循環基本計畫	2018.06	提出2030年策略方向 <ul style="list-style-type: none"> • 土石材料和建築材料 <ol style="list-style-type: none"> 1. 最小化建築廢棄物產生，推廣再生利用，減輕廢棄物處理負擔 2. 推動永續建築材料的開發和使用，降低建築物整個生命週期的環境負擔 <ul style="list-style-type: none"> • 建築物 增加再生資源的使用，最小化建築物報廢時的資源浪費
紡織品	第4次循環基本計畫	2018.06	提出2030年策略方向 <ul style="list-style-type: none"> • 服裝 <ol style="list-style-type: none"> 1. 推動服裝產業的環境友好設計，優化資源循環 2. 促進衣物的再利用和回收，減少廢棄物通

項目	政策	相關法規/措施																																				
			過訂閱服務和共享模式，提高時裝的永續性																																			
生物質	食品回收再利用法	2007.06	修正「食品回收再利用法」 • 針對食品相關事業（如食品製造業、食品批發業、食品販售業、食品服務業等）訂定再利用相關目標																																			
		2001.05	日本實施「食品回收再利用法」(食品リサイクル法)																																			
	第4次循環基本計畫	2018.06	提出 2030 年策略方向 • 塑膠和廢油 推動廢油的回收再利用，用於生產可再生能源，實現脫碳目標。 • 生物質 推廣永續利用生物質，生產再生能源，製造生物質塑膠。																																			
電器與電子產品	家用電器回收法	2001.04	日本「家用電器回收法」於生效 • 適用於四種廢舊家用電器（空調，電視，電冰箱/冷凍櫃，洗衣機/乾衣機）。 <table border="1" data-bbox="715 1048 1348 1272"> <thead> <tr> <th></th> <th>冷氣機</th> <th>CRT 電視</th> <th>液晶/離子電視</th> <th>電冰箱/冷凍櫃</th> <th>洗衣機/乾衣機</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2016年</td> <td>92%</td> <td>73%</td> <td>89%</td> <td>81%</td> <td>90%</td> </tr> <tr> <td>2017年</td> <td>92%</td> <td>73%</td> <td>88%</td> <td>80%</td> <td>90%</td> </tr> <tr> <td>2018年</td> <td>93%</td> <td>71%</td> <td>86%</td> <td>79%</td> <td>90%</td> </tr> <tr> <td>令和元年</td> <td>92%</td> <td>71%</td> <td>85%</td> <td>80%</td> <td>91%</td> </tr> </tbody> </table>							冷氣機	CRT 電視	液晶/離子電視	電冰箱/冷凍櫃	洗衣機/乾衣機	2016年	92%	73%	89%	81%	90%	2017年	92%	73%	88%	80%	90%	2018年	93%	71%	86%	79%	90%	令和元年	92%	71%	85%	80%	91%
		冷氣機	CRT 電視	液晶/離子電視	電冰箱/冷凍櫃	洗衣機/乾衣機																																
2016年	92%	73%	89%	81%	90%																																	
2017年	92%	73%	88%	80%	90%																																	
2018年	93%	71%	86%	79%	90%																																	
令和元年	92%	71%	85%	80%	91%																																	
第4次循環基本計畫	2018.06	提出 2030 年策略方向 • 小電器和家電 1. 通過提高壽命和維修，減少報廢量，促進循環型產品 2. 推進產品的升級和可回收性改進推動訂閱服務和共享模式																																				

四、韓國

韓國環境部自西元 2003 年開始實施延伸生產者責任制度(Extended Product Responsibility, EPR)，該制度涵蓋四大類包裝材料（紙、金屬、玻璃及合成樹脂）及五大類產品（電池、電子產品、燈泡、輪胎及潤滑油），生產者須繳交回收率保證金。而於西元 2018 年公布了「資源循環基本法」，並制定「第一期資源循環基本計畫(2018~2027)」，主要包括循環利用評估制度與包裝材料改善對策；為應對

COVID-19 導致的塑膠垃圾問題，於西元 2020 年 12 月制定了「生活垃圾減塑措施」，旨在提高塑膠回收率。

西元 2022 年底發布了促進循環經濟和社會轉型法，對資源循環基本法進行全面修訂，目標在 2023 年實現產品生產、消費和回收全過程的循環經濟；其中強制塑膠製造商（PET 超過 10,000 噸/年）從 2023 年的再生原料使用率為 3%，逐步提高到 2030 年的 30%；同時，2022-2025 年間將建立生活垃圾處理相關資訊系統。這些法律於西元 2024 年 1 月 1 日實施，並於同年 4 月 16 日進行部分法律修正。以下表 2.2-4 彙整韓國與我國十大關鍵項目之政策、法規及措施，並以時間軸彙整。

表 2.2-4、韓國與國內資源循環零廢棄十大關鍵項目中相關之關鍵項目政策

項目	政策	相關法規/措施	
塑膠	廢棄物資源回收管理計畫	2020.12	制定了「生活垃圾減塑措施」提高塑膠回收率 <ul style="list-style-type: none"> • 2020 年之前將會全面改成透明無色的寶特瓶，提高寶特瓶回收的價值 • 2022 年之前增加可回收材質的製品，從原本的 43 種增加到 63 種
		2018.06.05	指定為「無塑日」，成立了「減塑實踐協議會」推動了全民減塑運動
		2018.05	發布了「廢棄物資源回收管理計畫」 <ul style="list-style-type: none"> • 減少 50%的塑膠生活廢棄物產量 • 廢棄物的再利用率提升至 70%為目標 • 訂定一次性杯子保證金制度與業者的責任回收制度
生物質	食物廢棄物收費政策	2013	全國實施了廚餘垃圾體積費率制度
		2012	引進和推廣 RFID 方式的以容積為單位的廚餘垃圾系統
		2010	環境部會同有關部會製定了「減少廚餘綜合措施」
太陽能光電板及風力葉片	國家碳中和綠色成長基本計畫	-	擴大廢棄太陽能電池板等高附加值回收
電池	國家碳中和綠色成長基本計畫	-	廢棄電動車電池回收

項目	政策	相關法規/措施							
	2030 二次電池產業發展策略	2023.05.26	通過修訂「電器電子產品和汽車資源循環法」及「廢棄物管理法」						
		<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="703 376 778 409">分類</th> <th data-bbox="778 376 887 409">法規</th> <th data-bbox="887 376 1257 409">改進成果</th> <th data-bbox="1257 376 1361 409">備註</th> </tr> </thead> </table>				分類	法規	改進成果	備註
分類	法規	改進成果	備註						
		回收體系	隔離儲存(清除)	電器電子產品和汽車資源循環法	施行令附表 7 汽車解體再利用機構的隔離儲存義務	2020.11 完成			
				電動車廢電池隔離儲存的詳細辦法	環境部公告隔離儲存相關詳細條例	2021.03 完成			
			運輸儲存	廢棄物管理法	實施細則附表 5, 廢電池運輸保管運作辦法規定	2022.07 完成			
			回收	電器電子產品和汽車資源循環法	第 20 條之 4 為回收、保管、再利用廢電池的「新設廢資源回收基地中心」的設置、營運規定	2021.01 完成			
			廢棄物管理法	實施細則第 10 條、附表 16, 新設廢資源回收基地中心的廢電池收集、運輸、保管規定	2022.01 完成				
		評估及販售	性能評估	廢棄物管理法	實施細則附表 8, 廢電池剩餘容量測定義務依據規定 環境部指引電動車廢電池性能評估試驗方法(制定電池剩餘容量等測定方法)	2022.01 完成			
			販售規定	電動車廢電池回收公告	環境部公告廢電池的出售機構、單價、方式等				
		再製造	環保產業法	電動汽車電池的再製造產品	進行中				
		再使用	電器用品及生活用品安全管理法	法規修訂中制訂再利用產品的認證標準	進行中				
		再利用	廢棄物管理法	施行細則附表 4, 附表 4 之 3, 附表 7 新設廢棄物分類代碼, 標示可再利用類型, 新	2020.11 完成				

項目	政策	相關法規/措施			
					設再利用業許可規定
			資料來源:KEITI 韓國產業技術院 https://ecosq.or.kr/websquare.do#w2xPath=/ui/pms/ei/oa/EIOA420M01.xml		
		2021.07	制定 2030 年二次電池產業發(K-Battery)展策略		
電器與電子產品	電器電子產品和汽車資源循環法	2023.05.26	通過修訂「電器電子產品和汽車資源循環法」		
		2008	實施「電器電子產品和汽車資源循環法」 • 從 2014 年 1 月起，實行回收義務的電器電子產品數量從 10 個增加到 27 個 • 2014 提供免費的廢舊家電上門收集服務並引入回收目標管理制度		
		2020.01	太陽能電池板等，需要回收的產品數量增加從 27 到 50 種		
	產品有害性和循環利用的評估順序和方法	2017	公告「產品有害性和循環利用的評估順序和方法」 電器電子產品及汽車適用「關於電器電子產品及汽車的資源循環法律施行令」附表 1 及附表 1 之 2、附表 2 中所規定的有害物質含量標準及例外標準		

五、國外資源循環法規綜合研析

由於歐盟的消費者對於環保和永續性的意識較高，對循環經濟產品的接受度也較大，因此目前歐盟新循環經濟行動計畫中所列之關鍵產品涵蓋之範圍較為廣泛，故計畫以歐盟關鍵產品為主，將歐、美、日、韓之相關規則、指令、策略或倡議彙整如表 2.2-5 所示。

以表 2.2-5 比對結果來看，歐盟在循環經濟藉由早期倡導及具體立法有較為完整和嚴格的法規框架，例如廢棄物管理指令和循環經濟行動計畫；並且提供資金支持循環經濟相關項目，如歐盟的研究和創新框架計畫 Horizon 2020 和 Horizon Europe 等，使其推動的時程及力度都較為前端。

美國對於循環經濟的推動起步較晚，近年來屬於全國系統性的政策僅於電池、塑膠及營建相關方面，缺乏統一、全面的循環經濟政策框架；較多的循環經濟行動

方案推動靠私人企業和非政府組織，相較依賴於地方政府和私營部門的努力，聯邦層面的統一政策相對較少。

韓國近年來在循環經濟方面發展迅速，政策涵蓋了從資源採集、產品設計、消費到廢棄物處理的全過程，如廢棄物管理法規定了廢棄物的分類和回收制度；於塑膠包裝與再生塑膠添加比例亦有相關規定，但於微型塑膠及生物可分解塑膠策略推動上則無過多著墨；營建產業亦無相關規畫。同時，韓國於紡織品的循環經濟策略上相對滯後，可能為政府傾向發展其他資源循環戰略產業及領域，如半導體、汽車製造，而導致紡織品項目上韓國並無研擬相應的循環措施

日本於循環經濟方便則有長期的實踐歷史，且與歐盟相比僅缺乏電氣設備有害物質及電池之相對應政策規劃，且有較為完整和嚴格的法規框架，包括廢棄物管理和再生資源利用的法律。除外，日本重視技術創新，刻正推動電子產品和汽車等高效資源利用和廢棄物處理技術的研發和應用。且也相當強調企業和公眾參與，透過宣傳教育和企業責任制度促進循環經濟的實現。

由於不同國家的消費文化和對永續定義的接受程度不盡相同，間接影響循環經濟材料及產品的市場需求和供應。總結來說，歐盟、美國、日本和韓國在循環經濟推動上有著各自的特點和挑戰，包括政策法規、技術創新、市場需求和文化消費等方面的差異，這些因素塑造每個國家在循環經濟發展上的獨特路徑和策略。建議依據我國法規研訂現況、政策環境、經濟發展等因素，從中提出符合未來發展趨勢的建議，以提供給我國各部會作為未來施政方向的參考依據。

此外，聯合國環境大會「全球塑膠公約」(Global Plastics Treaty)之《零草案》第四部分要求各國制定國家計畫，以履行義務並實現目標；且應涵蓋內容分為 4 大方向分別是減少與替代塑膠製品；設計可重複性、可回收性、可維修性與處理的再生塑膠製品；發展具有無害環境的方式來收集、回收與處置；強化現有塑膠廢棄物的管理制度。目前主要規劃 13 項規範項目彙整如表 2.2-6。預計於 113 年底完成第五輪談判，確立全球塑膠規範標準並開始實施。

倘若公約實施後，各國需調整產業結構並推動永續再生材料，進而促使綠色技術發展；此外，亦需制定相關法律及法規，來限制塑膠使用以及發展再生材料驗證規範。

表 2.2-5、各國近五年重點循環材料政策比對

關鍵項目	歐盟	美國	韓國	日本
循環電子產品	<ul style="list-style-type: none"> 循環電子產品倡議 電氣和電子設備廢棄物(WEEE) 	-	電器電子產品和汽車資源循環法	<ul style="list-style-type: none"> 家用電器回收法 循環經濟路線圖-小家電和家電
電器電子設備有害物質	關於化學品註冊、評估、許可和限制法案	-	產品有害性和循環利用的評估順序和方法	-
電池監管	電池法規	基礎設施投資和就業法案-電池收集最佳作法和電池標籤指引	<ul style="list-style-type: none"> 二次電池產業發展策略 延伸生產者責任制度 國家碳中和綠色成長基本計畫 	-
車輛報廢	報廢車輛法規提案	-	電器電子產品和汽車資源循環法	循環經濟路線-車輛
廢油處理	廢油處理措施立法提案	-	延伸生產者責任制度	循環經濟路線圖-塑膠和廢油
包裝要求	包裝與包裝廢棄物之規範修改	<ul style="list-style-type: none"> 美國塑膠公約 永續物料管理策略計劃 	包裝材料改善政策	包裝廢棄物回收再利用法
再生塑膠含量與廢塑膠減量	歐盟塑膠策略	<ul style="list-style-type: none"> 美國塑膠公約 國家預防塑膠污染策略草案 拯救我們的海洋 2.0 法案 	<ul style="list-style-type: none"> 建立再生塑膠產業群 廢塑膠原料/燃料技術開發 提高對材料/化學品回收公司的回收補貼價格 強制塑膠製 	<ul style="list-style-type: none"> 減塑政策 塑膠資源循環策略

關鍵項目	歐盟	美國	韓國	日本
			造商使用再生原料	
微型塑膠	歐盟塑膠策略	<ul style="list-style-type: none"> 國家預防塑膠污染策略草案 拯救我們的海洋 2.0 法案 	-	<ul style="list-style-type: none"> 微型塑膠的海洋垃圾對策 塑膠資源循環促進法
生物塑膠	生物基、生物可分解與可堆肥塑膠之政策架構	美國塑膠公約	-	<ul style="list-style-type: none"> 塑膠資源循環策略 循環經濟路線圖
紡織品	歐盟永續循環紡織品策略	-	-	<ul style="list-style-type: none"> 循環經濟路線圖
營建	建築產品規範的修改草案	永續物料管理策略計畫	-	<ul style="list-style-type: none"> 循環經濟路線圖
食品用一次性用品	一次性塑膠指令的解釋和實施指引	-	<ul style="list-style-type: none"> 禁用一次性餐具/用品 可重複使用容器服務 	塑膠資源循環策略

表 2.2-6、全球塑膠公約所規範的內容

編號	內容	編號	內容
1	主要塑膠聚合物	8	塑膠在整個生命週期的排放和釋放
2	值得關注化學物質和聚合物	9	廢棄物管理
3	避免有問題的塑膠製品，包括短期、一次性塑膠與添加微塑料	10	所列化學品、聚合物和產品及塑膠廢棄物的貿易
4	締約方可應要求的豁免	11	現有塑膠污染（包括海洋環境的塑膠污染）
5	產品設計、組成與性能	12	公正轉型
6	非塑膠替代品	13	透明度、追蹤、監控和標籤
7	延伸生產者責任		

2.2.2 國際資源循環標準蒐集

聯合國於 2015 年提出永續發展目標(Sustainable Development Goals, SDGs)，強調從環境、社會及經濟三個面向推動永續發展，確保永續的消費與生產模式、有效

循環使用自然資源，避免資源過度開發，以減少對地球造成的損害。循環經濟模式逐漸取代傳統線性模式，通過資源循環利用來滿足社會需求，促進經濟發展並減少環境衝擊。然而，由於缺乏一致的比較基準，對循環經濟原則、執行範疇和成效展現的管理規範尚未統一。國際上持續設計相關策略管理、標準化績效量測方式，並認證執行績效，以便國家、產業和企業組織參考並展示其循環經濟策略的成效。

針對循環經濟標準制定上，BS 8001 組織執行循環經濟綱要指引(BS 8001 : Framework for implementing circular economy principles in organizations – Guide)是第一個組織實施循環經濟原則的架構和指引，由英國標準協會(BSI group)於西元 2017 年 5 月正式發布。另因應國際上對於循環經濟推動上的需求，ISO 亦於西元 2018 年成立 ISO/TC 323「循環經濟」技術委員會，著手進行循環經濟管理系統標準 ISO 59000 系列。

一、循環經濟標準 BS 8001

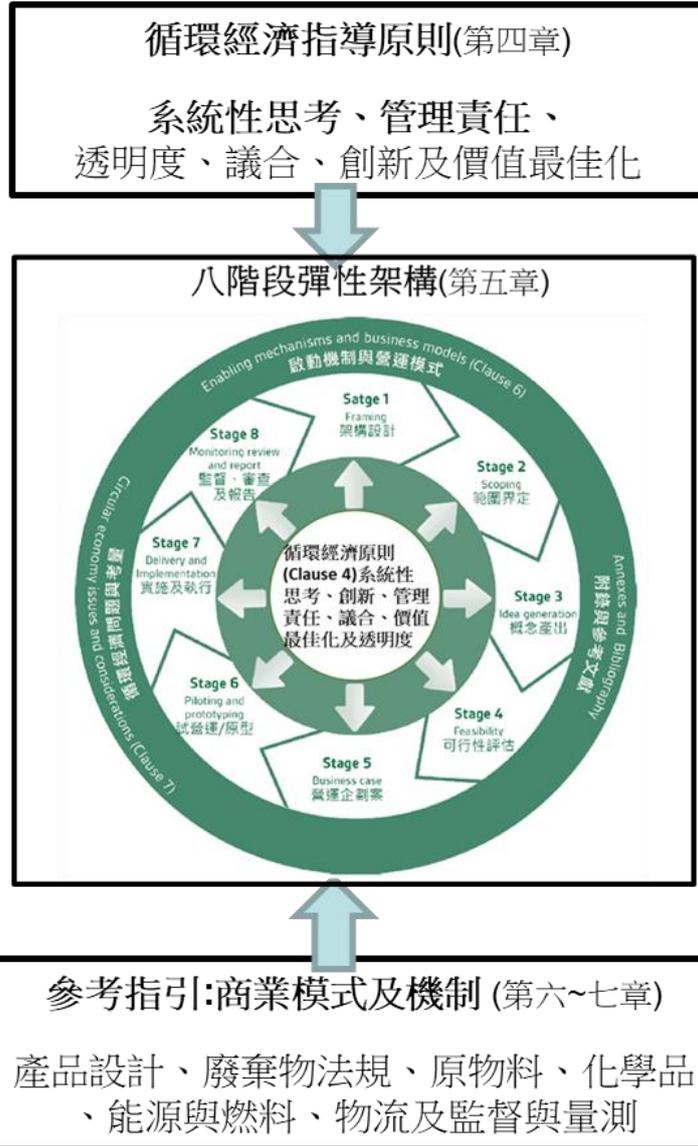
環經濟標準 BS 8001:2017 為現階段一個適用於任何組織規模與產業類型（包含產品類及服務類產業）做為執行循環經濟的參考指南。整體可分為四個部分，總共有八個章節，其第四至第七章在企業執行循環經濟之運用結構關係如圖 2.2-2 所示：

- (一) 一般性原則(General)：第一部分主要目的即為協助組織提升對於循環經濟的認知，並確認組織與循環經濟之間的相關性；包含簡介（第零章）、適用範圍（第一章）、專有名詞與定義（第二章）、循環經濟及其與組織的相關性（第三章）。
- (二) 指導原則(Guiding principle)：即為第四章循環經濟原則，概述說明了循環經濟執行過程需考量的六項原則，並針對達成決策及符合指引規範方式提供了策略性概念。
- (三) 彈性架構(Flexible Framework)：此部分為第五章實施循環經濟原則的架構，主要說明協助組織按部就班、循序漸進地推動循環經濟，並促使組織決定發展循環經濟的預期程度，以及轉換為何種更循環與永續的經營模式。

(四) 參考指引(Supporting Guidance)：最後為第六章啟動機制和商業模式指引與第七章循環經濟問題與考量指引。說明執行 BS 8001 過程中需考量的問題點，如財務、法規、採購及產品成分等，以及遇到問題時的因應方式，包含啟動機制及組織可轉換成更加循環及永續的營運模式。

而 BS 8001 在推動循環經濟過程中，組織應考量以系統性思考、創新、管理責任、議合、價值最佳化及透明度之六項原則來協助其規劃、決策、執行與後續管理，如圖 2.2-3 所示。

BS 8001 國際標準中，除了強調推動循環經濟需考量的六項核心原則外，亦為組織提供了實務面運作過程能參考的規劃方式，即專案執行流程的八階段彈性架構，目的是藉此協助組織將循環經濟元素導入傳統線性經濟思維的產品或服務內容，進而達到持續改善與轉型的目的。其內容包含：架構設計、範圍界定、概念產出、可行性評估、營運企劃案、試營運及原型、實施及執行，與監督、審查及報告如圖 2.2-2。依據各階段實施內容，可由檢視自身業務與循環經濟之間的關聯性出發，在考量循環經濟的願景、策略與規劃方向後，從中找尋問題與機會。



資料參考: Stefan Pauliuk, 2018

圖 2.2-2、BS 8001:2017 循環經濟標準之執行章節結構



圖片資料引用自：馮英哲/BSI 英國標準協會”BS 8001 循環經濟標準協助企業建構循環經濟架構”

圖 2.2-3、BS 8001 循環經濟六大原則

BS 8001 將組織推動循環經濟之成熟度層級分為 0 至 4 級，而組織內部在不同部門、產品或服務中，可能同時運作不同成熟度層級。當組織由 0 級發展至 4 級，表示組織正朝向更循環或永續的營運模式發展。BS 8001 亦提供查檢工具協助企業檢視目前已執行的循環經濟策略與方案，並鑑別及評估其循環經濟的成熟度。分別說明如下：

- (一) 層級 0：未成形（受限制或臨時的行動，如符合廢棄物法規）
- (二) 層級 1：基本（初步建立架構與範疇：積極開發機會）
- (三) 層級 2：流程改善（作業模式與循環經濟原則一致）
- (四) 層級 3：積極參與產品/服務/流程創新（價值主張與循環經濟原則一致）
- (五) 層級 4：最佳化商業模式創新（組織商業與價值創造結構與循環經濟原則一致）

二、循環經濟管理系統 ISO 59000 系列

因應國際上對於循環經濟推動上的需求，ISO 於西元 2018 年 9 月開始推動循環經濟國際標準的制定；已於西元 2024 年 5 月 31 日發布第一版的 ISO 59004:2024：循環經濟 – 術語、原則和實施指引(Circular Economy – Terminology, Principles and Guidance for Implementation)，ISO 59010:2024：循環經濟 – 商業模式與價值網絡轉型指引(Circular Economy – Guidance On The Transition of Business Models And Value Networks) 與 ISO 59020:2024：循環經濟 – 循環性效能的量測和評估(Circular Economy – Measuring and Assessing Circularity)；另外 ISO 59014 及 ISO 59040 等 2 項國際標準也已進入國際標準草案版(Draft International Standard, DIS)階段，將可作為企業導入循環經濟管理系統之國際標準進行準備的參考依據，相關內容如圖 2.2-4 所示。



資料參考：ISO/DIS 59010, <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:59010:dis:ed-1:v1:en>

圖 2.2-4、ISO 59000 系列文件

ISO 59000 系列旨在協調對循環經濟的瞭解並支持其實施和量測與評估成效；並考量政府、產業及非營利組織等為實現聯合國 2030 年永續發展所作的貢獻。此系列中 ISO 59004，ISO 59010 及 ISO 59020 間的關連性如圖 2.2-5，並支持組織實施循環經濟之轉型。



資料參考：ISO/DIS 59010, <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:59010:dis:ed-1:v1:en>

圖 2.2-5、ISO 59004、ISO 59010 及 ISO 59020 之相關性

(一) ISO SO 59004:2024

總共為七個章節，第一~四章說明標準的範圍、引用文件、條款定義與願景，其他章節內摘要說明如下：

1. 原則與行動（第五及六章）

考慮對環境、社會和經濟系統影響時，採取生命週期觀點並以能夠創造相對於資源使用之最大價值；並重新思考設計方案，產品易於修復、維護、翻新、再製造、升級或重複使用；在最大限度地減少與生命週期內相關的浪費、損失和能源消耗。

提供行動指南在幫助組織對提高循環度行動進行優先排序，並以生命週期視角指導組織確定其價值創造模型的最佳行動，並避免不必要的權衡。相關行動適用於整個價值鏈（網）並可能與幾個循環相關，並有助於縮小、減緩或關閉資源流動。

2. 實施指引（第七章）

組織的循環經濟實施過程應考慮循環經濟原則（第五章），而其原則提供了在循環經濟實施各階段行動的基本依據，如圖 2.2-6。而為確保每個階段進行的步驟與原則的一致性，在決定具體策略前應考量循環經濟原則，以更加了解每個階段中選擇的方法應如何與原則一致，並識別可能出現任何的差距與衝突。

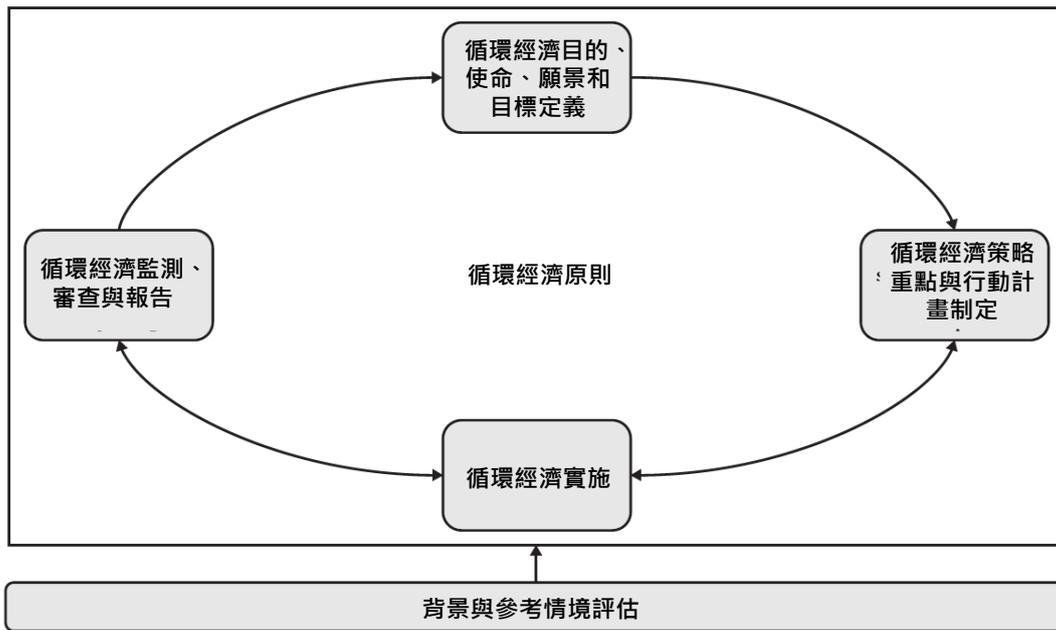


圖 2.2-6 循環經濟實施指引架構

(二) ISO 59010:2024

總共為八個章節，其定義、引用文件及條款和定義（第一~三章）如 IOS 59004 所述，本標準之主要內容：

1. 目標及邊界設定、確定策略（第四~五章）

經由設定組織邁向循環經濟的目標有助於其建立願景、邊界定義、行動和最終績效衡量。在既定目標下繪製組織在其價值鏈網絡中的路徑圖是探索跨價值鏈和價值網絡協作機會，設定適當的邊界。

組織應根據以下因素來確定循環經濟策略是：組織的目的、願景或使命、擴大影響範圍需要下之差距，價值鏈或網絡中的重新定位需求，及實現更循環的價值創造模式的轉變。六項循環經濟原則（系統思維、價值創造、價值共享、資源管理、資源可追溯性和生態系統復原力）及其相互關聯可為行動策略提供了基礎。

2. 轉型價值創造模式與網絡（第六~七章）

從循環經濟策略開始，主要是組織在轉變其價值創造模式的具體行動。在制定行動時，可以考慮專注於單一業務要素產生的機會和可能的行動，轉型是一個原本的價值創造模型和改進的價值創造模型間的反覆循環的動態過程。將現有價值鏈的邊界擴展到單純的商業關係之外，可以透過再生生態系統、保留或增加其價值來創造發展資源循環流動的機會。價值網絡可以採取多種形式的創新合作和關係可以表現為物質、金融資源、資訊、知識、技術等的新交換。

3. 量測與評估（第八章）

組織於選擇改善循環行動後，應衡量和評估行動的結果，其行動作為其循環績效需與所訂定的主要評估指標一致。循環成效的測量和評估數據對於預期應用來說需要足夠相關和精確。其目的可達到改善組織的價值創造模式，也可以完善價值網路

（三） ISO 59020:2024：

共為八個章節，其定義、引用文件及條款和定義（第一~三章）同前述之 IOS 59004。本標準主要內容（第四~八章）包含：

1. 循環度的評估原則、績效架構、邊界設定（第四~六章）

循環評估在空間尺度上要有明確的邊界及其與更廣泛的系統的相互連繫如社會經濟或環境其他系統。在產品層面上，其空間尺度涵蓋價值鏈或價值網絡的不同階段（例如，從材料的開採、加工和供應、零件和產品的製造、分銷、使用、維護和修理到壽命結束），同時須注意應該採用生命週期的觀點包括與該系統相關的適當時間範圍內技術或生物循環的所有階段。這些階段通常位於不同的地方，反映了價值鏈和價值網絡的跨地域性。

循環性的評估架構可以接收來自管理系統的輸入並將結果提供回管理系統如圖 2.2-7。測量和評估過程的結果是特定於進行測量和評估的定義時刻或時間段。為了監控一段時間內的進展，進行定期評估。另為了實現結果的解釋、透明度和驗證，有必要正確記錄所有階段。

2. 循環度指標評估和報告（第七~八章）

循環度評估涉及對循環度測量結果的評估和說明，以決定循環度的表現。文件提供循環指標分類來衡量資源的流動以及組織循環目標和行動在特定時刻對重點系統循環度表現的貢獻度。

藉由審查測量結果、評估價值與影響、諮詢使用者與利害關係人、最後記錄並報告循環績效評估結果。循環性評估完後，所有資料文檔應為可驗證性並設定格式，同時提供有害物質報告，以確保材料正確處理及降低管理不當之風險；最終應考量目標利害關係人之需求，以表格和圖形方式呈現使其符合資訊透明。

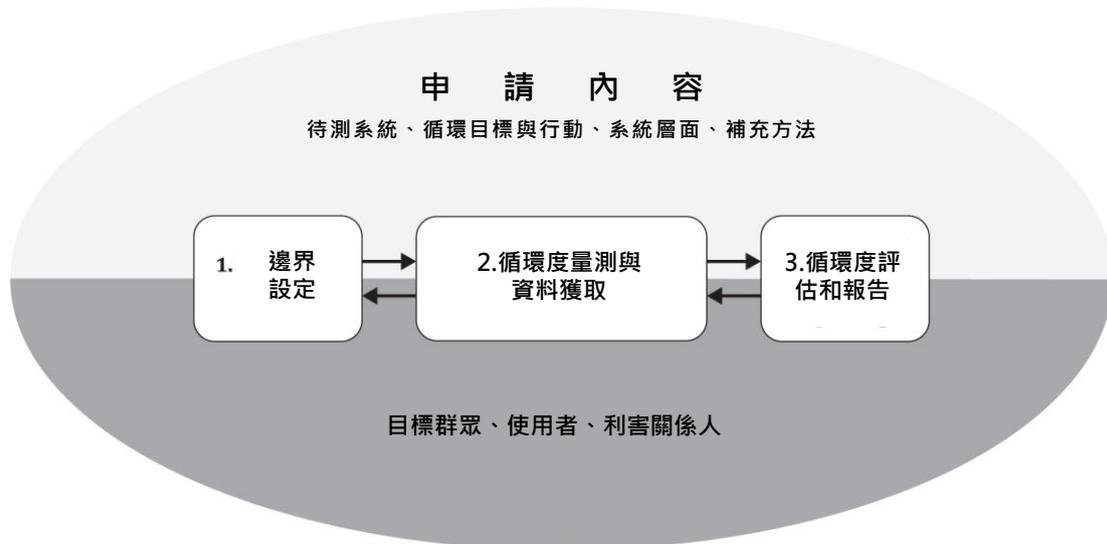


圖 2.2-7、量測和評估循環績效框架

(四) ISO 59032:2024：

透過分析現有價值網絡提供有用資訊，作為加速循環經濟轉型過程的例子。主要內容為現有價值網路蒐集及討論，由各地區、國家或組織現有價值網路的專家進行，旨在收集類型、基本資料、實施模型概述、有益或是有害的影響、與 SDG 相關性、與循環經濟相關之關鍵面向、實施方法、推動因素/障礙/擔憂、其他相關資訊。並以案例(1)是否有互利合作、(2)是否實現產品和材料流程改造商業化及(3)是否在各個組織間形成商業聯盟之標準，篩選出 15 個範例。

所有範例中都存在跨部門協作，並且在廢棄物管理、機械、金屬和食品領域相對常見。提供之案例展示資訊交換系統作為組織間的共用基礎，透過共享資源以減少成本和浪費，並優化供應鏈，目標在於提高生產力和擴大市場份額，實現循環經濟與商業策略的良好平衡。

創建價值網絡的推動因素包括成本節約、夥伴關係建立、政策和激勵措施、資訊交換、價值鏈整合、客戶獲取及融資機制，上述因素也反映了參與者的動機；且在價值網路中，與參與組織合作確定長期管理計畫是關鍵，同時需要長期融資計畫。但重要的是確保公正性、實施活動的包容性、透明度和問責制，促進參與組織的共同創造和合作。

(五) ISO 59014:2024：

該標準制為促進二次材料回收活動和流程的永續和可追溯性提供了指導原則、規定、要求，並沒有提供特定類型回收的二次材料的品質標準。內容共有八個章節，第三章為主要的術語和定義，主要內容（第四~八章）包含：

1. 原則及活動、流程和組織（第四~五章）

應用尊重利害關係人利益、價值鏈責任、安全健康和公平之工作條件、節約資源、生命週期視角及利用二次材料實現資源循環的原則，確保在可信、公平且一致的方式下實現並展示二次材料回收的永續性和可追溯性至關重要。二次材料回收相關的活動和過程包括可回收資源的收集、分類以及非破壞性和破壞性過程，如圖 2.2-8 所示；而參與回收二次材料的活動和過程的組織可以包括收集者、拆解者、再加工者、再製造者和精煉者等，並須對典型的自營工作者提供最低生活保障的活動。

2. 操作、組織及可追溯性要求（第六~八章）

操作要求中組織應建立、記錄和維護與其處理的可回收資源相關的屬性列表，以方便確定回收途徑和所需的回收過程。回收路徑可以應用標準附錄 B 中決策樹的範例方法：第一步是確定收集系統和方法；然後透過考慮

產品、組件和材料類型和特性、潛在危險、製程要求和可修復性等屬性來評估產品和組件的回收潛力；最後是評估材料的回收潛力，旨在最大限度地提高數量和品質。

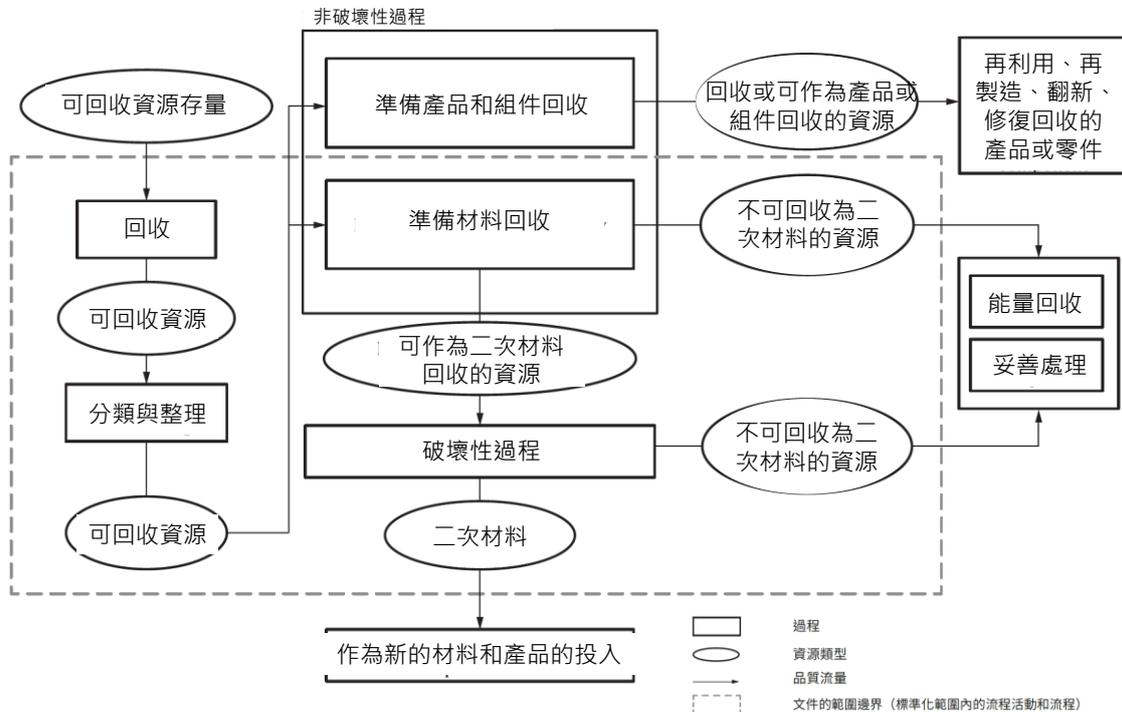


圖 2.2-8、回收二次材料的活動和過程簡化表示

對於組織要求包含：監測與評估、利害關係人參與、對價值鏈的責任、對從事生計活動的個人的責任、公平的工作條件、健康安全風險、減少資源使用、能力和培訓。

最終在可追溯性，組織應制定並實施可追溯系統，包括程序和相關政策，後者應公開；其中需蒐集之資訊說明如下，且該資訊將支援建立產品循環資料表並根據產品循環資料表標準(ISO 59040)進行循環測量；除向上下游合作夥伴提供可追溯性資料外，並須直接供應商合作，支持在材料的收集、處理和交付過程中收集所需的數據。

- A. 上游：遵守行為準則、接收和發布日期、來源、唯一參考號、分類系統、指定屬性以及已完成非破壞性或破壞性過程的可回收資源的指示

- B. 處理過程：輸入、輸出以及輸入和輸出的百分比
- C. 下游：接收組織的名稱和地址、出貨地址、產出百分比、唯一參考編號、分類系統、指定屬性以及已完成非破壞性或破壞性過程的可回收資源的指示

三、循環經濟標準對政策制定之貢獻

循環經濟標準的基本框架還是原則上，都能在政策制定中提供重要的方向性及一致性，並有具體的評估工具和方法，有助於設立和追蹤成效，確保其有效性和永續性；同時作為國際認可指標有助於國內企業在全球市場上達到合規並具備競爭力，進而促進經濟發展。然而，各國之經濟、社會和環境條件與國際有所不同，標準應用時需要根據實際情況進行相應的本地化調整，以確保指標的適用性和可操作性。

因此，在採用這些循環經濟指標時應該進行綜合考量，特別是在成本、適應性、複雜性和永續性需求等方面，確保政策能夠有效落地和持續推進。這不僅在政策制定上須多方考量，還需要廣泛的社會參與和行業合作，共同推動循環經濟的實現，為未來永續發展奠定堅實基礎。另後續應持續針對 ISO 59014：二次材料回收的永續性和可溯性原則、要求和指導進行內容追蹤，以提供我國在循環材料驗證制度規劃和訂定時之參考。

2.2.3 資源循環材料驗證制度

一、UL 3600 循環係數驗證

優力國際安全認證(Underwriters Laboratories, UL)，是從事安全試驗和鑑定的民間機構。該公司於 2018 年 9 月推出「UL 3600 循環係數認證」標準，係為首個可全面性評估企業物料循環度的標準，亦是「循環經濟係數認證計畫」的基礎。

UL 3600 循環係數所包含之評估項目及參考標準如表 2.2-7，對於產品面向之要求，主要為材料含量、配方或組成，以及循環設計之循環度；在工廠面向則為評估廢棄物的轉移度；企業面向為綜合性評估，未來亦規劃將能資源應用、溫室氣體

與社會影響等納入評估，以完善認證範圍。循環係數驗證包含文件審查與現場審查，相應步驟如下：

- (一) 聯繫 UL 單位啟動驗證專案：確認範疇包含產品、廠區等。
- (二) 數據/文件查核：包含產品面與廠區面的物料紀錄、生產批次紀錄、品質政策、生產程序、物料流向、廢棄物分流紀錄及供應商管理等內容。
- (三) 現場審核：到工廠端確認現場管理與提交文件一致。
- (四) 出具報告：彙總上述文件與廠區查核為結案報告，並核發結案證書及循環係數報告。

表 2.2-7、UL 3600 循環係數認證評估項目及參考標準

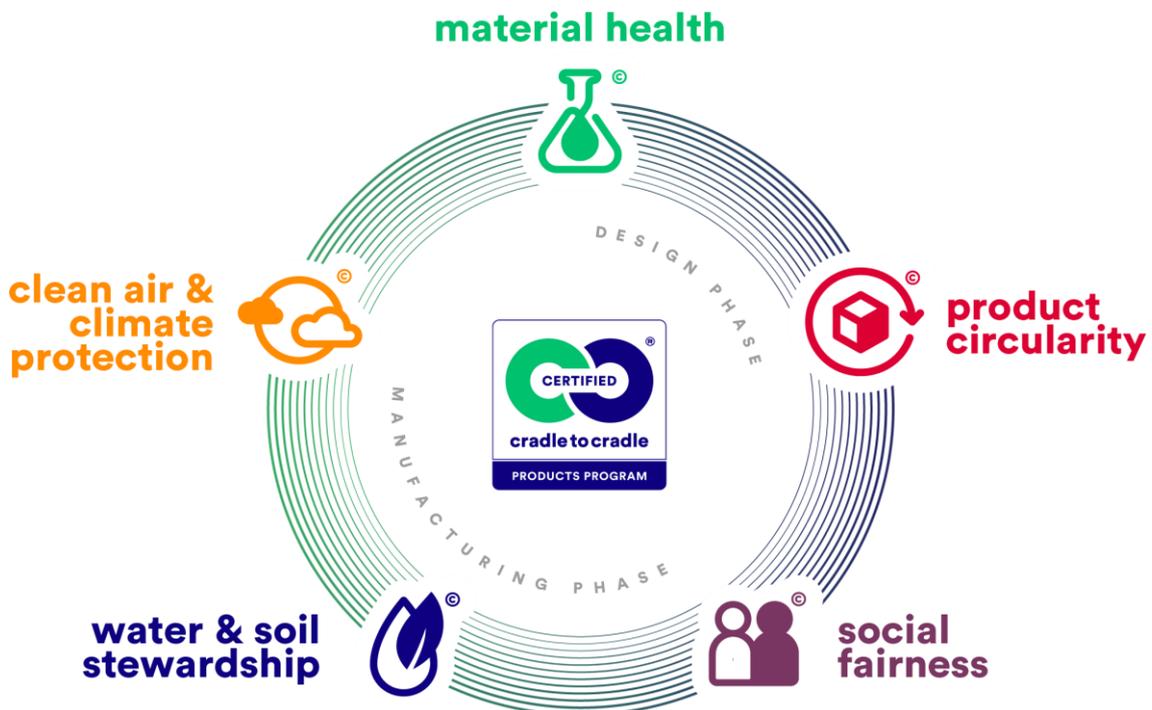
評估項目	參考標準
廢棄物零填埋	UL 2799、LEED
可回收性能	UL 2789、EN 50419
可回收材料的使用	UL 2809、RCS 2.0、GRS 4.0
副產品協同效應	UL 2990
生物基含量	ASTM D6866、ASTM D6400

二、C2C 認證產品標準

C2C 認證原文名為「Cradle to Cradle」認證由布朗嘉及麥唐諾結合彼此專長所成立的 MBDC (McDonough Braungart Design Chemistry) 公司版權所有。此認證將環境保護、資源永續循環利用及社會關懷等思維，納入認證的評分標準之中，鼓勵產品從設計製造階段，就積極思考如何讓產品在使用前、中、後都對人類和自然環境帶來正向影響。且已經被美國環保署認可，並列入新的聯邦永續採購建議標準與生態標籤中。以 2021 年起使用 V4.0 版本中認證標準包含 5 大面向如圖 2.2-9 所示，藉以評估與審核產品是否符合 C2C 設計理念，設計基準說明如下：

- (一) 材料健康性(Material Health)：全面確保人、生物、與環境的健康。
- (二) 產品循環性(Product Circularity)：可以不斷循環使用的材料養分，包含工業循環 (Upcycle 升級再造)，以及生物循環 (可安全堆肥分解、可快速再生)。

- (三) 空氣品質及氣候對策(Clean Air & Climate Protection)：以所有製造皆由 100% 的清潔再生能源驅動為目標。
- (四) 水土管理(Water & Soil Stewardship)：將乾淨的水視為寶貴資源、基本人權來管理。
- (五) 社會公平性的實施(Social Fairness)：確保生產供應鏈中所有利害關係人皆合理受益，包括員工、客戶、供應鏈網絡與周遭環境等。



資料來源：cradle to cradle products innovation institute。

圖 2.2-9、C2C 認證標準 5 大面向

認證範圍則包括材料、製程及成品等，認證分為銅級(Bronze)、銀級(Silver)、金級(Gold)及白金級(Platinum)等 4 個等級的認證 (V4.0 版已經取消基本級)；每三年需重新認證以確保產品符合標準。申請認證輔導到發證共約 5~7 個月，流程如圖 2.2-10 所示。



圖 2.2-10、搖籃到搖籃(C2C)認證流程

三、SCS 回收材料驗證

全球科學驗證服務公司(Science Certified System Global Services)為一環境永續稽核、檢測、與標準開發的獨立第三方機構，以 SCS 回收材料成分驗證(SCS Certified Recycled Content)做為評估消費前或消費後廢棄物為原料的產品，可計算出產品中的回收材料成分百分比作為準確的市場宣告。

適用於製造商對最終產品中的回收材料和材料類型提出聲明的材料，如紡織(Textile)、地毯(Carpet)、包裝(Packaging)、建築(Construction)和室內(Indoor)等產品，透過原料追蹤程序和終端產品生產履歷標示等作法，確保再生材料來自可驗證來源。驗證申請流程摘要如圖 2.2-11 所示。



圖 2.2-11、SCS 回收材料驗證流程

目前以 2014 年 7 月發布之第 7.0 版(Recycled Content Certification Standard, Version 7.0)為例說明規範內容如下：

(一) 回收材料資格判定

被認定為回收成分有兩個最低門檻規範，第一是必須符合國際標準 ISO 14021 消費前或者消費後材料；第二是必須同時符合美國聯邦貿易委員會綠色指南要求。

(二) 取得回收成分驗證的回收成分百分比沒有最低標準規定。

SCS 公司認為購買產品若僅提供回收材的百分比數值，會因為產品特性而誤導消費者。因此，SCS 回收成分驗證不一定是百分之百都是回收材最好，回收成分驗證並未有回收百分比的最低標準。

(三) 通過驗證產品之後的宣告方式

SCS 回收成分聲明基於原材料投入分析，明確指出回收內容百分比比例，若不確定回收成分數量產品，無法取得驗證。

(四) 若產品中的回收成分有波動變化時則採平均值

一般來報告將給出回收成分百分比的最小值；在多個生產場所或物流覆蓋範圍較廣的情況下，倘如果客戶能追蹤產品原產地，則聲明將給出所有百分比的平均值。

(五) 在多處設施生產同一產品仍可以取得驗證

許多取得驗證的製造商本身都有多處生產設施。

(六) 取得驗證與 LEED 要求無關

美國綠建築驗證(Leadership in Energy and Environmental Design, LEED)並未明確要求回收成分的第三方獨立驗證。

四、全球回收標準(Global Recycled Standard, GRS)

GRS 是由管制聯盟(Control Union, CU)創於 2008 年，並於 2011 年 1 月 1 日起將所有權轉移給荷蘭紡織交易協會(Textile Exchange)，其目標是增加產品中回收材料的使用，並減少/消除其生產所造成的危害，確保相關紡織供應鏈符合內容要求

(Content requirement)。而回收聲明標準(Recycled Claim Standard, RCS)亦為 TE 在 2013 年推出的回收標準，用於使用了再生原料的產品提供認證的依據。

目前最新版本為 GRS 4.2，驗證規範包含(1)產品至少需含有 20%的原材料是由回收纖維組成，並且是 100%無污染的產品；(2)回收料源應清楚注明消費前或消費後廢料，以及消費前與消費後二者在回收料源中所占比例；(3)對企業社會責任、生產製程中污染防制與處理、以及化學品限制等均加強規範；(4)要獲得 GRS 驗證標示，則產品其原料至少需含有 50%的回收成分才得以使用

任何 GRS 適用類別產品之原料供應商、製造商與進口商皆可提出驗證申請。證書有效期限為一年。GRS 的驗證需要整個供應鏈都要驗證，比如說貿易商要驗證 GRS，那麼所有相關的上游供應鏈必須要有 GRS 認證才有效；且驗證時，驗證單位會針對總量平衡表進行稽核，若總量平衡表數據不符，則無法通過驗證。驗證申請流程如圖 2.2-12 所示，詳細說明如下：



圖 2.2-12、全球回收標準(GRS)申請流程

(一) 提出 GRS 驗證申請：

申請者應依驗證機構發布之格式，填具驗證申請合約、同意驗證規範、繳納驗證費用、並檢附相關應備之產品與生產製程資料，以供驗證。

(二) 進行文件審查：

文件審查之範圍與目的在於確認所有文件皆已正確填寫並簽署、產品之組成成份符合 GRS 標準要求、所有產品原料及其供應商符合 GRS 標準要求。

(三) 現場稽核：

1. 產品之再生料含量符合 GRS 標準要求。
2. 產品之生產製程確實符合 GRS 標準。
3. 業者應建立並維持文件化之物流追溯系統，以確實辨識原料、半成品與成品。
4. 業者應建立並維持對所有物流之特性、數量、來源、去向之紀錄。
5. 業者應有系統的控制所有 GRS 相關之原料與成品之狀態與數量。
6. 業者應建立並維持文件化程序，以確保符合 GRS 標準中對環境與社會性議題之要求。

(四) 執行矯正預防措施：

業者針對現場稽核之不符合或需改進事項提出並執行矯正預防措施，並需將結果知會驗證機構；若業者未能完成此改善或未通知驗證機構，則申請案將自動終止。

對於已執行矯正預防措施之案件，驗證機構視不符合事項之嚴重性與矯正預防狀況，可以重新安排現場查核，或直接接受改善結果，但無論何種狀況，此一不符合事項都會在第一次追蹤查核時再次確認。

(五) 核發證書：

證書核發係由驗證單位依文件審查報告與現場查核報告決定。若同意則會發出驗證證書，並將通過之公司與產品名稱納入產品資料庫；不同意時驗證機構會通知申請者不通過原因，若業者仍欲取得驗證，則應於期限前提出文件以證明已採取適當之矯正預防措施。

(六) 追蹤查核與證書更新：

證書每次有效期 1 年，且有效期內之業者須配合驗證機構之追蹤查核，以確保持續符合 GRS 標準要求。到期前驗證機構會再次評估產品與製程，以決定是否同意換發新證，此評估主要取決於過去 3 年內取得之資訊。通過驗證之產品可以通過驗證之產品應予標示，標示時應包含產品之再生料摻配率、驗證編號、與驗證機構名稱。

五、中國循環經濟認證

因社會經濟快速發展，自然資源之減少及環境承受壓力日益漸增，為有效減輕環境污染問題，發展循環經濟為根本緩解資源消耗的方法。為有助於循環經濟產品之發展，中國質量認證中心推出循環經濟產品驗證。

認證範圍目前僅限於再生塑料及塑木產品，其驗證方法分別為 CQC52-369991-2017 再生塑料及 CQC52-363521-2017 塑木產品循環經濟認證規則。流程主要為申請認證資料提交、文件審核、產品檢驗（倘若文件審核存在不符合或缺失項目時）、工廠查驗、認證結果評價與批准。證書有效期限為 3 年；獲證後 6 個月進行年度監督，每次年監督檢查間隔不超過 12 個月；必要時會對產品進行抽樣檢驗。

六、資源驗證制度之探討

國際間成熟之循環材料制度提供了豐富的經驗和方法，UL 3600 的全生命週期評估及數據透明性提升了認證的科學性和嚴謹性；C2C 強調設計導向，促進綠色設計和永續產品開發；GRS 則通過供應鏈管理確保材料來源和加工過程符合標準等。然而，這些標準並無法完全適用於所有行業和產品類型。

因此，我國在規劃循環材料驗證制度時，應該依據國內實際情況進行本地化調整，確保制度的適用性和可執行性；且應該配合資金支持與相關教育，提高對環材料的認識和接收度，最終應建立動態的評估和改進制度，根據實施效果和市場需求，滾動式的完善和更新驗證制度。

2.3 我國資源循環法規與材料驗證制度推行成果

2.3.1 資源循環法規與政策推行沿革

歷年資源循環法令及計畫推動歷程摘要如表 2.3-1 所示。西元 2002 年陸續頒布資源回收再利用法以及相關子法，並授權環境部設置「再生資源回收再利用促進委員會」，由跨部會工作小組協力研擬並執行「資源回收再利用推動計畫」(現為資源循環行動計畫)。環境部於西元 2022 年 3 月核定「循環新世代-110 年至 113 年資源循環行動計畫」，將物質區分生物質、有機化學物質、金屬及化學品、無機再生粒料等四大物料，從生命週期四大面向擬定總體指標與推動策略，同時健全基礎法規政策計畫與資料庫，盤點關鍵議題並制定具體行動措施。

表 2.3-1 我國資源循環政策沿革摘要

時間(西元年)	資源循環相關政策及推定計畫內容
1984	核定「都市垃圾處理方案」 -初期以掩埋為主，中長期以焚化為主；由中央補助積極推動地方興建垃圾掩埋場或焚化廠，以解決垃圾處理問題。
	發布「有害事業廢棄物認定標準」
1987	生產者延伸責任制度引進
	發布「有害事業廢棄物認定標準」
1989	發布「事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準」及「公民營廢棄物清除處理機構管理輔導辦法」 -加強事業機構及事業廢棄物管理
1991	訂定「垃圾處理方案」 -明定「焚化為主，掩埋為輔」之垃圾處理主軸
1997	進行設立事業廢棄物管制中心先導計畫，並完成事業廢棄物管制中心資訊網路訓練作業
	資源回收四合一計畫 -結合社區民眾、回收商、地方政府及回收基金，建立資源回收機制；並鼓勵民眾參與
1999	推動網路申報廢棄物流向制度 -藉由單一入口網站進行 E 化申報管制流向追蹤作業。
2000	成立「事業廢棄物管制中心」 -藉由資訊管理系統，掌握事業廢棄物之產源及流向
	台北市垃圾費隨袋徵收制

時間(西元年)	資源循環相關政策及推定計畫內容
2001	修正廢棄物清理法 -為有效管理全國事業廢棄物，將事業廢棄物再利用改由中央目的事業機關管理
2002	發布「資源回收再用法」 -為節約自然資源使用，減少廢棄物產生，促進物質回收再利用，減輕環境負荷，建立資源永續利用之社會
2011	擴大推動限塑政策，加強一次用產品減量 與環保公民團體共同成立「臺灣海洋廢棄物治理平台」
2018	核定「107至109年資源回收再利用推動計畫」 -以生產、消費、廢棄物管理、二次料市場等四大面向為主軸，分別擬訂十二大相關策略及四項績效指標，期以落實資源循環零廢棄，達成資源回收再利用量最大化及廢棄物產生量最小化之目的
2019	訂定「網購包裝減量指引」 -為減少網際網路購物包裝造成之環境影響與資源耗用
2020	修正「再生資源回收再利用促進委員會」 -設置「生物質組」、「有機化學資源組」、「金屬及化學品組」、「無機再生粒料組」及「綠色生活及消費組」，透過委員會及分工小組運作，落實並強化跨部會協作
2021	成立資源循環辦公室 -依四大物料特性擬定創新資源循環政策 海洋廢棄物循環產品標章推動作業要點
2022	訂定「非填充食品之塑膠再生商品推動作業要點」 核定「循環新世代-110年至113年資源循環行動計畫」 公告「一次用飲料杯限制使用對象及實施方式」
2023	核定臺灣2050淨零轉型「資源循環零廢棄」關鍵戰略行動計畫

在西元2022年3月正式公布「臺灣2050淨零排放路徑及策略總說明」，資源循環署以促進物質回收再利用，推動廢棄資源材料化及能源化循環供給生產所需，節約自然資源之開採使用並減少廢棄物產生，主導推動第8項「資源循環零廢棄」戰略；並於西元2023年4月經行政院，訂定3大目標、4大推動策略及10項關鍵項目優先推動，並規劃37項推動措施及72項行動如圖2.3-1。

依據「行政院環境保護署再生資源回收再利用促進委員會組織規程」，設有 5 個分工小組；針對特定議題、資源物或關鍵項目提出「推動措施」，並根據基礎工作盤點結果提出重點工作項目，以物質生命週期的角度推動資源循環。在西元 2022 年各小組透過跨部會且跨領域的合作，共同努力在資源循環推動上取得了成果，具體成果摘要表 2.3-2¹。

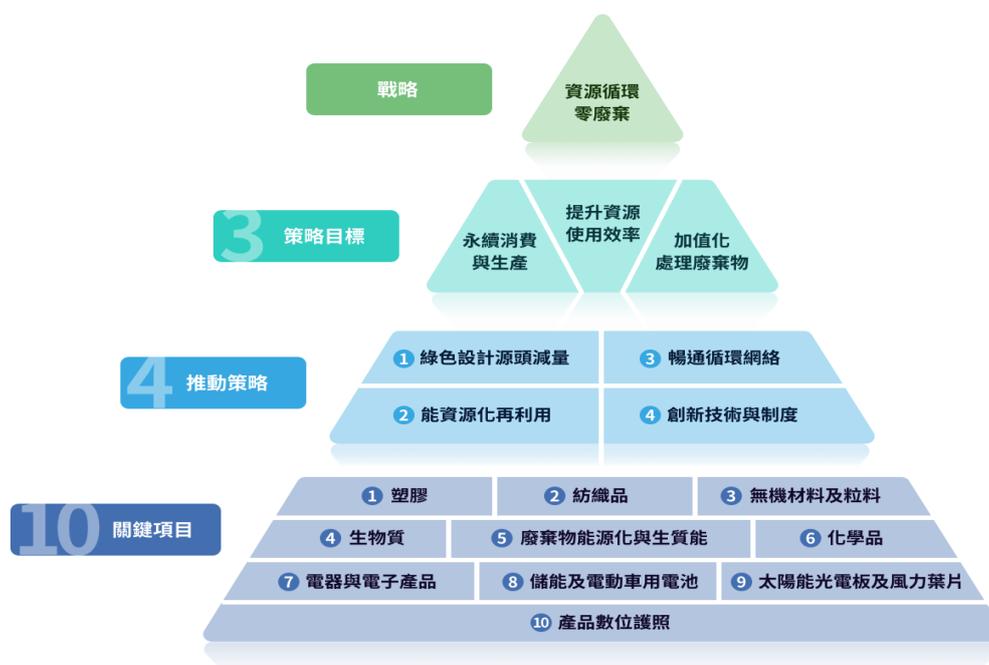


圖 2.3-1 資源循環零廢棄推動架構

表 2.3-2、西元 2022 年各部會資源循環推動成果摘要

組別	執行部會	計畫名稱
生物質	環境部、經濟部、內政部、農業部	生物質物質流向盤點
	農業部、經濟部、環境部	能源化-豬糞尿與農業廢棄物共消化
	農委會、經濟部、環境部	肥料化-食品工廠及（或）養雞場產業鏈
有機化學物質	環境部、經濟部	強化塑膠產業價值鏈源頭減量與回收管理
	環境部、經濟部、國科會、農業部、衛福部、內政部	非食品接觸塑膠製品添加再生料

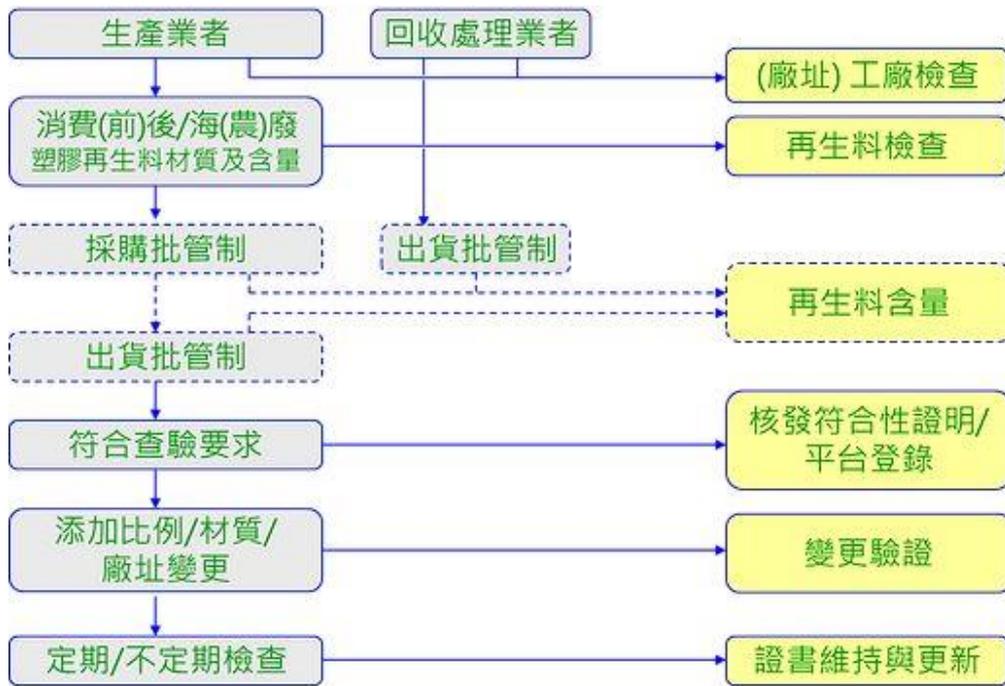
¹ 環境部資源循環署 111 年資源循環再利用年報，民國 112 年 12 月。

組別	執行部會	計畫名稱
金屬與化學品	國科會、經濟部、環境部	液晶萃取
	國科會、經濟部、環境部	電子級異丙醇
無機再生粒料	經濟部	提升無機再生粒料(焚化再生粒料、氧化碓、還原碓、轉爐石)再利用
綠色生活及消費	各部會	優先推動循環採購
	各部會	加強環境教育引領綠色消費文化

2.3.2 我國資源循環材料驗證制度

一、塑膠再生料溯源驗證(Plastics Recycled Material traceability verification, PRM)

由財團法人塑膠工業技術發展中心於 2009 年所推動設立，為臺灣第一個在地自主運作之塑膠再生料之驗證系統，其驗證系統宗旨在於推動廢塑膠之循環使用，創造廢塑膠之新價值，減少資源耗用及節能減碳。依據 ISO/IEC 17020 符合性評鑑-各類型檢驗機構實施檢驗之作業要求，制定「消費後塑膠再生料追溯性與符合性檢查準則」。秉持公正客觀的立場，對消費後塑膠之再生料進行獨立稽核控管，協助業者提供佐證資訊，以取得客戶的信任，進而完成產業鏈的有效運作，達成廢塑膠能循環再使用之目的。塑膠再生料溯源驗證流程如圖 2.3-2 所示。且於西元 2020 年驗證系統改版後首度推出驗證標章，並可依據再生材質來源核發「消費前再生料」、「消費後再生料」或「海廢再生料」等標章。



資料來源：塑膠再生料溯源驗證平台。

圖 2.3-2、塑膠再生料溯源驗證流程

二、EcoT 環保及可追溯紡織品管理系統

可追溯紡織品管理系統主要功能為提供紡織產品的材質履歷、品質資訊、追蹤記錄及管理、回收管道、並得以進行資源循環的相關數據分析，而可追溯性的產品資訊流程讓回收的過程透明化，架構如圖 2.3-3 所示。

目的為建構環保及可追溯紡織品資源化驗證規範，透過嚴謹的驗證程序，讓消費者能夠信賴回收材料的品質，以提升再生產品的價值。最終利用識別標籤，讓紡織品得以識別；並利用網路技術建構雲端資源循環服務平台，以進行雲端資源循環的服務²。

² EcoT 環保及可追溯紡織品管理系統，2023



資料來源：EcoT 環保及可追溯紡織品管理系統網頁。

圖 2.3-3、EcoT 環保及可追溯紡織品管理系統架構

目前系統針對四種材質作為循環回收標的物進行回收，分別為再生羽絨紡織品(EcoT Down)、再生聚酯紡織品(EcoT PET)、再生尼龍紡織品(EcoT NYLON)、再生多元成分織品(EcoT Multi-material)。其回收規範係由台灣機能性暨產業用紡織品認證與驗證評議委員會訂定，其驗證規範分別如下：

- (一) FTTS-FP-193 環保及可追溯紡織品再生聚酯管理系統驗證規範。
- (二) FTTS-FP-183 環保及可追溯羽絨紡織品管理系統驗證規範。
- (三) FTTS-FP-193 環保及可追溯紡織品再生聚酯管理系統驗證規範。
- (四) FTTS-FP-203 環保及可追溯紡織品再生多元成分管理系統驗證規範。

相關再生紡織產品依照規範驗證可再區分為三種等級，不同等級之再生聚酯產品得依本規範授以不同之符碼標示如圖 2.3-4 所示，以下為等級區分之說明：



資料來源：EcoT 環保及可追溯紡織品管理系統網頁

圖 2.3-4、EcoT 合格標籤（以 PET 應用示範例）

1. 環保等級(Treasured Grade) (1A)：其半成品或產品必須通過相關驗證規範要求：其代表意義包含環保回收再生、節能減碳及環境衝擊減少等。
2. 品質保證等級(Treasured & Trusted Grade) (2A)：其半成品或產品必須通過包含品質及相關驗證規範要求：其代表意義包含品質可信賴、環保回收再生、節能減碳及環境衝擊減少等。
3. 環保及可追溯等級(Treasured, Trusted & Traceable Grade) (3A)：其半成品或產品必須通過最嚴格的驗證規範要求：其代表意義包含產品可追溯、品質可信賴、環保回收再生、節能減碳及環境衝擊減少等。

三、資源再生綠色產品

為推動及鼓勵政府機關及企業優先使用具增加社會利益或減少社會成本之資源再生綠色產品，明定資源再生綠色產品標章之申請與管理事項。而所稱資源再生綠色產品，指使用一定比例以上之回收料作為物料，且其生產階段符合省能資源、少污染，具增加社會利益或減少社會成本，並依本辦法審查通過之產品，目前已經公告可申請的再生產品共 25 類（51 種產品）。資源再生綠色產品認定申請案件之審查作業流程如圖 2.3-5 所示，產品認定標準包含品質標準、回收料使用比率、單位產品耗能、單位產品水耗及有害物質限制。

經審查認定之資源再生綠色產品，除了與環保標章或綠建材標章同樣要求所採用之原料需為一定比例之再生材料外，其與環保標章或綠建材標章之差異，主要

在於生產階段符合省能資源、少污染之訴求，且為超越申請時國內同業之一般技術水準者。

獲證廠商依規定應於每季定期依申報格式，彙整前一季使用資源再生綠色產品證書之產品產量及銷售量資料向工業局申報。未定期申報或申報不實，應通知其限期改善，限期未改善者，得廢止其證書。另為加強獲證產品之後續管理，由經濟部工業局派員會同一位技審委員陪同，至少每三年針對獲證廠商進行一次現場查核或產品抽驗，並視獲證廠商違規情形增加查核或產品抽驗頻率，以確認獲證產品仍符合產品認定規格及環保法令之規定。

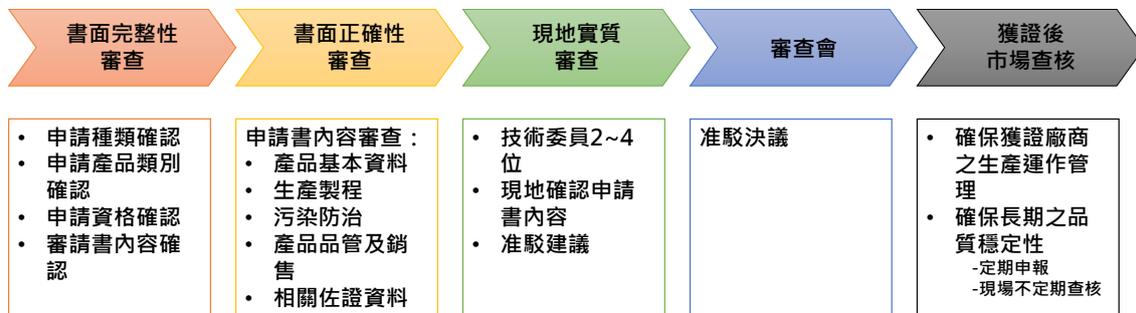
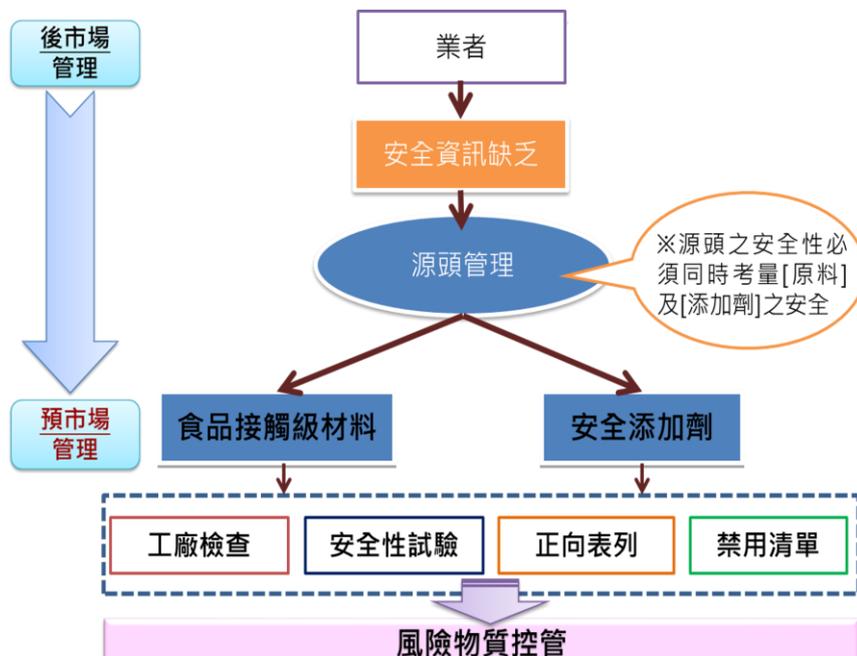


圖 2.3-5、資源再生綠色產品認定申請之主要審查程序

四、塑膠再生料使用推動

為與國際接軌同時促進資源循環利用暨廢棄物減量，鼓勵事業使用塑膠再生料，引導事業體現社會責任及企業永續之目標，活絡國內塑膠再生料市場，促進產業循環利用轉型，期望在 2025 年再生料使用比率達 25%、2030 年再生料使用比率達 30%之目標。優先針對非填充食品之塑膠再生容器於民國 111 年 11 月 3 日訂定「非填充食品之塑膠再生商品推動作業要點」，針對化粧品、動物清潔保養用品、清潔劑、潤滑油等塑膠再生容器建立審查機制，確認再生料來源、品質及添加比例，使國內業者有規範可遵循。

同時，衛福部食藥署參考美國、歐盟等先進國家規範，於西元 2022 年 5 月 12 日公布「供作食品容器具包裝製造使用之 PET 再製酯粒原料適宜性申請作業流程」，經回收之聚對苯二甲酸乙二酯(Polyethylene Terephthalate, PET)食品容器產品，以清洗、切碎、熔融、去污等製程，再製為酯粒(rPET)且通過評估者，可供作製造食品器具容器包裝之原材料。為確保前述 rPET 製成之食品器具容器包裝符合食安法相關規定，針對 rPET 供作食品器具容器包裝製造使用者，提供申請作業流程如圖 2.3-6 供業者參循，並利衛生福利部食品藥物管理署審核作業。



資料來源：財團法人塑膠工業技術發展中心。

圖 2.3-6、供作食品容器具包裝製造使用之 PET 再製酯粒原料適宜性申請作業流程

2.4 國內外資源循環行動方案差異比較

2.4.1 資源循環政策與行動

各國在資源循環領域的政策實施與效果因其經濟體的資源優勢不同而有差異，為了探討並比較差異，本計畫將各國相關政策以 10 個關鍵項目作為分類彙整於表 2.4-1，表中粗體底線表示為我國於該關鍵項目尚未規劃相關之政策或計畫。

我國資源循環政策與其他先進國家相比，在塑膠、紡織品、化學品及儲能及電動車用電池政策的實施方式和效果上存在一些顯著的差異：因此透過分析各國政策推動方向並結合我國發展現況及政策環境等因素，提出符合未來發展趨勢之建議，以提供給我國作為施政參考依據。

表 2.4-1、以我國 10 個關鍵項目分類彙整國際間相關政策

關鍵項目	國際（歐、美、日、韓）	臺灣
塑膠	包裝： <u>綠色設計、再生料添加、食物包裝限制 PFAS 含量(歐盟)</u> 、減量及再利用、檢驗制度 材質： <u>推動生質塑膠、可堆肥塑膠、生物可分解塑膠</u> 限用和流布控制：防止塑膠微粒流布及污染提案	包裝：減少一次性塑膠包裝、源頭設計、包裝容器回收、食品器具包裝衛生標準、可燃廢棄物燃料化 材質：添加再生料 限用：化粧品與個人清潔用品 限制含塑膠微粒
紡織品	綠色設計、F2F、延伸生產者責任(ERP)、回收再利用、 <u>禁止未售或退回紡織品銷毀、永續產品生態設計規範(ESPR)及產品數位護照(預計 2027 年生效)</u> 、 <u>解決微塑膠問題</u>	改善生產觀念、創造綠色消費、回收分選再生、推動閉鎖式循環及其技術(F2F)
無機材料及粒料	拆除規範、廢棄物最小化、永續建築材料、使用無害之再生材料替代原始材料、建立災害	源頭減量、區域循環體系、材料循環利用技術、研發新興技術、建立循環網絡

關鍵項目	國際（歐、美、日、韓）	臺灣
	廢棄物處理體系（日本）	
生物質	減少食物浪費、食品回收再利用、生命週期、 廚餘費徵收(韓國) 、零食物廢棄區	減少糧食損失與消費端食物浪費、提升廢料價值(材料化、肥料化、飼料化、能源化)、物料地圖、高質化應用、物質流平台
廢棄物能源化及生質能	回收管理、基礎設施設置、碎木/廢棄物能源化(RDF/SRF)	料源蒐集、廢轉能技術、誘因措施、衍生物處理及去化
化學品	化學品租賃、 永續產品生態設計規範 、REACH	源頭減量、區域型循環、化學品租賃、回收再製造
電器與電子產品	回收獎勵制度、有害物質限制、循環性產品、維修權、 維修平台(歐盟) 、 強制生產商達一定回收率(韓國) 、 永續產品生態設計規範 、 共享租任(日本)	維修度指數、維修權、多元回收、綠色設計、再生物料循環
儲能及電動車用電池	關鍵原料回收率 、 再生料添加比例 、 電池護照(2027年全面啟用) 、有害物質限制、 碳足跡 、延伸生產者責任、電池回收	鋰電池源頭管理（正極材料標示）、再生材料添加比例（訂定中）、電池廢棄循環法規與測試標準訂定（制定中）、建立資源化循環中心
太陽能光電板及風力葉片	高價值回收、費用徵收、標準化回收系統	太陽光電板：易拆解太陽能板、生產者延伸責任、循環材料差別補貼（訂定中）、高值化處理
		風力葉片：回收處理示範計畫（媒合水泥業者）
產品數位護照	永續產品生態設計規範 、資訊揭露	刻正推動產品數位護照管理制度，提升關鍵標的產品流向追蹤及資訊揭露

一、 塑膠

國際政策的核心在於推動延伸生產者責任，並鼓勵使用生質塑膠；同時對包裝中 PFAS 含量進行限制。此外，國際間對塑膠廢棄物流向的管理相當嚴格，旨在減少污染並確保廢棄物被妥善處理。我國雖曾引入生質塑膠聚乳酸(Polylactic Acid, PLA)使用，但因外觀與特性與聚對苯二甲酸乙二酯(Polyethylene Terephthalate, PET)相似，現有回收體系難以有效區分，導致回收面臨挑戰。

隨著國外進口包材和產品中含有生質塑膠的情況將會逐漸普及，建議我國需開始規劃生質塑膠之回收策略，無論是材料還是能源回收，都需要有完善的管理機制來應對各類再生材料的處理。此外，塑膠廢棄物的再生利用仍是全球循環經濟的重要趨勢，我國應推廣國際標準的追溯系統，如 GRS 或產品數位護照，並建立相關的檢驗機制，以確保在添加再生料的過程中，能夠達到國際標準，提升循環經濟效益。

二、 紡織品

歐盟在「永續與循環紡織品戰略」要求生產者導入紡織品綠色設計並肩負回收及再利用責任，並引入資訊要求和數位產品護照。我國目前雖尚無紡織品相關法規，但有訂定「連鎖品牌服飾業及百貨零售業紡織品循環指引」，減少紡織品廢棄物的對環境的衝擊；另著重於紡織品廢棄物再循環，亦逐漸強化紡織閉鎖性循環路徑。與國際相比，我國相關法規較少且不夠嚴格。因此，未來應先制定與國際接軌的紡織品環保法規以提升監管力度，確保紡織品生產和銷售過程符合環保要求；並明確生產者在產品使用後的回收及再利用責任，鼓勵建立紡織品回收系統，並提供相應的政策支持和激勵措施。

三、 化學品

在國外，化學品租賃已行之有年，而近年來我國也開始輔導產業試辦以租代買，採分階段輔導，初期以固態物優先。但目前廠商端對硫酸等液體化學品的需求升高，建議要持續針對液體化學品流向控管發展。為此，可以參考國外評估指南之流程，對我國租賃方式進行調整。除此之外，也應該逐步規劃建置再生化學

品品質驗證制度，如再生化學品認證和合格評估、產品標示及追蹤系統等，以確保安全性及品質穩定。

四、 儲能及電動車用電池

國際上對於電池政策主要集中在回收與再生材料的使用上以及建置電池護照制度；並且電池的碳足跡與永續性也是國際政策的重點；而我國電池相關法規目前主要規範電池廢棄清理及回收，但也逐步針對再生材料及測試標準進行訂定，同時也配合歐盟之電池法規建置電池護照登載平台。

為協助台灣廠商應對日益嚴格的國際標準，並在產品設計和生產上符合新的法規要求，建議需要檢視國內產業是否具備足夠的技術與環境數據，來滿足電池護照的要求，後續可輔導產業進行電池護照之資料庫架構建置。此外，有害物質、回收材料含量等方面相關驗證，但目前我國尚未建立再生原材料使用的認定機制，這意味無法準確判斷電池中使用多少比例之再生原材料；為此，建議應儘早規劃相關驗證機制並與歐盟等國際規範接軌，以利確保法規一致性。

2.4.2 再生材料驗證制度

再生材料驗證制度對於促進資源循環利用及提升環保意識至關重要；許多國家已建立了不同的驗證體系，以確保再生材料品質和安全性，並推動其在產品中的應用。然而，我國的再生材料驗證體系仍然相對分散，缺乏統一的標準，這在一定程度上限制了再生材料的競爭力。因此，構建一個完善且能與國際接軌的再生材料驗證制度，是推動永續資源循環發展的重要目標。

根據目前彙整政策結果來看，本計畫建議參考國際上較為成熟的驗證標準，如 SCS 和 GRS，來做為制定適合我國再生材料驗證標準之參考；同時，應設立專門驗證機構，負責再生材料的認證和管理。透過借鑒國際標準，可有效提升國內驗證制度的透明度和公信力，確保再生材料之來源、處理過程和使用足以符合國際規範。這不僅有助於再生材料在國內市場的使用，亦能提升產品在國際市場上的競爭力。此外，建議針對再生材料的性能制定標準，以確保材料在產品使用時不會影響其質量和性能；如當再生塑料添加至產品時，必須保證其物理和化學性質達既定標準，

以保證最終產品的使用安全性。最後，通過清晰標識使消費者能直觀地識別，從而提升接受度，亦可作為企業進行綠色宣傳的有效工具。

為了確保再生材料的合法使用並提升其品質管控水平，應規劃完善的循環材料查驗機制；通過系統化的查驗確保再生材料在各個環節的合法性，防止不合規的材料進入市場，從而保護消費者利益並維持市場的公正性。該機制應包括定期的產品抽查，確保所有流通中的再生材料產品均達標準。此外，還需建立數據收集和分析系統，全面監控再生材料的使用情況。這些數據不僅能反映政策實施的實際效果，還能夠為未來標準的修訂和政策的完善提供科學依據。

推廣再生材料的應用需要廣泛的社會支持，尤其是來自消費者的理解與認同；因此提高消費者對再生材料及其驗證制度的認識至關重要。政府和相關機構應透過多種媒介加強對再生材料的宣傳力度，讓更多的人了解循環經濟的概念，以及再生材料在環保方面的重要作用；如在學校、社區等場所開展相關的教育活動來實現。此外，展示成功應用再生材料的企業案例也是提升公眾信任度的有效方式，藉由實際案例了解再生材料在產品中的使用效果，除使民眾提高選擇永續產品，也許激勵更多企業使用再生材料，進一步推動市場的發展。

2.4.3 資源循環相關政策修法方向建議

我國在資源循環政策上已取得一定成就，但在策略與實施層面仍有改進空間。為提升政策與國際標準的一致性，本計畫提出修法方向建議，並以歐盟、日本等國的政策和法規為參考，旨在讓我國資源循環政策與國際接軌，進一步提升環境治理及循環經濟效益。整體而言，未來於資源循環促進法修法中，可針對塑膠、紡織品、及電池導入生產者延伸責任，要求並強化生產商負責產品的全生命周期回收，確保資源循環持續運作。而針對特定資源類別的具體修法建議說明如下：

一、 塑膠

針對塑膠產品修法內容的規劃，可參考歐盟的廢棄物框架指令和包裝及包裝廢棄物指令等，構建符合國情的法規框架具體建議包括以下幾點：

1. 建立塑膠產品回收驗證機制：要求生產者在產品全生命週期中負責回收處理，並導入第三方驗證，以確保回收流程的透明性與效率。可參考法國、德國的作法，透過第三方驗證機構追蹤與驗證再生資源，增強數據可靠性。
2. 減碳效益評估：將減碳效果納入塑膠產品回收的驗證指標，要求生產者達到特定減碳標準並定期接受審查，相關作法可參考歐盟的碳足跡驗證機制。
3. 透明化數據平台：配合我國產品數位履歷之建立，讓生產者、回收業者及政府單位能夠更有效地分享回收與減碳效益的數據，並進行監管，使資源循環和減碳數據的公開透明。
4. 建立再生資源的標準化：引入針對再生資源的品質驗證和標準化，確保資源循環質量與安全性。歐盟的「二次原料標準」(Secondary Raw Material Standards) 可作為技術規範的參考範本。

二、 電池

由於電池的高環境風險及回收困難性，資源循環法規應特別強調安全性和減碳效益。具體修法建議如下：

1. 回收指標：參考歐盟電池指令，規範鋰離子電池和其他可充電電池的回收率及處理程序，並設定電池回收率的具體數值及特定的重金屬回收比例。
2. 碳足跡評估：針對電池回收過程進行碳足跡量化評估，作為減碳成效驗證的基礎。歐盟計劃 2030 年實施的碳足跡標籤制度可作為參考，以評估電池回收的減碳效益。
3. 材料再生及再利用驗證：要求製造商在電池中使用一定比例的再生材料（如鋰、鎳、鈷），並將該訊息納入產品數位護照當中，增加資訊透明度；並可結合第三方驗證，確保再生資源的品質。

三、 紡織品：

1. 生態設計及碳足跡標準：參考歐盟 ESPR，建議要求紡織品生產商遵循生態設計原則，鼓勵產品的可修復性、可拆卸性及長壽命，以提高紡織品的回收潛力。
2. 可追溯機制：依循歐盟產品數位履歷規劃，逐步建置紡織品之產品數位護照，追蹤其全生命周期，增加資源再利用的可能性

四、化學品

1. 目前我國廠商端對於硫酸或其他液體有較高的需求，可以參考歐洲化學品租賃服務評估指南之流程，持續調整我國液體化學品流向控管發展及租賃方式。
2. 逐步規劃建置再生化學品品質驗證制度，以確保安全性及品質穩定。

通過這些修法建議，能夠更有效地推動我國資源循環政策的實施，並增進循環經濟的減碳效益。同時，也能使我國循環經濟政策和驗證機制逐步與國際標準接軌，提升在國際間的競爭力及認可度。

第三章 資源循環減碳效益驗證機制

【章節摘要】

本計畫為聚焦 4 個循環項目，依據質化與量化篩選原則，包含供應鏈要求、國內外法規要求、國內綠色費率、貿易優勢、有污染環境之虞、申報量（噸）、再利用率（噸）與再利用率等原則則，透過資料蒐集與分析後篩選之 4 個循環項目為熱塑性塑膠、飛灰、底渣以及橡膠殘餘物，然而為因應國內政策未來需求，其需求為未來將優先針對塑膠循環、紡織循環、營建循環，以及戰略項目進行推動，故將額外加上紡織品、循環建材、戰略項目等 3 大項目，合計 4+3 個循環項目。

計畫蒐集 4+3 循環項目中國內外問題、需求、研究方案及技術發展趨勢，予以研析驗證機制發展需求，最後評估出底渣（焚化底渣）於國內驗證機制完善，而其餘循環項目如熱塑性塑膠、橡膠殘餘物、飛灰（焚化飛灰）、紡織品、循環建材、數項戰略項目等具有數位化流向追蹤管理系統、再生料科學檢測技術及循環再製產品環境安全性基線研究不等之驗證機制發展需求。藉由「資源循環及減碳效益研擬討論」專家諮詢會議予以聚焦，專家建議優先驗證經濟價值高或環境敏感的項目，結合數位化流向追蹤與科學檢測提升透明度，並依特性設計階段性驗證需求（如安全性與添加比例驗證），同時，借鑒國際法規（如歐盟電池護照），制定符合市場需求的機制，並明確公私部門分工以增強公信力。

建議國環院其短期研究方向重點議題如電池回收料驗證技術、熱塑性塑膠之數位流向追蹤系統發展等；中期投入熱塑性塑膠與紡織之再生料科學檢測等；而焚化飛灰之再生建材飛灰添加比例等目前尚無急迫性，可列為長期研究發展議題。

3.1 資源循環技術發展藍圖優先發展項目篩選

本計畫參考國環院去年「資源循環及減碳效益驗證技術計畫」之資源循環技術發展藍圖規劃短、中期建議優先發展循環項目（包括底渣、溶劑殘餘液、重金屬泥料、汰役鋰電池、汰役鉛蓄電池、熱塑性塑膠、下水泥料、廚餘、橡膠殘餘物 (Automobile Shredder Residues, ASR)、飛灰等 10 項），依據各循環項目的待解決問

題，以及驗證技術發展可行性，聚焦 4 個循環項目，提供國內外對待解決問題的驗證研究方案、最新驗證技術發展趨勢以及發展中的法規或指令等，並藉此建議國環院後續短、中期發展的技術及研究議題。

3.1.1 循環項目優先發展篩選原則

去(112)年前期計畫依據 6 項篩選原則，包含政策需求、毒性高低、量體大小、環境影響性、處理難易度以及高值化程度等盤點出 10 項短中期需發展的資源循環項目，然而每個項目的循環材料類型眾多，本計畫將先聚焦於 4 個循環項目進行資源循環與減碳效益驗證制度之需求評估。為篩選出優先發展之 4 個循環項目進行後續驗證技術及研究議題之研擬，團隊首先考量驗證發展之目的以及發展後預計解決的問題，主要應包含：

- 一、 資源循環是否具減廢與減碳效益：由於資源循環的目的主要為減少廢棄物之產生，讓資源可以獲得有效的利用，驗證是否減廢具有其必要性。然而減廢並不一定等於減碳，為因應 2050 淨零碳排之目標，評估資源循環過程之減碳效益仍有其需求。然環境部於資源循環署中「淨零排放-資源循環減碳技術計畫」已規劃發展資源循環業低碳製程及認證技術、開發減碳效益驗證程序等，且國內資源循環相關計畫亦大部分會進行減碳效益評估，為避免預算資源的重複性，故本計畫暫不優先發展減碳效益相關之驗證制度。
- 二、 確認資源循環的落實：在淨零與永續的議題下，資源循環的發展日新月異，也越來越多企業投入相關的工作中，然而在推動的過程中，會發生一些搭便車(Free Rider)或漂綠(Greenwashing)的情形，發生主要原因為發展資源循環下，各國或供應鏈會有相關的規範，例如法規、財務、市場誘因等策略，因此為免有造假疑慮，相關法規或驗證相當重要。
- 三、 確認資源循環的安全性：意指在資源循環製成再利用產品之後，其使用過程有污染環境之虞。

基於上述之驗證目的，計畫擬定質化與量化之篩選原則，以利進行資料蒐集與後續分析。相關篩選原則說明如下：

一、質化指標

- (一) 供應鏈要求：全球越來越多大型企業帶領供應鏈減碳，包括使用資源循環材料做為原物料，並有相關的國際驗證方法。這些國外的趨勢可能影響未來國內的政策方向，且有相關的驗證方法、技術或機制可供參考，視為**潛在驗證需求**。
- (二) 國外法規要求：國外在資源循環材料與減碳效益方面的驗證推動，有可能會影響未來國內的政策方向，且有相關的驗證方法、技術或機制可供參考，視為**潛在驗證需求**。
- (三) 未來政策需求：參考環境部政策發展規劃，舉凡未來擬進行認驗證的項目，皆列為**高度驗證需求**。
- (四) 國內綠色費率：環境部為了推動企業清潔生產，制定綠色費率。譬如民國 95 年針對取得「環保標章」產品推出享有「物品回收清除處理費費率」之綠色費率；為鼓勵電子產品製造業者朝向物料循環利用設計，民國 111 年針對電子產品添加 25%塑膠再生料者，享有回收清除處理費優惠（綠色費率）。該些具有綠色費率的循環項目未來可能有驗證需求，視為**潛在驗證需求**。
- (五) 有污染環境之虞：資源循環材料原為廢棄物，經過處理後再製成產品，對環境的具體影響取決於廢棄物的性質、回收處理過程、以及再利用產品的使用方式，前兩者皆有法規或技術在管理環境污染排放，譬如廢棄物產量與申報、空污與污水排放申報等，一旦製成再利用產品，其使用與流向則不在環境部管轄範圍，為潛在的環境污染破口。以轉爐石為例，其再利用產品可作為粒料，但粒料錯置在農田，其強鹼會影響農作生長，是一種環境污染。此處參考研究文獻或媒體報導，凡經揭露在使用過程中有環境安全性疑慮者，列為**高度驗證需求**。

二、量化指標

為統計廢棄物之申報量、再利用量與再利用率等量化資料，團隊首先針對 10 項循環項目進行資料蒐集範疇界定，本次蒐集資料以環境部資源循環署 112 年 9 月

發布之廢棄物及再生資源代碼表中各代碼資料進行蒐集，代碼共分為 5 類，包含 A 類：製程有害事業廢棄物、B 類：毒性有害事業廢棄物、C 類：生物醫療、戴奧辛及有害特性認定之有害事業廢棄物、D 類：一般（含公告再利用）事業廢棄物或再生資源項目，以及 R 類：公告應回收或再利用廢棄物、再生資源項目。其中由於 B 類毒性有害事業廢棄物多為安全處理，故本計畫於統計時已排除該類代碼資料。10 項循環項目彙總之廢棄物代碼表如**附件三**所示。以下針對量化指標之定義說明：

(一)廢棄物申報量：藉由事業廢棄物申報及管理資訊系統，以及相關文獻與報告（部分循環項目因無相對應廢棄物代碼）等資料，統計廢棄物之申報量（產生量）。包含事業廢棄物遞送申報流向聯單與月統報表（營運紀錄）之資料。

(二)廢棄物再利用量：由事業廢棄物申報及管理資訊系統中事業廢棄物遞送申報流向聯單與月統報表（營運紀錄）之資料，以再利用用途或確定以物理處理進行再利用等途徑進行再利用量之統計。

(三)廢棄物再利用率：再利用率之計算為 $\frac{\text{再利用量}}{\text{產生量}} \times 100\%$ 。

若無廢棄物代碼之項目（如汰役鋰電池與 ASR），相關數據則以環境部開放資料進行參考，然由於 ASR 的組成成分較為複雜，在進行驗證時難以分類判定，因此於後述之專諮會議中，委員建議排除橡膠殘餘物(ASR)中 ASR 項目，以下章節針對擬定篩選原則之篩選過程與結果進行說明。

三、篩選原則與權重

為利用上述 8 項篩選原則擇定優先發展之項目，團隊將質化與量化指標進行蒐集後給分，如**表 3.1-1** 所示。針對質化指標部分，具有潛在驗證需求者，給予 5 分，具有高度驗證需求者給予 10 分，無需求者 0 分。針對量化指標部分，則依據其量或比例的大小，量最大的給予 10 分，最低的給予 1 分。

表 3.1-1、項目篩選原則與權重

篩選原則	代表方式	給分原則
供應鏈要求	Y/N	具有潛在驗證需求者，給予 5 分，具有高度驗證需求者給予 10 分，無需求者 0 分
國內外法規要求（有罰則或目標）	Y/N	
國內綠色費率	Y/N	
誘因	Y/N	
有污染環境之虞	Y/N	
申報量	實際量	最高分 10 分，依序給分，最低 1 分
再利用量	實際量	
再利用率	實際量	

3.1.2 「4+3」個循環項目篩選成果說明

針對上述 8 項質化與量化之篩選原則資料蒐集內容與成果說明如下：

一、質化資料蒐集成果說明

(一) 供應鏈要求

隨著綠色永續供應鏈成為全球主流趨勢，供應鏈的去碳成為全球共識，國際大廠紛紛開始做出淨零承諾，並要求其供應鏈配合，也越來越多台灣企業受影響，加入淨零行列，越來越多公司在**使用熱塑性塑膠時**，需供應商提供相關的認證，以確認其產品符合國際標準，並且符合可持續性目標。在**供應鏈要求**的方面，目前主要為**熱塑性塑膠與橡膠殘餘物**受供應鏈要求。

2018 年可口可樂承諾的「無廢棄物世界」目標具體內容，至 2030 年前將回收量等於公司每年出售的瓶裝或罐裝產品包裝，打造循環回收系統、在 2025 年使用 100% 可回收包裝、在 2030 年包裝瓶及包裝罐中使用 50% 的再生材料，邁向全球包裝材質 100% 可回收[1]。另外各大品牌皆訂定 2025 使用再生材料的目標，如 IKEA 至 2030 年的塑膠產品只會使用以可再生或回收材料製造的塑膠、雀巢承諾至 2025 年前達到 100% 的包裝可回收或再利用，而雀巢的瓶裝水部門雀巢水事業集團(Nestle Waters)擬於 2025 年前，全

球採用可回收塑膠質材 PET 水瓶的比例將增加至 35%，美國地區更將提高至 50%[2]。

橡膠殘餘物部分，台橡股份有限公司為降低產品的碳足跡，積極推動使用可再生原料，並於 2022 年起開發可再生原料供應商，預計於 2025 年達到可再生原料占總原料採購 5%，至 2030 年則可再生原料占總原料採購 15%。除了原料的購置外，亦規劃於 2023 年其公司永續產品需占所有產品之總銷量達 40%以上[1]。

(二) 國外法規要求

盤點國外法規對於循環項目再利用之法規或限制規範，其中包含**飛灰**、**熱塑性塑膠**、**汰役鉛蓄電池**、**汰役鋰電池**等項目有受到明確的規範。

飛灰在美國環保署(U.S. Environmental Protection Agency, U.S. EPA)將飛灰列為“無害物質”，促進在建築材料中的應用並刺激技術創新。亞洲，特別是印度和中國的法規要求在建築材料中使用飛灰，以減少燃煤電廠的污染，其與該地區基礎設施的快速發展相吻合。市場供應商正在採取獨特的策略來應對不斷變化的監管環境[4]。另由於快速都市化與政府的支持性政策，中國成為最大的粉煤灰生產國和消費量，並致力於透過研究和開發來提高飛灰的品質和易用性。日本市場蓬勃發展得益於使建築材料更加環保和耐用、符合嚴格環境法規的先進研究。在印度，蓬勃發展的建築業對飛灰有強勁需求。水泥製造商協會(CMA)正積極推廣使用飛灰解決環境問題。飛灰貿易的主要參與者，包括美國、中國、印度、德國和英國，正在合作貿易協定和技術共用的支持下，加強重要交流，以推動建設工作[4]。

國際間亦有許多針對塑膠的法規要求，歐盟在 2019 年 6 月 5 日公布《一次用塑膠指令》(Directive (EU) 2019/904 on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment)，透過提出市場流通管制、減量、設計及標示規範和生產者延伸責任制度等各項措施來達到塑膠減量的目的。歐盟希望從 2030 年起禁用部分一次性塑膠製品，目標至 2040 年，歐盟境內

的包裝垃圾應減量至少 15%。並在 2021 年 7 月實施市場通管制，若已有替代方案之一次性塑膠製品進行管制，若暫時無可廣泛取得的替代品，則必須積極減量[5]。並於 2022 年 12 月發布一次性塑膠產品的統一標記規範的實施法規，建立部分產品之標記，該標記需揭露產品是否存在塑膠，以及不當的處理方式及亂棄置的負面影響[6]。

另歐盟自 2021 年起開始實施塑膠稅，要求會員國必須針對無法回收的塑膠包裝廢棄物（包括無法繼續使用的包裝材料）向歐盟繳交每公斤 0.8 歐的費用[7]。英國雖已脫歐，但仍於 2018 年啟動「新廢棄物處理計畫」，該計畫主要要求廢棄物的生產者必須承擔回收與處理廢棄物的全額費用，並針對再生料低於 30%的產品課徵塑膠稅等[8]。而針對產品中塑膠再生料比例，並未強制要求第三方驗證，然須提交生產資料進行文件審查；西班牙則自 2023 年 1 月 1 日開徵塑膠稅，針對無法回收、無法再利用的塑膠重量，課徵每噸 450 歐元的稅，且 2024 年開始外國的製造商須向西班牙進口商出具回收塑膠證書(Recycled Plastic Certificate)，認證產品中的再生塑膠含量和質量符合歐洲標準，包括可回溯再生塑料的來源。

2023 年 8 月歐盟《新電池法》，規定在工業電池、汽車蓄電池(SLI Batteries)、電動車電池(EV batteries)的成分中，必須含有一定比例的回收材料，像是 16%的鈷、85%的鉛、6%的鋰、6%的鎳等，並規範鋰電池相關回收與再利用，要求可攜式電池(Portable Batteries)的回收率需於 2027 年底達到 63%、2030 年底達到 73%，用於輕型交通工具中的電池則期望回收目標在 2028 年底達到 51%、2031 年底達到 61%[9]。另於《新電池法》中將推動電池全生命週期管理及永續發展，涵蓋所有類型電池，且 2027 年將實施電池護照系統，通過 QR code 二維條碼提供消費者詳細訊息，包括電池材料及組成、碳足跡、循環性和資源效率、合規性、標籤和認證、製造商資訊、性能和耐用性以及供應鏈盡職調查等，以促進產業透明化和資源回收再利用[10]。目前合理的汰役鋰電池處置方式，應是以降階使用為優先考量，以發揮汰役鋰電池的最大剩餘價值。降階使用指將從第一次使用生命週期汰換下來後，轉而應用於較低階的第二次生命週期領域，然而汰役鋰電池的降

階使用，並非將汰換下來電池直接降階使用，而是需經過一連串的電池檢測與篩選，如 UL 1974 規範為降階電池的標準生產流程及安全指南，並詳細地規範一系列降階電池的篩選與檢驗程序[11]。

(三) 未來政策需求

根據資源循環署於 113 年 8 月 19 日提出之 115-118 年中長期個案計畫資源循環淨零科技擴散應用計畫（草案）中，未來將優先針對塑膠循環、紡織循環、營建循環，以及戰略項目進行推動。其中攸關認驗證制度需求包括：

1. 塑膠循環：建立塑膠再生料檢測方法學、塑膠再生料添加科學檢測方法開發；
2. 紡織循環：再生產品認驗證制度與技術；
3. 營建循環：循環建材驗證標準、循環建材管理及認證制度；
4. 戰略項目：再生商品認驗證、檢測技術與機構等

針對以上未納入本計畫篩選十大循環項目中，但列為資源循環署中長程重點發展之循環項目，且明確列有認驗證制度需求者，計畫將一併納入評估。

(四) 國內綠色費率

環境部 95 年公告之《物品回收清除處理費費率》經過多次修正，最近一次修正為民國 112 年 04 月 27 日，針對電子電器物品類具有「環保標章」產品或產品中添加 25%以上塑膠再生料之合規塑膠再生料物品、資訊物品類具「環保標章」或添加塑膠再生料之產品，給予綠色費率優惠。本次修法著重在配合我國淨零轉型「資源循環零廢棄」之關鍵戰略行動計畫，鼓勵電子類產品製造業朝向綠色設計（物料循環利用）[13]。而費率之附表對應篩選之項循環項目為**熱塑性塑膠**。

(五) 有污染環境之虞

循環項目製成再利用產品之後，其使用過程有污染環境之虞的包括飛灰、塑膠、汰役鋰電池等，以下說明潛在疑慮。

根據 113 年 8 月 4 日監察院之新聞稿指出：廢棄物經焚化產生含有戴奧辛、重金屬之飛灰，處理不易且費用高漲，亟待廢棄物源頭減量。經審計部查核，截至 113 年 1 月底止，焚化飛灰再利用率僅 1 成，仍有近 9 成焚化飛灰採固化後掩埋方式處理，且仍有部分垃圾焚化廠空氣污染物排放量超過標準。焚化灰渣掩埋空間有限，已為處理焚化廢棄物的重大警示因素，而如何避免飛灰再利用的戴奧辛、重金屬二次污染，危害民眾健康？監察委員認為有進一步瞭解之必要[14]。

2023 年美國「綠色和平」組織提供一份研究報告：The science of health threats from plastic recyclin，指出回收塑膠實際上會增加塑膠的毒性，並強調再生塑膠對消費者、社區與回收業工人的健康構成威脅[15]。該份研究報告說明，再生塑膠通常含有較高含量的化學物質，而分解塑膠以進行回收循環利用，反而將塑膠微粒污染散布至環境，如有毒性的阻燃劑、苯和其他致癌物、環境污染物（包括氯化戴奧辛類及溴化戴奧辛），以及許多會影響人體賀爾蒙變化的內分泌干擾物。

隨著鋰電池的使用壽命延長，性能會下降，可能導致電池內部材料劣化，增加環境污染的風險。降階使用需確保電池仍能安全運作，以減少污染風險。

依據上述質化指標彙整如表 3.1-2，熱塑性塑膠受到最多質化指標之規範（計 5 項），其次為汰役鋰電池（計 3 項），再來則是飛灰（計 2 項）。可知上述受到法規面、產業面與環境面較為顯著的關注或影響。

表 3.1-2、10 項資源循環項目質化指標彙整

項目	原則	供應鏈要求	國外法規要求	未來政策需求	國內綠色費率	有污染環境之虞
飛灰		N	Y	N	N	Y
底渣		N	N	N	N	N
重金屬泥料		N	N	N	N	N
廚餘		N	N	N	N	N
下水泥料		N	N	N	N	N
熱塑性塑膠		Y	Y	Y	Y	Y
橡膠殘餘物		Y	N	N	N	N
汰役鉛蓄電池		N	Y	N	N	N
汰役鋰電池		N	Y	N	N	Y
溶劑殘餘液		N	N	N	N	N

一、量化指標

量化指標包含申報量、再利用量與再利用率，計畫透過事業廢棄物申報及管理資訊系統申報紀錄以及相關文獻與報告（部分循環項目因無相對應廢棄物代碼）等資料，彙整近五年（2019 年~2023 年）10 個循環項目之產生量與再利用量/再利用率，並研析如下：

根據 111 年資源循環再利用年報資料，2022 年一般廢棄物產生量為 1,100 萬公噸，於事業廢棄物方面，2022 年已列管 4 萬 5 千多家事業，申報產出量為 2,118 萬公噸，其中一般事業廢棄物約 1,951 萬公噸（占 92.14%），有害事業廢棄物則約 167 萬公噸（約占 7.86%）[16]。

透過事業廢棄物申報及管理資訊系統、文獻與報告，蒐整 2019~2023 年 10 個資源循環項目之產生量與再利用量，並計算其再利用率，如表 3.1-3 所示。申報量大小依序為 A121 飛灰、A314 橡膠殘餘物、A311 熱塑性塑膠、A473 溶劑殘餘液、A123 底渣、A231 廚餘、A232 下水泥料、A133 重金屬泥料、A412 汰役鉛蓄電池以及 A413 汰役鋰電池。其中汰液鋰電池非屬事業廢棄物申報及管理資訊系統內申

報項目。據環境部調查，2021 年二次鋰電池（含電動汽機車、3C 產品及含二次鋰電池商品）回收量約 650 公噸、2021 年 650 公噸、2022 年 792 公噸，預估 2030 年將超過 9,000 公噸[17]。

再利用量之多寡則依序為 A121 飛灰、A314 橡膠殘餘物、A311 熱塑性塑膠、A123 底渣、A473 溶劑殘餘液、A231 廚餘、A133 重金屬泥料、A412 汰役鉛蓄電池、A232 下水泥料以及 A413 汰役鋰電池。其中汰役鋰電池依據環境部 2023 年進行之「汰役電池再利用可行性評估」研究，多數收集的電池組回收整理後，僅約 8% 的電池組符合該計畫設定之樣品條件，主因為目前許多大廠都已有自行回收體系，流入回收商的電池非常少。因汰役鋰電池暫無回收數據，故本計畫依據該研究之數據進行計算[18]。

表 3.1-3、10 項資源循環項目量化指標彙整

項目	原則	申報量（噸）	再利用量（噸）	再利用率
飛灰		62,486,066	32,276,046	52%
底渣		5,126,775	4,473,177	87%
重金屬泥料		1,007,924	538,119	53%
廚餘		2,659,353	2,499,874	94%
下水泥料		1,389,422.01	720,780.38	51.8%
熱塑性塑膠		8,186,228	5,778,468	71%
橡膠殘餘物		17,438,358	14,973,928	86%
汰役鉛蓄電池		359,157	351,717	98%
汰役鋰電池		792(2022) 預估 2030 年將超過 9,000 公噸	63.36 目前可處理量能為 1 萬 346 公噸	8%
溶劑殘餘液		5,285,436	2,838,142	54%

依據上述 8 個篩選原則與分數計算原則，10 項資源循環項目分數統計結果如表 3.1-4 所示，分數統計結果最高分的前四項循環項目依序為熱塑性塑膠（總分 57 分）、飛灰（總分 38 分）、橡膠殘餘物（總分 30 分）以及底渣（總分 21 分）。

然而為因應國內政策未來需要，其將優先針對塑膠循環、紡織循環、營建循環，以及戰略項目擬進行認驗證，因此計畫再額外納入紡織、循環建材及戰略項目，提出「4+3」個建議優先聚焦循環項目（包括熱塑性塑膠、飛灰、橡膠殘餘物、底渣、紡織品、循環建材及戰略項目）。

表 3.1-4、10 項資源循環項目篩選原則與分數統計結果

項目	原則	供應鏈要求	國內外法規要求	國內綠色費率	貿易優勢	有污染環境之虞	申報量	再利用量	再利用率	總分
熱塑性塑膠		5	5	10	5	10	8	8	6	57
橡膠殘餘物		0	5	0	0	10	10	10	3	38
飛灰		5	0	0	0	0	9	9	7	30
汰役鋰電池		0	0	0	0	0	6	7	8	21
底渣		0	5	0	0	0	2	3	10	20
溶劑殘餘液		0	5	0	0	10	1	1	2	19
汰役鉛蓄電池		0	0	0	0	0	5	5	9	19
廚餘		0	0	0	0	0	7	6	5	18
重金屬泥料		0	0	0	0	0	3	4	4	11
下水泥料		0	0	0	0	0	4	2	2	8

3.2 資源循環減碳效益驗證機制

3.2.1 資源循環與減碳效益驗證機制研擬

一、 驗證機制研擬背景說明

行政院 111 年 3 月公布之「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」中針對發展 5 大淨零科技領域做系列性的規劃，並於 112 年 3 月核定「淨零科技方案（第一期 2023-2026）」，進行各項淨零科技基礎的建置，其中在循環項目中提及將提高資源再利用率，開發能資源循環應用技術與機制驗證。由於資源循環促使再生粒料的蓬勃發展，技術發展也趨於多元，國家環境研究院因應此項政策與環境部資源循環署資源零廢棄下的十大關鍵項目，已於去年（112 年）著手規劃資源循環與淨零排放發展藍圖，並以毒性大小、量體多寡、政策需求等多方面篩選出 10 項優先發展項目（包括底渣、溶劑殘餘液、重金屬泥料、汰役鋰電池、汰役鉛蓄電池、熱塑性塑膠、下水泥料、廚餘、橡膠殘餘物(ASR)、飛灰等 10 項），並於本期計畫中以質化指標（如供應鏈要求、國內外法規要求、國內綠色費率、貿易優勢及有污染之虞）及量化指標（循環項目申報量、再利用量等）從中聚焦 4 項循環項目為熱塑性塑膠、飛灰、橡膠殘餘物及底渣；又為扣合資源循環署中長期提出之「115-118 年中長期資源循環淨零科技擴散應用計畫(草案)」，針對塑膠、紡織品、低碳建材及關鍵戰略項目等進行推動，且各項均具有認證制度需求，故計畫綜整 4+3 循環項目之資源循環及減碳效益相關議題（包括熱塑性塑膠、飛灰、橡膠殘餘物、底渣、紡織、循環建材及戰略項目）。

二、 驗證機制規劃流程

於驗證機制研擬提前將先針對各循環項目可能的國內外問題、需求及發展之研究方案和技術進行羅列與說明，並針對目前技術缺口進行資源循環及減碳效益驗證機制發展需求研析，其最終研析的成果將會產生目前驗證機制已完善，明確具有驗證機制需求及無驗證機制需求等三大類，再依此召開專家諮詢委員會一場次，於會議中請專家依據各驗證機制發展機制給予評分，如確認該些機制需要盡速發展最高可給予 10 分，且不限一種驗證項目，如覺得非必要亦可以給 0 分。最後依據

專家評分回覆表，統計該場專家諮詢會議的評分，予以定義短、中、長期國還院應發展的研究建議與方向，相關流程如圖 3.2-1 所示。計畫聚焦的 4+3 個循環項目相關研析成果彙整於 3.2.2 節：



圖 3.2-1、資源循環及減碳效益驗證機制規劃流程

3.2.2 循環項目國內需求與解決方案研析成果

◆ 熱塑性塑膠

熱塑性塑膠主要應用可分，非食品包裝材（泛用塑膠如 PET、PP、PE、PS 等）及電子電器塑膠(PC、ABS、PC/ABS 混合材、PMMA 等)，因兩種不同用途之塑膠材質差異甚大，且國內外對於其驗證發展現況不盡相同，故下述將會拆分成非食品包裝材及電子電器塑膠兩大類進行成果說明：

● 熱塑性塑膠（非食品包裝材）

一、國外需求及問題說明

歐盟於 2019 年 6 月發布一次性塑膠指令減量，目標為成員國有義務大幅度減少特定非立即可取代之塑膠產品消費，如速食食品包裝，且成員國須在 2026 年前

顯著減少用量（相較 2022 年）。此外 2024 年飲料容器須為不脫蓋設計，塑膠瓶蓋與杯蓋應與瓶身及杯身連為一體才能銷售，以及塑膠瓶再生成分含量最低目標，從 2025 年達 35%，轉變為 25%，加入 2030 年塑膠瓶至少應含有 30%再生成分新目標。

另 2020 年美國簽署塑膠公約，目標是在 2025 年使所有塑膠包裝 100%可重複使用、可回收或可堆肥、在 2025 年前回收或堆肥 50%的塑膠包裝，並進一步確保包裝成分中至少有 30%的回收材料或生物質、另外也包含 PVC、PS 和 PFAS 的包裝為 2025 年淘汰的目標。由上述可知歐盟及美國對塑膠包裝再生料添加提出明確的規範，而為確保目標可達成，再生料添加的真實性與可追溯性為其重要。

而因訂有上述再生塑膠比例目標，各國已開始實施相關政策，但近期卻有新文獻指出再生塑膠可能含有毒物質，如美國「綠色和平」組織研究報告：The science of health threats from plastic recycling，指出回收塑膠實際上會增加塑膠的毒性，再生塑膠的化學物質通常含量較高，毒性更強，包括苯、有毒阻燃劑、內分泌干擾物質、環境污染物如「溴化及氯化戴奧辛」以及其他致癌物質，使得再生塑膠不適用於食品級或其他消費用途

以下將非食品包裝材再生料添加與追蹤管理，甚至循環塑膠再利用產品是否具備環境安全性等之國外現行技術或研究發展方案趨勢盤點如下：

(一)再生料科學驗證技術

針對非食品包裝材的再生塑膠比例之驗證材質，依據國內回收基管會應回收塑膠容器材質近五年歷年回收量多寡，羅列應發展的細部材質，如表 3.2-1。盤點結果顯示，目前國內最大宗之廢塑膠容器回收材質依序為 PET、PP/PE、PS、PVC、生質塑膠，然而由於政府已擬定 2023 年 7 月開始全面淘汰含有 PVC 的網購包材，而生質塑膠於正常環境底下，並無法被自然分解，且其材質特性與最大宗的 PET 極為相似，如混入回收處理系統，則導致原有 PET 回收處理雜質率提升，故環境部早於 2023 年 2 月 3 日公告公部門、公立與私立學校、百貨公司、購物中心、量販店、超級市場、連鎖便利商店、連鎖速食店、有店面的餐飲業等 8 大場所，將不

得提供 PLA 材質的杯、碗、盤、碟、餐盒等免洗餐具，故 PVC 和 PLA 材質不列入以下科學驗證技術盤點範疇，而發展次序則建議以 PET 為優先、其次是 PP、PE，最後是 PVC。

表 3.2-1、國內廢塑膠容器近 3 年回收量(公斤)

年度	廢塑膠容器					
	PET	PVC	PP/PE	PS 未發泡	PS 發泡	生質塑膠
110	110,238,653	424,420	88,211,285	4,018,903	415,142	387,262
111	114,594,330	278,531	85,430,171	3,570,949	302,344	170,275
112	124,611,904	268,773	84,909,742	3,454,273	139,065	105,394
加總	349,444,887	971,724	258,551,198	11,044,125	856,551	662,931

就驗證再生料使用真實性而言，目前歐盟實驗室採用核磁共振(Nuclear Magnetic Resonance, NMR)技術可用於測定再生塑膠與原生塑膠的混合比例、而有部分文獻指出多數再生料科學驗證技術可由一些指標化合物予以分類鑑別，以下蒐整國外現行使用的科學技術（儀器）與實驗文獻資料：

1. PET

(1) 再生料添加比例分析：

- 英國 BSI Flex 6228: v2.0 利用熱分析、穿透度及明亮度，進而研判該產品是否添加超過 30%的再生 PET。
- 歐盟實驗室採用核磁共振技術利用液體和溶解固體的化學結構分析、產品變形、混合物成分的定量、反應混合物的動力學和溫度研究、聚合物的表徵，包括結構、共聚單體比率、端基、平均分子量，以測定 PET 再生塑膠與原生塑膠的混合比例。
- 廢塑膠回收再製過程中添加入聚集誘導散發出螢光的誘導劑 4,4'-bis(2-benzoxazolyl)stilbene(BBS)，當原生塑料經回收過程再製為再生塑料時摻入 0.1%之 BBS，BBS 會與單體形成強耦合(Coupling)，當再

生塑料添加比例越高，其利用螢光誘導劑產生之螢光強度越強，甚至可透過螢光強度推估再生 PET 比例。

(2) 原生或再生產品鑑別：

- 利用高壓液相層析搭配四極桿飛行時間質譜儀 (Ultra-High Performance Liquid Chromatography with Quadrupole Time-of-Flight Mass Spectrometry, UPLC-Q-TOF-MS) 檢測 PET 中非揮發性有機化合物，成功區分再生和原生 PET。該技術利用 26 個指標化合物(Marker Compounds)，其中有 12 個為人為添加(Intentionally Added Substance, IAS)、14 個為非人為添加(Non-Intentionally Added Substances, NIAS)，藉由統計軟體予以分群研判此產品為原生或再生 PET。
- 利用頂空氣體搭配氣相層析質譜儀(Headspace Gas Chromatography-Mass Spectrometry, SHS-GCMS)分析回收前後的寶特瓶，可發現 rPET 製成之寶特瓶中含有較多脂肪醛(Aliphatic Aldehydes)類或苯衍生物化合物，根據其揮發性有機物的特徵含量輔以偏最小二乘迴歸(Partial Least Squares Regression, PLS)進行統計分析，透過特殊揮發性有機物組成研判是否為再生 PET 產品。

2. PP

(1) 再生料添加比例分析：目前無。

(2) 原生或再生產品鑑別：

- 當產品為再生 PP 其熱學特性如氧化誘導時間(Oxidation Induction Time, OIT)較短，熔融指數(Melt Flow Volume Index, MVR)顯著提升，且其流動性會增加 2.5 倍。
- 原生或再生 PP 產品於拉伸強度(Tensile Strength)、拉伸模量(Tensile Modulus)、抗衝擊強度(Impact Strength)等力學特性明顯不同。

3. PE

(1) 再生料添加比例分析：

- 不同樣品材質以傅立葉轉換紅外線光譜儀(Fourier-Transform Infrared Spectroscopy, FTIR)紅外光束掃描後會呈現不同的光譜圖，亦藉此分辨出不同化合物。回收 PE 添加量可利用 $1168\text{ cm}^{-1}/(1168\text{ cm}^{-1}+716\text{ cm}^{-1})$ 的比值進行計算。

(2) 原生或再生產品鑑別：

- 氣相層析質譜儀掃描原生或再生 PE，如是消費後回收的再生 PE 則會產生特殊的指標化合物，輔以統計軟體分析可予以鑑別為原生或再生 PE 產品。
- 同上述同樣以氣相層析質譜儀進行分析，於原生 PE 產品中多數以脂肪族類化合物(Aliphatic hydrocarbons)為主，而於再生 PE 產品中則以其他物質為主。
- 原生或再生 PE 產品於拉伸強度(Tensile Strength)、拉伸模量(Tensile Modulus)、抗衝擊強度(Impact Strength)等力學特性明顯不同。

4. PS

(1) 再生料添加比例：目前無。

(2) 原生或再生產品鑑別：

- 透過 FTIR 可以鑑別原始和回收發泡聚苯乙烯(EPS)的容器此外可透過檢測 EPS 容器中的羰基化合物，以了解原生 EPS 和再生 EPS 間的化學差異。
- 可利用力學特性如黏度、流動性、彎曲測試數據等區別原生或再生的 PS 和 HDPE。另可也透過熱學分析如 DSC 測量熱轉變確認聚合物是否為再生 PS。

(二)履歷追溯管理系統

1. **ISCC PLUS 認證**：採質量平衡會計準則，確保可再生進料在生產流程中被正確計算與使用，提供從原料到最終產品的整個供應鏈的可追溯性，為產品的永續性提供全球適用之標準。
2. **EuCertPlast**：由歐洲塑膠回收協會和歐洲塑膠再生與回收組織發起，制訂一套標準化回收方式提供回收商遵循，該驗證須按照歐洲標準 EN 15343：2007 進行，藉以評估回收商產出的品質和實務作法。其內容鼓勵塑料的環保回收，尤其側重於可追溯性和符合性評估、以及回收塑料再生的過程。主要內容包括：
(1)品質要求：再生塑膠製品應具有與原生塑膠製品相同的品質，包括物理性能、化學性能和環保性能等面向、(2)識別要求：再生塑膠製品應在產品上清楚標示其再生材料含量、生產商名稱及聯絡方式等資訊、(3)可追溯性需求：生產商應建立有效的可追溯系統，以便在產品出現問題時能夠追蹤到產品的來源和流向。
3. 回收材料含量進行標章驗證制度，如全球再生標準(GRS)，用於追蹤和驗證產品中再生材料的含量，針對回收材料含量進行驗證的國際自願性產品驗證專案當產品中回收材料含量> 20%，可以申請此驗證服務，> 50% 可以申請使用標識，以及回收再生聲明標準(RCS)，針對回收材料含量進行驗證的國際自願性產品驗證專案當產品中回收材料含量> 5%，可以申請此驗證服務並使用標識等。

(三)循環再利用產品之環境安全性

美國和歐盟針對食品包裝等級之再生塑膠設有除污的挑戰測試，其測試的污染物質如表 3.2-7 所述，包括揮發性極性、揮發性非極性、非揮發性極性及非揮發性非極性，再生塑膠製造廠需於回收製程過程中添加示例物質，以確保其回收再製過程符合食品安全規範。

表 3.2-2、擬似污染物之示例物質

項目	擬似污染物
揮發性極性 (Volatile Polar)	三氯甲烷(Chloroform)、氯苯(Chlorobenzene)、1,1,1-三氯乙烷(1,1,1-Trichloroethane)、二乙基甲酮(Diethyl Ketone)
揮發性非極性 (Volatile Non-Polar)	甲苯(Toluene)
非揮發性極性 (Non-Volatile Polar)	二苯酮(Benzophenone)、水楊酸甲酯(Methyl Salicylate)
非揮發性非極性 (Non-Volatile Non-Polar)	二十四烷(Tetracosane)、靈丹(Lindane)、硬脂酸甲酯(Methyl Stearate)、苯基環己烷(Phenylcyclohexane)、1-苯基癸烷(1-Phenyldecane)

除外，目前有一些國外的文獻正在進行相關塑膠循環再製產品的基線調查研究，其關切污染物種與上述食品包裝回收再製的規範不同，如重金屬、塑化劑等，但目前仍停留於調查與研究階段，計畫針對相關調查研究成果彙整如下：

1. 瑞典哥德堡大學團隊研究分析，東歐、亞洲、非洲和南美洲共 13 個國家的回收塑膠顆粒，透過化學分析工具，發現回收顆粒皆含有各種不同化合物，其中許多被認為具有劇毒，最大一類的化學物質為殺蟲劑，有 162 種化合物，發現第二多為 89 種不同的藥品，第三名為 65 種不同的工業化學品，以及包括界面活性劑、興奮劑、香料、染料、防護劑、防腐劑等其他類別的化學品，且依研究人員指出，目前未有適當的監測計畫分析再生塑膠中的化學物質，僅有 1% 的塑膠化學物質受到國際監管等相關文獻。
2. 瑞士有一項針對市售 151 種聚氯乙烯(PVC)塑膠地板進行調查，分析地板中內含重金屬、增塑劑和其它化學物質，其研究結果顯示，29 個產品被檢測出有含有鉻、鉛、砷和鎳等金屬，其中有 6 項產品金屬含量超過歐盟法規標準 0.1 wt%。
3. 印度新德里的非政府組織"毒物鏈接"組織近日發表一份有關回收塑料中的化學污染物的調查報告，報告檢測在新德里銷售的 15 種不同的回收塑膠產品，包括塑膠瓶、牙刷和兒童玩具等，其調查顯示，90% 兒童玩具含有化學污染物，而三分之二用來包裝食品的回收塑膠中含有微量且被列為內分泌干擾物的雙酚等化學物質。

二、國內需求及問題說明

2022年11月3日環境部資源循環署，為促進塑膠資源循環利用，鼓勵產業自願性使用塑膠再生料，而訂定《非填充食品之塑膠再生商品推動作業要點》，要點目標為2025年再生料添加比例達25%，2030年達30%。為減少原生資源消耗、促進國內塑膠循環再生，環境部資源循環署規劃塑膠容器產品符合3S1R者可享「綠色費率」優惠，3S分別為Single Material、Simple Color、Small Label，對應綠色設計三要素（純料、原色、減標籤）；1R代表Recycled Material，對應使用再生料且達25%，若產品同時符合前述2項者，最高可享原回收清除處理費率7折優惠（亦稱綠色費率）。資源循環署於推動「非填充食品之塑膠再生商品」與「綠色設計」源頭管理的措施中，透過優惠費率創造經濟誘因，引導產業加速投入綠色生產及資源循環轉型。為避免不肖業者申請綠色費率，確保再生料添加的真實性，具驗證再生料是否混充之需求。

(一)再生料科學驗證技術：發展中。

(二)履歷追溯管理系統：

1. 非填充食品之塑膠再生商品推動作業要點：申請塑膠再生成分含量之審查應備申請書、塑膠再生商品一覽表、塑膠再生料或塑膠再生商品驗證證明文件，以及其他經指定之文件等，其中所稱通過國內外塑膠再生料相關驗證包括環保標章、全球回收標準(GRS)、塑膠再生料溯源驗證(PCR)、資源再生綠色產品、藍天使、SCS回收材料驗證(SCS)、再回收聲明(RCS)等文件，上述針對塑膠再生成分含量的確認，主要為申請者提供驗證證明文件與質量平衡的相關數據資料進行審查。而依《非填充食品之塑膠再生商品推動作業要點》第19條規範，若有偽造或仿冒證明文件，於商品標示塑膠再生成分含量，或經撤銷或廢止證明文件後，仍繼續標示商品塑膠再生成分含量者，得依法追究相關責任。
2. 國內相關再生料驗證標章制度：環保標章、全球回收標準(GRS)、塑膠再生料溯源驗證(PRM)、資源再生綠色產品、藍天使、SCS回收材料驗證(SCS)、再回收聲明(RCS)等

3. 塑膠再生料溯源驗證：財團法人塑膠工業技術發展中心（簡稱塑膠中心）之品質環境安全部，於 2009 年成立合格的塑膠再生料檢驗機構，進行「塑膠再生料溯源驗證」，其為依據 ISO/IEC 17020 符合性評鑑-各類型檢驗機構施行檢驗之作業要求，目的在推動廢塑膠之循環使用，創造廢塑膠之新價值，減少資源耗用及節能減碳。相關驗證申請程序如圖 3.2-2 所示。需求的廠商提出資格及資料審查，由塑膠中心進行報價及簽約，並派員前往實地進行初次訪場，針對工廠驗證地址、再生料等進行驗證及檢查，如通過塑膠中心驗證平台，則將被登錄於塑膠再生料溯源驗證平台之驗證客戶中，以上過程係以人員實地訪查輔以文件履歷追溯為主。根據產發署循環材料驗證媒合平台資訊，其透過 AI 人工智慧和區塊鏈等創新科技，完整記錄再生物料品質與流向資訊，讓資源化產品環境流布更安全、資訊更透明，進一步降低對原生物料的依賴。



資料來源：塑膠再生料溯源驗證平台

圖 3.2-2、塑膠再生料溯源驗證申請程序

(三)循環再利用產品之環境安全性

針對再生塑膠中有害物質濃度，我國《食品安全衛生管理法》（以下簡稱食安法）為目前位階最高的食品安全法令，並於不同的領域制定出各類的管理規範，如良好衛生規範準則、標示規定、登錄辦法及衛生標準等。且根據食安法第 16 條，以及依第 17 條所定《食品器具容器包裝衛生標準》之規定，確認所製造之產品，不得有有毒、易生不良化學作用、足以危害健康或其他經風險評估有危害健康之虞等情形。

目前衛福部食藥署已針對塑膠可回收再製成食品包裝，提出「供作食品器具包裝製造使用之 PET 再製酯粒原料適宜性申請作業流程」，針對 PET 再製酯粒之安全評估，應符合歐盟或美國之安全性評估原則，其於擬似污染物之擇定說明中，建議使用包括揮發性極性、揮發性非極性、非揮發性極性以及非揮發性非極性等 4 類擬似污染物進行塑膠再製除污效能的評估，示例物質參考美國及歐盟。惟擬似污染物之示例物質，不包括上述提及之化學物質（有毒阻燃劑、內分泌干擾物質、溴化及氯化戴奧辛等），故仍有塑膠再製成產品環境安全性之疑慮。

三、 驗證機制發展需求研析與建議

若進行再生塑膠比例驗證，可透過官方機構如循環署推動之非填充食品之塑膠再生商品推動作業要點規範、或民間機構如塑膠中心塑膠再生料溯源驗證，亦可自行尋求第三方驗證機構，惟不論是官方、民間或是自行驗證，目前主要是以申請者提供驗證證明文件與質量平衡的數據資料進行審查，然而透過此文件證明前提為廠商所聲稱的再生料確實屬實，如前端再生料聲明書即存在造假疑慮，則後續製程上的質量平衡亦會失真。

且針對以上可看到國內目前也與國外一樣設有軟性的標章驗證制度，如 GRS、RCS、藍天使，但國外有些針對再生料科學驗證技術，如英國訂定塑膠稅，即發展出一 BSI 方法進行產品容器的再生料添加比例驗證，以輔助監管文件履歷系統，所以建議文件管理系統可以發展數位性，源頭原生料和再生料則以科學驗證輔助查核機制，兩者相輔相成。

另目前尚未看到各國針對再生塑膠回收再製有所監管，僅有美國歐盟針對回收再製食品容器設有挑戰測試，故建議亦可先行建立相關塑膠再利用產品的環境安全性基線資料，以釐清如上述疑慮物質如重金屬、塑化劑、阻燃劑等於再製產品中的含量，以進而評估是否需針對塑膠再製成產品建立流向追蹤等驗證機制。

- 熱塑性塑膠（電子電器塑膠）

一、 國外需求及問題說明

國際積極推動永續電子產品認證及倡議，其設有再生料添加比例的標準，2022年3月歐盟綠色協議中鼓勵組織及消費者為永續及電子產品的採購負責，並透過每年的循環電子日、案例及方法發布、各種活動進行溝通。另於世界經濟論壇的「加速循環經濟平台」(The Platform for Accelerating the Circular Economy) 為此提出電子產品轉型循環經濟的三大目標，以及給企業的具體行動建議：1. 在新產品中使用再生材料，並確保產品使用後可被回收、2. 延長產品和零組件的使用壽命、3. 建立能妥善回收及處理電子廢棄物的機制，然而如何解決在採購再生料過程中的信任問題，從而促進可持續材料的使用和市場流通，與妥善回收及處理電的追蹤機制為其重要。以下彙整電子電器塑膠再生料添加與追蹤相關之國外現行技術或研究發展方案趨勢。

(一)再生料科學驗證技術

針對電子電器塑膠的再生料添加比例之驗證材質，依國內再生料供應業者及 PCR 含量資料如圖 3.2-3，將範疇列為 PC、PC/ABS、ABS、PS、PP、PMMA，由於目前國內針對電子電器回收物品為一種複合材質，如一電腦鍵盤其外殼為塑膠製品，中間含電子元件、印刷電路板等，故回收時是以“鍵盤”品名登錄，登錄後實際回收的電子電器塑膠材質多寡目前無法得知，故計畫僅就國內再生料供應業者及 PCR 量進行細部材質範疇框列。盤點就驗證再生料使用真實性而言，與非食品包裝材的再生塑膠比例之科學技術大多相似，如使用 FTIR、DSC 等技術，用以鑑別是否為再生料。

1. PC、PP

目前僅有文獻資料探討 PC 於電子電器設備回收後的性能影響、或廢棄印刷電路板中的熱塑性複合材料開發再生 PP 等文獻，多半仍處於電子電器塑膠製品的回收階段，尚無再生料添加比例或再生料鑑別技術。

2. PC/ABS

目前僅有文獻探討回收過後的 PC/ABS 其材料的耐衝擊強度，元素組成、機械測試（拉伸、彎曲和衝擊測試）、流變學和熱機械測量等文獻，尚無再生料添加比例或再生料鑑別技術。

3. ABS

- (1) 再生料添加比例分析：目前無。
- (2) 原生或再生產品鑑別：

應用衰減全反射傅立葉變換紅外(Attenuated Total Reflectance-Infrared Fourier Transform Spectroscopy, ATR-FTIR)光譜、凝膠滲透色譜、機械性能測試和動態機械分析(Dynamic Mechanical Analysis, DMA)、流變數和電子掃描顯微鏡(Scanning Electron Microscope, SEM)等結果可以鑑別原生 ABS 和再生 ABS 的差異。

4. PMMA

目前僅有文獻探討 PMMA 機械回收後的物理力學、加工性能、熱學特性等，另包括化學回收的光學和機械性能測試是否具有再利用潛力，尚無再生料添加比例或再生料鑑別技術。

公司名稱	材料種類	原料來源	PCR含量	驗證單位
奇菱科技	ABS	PCR或ITE-PCR	ABS : 35%、65%、70%、85%	UL
	PC/ABS	PCR	PC/ABS : 10%、60%、75%	
	PC	PCR	PC : 60%	
芳泰塑膠	PC	PCR	PC : 100%	TUV
宏恩塑膠集團	ABS	PCR或ITE-PCR	ABS : 75%、100%	TUV
	PP、HIPS	PCR		
春億聯合	HIPS	PCR	100%	塑膠中心
海屏企業	ABS	PCR	100%	塑膠中心
貿塑企業	PC	PCR	100%	塑膠中心
Covestron	PC、PC/ABS	PCR	PC、PC/ABS : 30 ~ 50%	UL
日本帝人	PC、PC/ABS	PCR	PC、PC/ABS : 25%	
估優科技	ABS	ITE-PCR	ABS : 35%、65%、85%	UL
樺奕塑膠	PC、PC/ABS、ABS	PCR、OBP	ABS : 35%、65%、85%	TUV、UL
緯潤科技	ABS	PCR或ITE-PCR	ABS : 35%、65%、85%	UL
	PC/ABS	PCR或ITE-PCR	PC/ABS : 15%	

資料來源：

[https://recycle1.moenv.gov.tw/sys/Business/doc/download/%E8%AA%AA%E6%98%8E%E6%9C%83/%E9%9B%BB%E5%AD%90%E9%9B%BB%E5%99%A8%E5%84%AA%E6%83%A0%E8%B2%BB%E7%8E%87/\(%E7%AC%AC%E4%BA%8C%E5%A0%82\)1120629%E6%8E%A8%E5%8B%95%E5%A1%91%E8%86%A0%E5%BE%AA%E7%92%B0%E4%BD%BF%E7%94%A8.pdf](https://recycle1.moenv.gov.tw/sys/Business/doc/download/%E8%AA%AA%E6%98%8E%E6%9C%83/%E9%9B%BB%E5%AD%90%E9%9B%BB%E5%99%A8%E5%84%AA%E6%83%A0%E8%B2%BB%E7%8E%87/(%E7%AC%AC%E4%BA%8C%E5%A0%82)1120629%E6%8E%A8%E5%8B%95%E5%A1%91%E8%86%A0%E5%BE%AA%E7%92%B0%E4%BD%BF%E7%94%A8.pdf)

圖 3.2-3、國內再生料供應業者及 PCR 含量

(二)履歷追溯管理系統

同非食品包裝材的再生塑膠比例的文件履歷追溯管理系統，另新增 UL 2799 標準，該標準主要適用於電子和電器產品，旨在驗證產品中使用的回收材料的來源和含量，並確保其符合環境和可持續發展的標準。UL 2799 要求回收材料的含量達到一定比例，並通過供應鏈追蹤來驗證其可追溯性和符合性。

二、國內需求及問題說明

為配合臺灣 2050 淨零轉型「資源循環零廢棄」關鍵戰略行動計畫，推動「轉型資源全循環，邁向零廢棄時代」，環境部為鼓勵電子產品繳費責任業者朝物料循環再利用方向設計，先期規劃以塑膠循環為目標，電子電器及資訊產品製造及輸入業者，於產品中使用一定比例(25%)以上的塑膠再生料者，可填具「合規塑膠再生料物品適用綠色費率申請表」，並檢附證明文件，經本署審查通過，即可享有綠色費率之優惠，落實資源循環與二次料經濟效益。首批補助將針對電子電器類之電視機、冷暖氣機、洗衣機、電冰箱、電風扇，以及資訊物品之類可攜式電腦、主機、顯示器、印表機、鍵盤等產品。

補助實施期間為 112 年 7 月 1 日至 114 年 6 月 30 日，當產品中添加 25% 以上塑膠再生料，經審查符合條件者，徵收費率將給予 85 折的優惠，經試辦 2 年後將視推動狀況，再提出後續階段鼓勵措施。為避免不肖業者申請綠色費率，確保再生料添加的真實性，具驗證再生料是否混充之需求。

根據環境部資源循環署之「合規塑膠再生料物品審查作業原則」，其合規塑膠再生料物品係指「使用塑膠再生料重量比率達該產品所使用塑膠原料的百分之二十五以上，具驗證或檢驗機構證明、國內外產品標章相關證明文件，經本署審查確認者」，其中規範所指的驗證或檢驗機構證明，如 ISO/IEC17065、ISO/IEC 17021 或 ISO/IEC 17020 技術類別 01 工廠(場)檢查其中一項認證，足以查驗塑膠再生料來源、生產等管理機制運作之國內外驗證單位。

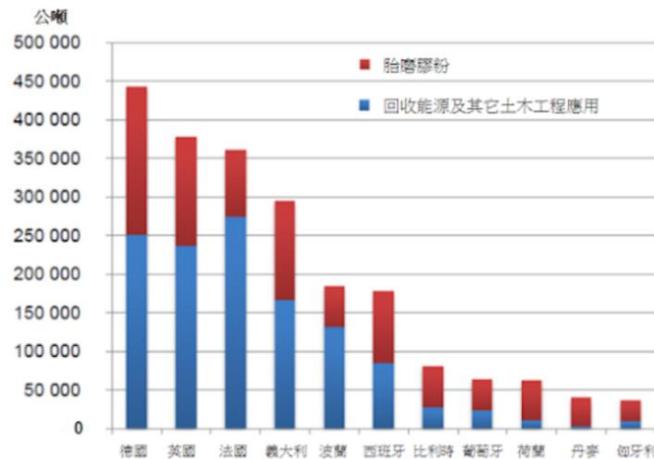
三、驗證機制發展需求研析與建議

若透過此文件證明前提為廠商所聲稱的再生料確實屬實，如前端再生料聲明書即存在造假疑慮，則後續製程上的質量平衡亦會失真。而計畫針對以上國外部份電子電器塑膠如 ABS 以 FTIR 或 DMA 用以鑑別是否為再生料，惟並非所有材質皆有相關研究，目前多數科學驗證技術文獻多屬探討回收後的電子電器塑膠是否仍符合性能所需，**建議可發展 ABS 再生料與否等的驗證技術**。另後端流向追蹤亦建議導入**數位化流向追蹤技術**以確保再生電子電器塑膠產品回到再生產品中。

◆ 橡膠殘餘物

一、 國外需求及問題說明

根據 2012 年歐洲輪胎與橡膠製造商協會(European Tyre & Rubber Manufacture Association, ETRMA)的統計資料，西班牙、比利時、葡萄牙、荷蘭、丹麥、及匈牙利，其多國輪胎磨膠粉再利用的比例已超過 50%，而於上述提及的國家中，除匈牙利正打算由政府收稅改向生產者延伸責任(Extended Producer Responsibility, EPR)制外，其他都是採用 ERP 制管理廢輪胎，如圖 3.2-4。



資料來源：

<https://www.attce.org.tw/l/%E6%AD%90%E7%9B%9F%E6%8E%A8%E8%A1%8C%E7%9A%84%E5%BB%A2%E8%BC%AA%E8%83%8E%E7%AE%A1%E7%90%86%E5%BB%B6%E4%BC%B8%E7%94%9F%E7%94%A2%E8%80%85%E8%B2%AC%E4%BB%BB%E5%88%B6/>

圖 3.2-4、歐洲各國廢輪胎磨粉再利用的比例

歐盟目前並未強制要求產品中必須含有再生橡膠，若確認再生橡膠製品添加，可取得 ISCC PLUS 認證、或透過 PEFC 標準進行再生橡膠產銷監管鏈認證，而隨著循環經濟政策的推動，越來越多的政策鼓勵再生橡膠的使用，如《廢棄物框架指

令》修訂方案，根據新規定，到 2025 年 1 月 1 日歐盟各國須分別收集紡織品，以供再利用、準備再利用和回收，此涵蓋範圍包含服裝、配件、帽子、鞋類和其他紡織品，以及皮革、仿皮革、橡膠或塑料製品。雖然新橡膠與再生膠以一定的比例製成鞋子、輸送帶等橡膠製品，而再生橡膠目前以橡膠工業製品為主，另若需高速使用如輪胎等的橡膠製品，則因有安全的考量較不適合添加再生橡膠使用。綜合上述目前廢棄橡膠殘餘物之再利用管道除能源回收外，尚包括土木工程應用及其他消費性產品（如服裝、配件、帽子等）。另根據歐洲化學品管理局對再生橡膠顆粒的評估報告，再生橡膠在使用於人造草皮的充填材料時，需符合 REACH 法規，特別是在多環芳香烴碳氫化合物(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs)與其他有害物質的濃度上進行嚴格管制，而研究顯示該顆粒通常包含 PAHs、金屬、鄰苯二甲酸酯、揮發性有機化合物(Volatile Organic Compounds, VOCs)等物質，會透過接觸、吸入或吞嚥暴露於人體，該報告也提出多項建議，以減少環境與健康風險，包括加強通風、定期檢測有害物質濃度等。

二、國內需求及問題說明

我國目前並無強制性規定再生橡膠使用在最終產品的比例，除非是申請再生品環保標章，則需根據《塑橡膠再生品環保標章規格標準》第一條，「塑橡膠再生品的原料須全部為國內回收塑橡膠，塑橡膠的回收塑橡膠混合率應為 100%。但不可為含氯塑膠，另為改良產品品質而添加之添加劑不計。申請者應提供添加劑清單並檢附各添加劑之物質安全資料表以供查核，物質安全資料表應詳細說明其內含之化學成分及 CAS NO.」之規定進行檢驗。且依環境部規定申請環保標章之產品享有徵收費率 95 折的優惠。

三、驗證機制發展需求研析與建議

經評析，依據環境部資源循環署針對之回收清除處理費率品項，以橡膠為主要材質之回收清除處理費徵收對象僅輪胎一途，但如於輪胎中添加 100%再生料將可能存在安全疑慮，故再生橡膠料主要產品應用如隔音材料、緩衝地墊、橡膠製品、橡膠瀝青道路或做成潛水衣，故於橡膠殘餘物回到輪胎再利用機率極低，因此並不

會有業者領取綠色費率問題，但不確定未來隨著國際趨勢及國內政策演變，可能仍然有驗證機制需求。

◆ 飛灰

一、 國外需求及問題說明

本循環項目欲探討為焚化飛灰。目前國外焚化飛灰主要可應用於水泥和建築材料，然而焚化飛灰成分可能含有重金屬戴奧辛有害物質，再利用需嚴格處理技術以確保安全性。根據環保政策月刊指出，焚化飛灰所含之有害物質濃度較高，各國多視為「有害」或須「特別管理」之廢棄物，故將重點放在無害化處理及隔離處置，較少再利用。惟仍有部份國家嘗試進行焚化飛灰再利用工作，如荷蘭將鍋爐集塵灰混入瀝青混凝土作為添加劑，法國以熔融處理集塵飛灰但仍屬少數。

二、 國內需求及問題說明

根據監察委員田秋堇指出，廢棄物經焚化後產生含戴奧辛、重金屬的飛灰，再利用率僅 1 成，且目前焚化灰渣掩埋空間有限，是處理焚化廢棄物的重大警示因素，焚化灰渣後續處理是否符合國際標準，如何避免飛灰再利用的戴奧辛、重金屬二次污染，危害民眾健康，有進一步瞭解必要。

由於焚化飛灰中含有重金屬及戴奧辛等有害物質，且對人體健康造成危害，尤其是戴奧辛的致癌性及對人體免疫及生殖系統的危害，故無法直接進行再利用及掩埋，目前以穩定化合物掩埋處理居多，或是透過無害化技術降低有害物質含量，另外再加上焚化飛灰屬高氯鹽物質，氯含量高達 5~35%，若將焚化飛灰應用於工程材料，其氯鹽含量對於工程品質具有極大影響，如應用於鋼筋混凝土時，氯離子與水泥中的鈣離子結合形成具有膨脹性的氯化鋁酸鈣，易造成材料膨脹龜裂，亦可與鋼筋表面之鐵離子反應，易使鋼筋發生鏽蝕。因此焚化飛灰若進行再利用，需將有害物質及氯鹽含量降低，以提升工程材料之品質及安全性並減少民眾疑慮。

根據新聞指出為推動垃圾焚化廠飛灰再利用，宜蘭縣政府環保局已獲環境部環境管理署核定補助費用，來推動焚化飛灰再利用計畫，並預計將經處理後的水洗灰作為水泥業天然砂石替代原料，減少掩埋量的同時，也能達到資源循環。而臺北

市環保局則表示，焚化垃圾產出之飛灰經水洗處理後，均會進行氯鹽及重金屬毒性溶出檢測，檢驗合格後的水洗灰產品方作為水泥原料再利用，該局亦不定期至水泥廠採樣水泥成品送檢驗，數年檢驗結果皆全數符合國家水泥標準，另水洗灰運送過程亦有即時監控系統追蹤，並透過網路申報建立產品履歷，全程參與再利用，以加強各界及民眾信心。

另依中鼎工程股份有限公司之 ESG 電子報，國內焚化飛灰水洗應用技術的現況，垃圾經過焚化處理後，會衍生部分需再處理的底渣與飛灰（飛灰包含鍋爐灰與去除廢氣中的酸性及有害物質的反應灰），其中底渣為一般廢棄物，經處理至符合《垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式》之規定後，可作為再生粒料應用於公共工程，如控制性低強度回填材料(CLSM)應用於管溝回填，或製成混凝土磚等用途；而焚化飛灰因其所含的戴奧辛及重金屬濃度較高，屬於有害廢棄物，故處理難度及成本皆高，過往焚化飛灰水洗及再利用技術未發展時，僅能以穩定化處理後送至掩埋場進行最終處置，惟目前焚化飛灰水洗與再利用技術日趨成熟且可達資源循環效益，未來將成為處理焚化廠飛灰的主流技術。

經過多年的焚化飛灰水洗實驗製程確認，現今飛灰水洗技術已可大量降低水洗後的有害物質，另為避免影響再利用機構的產品品質及處理設備腐蝕的問題，故要求水洗灰的氯鹽含量不得大於 3%，方可送至主要的再利用單位如水泥廠（氯鹽含量 1%以下）、煉鋼集塵灰處理廠（氯鹽含量 3%以下）進行再利用。然因焚化廠大多受到廢水零排放的規範，無法在廠內設置飛灰水洗廠，目前僅有部分無廢水零排放規範之焚化廠，如台北市的北投焚化廠、木柵焚化廠及桃園南區焚化廠可於廠區內設置飛灰水洗系統。

另外我國目前飛灰可應用於再生綠建材中，但對於飛灰添加比例的規範尚未強制，主要依賴廠商自主調配。目前僅針對再生綠建材規定應使用一定比率之回收材料，以及生產製程所添加之水泥或膠合劑等化學物質應低於一定比率，對於飛灰具體添加比例或成分穩定性的要求並不嚴格。

三、 驗證機制發展需求研析與建議

焚化飛灰為燃燒過程中產生的廢棄物，如為事業產生之廢棄物，依據事業廢棄物清理法應依法申報其重量、處理或再利用途徑、處理或再利用的機構等，且過程可經由事業申報三聯單予以勾稽，於文件電子化驗證系統上尚屬完善，但因焚化飛灰含有重金屬、戴奧辛等污染物質疑慮，未來可能須列入環境部法規公告「應進行流向追蹤之事業廢棄物再利用產品」辦法之管理範疇，再製成產品後是否應針對產品用途如焚化底渣再利用為港灣填築定期進行環境監測，目前亦未知，**建議建立焚化飛灰流向追蹤機制，並進行相關再利用產品污染物溶出之基線調查研究**。另，在我國再生綠建材評定要項中，為避免建材生命週期中對環境造成衝擊，於申請評定時，應提出個別說明，如再生材料種類、回收材料來源、再生材料摻配比率（重量百分比）、原料型態等，可供分類評定小組審查時之參考依據，因此**針對焚化飛灰可能添加於再生綠建材中，其再生料添加比例亦應具有驗證需求**。

◆ 底渣：

一、 國外需求及問題說明

本循環項目將探討焚化底渣。焚化底渣再生粒料主要使用在於建築用混凝土磚、道路基底層或瀝青混凝土用骨材、基礎回填材料、停車場鋪面等，其廢棄物資源化為工程材料妥善運用已為國際趨勢，先進國家皆積極推動且有多項實績，如荷蘭將垃圾焚化再生粒料集中應用於路堤，且底渣再利用率已達 100%，德國亦使用於路床及路基，焚化底渣在國外已廣泛應用於道路基底層作為工程材料。

日本則受限於土地資源不足，致力推廣焚化底渣資源再利用，並根據 2015 年環境部參訪日本垃圾焚化底渣及鋼鐵業爐渣之資源化產品再利用廠之出國報告，日本針對廢棄物再利用管理，除依其廢棄物來源及再利用用途，訂有各類日本工業規格(Japanese Industrial Standards, JIS)規格，如依混凝土及道路用途訂有 JIS A 5031 及 JIS A 5032，並由地方政府推動回收製品認定制度，彙整相關環境基準及 JIS 規格，臚列相關認定基準，以利業者遵循辦理回收製品認定，確保製品符合規範。另 2005 年公告 JIS K 0058 方法(Test Methods for Chemicals in Slags)做為資源化產品的環境安全性檢測方法，JIS K 0058 方法分為 2 部分，「溶出量」方法編號為 JIS K 0058-1 及「酸可萃取量」方法編號為 JIS K 0058-2，方法的選擇是依資源化產品之

化學物質對人體的暴露途徑，資源化產品之環境應用情境若有接觸到地下水，須進行 JIS K 0058-1「溶出量」試驗；若資源化產品之環境應用存在被人體食入情境，則進行 JIS K 0058-2「酸可萃取量」試驗，日本廢棄物熔融渣、鋼鐵渣等資源化產品環境安全基準如表 3.2-3。

表 3.2-3、日本底渣類資源化產品環境安全基準

項目	一般用途溶出量基準 (mg/L)	一般用途酸可萃取量基準 (mg/kg)
檢測方法	日本 JIS K 0058-1	日本 JIS K 0058-2
鎘	0.003	150
鉛	0.01	150
六價鉻	0.05	250
砷	0.01	150
汞	0.0005	15
硒	0.01	150
硼	0.8	4,000
氟	1	4,000

資料來源：工業污染防治，無機性資源物料應用之環境安全品質檢查與查驗機制初探

二、國內需求及問題說明

隨著國內資源善用理念逐步落實，加上為處理日常生活中所產生的一般性廢棄物，我國目前多以焚化方式處理為主，因此垃圾焚化比例逐年增加，使得推動灰渣（底渣和飛灰）資源再利用的需求日益明顯。然而焚化底渣面臨的再利用挑戰，主要在於如何確保其對環境無害，並加強對最終使用端的追蹤和管理。焚化底渣成分包括燃燒不完全的無機物、金屬等物質，該物質中有些是可回收再利用的有價物質，例如鐵、鋁、玻璃、無機粒料等，其品質相對穩定，易於分類和分離且可以再次利用。環境部自 2002 年起推動焚化底渣再利用政策，明確規範焚化底渣的再利用條件、應用範疇、品質標準、限制使用地點以及三級品管制度，以確保焚化再生粒料的產品品質與環境品質。並公告「垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式」，使焚化底渣可應用在基地填築、路堤填築、道路級配粒料底層及基層、控制性低強度回填材料等用途。

而全台焚化爐每年合計產出約 90 萬公噸底渣，近年環境部積極推動再利用政策，底渣處理後可製成焚化再生粒料，並提出把關粒料品質的法規，在符合環境友

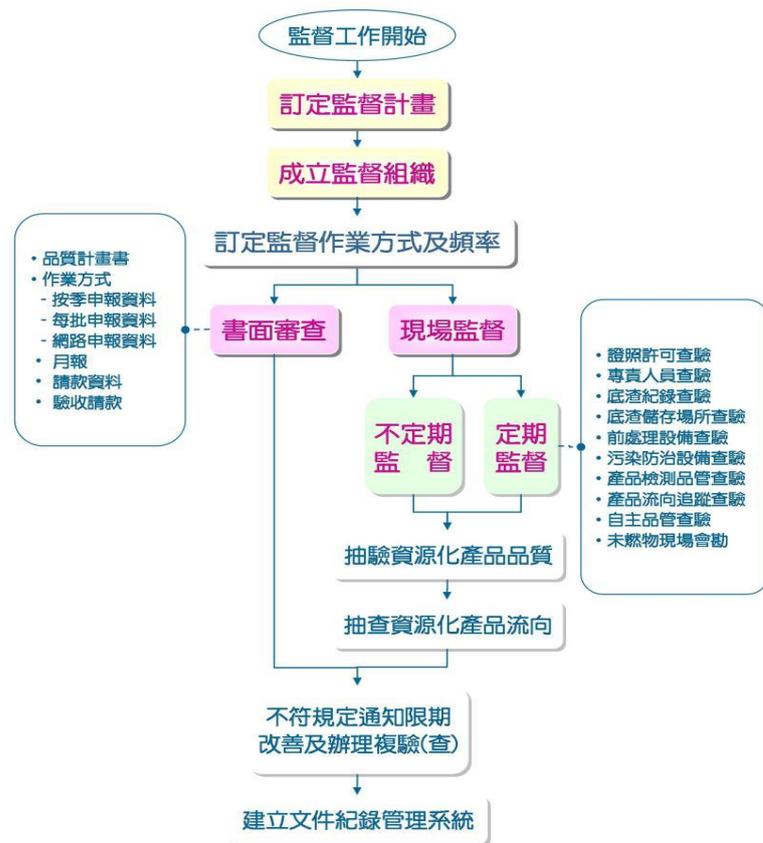
善及工程安全前提下，將再生粒料應用於營建工程，目前已廣泛利用於控制性低強度回填材料及基地路堤填築工程，替代天然資源，避免天然資源開採，促進資源循環也邁向循環經濟。

一般民眾常對焚化底渣可能含有害物質存疑，而事實上垃圾焚化爐飛灰所含重金屬較多，底渣所含重金屬則極少，通常在標準範圍內，但底渣的安全性驗證仍尤為重要。其經檢測符合重金屬管制標準的底渣，經過磁選、篩分等處理程序後，除可獲得鐵金屬、非鐵金屬等有價物質外，再經研磨篩分及加藥穩定等程序後，即可作為工程級配用料。

根據環境部《焚化底渣再生粒料應用於控制性低強度回填材料 (CLSM) 使用手冊》，焚化底渣的再利用機構應實施「焚化底渣三級品管規範」或「資源化產品驗證³」，以確保底渣再生粒料的安全與穩定性。

「焚化底渣再利用三級品管規範」規定，訂定監督計畫，包括成立監督組織、訂定監督作業方式及頻率、審查再利用機構之品質計畫並監督執行、審查再利用機構之作業方式並監督執行、抽驗焚化再生粒料、抽查焚化再生粒料流向，以及建立文件紀錄管理系統等，並落實執行焚化再生粒料抽驗及再利用地點抽查，以符合再利用管理規定。「焚化底渣三級品管規範」從再利用機構、地方到中央的層層把關，確保再用品質與流向無虞，流程可參考圖 3.2-5。

3 資源化產品驗證係指經環保署核可認證之驗證單位所執行之驗證。



資料來源：新北市政府環境保護局

圖 3.2-5、焚化底渣委託廠商處理再利用監督組織

具體而言，焚化底渣三級品管機制為再利用機構要建立品管作業程序掌控底渣再利用流向，並於底渣再利用前，以網路預先申報地點、用途、數量、時間，及包括回填區位是否適當、工程設計書圖與地主同意書等相關證明資料，事後也要以網路申報底渣妥善再利用證明文件，報請底渣產地與收受地主管機關備查；底渣產源的地方主管機關則要抽查底渣再利用流向，並逐筆線上複核確認再利用機構之預先申報內容；環保署更要自行或委託機構，組成查核小組，實施現場查核評鑑作業。

另有關一般性飛灰或底渣混合物，非屬公告應回收或再利用之飛灰與底渣混合廢棄物之再利用方式，根據環境部資源循環署「無機再生粒料循環資訊平台及效益評估計畫」，內文提及一般性飛灰或底渣混合物循環流向亦多為控制性低強度回填材料(CLSM)，以及依《經濟部事業廢棄物再利用管理辦法第三條附表修正規定》，

事業直接使用廢棄物、以廢棄物為原料製造之固體燃料或初級固體生質燃料之發電鍋爐或流體化床鍋爐產生之飛灰或底灰，其再利用用途為水泥生料或海事工程用粒料原料，而運作管理規範如下（摘要）：

（一） 再利用於水泥生料用途者，應符合下列規定：

1. 再利用機構應具備水泥旋窯。
2. 再利用用途之產品品質應符合國家標準。

（二） 再利用於海事工程用粒料原料用途者，應符合下列規定：

1. 再利用用途之產品品質應符合海事工程進場品質管制標準。
2. 海事工程用粒料產品應依下列規定申報流向：(1)再利用產品之申報規定及遞送聯單遞送方式，依規定辦理。(2)再利用產品清運機具應裝置即時追蹤系統，且清運機具裝置之系統規格應符合應裝置即時追蹤系統之清運機具及其 規定公告之規定。
3. 海事工程用粒料產品僅限使用於商港、工業專用港或已核定造地之工業區，且應於使用前辦理實驗室試驗、現地填築試驗及依環境影響評估法相關規定辦理相關事宜。

（三） 再利用後之剩餘廢棄物應依廢棄物清理法相關規定辦理。

三、 驗證機制發展需求研析與建議

在底渣再利用產品品質安全性上，為鼓勵工程單位使用，創造更友善的循環環境，除公共工程委員會透過頒訂相關施工綱要規範，環境部編撰各用途之使用技術手冊外，亦建立焚化再生粒料流向管理系統，並提出粒料產品品質規範。再生粒料的品質並流向追蹤由環保單位落實，透過資訊化技術從源頭到終端全程管理，以確保無毒無害。

另為使工程人員敢用、會用及願意使用，已於 109 年 5 月 18 日修正「垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式」，自 110 年 1 月 1 日起，加嚴粒料產品品質規範，採用「再生粒料環境用途溶出程序(NIEAR222)」作為焚化再生粒料檢測方法，強

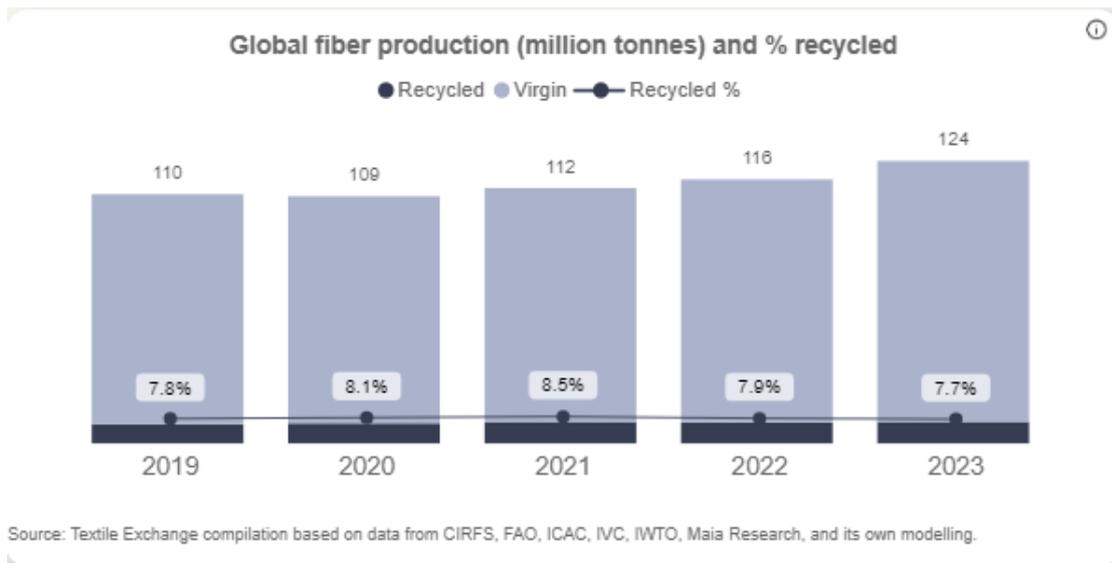
化焚化再生粒料品質，並參考我國地下水污染管制標準級規範，透過使用地分級管理，加嚴環境品質管制。

經評析，對綜整上述國內不論是從焚化產生，亦或是發電鍋爐或流體化床鍋爐等產生之底渣，目前對於**底渣再利用驗證機制完善**。

◆ 紡織

一、 國外需求及問題說明

聯合國於 2018 年推動《聯合國時尚產業氣候保護行動憲章》(United Nations' Fashion Industry Charter for Climate Action)，其倡議依據巴黎協定制定紡織產業碳排減少規劃，目前已有超過 130 個品牌簽署，包括知名大廠 Burberry、Chanel 與 Gucci 隸屬的 Kering 開雲集團、Adidas、Gap Inc.、H&M Group、NIKE 等，簽署的眾品牌如今承諾在 2030 前將溫室氣體排放量減半或者制定科學基礎減碳目標 (Science Based Targets, SBTi)。淨零減碳減碳的前提促使上下游供應鏈須提供低碳產品，包括再生纖維回收再製，依據紡織交易所目前統計的資料如圖 3.2-6，全球紡織產量於 2023 年已達到 124 百萬公噸，其中有 7.7% 為回收纖維，隨目前全球紡織產量趨升，其回收纖維比例大約維持於 7.7%~8.5%，換言之全球流通知再生紡織絕對量應有上升趨勢。



資料來源：<https://textileexchange.org/materials-dashboard/>

圖 3.2-6、全球原生纖維及再生纖維占比

(一)再生料科學驗證技術

1. 根據紡織月刊資料顯示，德國服裝與布料製造商 **TURN S GmbH** 與德國產品驗證技術供應商 **Tailorlux GmbH** 攜手合作，致力提升再生棉產品的追溯性和透明度，為循環經濟樹立新標竿。雙方整合 **Tailorlux** 尖端的纖維追蹤技術與高解析光譜分析，確保再生棉產品的來源與真實性，並精準驗證每件紡織品中的再生棉含量，藉由將每件服裝皆嵌入 **Tailorlux** 溯源技術，確保自廢料到成品的整個過程皆是完全透明且可驗證。
2. **Waste2Wear** 於 2019 年開發回收保證三步驟測試方法(**RA-3 Standard®**)，包括化學分析、微觀評估（顯微鏡）和文件驗證，該方法正申請專利的化學測試方法，可確定紗線、纖維或織物是否由回收塑膠瓶製成。此方法是經德國著名測試公司 **Wessling** 審查與驗證，確立可準確量化紡織品使用回收 **PET** 瓶的可信度，並透過區塊鏈技術進行追蹤，以提供材料的完全透明度和可追溯性。
3. 根據 **Centexbel** 資料指出，目前正在進行多個有關紡織回收材料的研究項目：一項用於檢測機械回收棉纖維、兩項用於檢測熔融擠出的回收聚酯。

(1) 再生回收棉：

- 顏色差異：在顯微鏡下，在未染色或輕度染色的再生織物中看到藍色棉纖維和其他纖維。如在均勻染色織物的紗線中發現纖維顏色具有明顯差異，則為再生棉的準確率大幅上升。
- 機械缺陷：由於織物需先被切碎（撕成碎片）才能回收，故如於顯微影像非常清楚地顯示出纖維被撕裂或破碎。則為再生棉的準確率高。
- 纖維長度：棉纖維的長度通常為 2.5 至 4 公分。在回收過程中，織物通常被切成小塊，從而縮短纖維的長度。因此，大量的短纖維可能表示是再生棉。

(2) 再生聚酯纖維：

- 回收聚酯纖維其材料多來自於 **PET** 瓶，但瓶用的 **PET** 產品與原生先為不

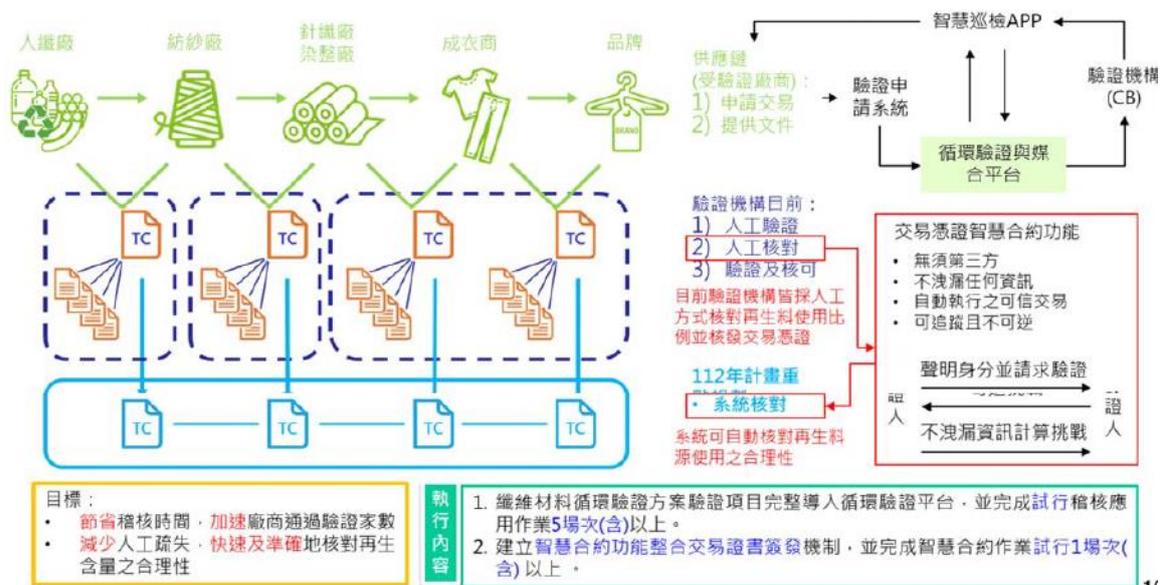
同，如纖維中含有間苯二甲酸則其為回收 PET 再製的機率相當高。而科學分析 IPA 的技術可透過色譜法、NMR 等方式來進行量測。

二、國內需求及問題說明

「台灣 2050 淨零排放路徑及策略」中，紡織被列為重點淨零轉型產業之一，包含提升循環再生材料作為替代原料的循環經濟，與製程低碳或零碳排技術等，為台灣紡織業界努力的目標。再生纖維不僅能降低對天然資源的依賴，亦能減少紡織廢料對環境的影響。另環境部資源循環署於 113 年 8 月 19 日提出的「115-118 年中長期資源循環淨零科技擴散應用計畫(草案)中」，將優先針對紡織進行推動，依未來政策需求將紡織納入具相關驗證機制。紡織業中最大宗的資源循環材料尚屬 PET。

而在循環回收技術發展應用上，經濟部產業發展署持續輔導國內紡織業者開發聚酯、尼龍、純棉及混紡纖維材料的循環再生技術，推動纖維材料的回收與再生體系，透過物理解纖及物理熔融再生技術，將製程廢料如邊布和下腳料轉化為再生短纖維和再生酯粒，達到製程殘料 90%以上的再利用率，並協助業者開發應用於混紡產品，提升紡織品中再生纖維材料的比例達 25%，引導產業製程廢棄資源循環再利用。

針對履歷追蹤管理目前紡織產業綜合研究所之 110 年至 112 年 12 月「纖維材料循環驗證體系建置與示範計畫」，該計畫範疇為推動紡織業者建置混紡系纖維材料循環再應用示範體系，協助業者導入「纖維材料循環驗證方案」，推動目標為協助我國紡織產業上、中、下游導入全球回收標準(GRS)，使該標準在地化，確保及掌握再生材料使用比例，擴大國內全球回收標準驗證分布，提升二次料市場管理，以取得國際訂單。於該計畫亦推動與試行纖維材料循環驗證方案數位化作業，以追蹤紡織產業纖維再生料之來源，並促使業者、單位與稽核單位減少紙本化作業與驗證時間，以及減少資料謄寫錯誤之機率如圖 3.2-7 所示。



資料來源：纖維材料循環驗證體系建置與示範計畫，紡織綜合所

圖 3.2-7、纖維材料驗證資訊數位化與試行

三、 驗證機制發展需求研析與建議

有鑑於廠商於「纖維材料循環驗證體系」過程中，若已將原生纖維材料仿造再生纖維材料標示（即人為造假），即使驗證機制採用數位化資料勾稽追溯，最終驗證數據亦會失真，因最原始的輸入證明即為錯誤資訊。因此，即便發展數位化追蹤系統，仍應搭配一再生纖維材料科學驗證技術，以避免形成驗證機制的漏洞。

經評析，在建立紡織再生纖維的驗證機制時，除目前由纖維材料循環驗證體系計畫發展之數位化產銷供應鏈管理外，建議亦可同步發展科學化的纖維材料驗證技術（如上述再生回收棉科學驗證技術），而細部材質材料則建議以聚酯纖維為優先，其次為棉，後續人造纖維、尼龍、其它合成纖維等則依國內未來政策需求進行次序排列，以提升再生料使用真實性及數據可靠性，兩者相輔相成。

◆ 循環建材

一、 國外需求及問題說明

為透過推動建築和社區的可持續發展來降低環境影響，提高人類健康和生活品質，美國綠色建築委員會於 1998 年創建美國綠建築評估系統(Leadership in Energy and Environmental Design, LEED)，目標是，LEED 也為國際間使用最廣泛

之綠建築評估認證系統，LEED 美國綠建築認證不僅適用於新建建築，亦可既有建築以及室內裝修的整修改建申請認證。根據九大指標(整合程序、地點與交通運輸、永續性基地、用水效率、能源與大氣、材料與資源、室內環境品質、創新設計與區域優先)之評分結果後由綠建築認證機構(U.S. Green Building Council, GBCI)獨立認證，共分成認證級、銀級、金級、白金級等四個認證等級。LEED 建築認證著重於關鍵領域包含永續場地、水效率、能源和大氣、材料和資源、室內環境品質、設計過程創新和區域優先，並以積分進行計算，其中材料和資源積分方面，所購買材料的回收含量必須達到項目中所有材料總成本的 10%才能獲得 1 分，或達所有材料總成本的 20%才能獲得 2 分，可從經銷商、供應商或製造商取得所購買材料的文件，其中必須有說明消費前和消費後的百分比，以便承包商或業主計算回收含量。

二、國內需求及問題說明

環境部資源循環署於 113 年 8 月 19 日提出的「115-118 年中長期資源循環淨零科技擴散應用計畫(草案)中」，將優先針對循環建材進行推動，依據未來政策需求納入研析項目。根據內政部建築研究所之綠建材循環經濟產業鏈結推廣計畫，其循環建材定義較偏向透過資源循環利用方式，利用回收材料製成新建材產品，於該定義下又可分為低碳建材與再生綠建材，以下將針對這兩者進行問題/需求探討。

根據低碳建築聯盟說明，低碳建材定義為與相同功能之一般基準建材相比之下，在相同生命週期中明顯排放較少溫室氣體之一種建材，而為推動興建低蘊含碳建築物，降低建築物在建材生產運輸、營建施工、更新修繕及廢棄拆除階段之碳排放量，落實政府淨零建築政策目標，內政部訂定《建築蘊含碳排4標示申請審核認可及使用作業要點》，並自 113 年 7 月 1 日生效，將建築蘊含碳排評定事務，採指定評定專業機構5方式辦理，達成全方位之淨零建築政策。依據該要點第 15 條規範，低碳建築標示之圖樣，由本部依法註冊公告之。擅自使用或仿冒低碳建築標示

⁴ 依據建築全生命週期碳足跡之評估基準，評估建築物在建材生產運輸、營建施工、更新修繕及廢棄拆除等四階段過程之碳排放量。

⁵ 由內政部同意認可擔任建築蘊含碳排標示評定專業機構評定小組之專家學者。

或候選低碳建築證書者，內政部除公告該冒用者及建築物名稱外，並得依法向行為人請求民事損害賠償及追究刑事責任。

再生綠建材定義則依財團法人台灣建築中心，再生建材係指「利用回收材料，經過再製程序，所製造之建材產品，並符合廢棄物減量(Reduce)、再利用(Reuse)及再循環(Recycle)等 3R 原則製成之建材。」另外推動再生綠建材之目的，除有效使用再生材料外，尚有兩項基本要求，其一是必須確保建材之基本材料性能；其二是不得因為使用再生材料而造成二次污染或對人體健康有不良之影響。也就是說，再生綠建材應在兼顧性能、健康、生態等基本要求，以及在維持建材所需基本功能為前提下，提高使用回收材料之比率。

而目前針對循環建材再利用，有些報導如環境資訊中心資料指出，全球 40 多個中低所得國家，市面上仍充斥著含鉛量超標的建築裝飾漆，部分甚至明顯違反當地法令，我國超標比例甚至高達 66%，在 47 件常見居家用的油性塗料中，就有 31 件鉛含量超過 600 ppm；另根據環境部資料指出，石綿早期因隔熱、防火特性被廣泛使用在建材上，後因有致癌性遭禁用，但全台仍約有 24 萬棟老舊建築屋頂含有石綿建材。因此可進一步推測當營建廢棄物作為再生料使用，廢棄物本身可能含有潛在有害物質如石綿、鉛或其他重金屬，對環境和人體健康造成危害。

(一)履歷追溯管理系統：

1. 低碳建材依《建築蘊含碳排標示申請審核認可及使用作業要點》第 3 條，申請低碳建築標示或候選低碳建築證書，應由申請人檢具認可申請書及申請日前六個月內核發之低碳建築標示評定書或候選低碳建築證書評定書，向本部提出申請，經認可通過者發給標示或證書。第 6 條，申請低碳建築標示或候選低碳建築證書之評定基準，應依建築執照申請日或評定申請日之低碳（低蘊含碳）建築評估手冊（簡稱手冊）辦理。但建築執照另有記載法規適用日期、環境影響評估、都市更新或都市設計審議等另有規定者，得從其規定。

目前實施低碳建材工法認證作業辦法為藉由低碳循環建材認定(Low-

carbon Recycled Materials Certification, LCR)與低碳工法 (Low-carbon, LC 工法)，其兩者皆依手冊規範所提出的低碳建築評估系統 LEBR 所開發的認定機制，未來任何建築工程申請低碳建築評估認證時，均可依其認證之減碳額度與 LCR 低碳循環建材、LC 工法實施之數量，得到認定減碳額度的優惠計算，顯見低碳建材主軸是營建減碳技術的開發，並落實減碳設計。

2. 再生綠建材根據財團法人台灣建築中心資料顯示，於再生綠建材於申請評定時，應提出包括再生材料種類、回收材料來源、再生材料摻配比率（重量百分比）、原料型態等說明。且再生綠建材產品之品質性能應符合台灣相關之標準，安全性亦應符合相關法規規定，所以必須進行相關性能試驗，以確保再生綠建材之功能性。主要以下列要項進行評定（摘述）。有關再生綠建材評定要項與基準如圖 3.2-8 所示。

(1) 材料來源：

- 計入使用比率之回收材料來源應為國內所產出者。
- 廠內產生之廢棄物，如各種污染防治設施所回收之污泥、灰燼、經燒結後之廢料等，無通則中之限制性物質者，亦可計入為回收料比率，但應以乾重（扣除水分後）計算。產品製程各階段所產生之邊料（下腳料）返送於同一製程者，則不得計入為回收材料。

(2) 回收材料使用比率：

- 依材料類別，再生綠建材應使用一定比率之回收材料。
- 生產製程所添加之水泥或膠合劑等化學物質應低於一定比率。

- (3) 產品個別要求：依再生綠建材之評定項目，透過廠商申請、文件查核、現場查核、不定期抽查等方式認證後，檢附報表文件說明製程及原料使用情形。再依原料與產品進出貨的記錄與廢棄物產生、清運情形，進行推算評定。

- (4) 再生綠建材評定基準表：申請再生綠建材標章應依「再生綠建材評定基準表」，其中規範回收材料使用比率（重量百分比），申請再生綠建

材標章評定時應符合「再生材料使用比率」之規定，並應進行現場查驗確認。



資料來源：財團法人台灣建築中心

圖 3.2-8、再生綠建材評定要項

(二)循環再利用產品之環境安全性

針對營建廢棄物再利用產品，根據內政部《營建事業廢棄物再利用種類及管理方式》，編號七營建混合物之再利用用途之產品應符合國家標準或國際標準或該產品之相關使用規定，其中所稱國家標準係指 CNS 標準規範，國際標準係指符合國外相關產品規範（如 JIS、ASTM、AISI 等），另產品之相關使用規定係指符合公共工程施工規範或該產業公會制定之產品品質標準或事業之間符合契約書標準等規範。

依財團法人台灣建築中心之再生綠建材之評定要項中，主要為避免建材生命週期中對環境造成衝擊，所以於申請評定時，應提出個別說明，例如再生材料種類、回收材料來源、再生材料摻配比率（重量百分比）、原料型態等，可供評定小組審查時之參考依據。而且再生綠建材產品之品質性能應符合我國相關之國家標準，安全性亦應符合相關法規規定，所以必須進行相關性能試驗，以確保再生建材之功能性。主要以下列要項進行評定：

1. 回收材料來源

回收材料應為國內所產生者，不得含有綠建材通則中之限制物質，且不得為來自國外之回收料。廠內廢棄物，如各種污染防制設施所回收之污泥、灰燼等，無通則中之限制性物質者，亦可視為回收料，但應以乾重（扣除水

分後) 計算。產品製程各階段所產生之邊料或不良品返送於同一製程再製相同之產品者，則不視為回收材料。

2. 回收材料摻配比率

依材料類別，再生綠建材應使用一定比率之回收材料。生產製程所添加之水泥或膠合劑等化學物質應低於一定比率。

3. 產品個別要求

依再生綠建材之評定項目，透過廠商申請、文件查核、現場查核、不定期抽查等方式認證後，檢附報表文件說明製程及原料使用情形。再依原料與產品進出貨的紀錄與廢棄物產生、清運情形，進行推算評定。

而上述所稱之綠建材通則中之限制物質，係排除部分近年大量使用的毒性化學物質，如蒙特婁議定書管制物質⁶，其說明如下：

- 綠建材通則中之限制物質第(一)項重金屬部份，目前是採行政院環境部所制定的「事業廢棄物毒性特性溶出程序(Toxicity Characteristic Leaching Procedure, TCLP)」方法判定，檢出值不得超過有害廢棄物之規定如。此方法為國內外行之已久，且國內許多檢測試驗機構皆具備檢測能力，但由於建材不僅應考量廢棄時可能對環境造成之影響，在施工、使用階段與人體之接觸更為頻繁，其安全性考量應遠較「廢棄物」為高，故採環境部之有害事業廢棄物判定標準為更嚴格之限制。

⁶ (如氟氯碳化物：一氟三氯甲烷、二氟二氯甲烷等；海龍：二氟一氯一溴甲烷、三氟一溴甲烷等；其他全鹵化氟氯碳化物：三氟一氯甲烷、一氟五氯乙烷等；四氯化碳；三氯乙烷；氟氯烴：一氟二氯甲烷、二氟一氯甲烷等；其他不完全鹵化氟溴化物：四氟二氯丙烷、五氟一氯丙烷等)

表 3.2-4、重金屬成份 TCLP 檢出值標準表

成份	檢出值標準(mg/L)
總汞(T-Hg)	0.005
總鎘(T-Cd)	0.3
總鉛(T-Pb)	0.3
總砷(T-As)	0.3
六價鉻(Cr+6)	1.5
總銅(T-Cu)	0.15
總銀(T-Ag)	0.05

- 第(二)項不得含有石綿成份之規定，係鑑於石綿對人體肺部呼吸功能的潛在危險性已為醫學界所公認，故國際上許多國家對石綿皆已立法禁用。至於完全以木材、竹材等天然纖維建材或液態建材、鋁門窗、金屬門窗、玻璃，其完全不含有石綿成份之可能性者，得採書面聲明「不含石綿」的方式為之。
- 第(八)項「室內裝修建材應進行甲醛及 TVOC 逸散檢測」之規定，用以確保居住者室內環境健康的基本性能。但產品的成分均明顯不產生逸散，或透水鋪面等明顯使用於戶外之建材，經評定專業機構之分類評定小組審查且同意者，不在此限。

另根據經濟部檢驗局《耐燃建材商品檢驗作業規定》第 2 條規範，該規定適用範圍為以下應施檢驗耐燃建材類商品：

(1) 板材類：

- 岩棉裝飾吸音板：限其厚度為相關國家標準所規定之最小厚度以上至二十毫米者。
- 矽酸鈣板、纖維水泥板、再生纖維水泥板、水泥黏結木絲板、水泥黏結木片板、石膏板、爐渣石膏板、外裝用纖維強化水泥板之裝飾外裝板（D 種類）、耐燃硬質纖維板、耐燃輕質纖維板及耐燃合板：限其厚度為相關國家標準所規定之最小厚度以上者。

(2) 壁紙類：宣稱具防火、耐燃、防焰等有關性能之壁紙（布）。

該規定明確指出，耐燃建材的檢驗標準中禁止含有石綿成分。為確保登錄或報驗的耐燃建材產品符合無石綿要求，經濟部檢驗局要求檢測以確認不含石綿，避免含有石綿的產品進入市場，保障消費者健康與安全。

三、 驗證機制發展需求研析與建議

經評析，低碳建材已有內政部指定的專業機構負責審查低碳建材的標示申請，而再生綠建材則依材料類別，其應使用一定比率之回收材料，且回收材料使用比率以重量百分比計算，且根據現行規定，雖然未達到規定的回收材料使用比率，無相關罰則或強制措施約束，但舊有建築拆遷如使用再生綠建材則可以申請補助津貼，故存在循環建材再生材料添加比例驗證需求。而於環境安全性而言，目前國內已針對產製的建材內疑慮物質如石棉、重金屬、甲醛等進行商品檢驗，於循環再利用產品則無驗證機制發展需求。

◆ 戰略項目

一、 國外需求及問題說明

因應戰略項目中的鋰電池循環，目前歐盟於綠色新政(Green Deal)和新循環經濟行動計畫(New Circular Economy Action Plan)提及打造數位化歐洲的相關措施，並提出產品數位護照的概念，並把產品數位護照納入永續產品設計法規草案(Ecodesign for Sustainable Products Regulation, ESPR)，並要求產品數位護照揭露其生命週期中的資訊，其資訊包括材料組成(再生料添加比例)、碳足跡、環境足跡、能源使用、可維修性、環保標準合規性及回收指引等，於 ESPR 法規下預計優先規範之產品種類含紡織品、建材、電池、包裝品、化學品及消費性電子產品等，其中有幾項產品已開始著手規劃與建立，如紡織品和電池，為產品數位護未來推動進度與規劃如圖 3.2-9。

紡織品已於前述研析成果內，本計畫列為具資源循環落實與否的驗證需求，故此不多加贅述。針對電池部分，歐盟頒布電池法規(Battery Regulation)，於便攜式電池、輕型交通運輸工具電池等設定常見金屬（鋰、鈷、銅、鉛、鎳等）於 2027

年前設有階段性回收率目標，其中相關電池使用回收料占比規範如表 5。由此可知產品數位護照應詳實揭露該電池是否使用回收料及其添加比例，而其資訊是否屬實，如添加的再生料是否確實為資源循環材料，目前國際間仍商討中，目前僅已知可能會使用如 UL 2809 再生料含量驗證的標準進行實施。



資料來源：環境部 112 年，產品數位履歷規劃與模式專案工作計畫

圖 3.2-9、產品數位護照未來推動進度規劃

表 3.2-5、電池使用回收料占比

項目	新電池製造使用回收料占比
法規生效後的 8 年	鈷：16%、鉛：85%、鋰：6%及鎳：6%
法規生效後的 13 年	鈷：26%、鉛：85%、鋰：12%及鎳：15%

另循環經濟行動計畫 (Circular Economy Action Plan; CEAP)中 2020 年歐盟提出歐盟電池指令(EU Battery Directive)提及針對 2KW 以上的充電樁及電動車電池產品設立 DPP 資訊數據庫，後續在新《循環經濟行動計畫》，設置 DPP 擴及紡織、資通訊產品、家具、鋼鐵、水泥、化學等產品，強調在產品生命週期各階段從基礎材料生產到廢棄處理，進行循環經濟設計與管理，而針對各項目 DPP 護照推動期程，如環境汽車 DPP 於 2026 年推動、紡織品 DPP 於 2027 年推動等，如圖 3.2-10 所示。雖然目前已有規劃鋼鐵跟汽車 DPP 推動時程圖 3.2-9，但對於再生料添加比例目前還不明。

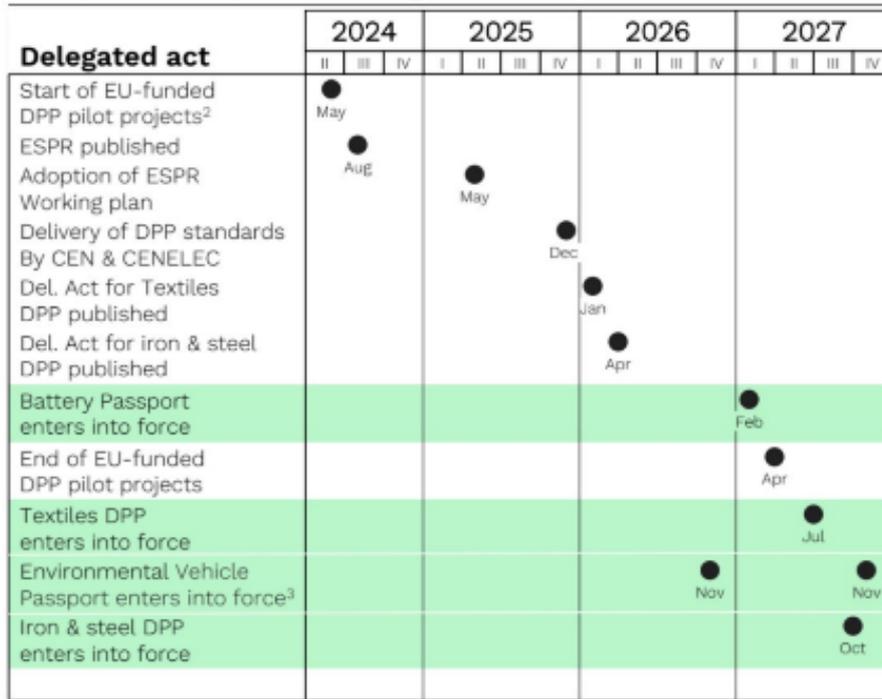


圖 3.2-10、DPP 推動期程

二、國內需求及問題說明

環境部資源循環署於 113 年 8 月 19 日提出的「115-118 年中長期資源循環淨零科技擴散應用計畫(草案)中」，將優先針對戰略項目（生物質循環、太陽光電板循環、風機葉片循環、食品產業廢棄物減量及循環利用、低碳酸級氟化鈣製程與產品效能驗證、玻璃纖維低碳資源循環、廢鋰電池資源循環技術，以及廢鋰電池資源循環技術、無機資源循環技術）進行推動，且針對其再生商品發展認驗證機制及檢測技術。而根據循環署所列戰略項目中，僅無機資源循環技術有明確之再生商品，亦即無機再生粒料，包括轉爐石、氧化碓、還原碓、焚化底渣、營建廢棄物等製成之再生粒料；臺灣鋰電池資源產業協會指出，為將鋰電池稀貴資源循環有效再利用，打造全台 Battery to Battery 汰役鋰電池閉鎖循環經濟生態系，提供汰役鋰電池回收、破碎、純化、精煉、再生產之完整閉鎖循環生命週期技術解決方案，因此國內鋰電池回收再生產技術應屬明確。其他戰略項目多處研究規模或試量產規模，尚未到正式商轉，如(1)風機葉片含纖維強化複材(Fiber Reinforced Polymer, FRP)，目前正在執行其水泥窯去化之可行性評估或綠色化學解聚回收分離出再生玻纖和樹脂寡聚物；(2)氟化鈣污泥回收再製成氫氟酸技術等。

目前尚處實驗室等級或研究等級，如氟化鈣污泥如申報為 R-0910，須根據《經濟部事業廢棄物再利用管理辦法》附表，編號三十八氟化鈣污泥再利用管理辦法進行再利用，規範之運作管理為 1.再利用機構應具備秤飼及水泥旋窯等設備、2.再利用後之剩餘廢棄物應依廢棄物清理法相關規定辦理、3.再利用用途之產品品質應符合國家標準。如再製為氫氟酸則不屬經濟部事業廢棄物再利用管理辦法之內容，因此應依事業廢棄物清理法申報其處理流向、機構、量甚至其處理方式。目前該用途與最終流向、量應詳細登載於事業廢棄物申報及資訊管理系統，惟不屬於環境部公告「應進行流向追蹤之事業廢棄物再利用產品」辦法之管理範疇，是否需針對其產品具有化學物質危害性列入相關管理辦法，目前未知。另外環境部資源循環署為促進廢風力引擎（渦輪）用葉片之資源循環再利用，預為因應未來廢風機葉片回收處理及有效管理廢風機葉片之處理方式，新增「廢風力引擎（渦輪）用葉片之廢棄物代碼(D-2417)」，藉以健全回收處理、精進管理機制，以及促進資源循環。

另氟化鈣再利用若作為水泥生料的產品，屬通案再利用，該產品於事業廢棄物資訊及申報管理系統直接以 R 類代碼進行申報，並且製成產品後亦須登載至「資源再利用管理資訊系統」，包含材料來源、用途、與最終去向。若為一般事業廢棄物 D 類代碼，則需於「事業廢棄物申報及管理資訊系統」進行申報，如進一步製成人工螢石、控制性低強度回填材料(CLSM)及鋼鐵業助融劑等，以上目前具有事業廢棄物申報聯單追蹤其流向及再利用方式，但同樣非環境部納管之應進行流向追蹤之事業廢棄物再利用產品。

三、 驗證機制發展需求研析與建議

無機資源再生商品而言，環境部為推動事業廢棄物妥善管理及再利用，廢棄物清理法早於 106 年 1 月 18 日修正公布，新增第 39 條之 1 規定，依其授權公告「應進行流向追蹤之事業廢棄物再利用產品」，公告煤灰、廢鑄砂、電弧爐煉鋼爐渣(石)、感應電爐爐渣(石)、化鐵爐爐渣(石)及廢噴砂等 6 項廢棄物及再利用許可案，列為應進行產品流向追蹤之公告對象，由各目的事業主管機關進行其再利用後之產品流向追蹤，故現有機制已相當完善。

而上述提及電池回收再製，於二次鋰電池中添加再生料比例，為歐盟電池法規內明月規範內容，故於電池項目中可能具再生材料添加比例之驗證需求。經評析，建議建立電池數位化流向追蹤系統，以驗證國內電池回收體系的循環落實性，而針對國際上電池使用回收料占比，未來可能存在鈷、鉛、鋰及鎳等二次料再生料驗證技術需求。而氟化鈣污泥回收再製成氫氟酸、或風力葉片回收再製成再生玻纖或再生碳纖，依據目前國內事業廢棄物申報及資訊管理系統搭配資源再利用管理系統可能已足以追蹤其資源循環再利用情形，而這些再生氫氟酸、再生碳纖或再生玻纖未來可能亦具有再生料驗證技術，以證明其確實為循環再利用產品。

總整上述蒐研資料，4+3 循環項目之國內外需求及發展需求彙整表，如表 3.2-6 所示。

表 3.2-6、4+3 循環項目之國內外需求及發展需求彙整表

循環項目	國外需求及問題說明	國內研究方案/技術發展趨勢	驗證機制發展需求
熱塑性塑膠 (非食品包裝材)	<ul style="list-style-type: none"> • 歐盟一次性塑膠指令 • 美國塑膠公約 • 美國「綠色和平」再生塑膠可能含有毒物質 	<ul style="list-style-type: none"> • 部分文獻探討塑膠材質(如 PET、PE)的再生料添加比例，多集中於鑑別再生料與原料 • ISCC PLUS 認證、全球再生標準(GRS)、回收再生聲明標準(RCS) • 美國與歐盟要求塑膠回收用於食品包裝須通過挑戰測試，但未涵蓋相關疑慮物質 	<ul style="list-style-type: none"> • 國內有 GRS、RCS 等標章及挑戰測試，建議結合數位化與科學驗證強化再生料管理 • 建議建立塑膠再利用產品的環境安全基線資料，釐清重金屬與塑化劑含量，並評估
熱塑性塑膠 (電子電器塑膠)	<ul style="list-style-type: none"> • 國際推動永續電子產品認證及再生料標準，歐盟鼓勵循環電子 • 世界經濟論壇聚焦再生材料使用、延長壽命及回收機制 	<ul style="list-style-type: none"> • 電子電器塑膠材質(如 PC、PC/ABS、ABS、PMMA)文獻多探討性能與耐用性，少數提供再生料鑑別技術(如 ABS/rABS) • 參照非食品包裝材的文件履歷系統、UL 2799 標準，要求回收材料含量達一定比例 	<ul style="list-style-type: none"> • 建議發展數位化流向追蹤技術以確保再生電子電器塑膠產品回到再生產品中，並可逐步建立相關再生料與否的驗證技術
橡膠殘餘物	<ul style="list-style-type: none"> • 歐盟未強制使用再生橡膠，但循環經濟政策鼓勵其應用 • ECHA 規定再生橡膠填充人造草皮須符合 REACH 法規，控制 PAHs 等有害物濃度 	<ul style="list-style-type: none"> • 我國無強制性再生橡膠比例規定，唯申請環保標章者需符合《塑膠橡膠再生品環保標章規格標準》要求，即須使用 100% 國內回收塑橡膠。符合標準的產品可享徵收費率 95 折優惠 	<ul style="list-style-type: none"> • 再生橡膠目前主要應用於隔音材料、緩衝地墊、道路等，考量其安全性，輪胎中添加 100% 再生料風險高，現階段無綠色費率誤領問題。但可能隨國際趨勢及國內政策演變，具驗證機制需求
焚化飛灰	<ul style="list-style-type: none"> • 焚化飛灰多被視為有害廢棄物，國外主要用於水泥或建材，但須先無害化處理或隔離。荷蘭、法國等少數國家有再利用，但嚴控有害成分 	<ul style="list-style-type: none"> • 焚化飛灰含重金屬、戴奧辛及高氯鹽物質，前兩者具健康風險，氯鹽則影響再用品質。宜蘭縣與台北市推動水洗飛灰技術，降低污染後作為水泥替代原料使用。 • 我國飛灰應用於綠建材缺乏強制添加比例規範，多由廠商自主決定，影響推廣與品質提升 	<ul style="list-style-type: none"> • 焚化飛灰含重金屬及戴奧辛，建議納入「流向追蹤事業廢棄物」管理，建立追蹤機制並進行再利用產品污染物溶出基線調查 • 依綠建材評定要項，研議飛灰在再生綠建材中的摻配比率驗證需求
焚化底渣	<ul style="list-style-type: none"> • 國內多用於混凝土磚、道路基底及瀝青混凝土等，符合國際廢棄物資源化趨勢。荷蘭與德國應用於路堤與路床 • 日本依廢棄物來源與用途制定 JIS 規格(如 JIS A 5031、JIS A 5032)，並以 JIS K 	<ul style="list-style-type: none"> • 焚化底渣需求增加，主要用於建築材料、回填及路堤填築。底渣經處理可回收金屬與無機物，並安全再利用 • 環境部自 2002 年起推動政策，規範再利用標準與品質監控，國內採三級品管，包括源頭申報、流向 	<ul style="list-style-type: none"> • 為確保底渣再利用產品安全，環境部建立流向管理系統及粒料品質規範，採資訊化技術追蹤管理 • 自 110 年起修訂規範，採用 NIEAR222 檢測方法，參照地下水污染管制標準進行分

循環項目	國外需求及問題說明	國內研究方案/技術發展趨勢	驗證機制發展需求
	0058 檢測環境安全,確保產品符合安全標準	檢查及現場核查	<p>級管理,強化品質管控</p> <ul style="list-style-type: none"> 目前國內已建立完善的底渣再利用驗證機制
紡織品	<ul style="list-style-type: none"> 聯合國2018年發起「時尚產業氣候憲章」,目標2030年減排30%,Adidas、Gap、H&M、NIKE等品牌響應 2023年全球紡織產量達124百萬公噸,回收纖維占7.7% 	<ul style="list-style-type: none"> 德國 TURNS GmbH 與 Tailorlux GmbH 利用纖維追蹤技術與光譜分析驗證紡織品再生棉含量 Waste2Wear 於2019年推出 RA-3 Standard®,以化學分析、顯微鏡評估與文件驗證確定紡織品是否由回收 PET 瓶製成 Centexbel 研究再生棉的顏色、纖維缺陷與長度,以及再生聚酯纖維的 PET 來源分析 	<ul style="list-style-type: none"> 在建立紡織再生纖維的驗證機制時,除數位化追蹤管理系統,建議亦可同步發展科學化的纖維材料驗證技術(如再生回收棉科學驗證技術)
循環建材	<ul style="list-style-type: none"> 美國綠建築評估系統 LEED 於「材料與資源」中要求,10-20%材料須為回收材方可得分。承包商需提供材料來源文件,說明消費前後回收百分比以計算回收含量 	<p>循環建材指以回收材料製成的新建材,分為低碳建材與再生綠建材</p> <ul style="list-style-type: none"> 低碳建材:依《建築蘊含碳排標示作業要點》降低建材生產與施工過程碳排 再生綠建材:須提供回收材料來源與摻配比例,並符合《營建廢棄物再利用管理》,避免含石棉、重金屬等限制物質 	<ul style="list-style-type: none"> 低碳建材由內政部指定機構審查標示申請,再生綠建材需符合回收材料使用比率並以重量百分比計算。內政部推動老舊建築拆遷使用再生綠建材可申請補助,循環建材再生料添加比例具驗證機制發展需求 目前已有檢驗方法及規範值,檢測石棉、重金屬、甲醛等物質
戰略項目	<ul style="list-style-type: none"> 歐盟在綠色新政和新循環經濟行動計畫中提出產品數位護照的概念。產品數位護照要求揭露生命週期資訊,包括再生料添加比例、碳足跡、環境足跡等 優先規範產品種類含紡織品、建材、電池、包裝品、化學品及消費性電子產品等 	<ul style="list-style-type: none"> 除鋰電池與無機資源具成熟再生技術外,多數戰略項目仍處研究或試量產階段。如:(1)評估風機葉片含 FRP 以水泥窯去化或綠色化學解聚回收玻纖與樹脂;(2)氟化鈣污泥回收再製氫氟酸技術等 氟化鈣污泥(R-0902)回收為氫氟酸,風力引擎葉片(D-2417)解聚為再生玻纖或碳纖,未來需依《事業廢棄物清理法》申報流向,但尚未納入環境部流向追蹤管理範疇 	<ul style="list-style-type: none"> 歐盟要求二次鋰電池添加再生料比例,建議建立電池數位化流向追蹤系統,以驗證國內電池回收體系的循環落實性 再生氫氟酸、再生碳纖或再生玻纖可能具再生料驗證技術,以證明其確實為循環再利用產品

3.2.3 「資源循環減碳效益驗證機制研擬討論」專家諮詢會

一、專家諮詢會辦理情形與成果

本計畫辦理 1 場次「資源循環減碳效益驗證機制研擬討論」專家諮詢會議，進行以上驗證機制未來發展方向向專家請益，以下為專諮會的會議規劃：

- (一) 辦理目的：確認本計畫針對 4+3 個循環項目（包括熱塑性塑膠、飛灰、橡膠殘餘物、底渣、紡織、循環建材及戰略項目）研提出驗證標的與建議發展方向符合國內政策需求及國際趨勢，並提請各領域專家針對發展建議予以評分，以提供國環院短、中、長期的研究發展建議。
- (二) 會議時間：113 年 11 月 15 日，下午 13:30。
- (三) 會議地點：集思北科大會議中心（億光大樓），304 岱爾達廳。
- (四) 會議主席：國家環境研究院 巫月春 副院長。
- (五) 會議議程：如表 3.2-7。
- (六) 專家名單：如表 3.2-8。
- (七) 會議照片：如圖 3.2-11。

表 3.2-7、「資源循環減碳效益驗證機制研擬討論」專家諮詢會議程

時間	主題	主講人
13:30-13:40	主席致詞	巫月春 副院長
13:40-14:00	資源循環及減碳效益驗證機制成果簡報	計畫主持人/ 協同主持人
14:00-15:30	綜合討論	與會人員
15:30-15:40	結論/散會	巫月春 副院長

表 3.2-8、專家諮詢會委員名單

姓名	單位名稱	職稱	專長備註
王文裕	朝陽科技大學環境工程與管理系	教授	資源回收技術、能源管理與溫室氣體管制
林凱隆	國立宜蘭大學環境工程學系	教授	廢棄物資源化技術、污泥回收再利用技術、焚化灰渣資源化技術
林子翔	財團法人塑膠工業技術發展中心	組長	再生料溯源驗證輔導、產業循環經濟與國際政策趨勢分析研究
鄒倫	臺灣循環經濟與創新轉型協會	榮譽理事長	環境趨勢與策略、企業永續實務
蔡振球	財團法人工業技術研究院	總監	廢棄物處理、環境管理、綠色產品
呂穎彬	財團法人工業技術研究院	經理	環境管理、循環經濟、半導體、電子零組件及材料、環安
李若華	財團法人紡織產業綜合研究所	組長	紡織永續驗證、紡織產業生態化設計之研究
黃榮堯	財團法人臺灣營建研究院	執行長	營建循環、營建管理



圖 3.2-11、資源循環及減碳效益研擬討論專家諮詢會議

二、專家諮詢會議重點摘要

計畫綜整專家諮詢會意見並進行重點摘要，再分類各意見後，將其分為驗證優先項目策略建議、技術挑戰與數位化需求、驗證機制的設計與發展與其他建議之主軸，茲分述說明如下。

(一) 驗證優先項目策略建議

1. 考量未來資源配置，建議可考量經濟價值高（如**塑膠、紡織品**）和環境爭議大（如**飛灰、底渣**）為最優先，其次再依其他需求項目進行驗證。其中，價值高之材料應建立數位化履歷管理系統，予以驗證資源循環材料身份真偽，科學檢測技術得為輔。價值低之材料（通常需要負擔較高處理或再利用費用）則有可能被任意棄置，應建立流向追蹤管理系統。
2. 目前焚化底渣及焚化再生粒料已制定粒料品質規範，焚化再生粒料再利用驗證機制完善，其餘**熱塑性塑膠、橡膠殘餘物、紡織品**等項目均具驗證機制發展需求。
3. 歐盟電池及廢電池法規規定，自 2027 年起，**電池**需提供數位電池護照訊息，這是首個以授權立法方式規範的產品類別。因此，數位化流向追蹤技術的需求將加速到來。

(二) 技術挑戰與數位化需求

1. 考量驗證的新需求，未來可先建置數位化驗證管理，而採樣與檢測技術發展，則可依國際間技術發展成熟度逐年建構之。
2. 以科學技術輔助現存履歷追溯管理系統於熱塑性塑膠現階段驗證機制需求較為合適，數位化履歷管理系統可將物質流向數據透明化，亦具有品牌加值效益。如未來得由國家或非民營單位擔任第三方驗證機構，驗證其數位化系統，則更可強化數位化履歷管理系統之可信度。驗證機制設計與發展。

(三) 驗證機制的設計與發展

1. 針對資源循環推動發展不同進程，對「再生料安全性」及「再生料與否驗證」有不同的需求程度，如再生料使用初期階段，安全性及效能驗證較重要，如目前循環建材已有相關示範計畫推廣，但礙於市場對於循環建材接受度不高，故驗證其循環建材效能及安全性具短期發展需求；反之如塑膠、紡織品等其循環材料使用發展許久，目前因應國際政策法規、企業社會責任等普遍使用時，則驗證再生料與否甚至添加比例方具有發展需求。。
2. 驗證機制需明確公私部門的角色分工：公部門負責健康風險把關及推動再生料使用規範，並作為補貼與經濟工具的依據；私部門則在製造端制定產品與再生料使用規範，在回收端提供再生料分析報告，消費者則透過監督產品品質，確保驗證機制的公信力與實效性。

(四) 其他建議

1. 有兩位專家提供單獨驗證機制需求，包含循環建材再生材料添加比例之再生材料環境工程與安全性與紡織再生纖維比例（聚酯纖維、棉、人造纖維、尼龍、其他合成纖維等）之數位流向追蹤系統科學檢測。

本次專諮會除請委員提供意見外，亦請委員針對技術發展的優先順序與急迫性進行評分，以作為後續設定短、中、長期研究發展方向建議（滿分 10 分代表需發展其驗證機制），專家評分結果如表 3.2-9。

表 3.2-9、專家評分結果

驗證項目	驗證項目	驗證內容	平均
熱塑性塑膠	非食品包裝材的再生塑膠比例 (泛用塑膠如 PET、PP、PE、PS 等)	數位流向追蹤系統	8.4
		再生料科學檢測技術	7.9
		再生塑膠中不純物基線研究	7.9
	電子電器塑膠的再生塑膠比例 (電子電器塑膠如 PC、PC/ABS、ABS、PMMA 等)	數位流向追蹤系統	8.6
再生料科學檢測技術		7.6	
橡膠	再生橡膠或其添加比例	數位追蹤流向系統	7.4
		再生料科學檢測技術	5.1
飛灰 (焚化飛灰)	再生材料添加比例 (如水泥、其它建築材料)	數位流向追蹤系統	8.4
		再生建材飛灰添加比例	5.8
		循環再製產品環境安全性基線研究	8.8
紡織	再生纖維比例(聚酯纖維、棉、人造纖維、尼龍、其他合成纖維等)	數位流向追蹤系統	8
		再生料科學檢測技術	6.6
循環建材	再生材料添加比例	再生材料環境工程與安全性	8
		再生料科學檢測技術	6.4
戰略項目	電池中回收料添加比例 (如鋰、鈷、鉛、鎳)	數位流向追蹤系統	8.6
		再生料科學檢測技術	8.0
	氟化鈣污泥回收再製氫氟酸	再生料科學檢測技術	4.7
	風力葉片回收再製再生玻纖、再生碳纖	再生料科學檢測技術	5.3

*人造纖維如嫻縈、醋酸面料或天絲等。

*其他合成纖維如聚丙烯(Polypropylene)、壓克力纖維(Acrylic)、氨綸(Spandex)又俗稱萊卡纖維等。

*電池包括廢棄便攜式電池(Portable batteries)，電動汽車電池(Industrial batteries)，工業電池，啟動、照明和點火電池(主要用於車輛和機械)(Starting, lighting and ignition batteries, SLI batteries)、輕型交通工具電池(如電動自行車、電動輕便摩托車、電動滑板車)(light means of transport batteries, LMT)。

三、短、中、長期研究發展建議

綜整計畫蒐整資料與專家學者諮詢結果，優先將 8 分以上列為短期發展項目、6.5-7.9 分列為中期發展項目、最後則 6.5 分以下列為長期發展項目，並根據其結論提出短、中、長期之研究發展方向建議，茲分述說明如下。

(一) 短中長期研究發展方向

1. 短期：8 分以上

- (1) 再生料驗證技術：戰略項目（電池中回收料添加比例）。
- (2) 數位流向追蹤系統：熱塑性塑膠（非食品包裝材的再生塑膠比例）、熱塑性塑膠（電子電器塑膠的再生塑膠比例）、焚化飛灰（再生材料添加比例）、紡織（再生纖維比例）、戰略項目（電池中回收料添加比例）。
- (3) 循環再製產品環境安全性基線研究：焚化飛灰（再生材料添加比例）及循環建材。

2. 中期：6.5-7.9 分

- (1) 再生料驗證技術：熱塑性塑膠（非食品包裝材的再生塑膠比例）、熱塑性塑膠（電子電器塑膠的再生塑膠比例）、紡織（再生纖維比例）。
- (2) 數位流向追蹤系統：橡膠（再生橡膠或其添加比例）。
- (3) 再生塑膠中不純物基線研究：熱塑性塑膠（非食品包裝材的再生塑膠比例）。

3. 長期：6.5 分以下

- (1) 再生料驗證技術：橡膠（再生橡膠或其添加比例）、循環建材（再生材料添加比例）、戰略項目（氟化鈣污泥回收再製氫氟酸）、戰略項目（風力葉片回收再製再生玻纖、再生碳纖）。
- (2) 再生建材飛灰添加比例：焚化飛灰（再生材料添加比例）。

(二) 短期優先研究發展方向與作法

1. 再生料科學檢測技術：歐盟電池法規內明文規範內容，二次鋰電池中添加再生料比例，而針對國際上電池使用回收料占比，設定常見金屬（鋰、鈷、銅、鉛、鎳等）於 2027 年前設有階段性回收率目標。
2. 數位流向追蹤系統：

- (1) 國內目前與國外一樣設有軟性的標章驗證制度，如 GRS、RCS、藍天使，但國外有些針對再生料科學驗證技術，如英國訂定塑膠稅，即發展出一 BSI 方法進行產品容器的再生料添加比例驗證，以輔助監管文件履歷系統，故建議文件管理系統可以發展數位性，源頭原生料和再生料則以科學驗證輔助查核機制，兩者相輔相成。
 - (2) 若透過此文件證明前提為廠商所聲稱的再生料確實屬實，如前端再生料聲明書即存在造假疑慮，則後續製程上的質量平衡亦會失真，建議後端流向追蹤導入數位化流向追蹤技術以確保再生電子電器塑膠產品回到再生產品中。
 - (3) 由於焚化飛灰含有重金屬、戴奧辛等污染物質疑慮，未來可能須列入環境部法規公告「應進行流向追蹤之事業廢棄物再利用產品」辦法之管理範疇，再製成產品後是否應針對產品用途如焚化底渣再利用為港灣填築定期進行環境監測，目前亦未知，建議建立焚化飛灰流向追蹤機制。
 - (4) 歐盟電池法規內明文規範內容，二次鋰電池中添加再生料比例，故於電池項目中可能具再生材料添加比例之驗證需求，建議建立電池數位化流向追蹤系統，以驗證國內電池回收體系的循環落實性。
3. 循環再製產品環境安全性基線研究：焚化飛灰含有重金屬、戴奧辛等污染物質疑慮，未來可能須列入環境部法規公告「應進行流向追蹤之事業廢棄物再利用產品」辦法之管理範疇，再製成產品後是否應針對產品用途如焚化底渣再利用為港灣填築定期進行環境監測，目前亦未知，建議除建立焚化飛灰流向追蹤機制，應進行相關再利用產品污染物溶出之基線調查研究。

四、結論

本次專諮會委員意見提及資源循環減碳效益驗證應優先聚焦高價值且環境敏感的材料（如塑膠、紡織品、飛灰），並以數位化流向追蹤與檢測技術結合，提升驗證透明度與應用價值，且驗證機制可分階段推進，初期強調安全性，成熟後聚焦再生料添加比例，並結合 AI 與物聯網技術實現全流程管理等。另強化公私部門分

工，公部門制定規範把關風險，私部門聚焦回收與應用分析。同時，參考國際法規趨勢（如歐盟數位電池護照），完善國內驗證制度，提升社會接受度並推動資源循環政策的全面落實。

根據計畫蒐整資料與專家諮詢結果，國環院研究方向以 8 分以上項目列為短期發展重點，包括電池中回收料添加比例之再生料驗證技術、非食品包裝材的再生塑膠比例、電子電器塑膠的再生塑膠比例、紡織品再生纖維比例之數位流向追蹤系統等，以及焚化飛灰（再生材料添加比例）與循環建材之環境安全性驗證等；6.5-7.9 分項目列為中期發展方向，如非食品包裝材的再生塑膠比例及再生纖維比例之再生料驗證技術等；6.5 分以下項目則作為長期發展規劃，如再生橡膠或其添加比例、氟化鈣污泥回收再製氫氟酸之再生料驗證技術等。

本次專諮會的意見與評分結果，作為短、中、長期研究發展方向的基礎，建立國內資源循環與減碳效益驗證機制並加以完善。

第四章 再生塑膠循環材料驗證方法

【章節摘要】

我國環境部為推動再生塑膠應用，訂定《非填充食品之塑膠再生商品推動作業要點》，要點目標為 2025 年再生料添加比例達 25%，2030 年達 30%，為促使產業自願性添加再生料，環境部頒布再生料添加達 25% 可享回收清除處理費優惠費率，給予經濟誘因。然而，目前環境部推動作業要點多以文件履歷追溯管理方式進行再生料添加比例計算，考慮到國內產品製程可能使用進口的再生原料(如再生酯粒)，可能為現有作業要點破口。為能驗證進口再生原料的文件可信度，擬建議同步發展原料(如酯粒)的再生料鑑別技術，以完善國內的再生塑膠推動作業。

計畫自國內再生塑膠供應鏈訪視出發，蒐集我國再生塑膠特徵影響因子、製程與產品用途及我國業者於塑膠回收管理策略建議。並先行自事業廢棄物申報及資訊管理系統查詢我國民國 111~112 年 D 類廢塑膠混合物和 R 類公告應回收塑膠材質申報量較大者，擇定採樣標的。樣品採集完成後，使用 BSI Flex 6228 方法建立我國原生及再生 PET 酯粒之特徵數據，並以 BSI Flex 6228 方法關係式計算其為再生酯粒機率值是否準確預判。結果顯示 BSI Flex 6228 方法於原生酯粒(不含紡用酯粒)預判準確度為 72%，而再生酯粒則為 100%。針對原生酯粒不適用 BSI 方法者，計畫利用熱示差掃描儀再次進行原生酯粒圖譜確認，並以原生酯粒圖譜是否具有第二階段升溫的結晶溫度及熔融峰無 α 峰進行特徵雙重確認(後稱為定性方法)，經定性方法程序輔助研判，可將原生酯粒預判準確度可提升至 100%。另計畫評估不同添加比例之再生料，其特徵雖有一定趨勢但並非線性關係，故 BSI Flex 6228 方法及定性方法並不適用於再生料添加比例推估。

4.1 再生塑膠驗證流程評估與研究

4.1.1 再生塑膠重要性與國內外發展現況

一、 塑膠產業與氣候變遷之關聯性

由聯合國政府間氣候變遷專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)於 2021 年 8 月 9 日公布氣候變遷第六次評估報告(IPCC AR6)-第一工作小組報告的最終版草案(final draft of WGI AR6)內提及，未來的全球暖化幅度將在 21 世紀超過 1.5°C 及 2.0°C，除非能有效抑制二氧化碳及其它溫室氣體排放量，否則人類將面臨諸多氣候異常情況。二氧化碳排放與人類大量開採、使用石油、煤炭等自然資源有關，塑膠為石化產業之產品，石油自地底下鑽探開採，運輸至石化工業提煉分餾，再經裂解反應產生石化基本原料，例如乙烯、丙烯、丁二烯、氯乙烯等，將上述基本原料亦為塑膠單體(Monomer)，經聚合反應(Polymerization)即可形成一高分子量的聚合物(Polymer)，此種聚合物分子量多於 10,000~1,000,000 g/mol 間，視終端產品需求加入顏染料、塑化劑、安定劑、阻燃劑、發泡劑、抗氧化劑等添加劑強化基材的加工性及物化性等，再經由各種成型加工工法製成塑膠產品，應用於日常生活中。

自塑膠發展以來，依據艾倫·麥克亞瑟基金會(Ellen MacArthur Foundation)於 2016 年[1]的調查結果顯示，過去 50 年內全球塑膠產量增加 20 多倍，意味著石化產業、塑膠製造業蓬勃發展。以歐洲塑膠(Plastics Europe)於 2023 年發表之 Plastics-the fast Facts 2023，全世界塑膠總產量達到 400.3 百萬噸，且自 2018 年仍逐年上升，其中以石化產製之塑膠仍為主要產品，總計生產 362.3 百萬噸如圖 4.1-1 所示。根據國際環境法中心(Center for International Environmental Law, CIEL)報告[19]，塑膠製品全生命週期(Life Cycle)從石油開採至廢棄焚化的碳排放量與 500 MW 燃煤電廠相比，2019 年二氧化碳排放量約為 0.86 Gt CO₂e (相當於 189 個燃煤電廠)，如果人類不調整任何製造或使用方式，於 2030 年預估將成長至 13.4 Gt CO₂e，2050 年則為 2.80 Gt CO₂e，如圖 4.1-2 所示[20]。

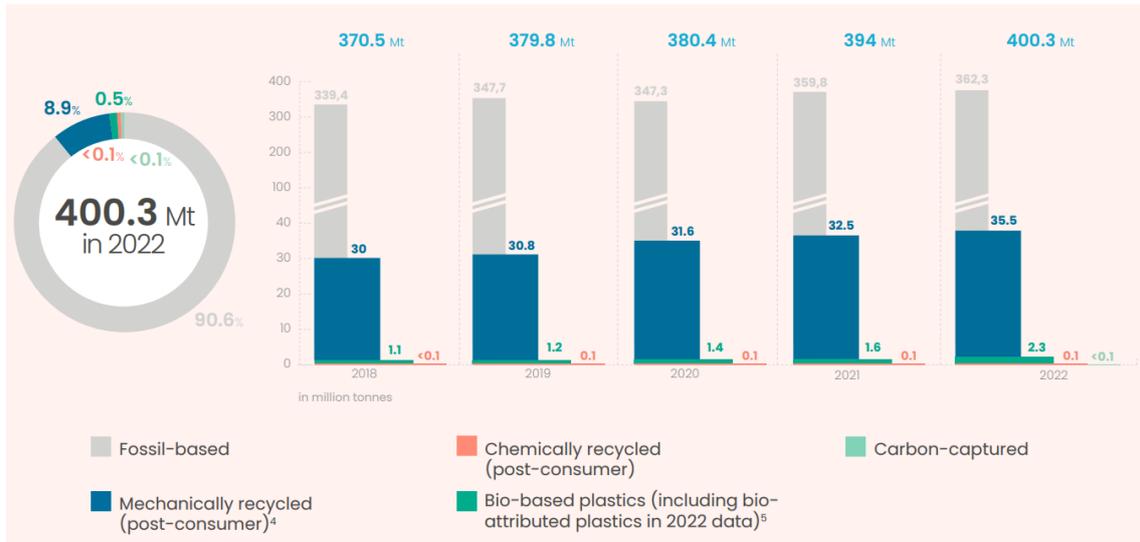


圖 4.1-1、全世界塑膠生產量

FIGURE 1
Emissions from the Plastic Lifecycle

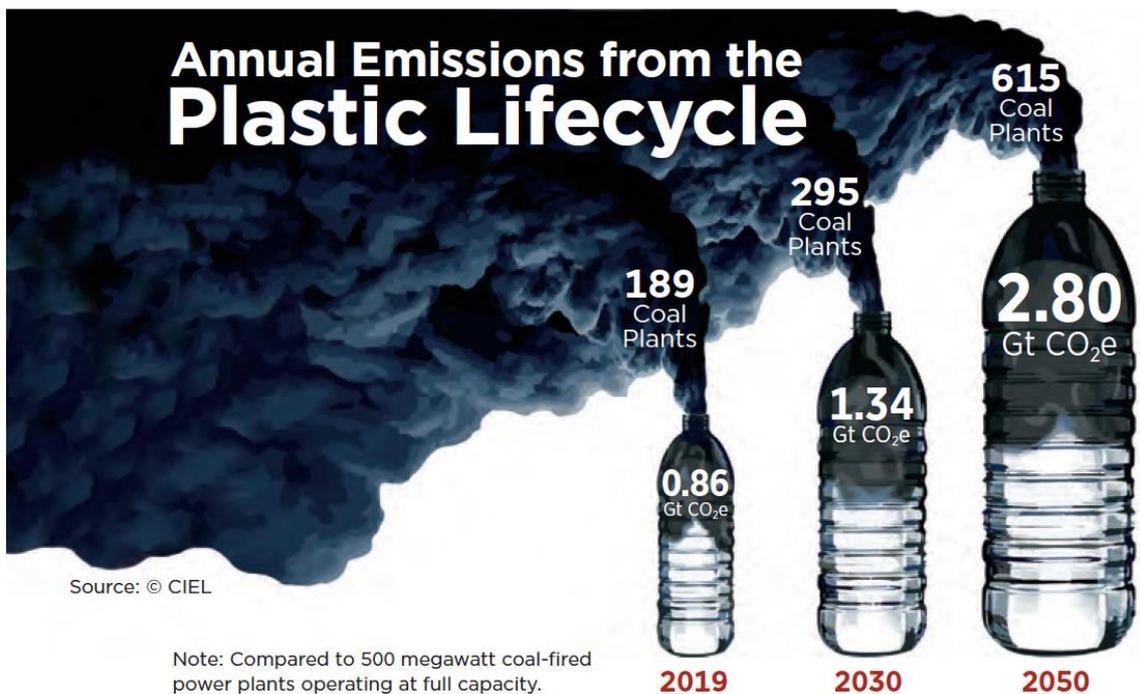


圖 4.1-2、塑膠生命週期年度碳排量

為避免全球氣候變遷問題日趨嚴重，艾倫·麥克亞瑟基金會呼籲各國應重新思考塑膠的未來，並提出新塑膠經濟願景，也就是透過循環經濟(Circular Economy)打破過去線性經濟思維，將資源透過再使用(Reuse)、減量(Reduse)、回收(Recycle)等 3R 思維重覆再利用。該基金會接續與聯合國環境署(United Nations Environment

Programme, UNEP)於 2018 年共同合作推動新塑膠經濟全球承諾(New Plastics Economy Global Commitment)，這項全球承諾涵蓋 1. 綠色設計，淘汰有問題或不必要的包裝、2. 重複使用，降低一次性包裝材、3. 塑膠包裝能 100% 重複使用 (Reuseable)、可回收(Recyclable)或可堆肥(Compostable)、4. 確保塑膠包裝重複使用、可回收或可堆肥是實際可執行的、5. 塑膠製造或使用應與石化資源完全脫鉤及 6. 塑膠包裝不含有害化學物質等六大面向，已有數百間塑膠產業如品牌商、零售業、回收商，以及各國政府與非政府組織等共同簽署，期透過實踐塑膠循環經濟，逐步降低塑膠產業的溫室氣體排放量。

二、國內外減塑發展現況

(一) 艾倫·麥克亞瑟基金會

新塑膠全球經濟承諾於簽署單位 4 年努力下，於 2022 年艾倫·麥克亞瑟基金會與 UNEP 共同發表的進度報告中針對上述六大面向執行現況[21]進行說明：

1. 相較於 2020 年，2021 年抽樣 380 個樣品，已有 22% 塑膠產品避免有問題或不必要的包裝。
2. 從 2019 至 2021 年，每年以 0.1~0.2% 降低一次性塑膠包裝。
3. 從 2019 至 2021 年，塑膠包裝材質可重複使用、可回收或可堆肥的占比自 63.2% 上升至 65.4%。
4. 從 2019 至 2021 年，消費後塑膠再生料(Post-Consumer Recycled, PCR)的使用比例自 4.8% 大幅增加至 10% 如圖 4.1-3 所示，若保持年增加 27% 以上，則有機會於 2025 年實現再生料使用比例達 26% 目標。
5. 在承諾中，參與簽署的企業必須要設定 2025 年減少塑膠包裝的總重量和/或塑膠包裝中原生塑膠的重量，截至 2021 年 10 月，70% 的簽署企業各自設定原生塑膠的減量目標，承諾剛簽署時原生塑膠產量呈下降趨勢，但於 2021 年又回升至 2018 年水平如圖 4.1-4。如以 2025 年為目標年，預計將原生塑膠產量降至 9.5 百萬公噸，則未來須年降 5.4%，方有望達成設定目標。

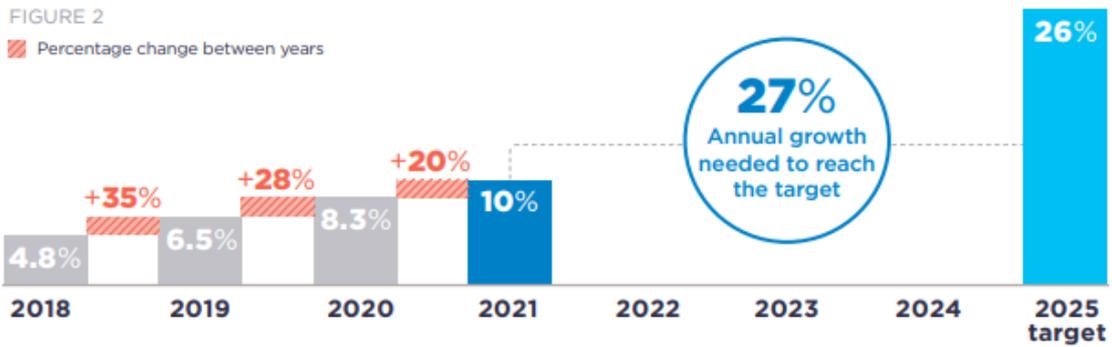


圖 4.1-3、EMF 新塑膠全球經濟承諾 2022 年 PCR 使用比例

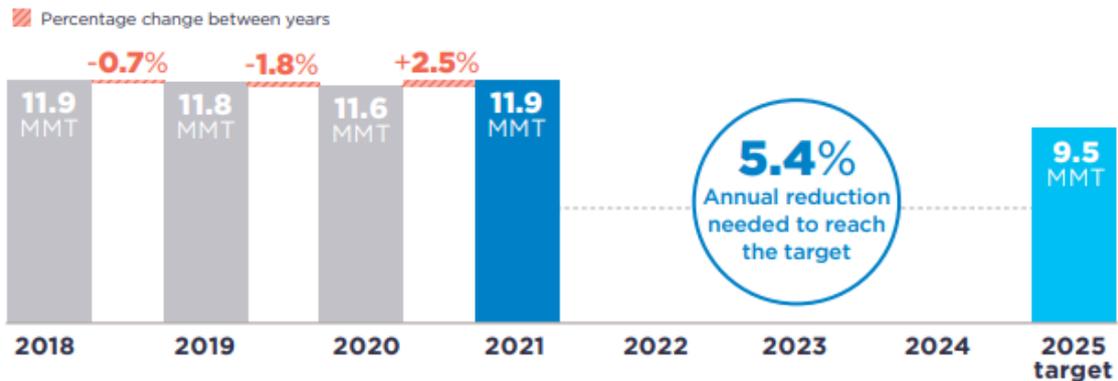


圖 4.1-4、EMF 新塑膠全球經濟承諾 2022 年原生塑膠產量

(二) 聯合國

2022 年 3 月 2 日，於第五次聯合國環境大會(United Nations Environment Assembly, UNEA 5.2)上，175 個國家及地區領袖，於肯亞首都奈洛比通過決議，將制定具法律約束力、涵蓋塑膠從生產、消費到廢棄整個生命週期的「全球塑膠公約」(Global Plastics Treaty)。為有效建立全球塑膠公約，聯合國成立政府談判委員會(Intergovernmental Negotiating Committee)於 2022 年開始進行 5 次會議，目標於 2024 年底完成公約內容，並開始實行。目前已於 2024 年 4 月 29 日於加拿大渥太華完成第四輪會議，本次會議主要根據公約草案公約草案(UNEP/PP/INC.4/3)進行討論[22[]]，各締約方應制定和實施國家計畫，以履行本公約規定的義務並實現其目標。國家計畫有其應符合的格式，且應至少包括以下相關要素：

1. 應採取必要措施，防止或減少原生塑膠的生產，降低可能對人類健康或環境造成的負面影響。譬如利用市場和價格措施、取消對原生塑膠生產的補貼或其它財政激勵措施、建立對原生塑膠製造商的監管等。

2. 不得於塑膠聚合物或塑膠產品中添加令人關切的化學品或聚合物。
3. 避免生命週期短和一次性塑膠產品開發與生產，以及有意添加的微粒塑膠 (Microplastic)。
4. 依據第三點，締約方在訂立塑膠淘汰目標或日期後，針對特定產品可有一次延長的豁免權。
5. 降低原生塑膠使用，提高塑膠原料的重複使用性(Reuseable)、可再填充性(Refill)、可維修性(Repair)、可翻新性(Renew)，以及成為廢棄物後的安全性，並且可進行再利用、再回收(Recycle)。

關於廢棄物再回收使用部分，意指**再生塑膠**，於目前預定文稿中提及**各國須對境內生產以及市面上販售之塑膠產品訂定再生塑膠含量百分比**，並透過一定措施讓再生塑膠使用目標得以廣為使用，譬如透過綠色公共採購、供應鏈目標研擬或鼓勵消費者行為改變等方式著手。

6. 促進創新及大規模的開發非塑膠材質的替代品。
7. 建立生產者延伸責任(Extended Producer Responsibility, EPR)，加強生產商、進口商在原生塑膠整個生命週期供應鏈中的對於環境危害、安全性的責任，以促進塑膠回收率提升。
8. 塑膠自生產、運輸、製造、使用、廢棄整個生命週期的排放，譬如有害物質的排放，關切化學品或聚合物的排放，或溫室氣體的排放。
9. 確保塑膠廢棄階段的蒐集、運輸、儲存、回收甚至最終廢棄等不同階段，均能達到再循環率，如不得已須處置，亦須確保環境友善。
10. 用於塑膠生產的化學品，或加入塑膠產品中的化學品或聚合物，各締約方應制定進出口須可要求。其中亦包括塑膠廢料亦不得越境轉移。
11. 塑膠污染包括海洋環境中的現有塑膠污染情形，各締約方應相互合作共同降低海洋塑膠污染。

從目前第三次會議中官宣的塑膠公約草案於再生塑膠部分確實會訂立其目標，並以強制性約束力降低原生塑膠生產、製造，並訂定一各國實施計畫的公版格式要求各國於公約約束力內訂立行動計畫，預期 2024 年底全球塑膠公約頒布後將對再生塑膠需求量大幅提升。

(三) 歐盟

2018 年歐盟委員會(European Commission)提出一項塑膠策略(EU Plastic Strategy)，以改善塑料的經濟價值、數量和再利用率 and 回收率，以減少塑膠污染，並期望塑膠生產能與石化燃料脫鉤，並於同年 5 月 28 日提出一次性塑膠指令(Directive on Single-Use Plastics)提案。隔年 7 月 2 日，一次性塑膠指令正式成為歐盟具約束力指令，所有歐盟會員國須予以頒布內法符合規定，其中與再生塑膠相關為指令第三點：聚對苯二甲酸乙二醇酯(Polyethylene Terephthalate, PET)飲料容器添加再生料，針對以 PET 為主要成分且不超過 3 公升的飲料瓶製造商要求 2025 年起，至少含有 25%的再生塑膠、2030 年起，至少含有 30%的再生塑膠。目前已知歐洲再生塑料推動情形彙整如表 4.1-1 所示：

表 4.1-1、歐洲再生塑膠推動情形

國家	推動內容	強制性/ 自願性
英國 [23]	<ol style="list-style-type: none"> 2022年4月起針對再生塑膠使用量低於30%的塑膠包裝將課徵塑膠包裝稅(Plastic Packaging Tax) 2025年所有塑膠包裝中再生塑膠使用量應達30%，且再生成分標籤化 英國(Waste and Resources Action Programme, WRAP)分年訂定之再生塑膠添加目標如表 4.1-2 	強制性
法國 [24]	<ol style="list-style-type: none"> 2020年法國針對再生塑膠實施經濟獎勵措施，給予財務支持，以彌合再生塑膠與原生塑膠間的價差 法國塑膠協議簽署4.3萬噸再生塑膠，鼓勵企業自願性添加與使用 	自願性
荷蘭	<ol style="list-style-type: none"> 荷蘭塑膠協議目前為自願性，設定2025年新產品和包裝產品中再生塑膠使用量應達35% 2025年後比照歐盟一次性塑膠指令指令，強制規範PET容器添加25%再生塑膠 	自願性

表 4.1-2、英國 WRAP 再生塑膠目標

項目	2023年	2025年
聚乙烯對苯二甲酸酯瓶 (Polyethylene Terephthalate, PET)	28%	50%
牛奶瓶	35%	50%
聚乙烯(Polyethylene, PE)瓶	20%	45%
PET盤	50%	55%
聚丙烯(Polypropylene, PP)盆/桶/托盤	30%	50%
PE薄膜	7%	18%

由於一次性塑膠指令包含許多面向，再生塑膠添加僅是其一，亦可透過禁止不必要的一次塑膠使用降低原生塑膠產量，譬如西班牙、義大利等兩國即是針對一次性塑膠課徵塑膠稅，而其它歐洲國家則如德國、比利時等多數禁止一次性塑膠使用。但歐盟指令是具有其法律強制性，假使會員國於目標年未達到預設目標，則歐盟之一次性塑膠指令則直接予以實施。

(四) 美國

在美國，州政府是在機構單位內行使政府職能的組織，其級別低於美國聯邦政府，美國每個州政府都在規定的地理區域內擁有立法、行政和司法權力。其中，華盛頓州已於 2021 年 10 月頒布禁用一次性塑膠袋法令，且至 2022 年 7 月 1 日前塑膠袋至少得含 20%以上再生塑膠；7 月之後塑膠袋再生塑膠含量須提升至 40%，同時新增紙袋也必須以 40%再生紙製成，且須於袋上標示「可重複使用」。紐澤西州則規定塑膠材質飲料瓶添加再生塑膠比例，2025 年至少須達 10%，2030 年至少須達 25%，2031 年須高達 50%以上；可重複使用之塑膠袋添加再生塑膠比例，2022 年達 20%，2025 年達 40%。

(五) 日本

日本環境省於 2019 年 5 月 31 日發表塑膠資源循環戰略[24]，以減少塑膠使用、替代原生物料、延長產品生命週期及提升回收為主，其中提升回收所訂定之量化指標為 2030 年塑膠容器與包裝回收再利用達 60%，2035 年塑膠回收或再利用（含熱回收）達 100%。

(六) 臺灣

為促進國內塑膠循環利用暨廢棄物減量，推動產業自願性使用塑膠再生料，環境部資源循環署於 111 年 11 月 3 日訂定「非填充食品之塑膠再生商品推動作業要點」，鼓勵事業於非填充食品之塑膠再生商品使用塑膠再生料，並訂定 2025 年再生塑膠添加比例達 25%，2030 年達 30% 之目標。且也從 2002 年開始推動相關的限速政策，目前已針對塑膠袋、飲料杯、塑膠吸管和免洗餐具等品項推動限制措施，2030 年將有機會擴大限用品項包括包材、網購包裝等。因應全球塑膠公約第五次談判刻正進行中，未來環境部將持續參考國際趨勢，修訂循環經濟促進法，並於 2025 年上半年度訂出 2035 年限塑目標。

三、 國內應回收塑膠與處理機制

(一) 塑膠特性分類

依塑膠材質特性不同，可區分為熱塑性塑膠(Thermoplastic)，熱固性塑膠(Thermosetting)，兩者最大的差異在於受熱是否容易軟化具有塑性(Plasticity)，熱塑性塑膠成形後冷卻變硬，但如予以加熱又可再加工成形。

熱塑性塑膠的分子，在造形(Molding)後形成直鏈型(Linear)結構，加熱到達特定溫度後，固態轉為熔融狀態，注入模具後即可再製成新產品，意指形變是可逆的。但熱固形塑膠分子則是產生三度空間的交鏈(Crosslinked)結構如圖 4.1-5，一旦固化後即無法重覆加熱使用，如以回收使用觀點而言，熱塑性塑膠相對環保且具有經濟價值。

熱塑性塑膠依加工用途又可細分為泛用塑膠和工程塑膠。泛用塑膠是指一般市面上常見、產量較大、用途廣、價格相對低廉等，而工程塑膠拉伸強度(Tensile Strength)、楊氏模量(Young's Modulus)、耐磨損和韌性等參數較高，主要應用在工業領域作機械結構材料的塑膠，分類詳圖 4.1-6。

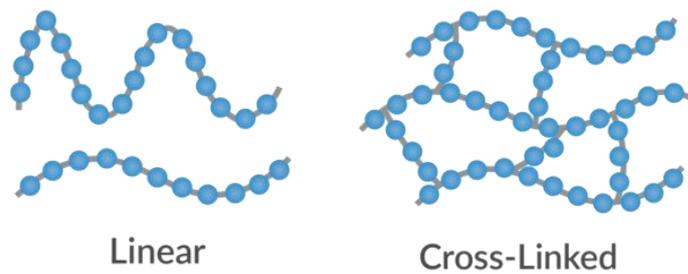
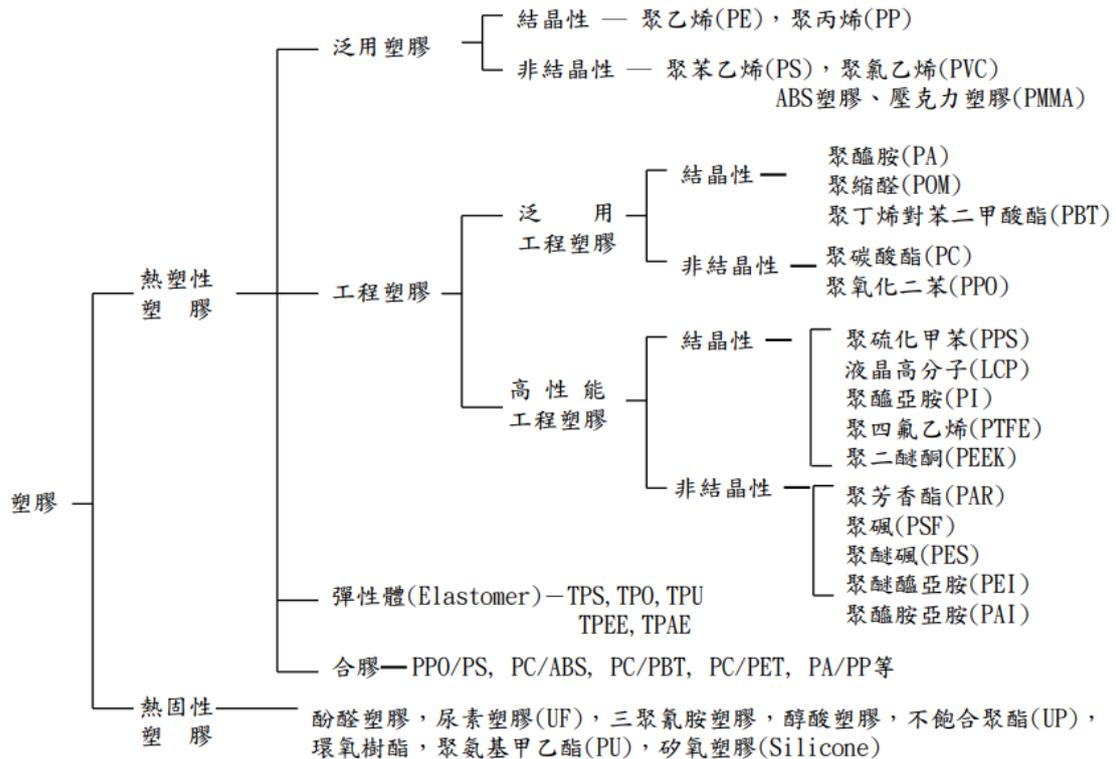


圖 4.1-5、塑膠結構圖



資料來源：「塑膠材料應用工程師」職能深化培育教材

圖 4.1-6、塑膠分類圖

(二) 我國塑膠回收四合一制度

環境部為有效推動資源回收系統及建立合理回收管道、市場制度而成立的「資源回收管理基金」，目前是由環境部資源回收管理基金管理會（以下簡稱為基管會）負責運作。為落實生產者延伸責任，對於公告應回收材質、容器、種類，環境部規定由製造業者或輸入業者（統稱為責任業者），按營業量或輸入量與核定費率繳納回收清除處理費，作為資源回收管理基金。

此筆管理基金會依過磅重量補貼予處理廠，以確保公告應回收資收物得到妥善循環再利用，也希望藉由此筆補貼讓處理廠願意以較高的價格向回收站點、消費者、清潔隊等購買應回收的資收物，國內資源回收管理制度系統體制繪製圖 4.1-7。

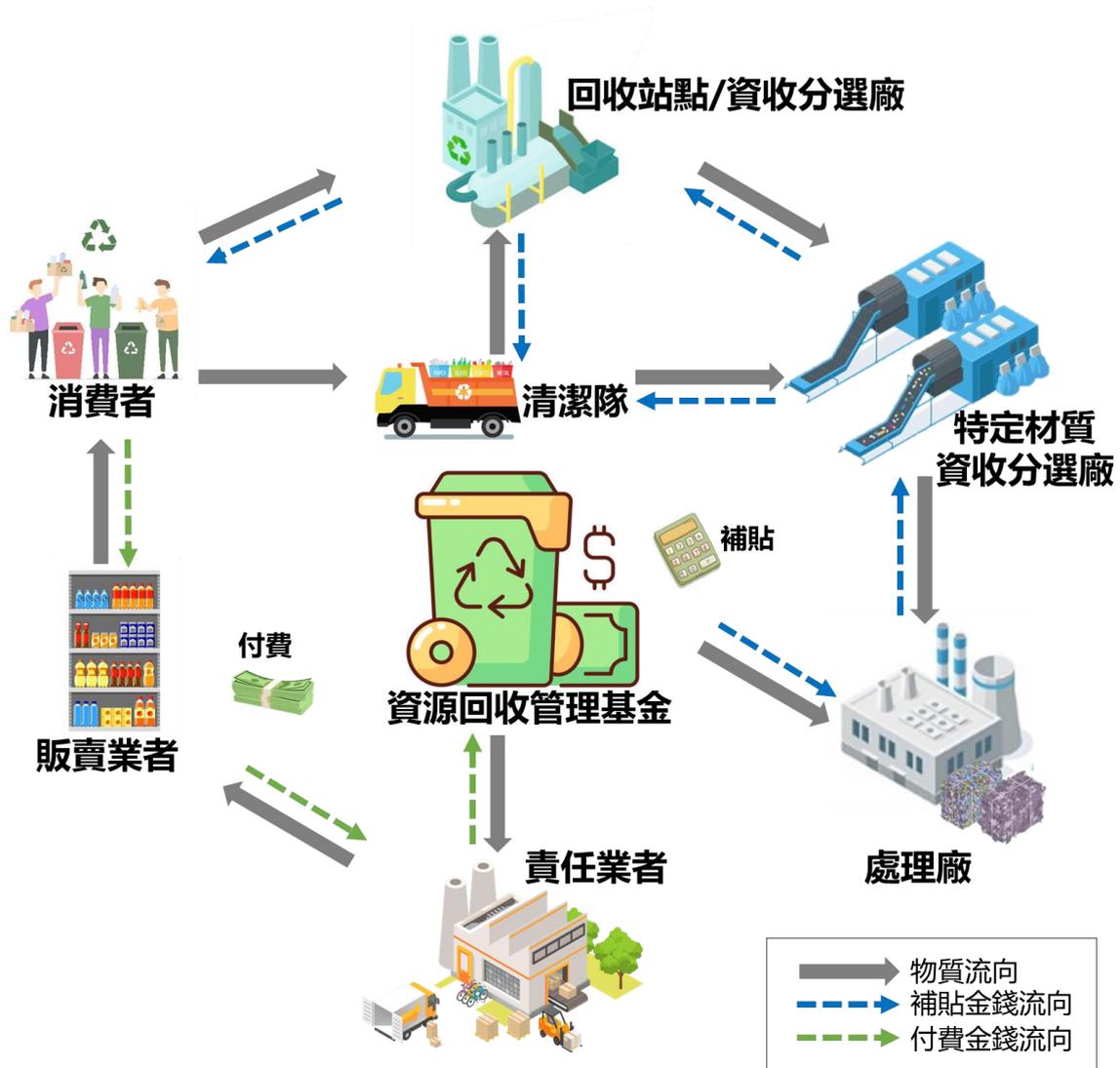


圖 4.1-7、我國資源回收體制

我國應回收容器塑膠材質回收辨識碼係引用美國塑膠工業協會(Society of the Plastics Industry)於 1988 年所發展出來的塑膠辨識碼(Resin Identification Code)，並依此定義應回收之容器塑膠材質總計 7 大類如表 4.1-3 所示。

以我國規範之應回收塑膠容器而言，由社區民眾或地方政府清潔隊回收後，會先進入回收商透過人工揀選、光學分選等，將不同材質及顏色予以分類，再壓縮打

包成瓶磚。其中，回收代碼 7 號中的聚乳酸(Polylactic Acid, PLA)塑膠，因外觀與 PET 材質極為相似，但特性與應回收塑膠普遍不相容，其密度又與聚乙烯對苯二甲酸酯(Polyethylene Terephthalate, PET)、聚氯乙烯(Polyvinylchloride, PVC)相近，故進入廢塑膠處理製程難以妥善分類，造成塑膠再生產品雜質率過高；且聚乳酸塑膠雖為生物基材料所製造，於大自然中應可被微生物當作碳源予以利用分解，但事實上 PLA 須在 60°C 以上、濕度 80~90% 環境下才能有效降解，換言之於一般自然條件下幾乎不可能分解。因此，環境部已於 2023 年 8 月起，限制公部門、公立與私立學校、百貨公司、購物中心、量販店、超級市場、連鎖便利商店、連鎖速食店、有店面的餐飲業等 8 大場所，不得提供聚乳酸材質的杯、碗、盤、碟、餐盒等免洗餐具。

表 4.1-3、塑膠回收辨識碼標準

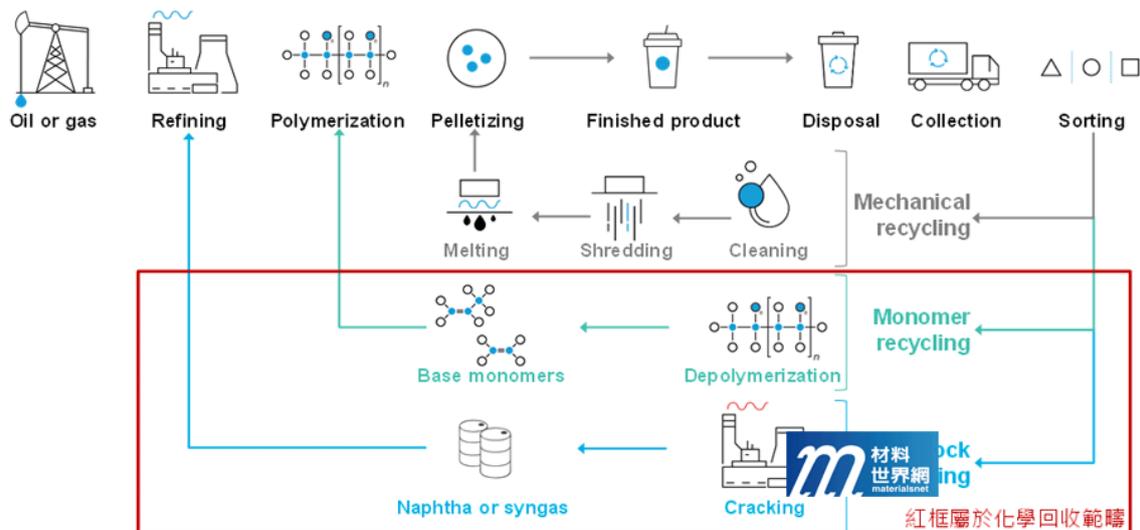
塑膠材質 回收辨識碼	材 質
	聚乙烯對苯二甲酸酯(Polyethylene Terephthalate, PET)
	聚乙烯(Polyethylene, PE)
	聚氯乙烯(Polyvinylchloride, PVC)
	低密度聚乙烯(Low Density Polyethylene, LDPE)
	聚丙烯(Polypropylene, PP)
	聚苯乙烯(Polystyrene, PS) 其中還分 PS 未發泡/PS 發泡(保麗龍)
	其他非上述 6 類的塑膠材質，譬如：聚乳酸(Polylactic acid, PLA)、聚碳酸酯(Polycarbonate, PC)、美耐皿樹脂(Melamine Resin)、聚甲基丙烯酸甲酯/壓克力(Polymethyl Methacrylate, PMMA)、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(Acrylonitrile Butadiene Styrene, ABS)等

註：公告應回收塑膠材質：除美耐皿外，全為熱塑性塑膠，故本計畫再生塑膠資料蒐研將著重於熱塑性塑膠為主。

(三) 塑膠回收機制

塑膠回收機制主要可分為兩大類如圖 4.1-8 所示，1. 物理回收(Mechanical Recycling)、2. 化學回收(Chemical Recycling)，其中化學回收又可細分為單體回收(Monomer Recycling)及原料回收(Feedstock Recycling)。

1. 物理回收：廢塑膠經回收分類後，經由一定的程序清洗、除污、浮除、切碎、脫水等程序變成塑膠片，亦可進一步熔融形成再生塑膠酯粒(Recycled Resin)。
2. 化學回收：原有塑膠聚合物結構回到單體小分子，稱之為解聚(Depolymerization)，而解聚方式又可分為醇解(Glycolysis)、水解(Hydrolysis)、甲醇解(Methanolysis)、生物酵素分解(Enzymatic)及胺解(Aminolysis)等；甚至裂解(Pyrolysis)回至石化原料狀態，再進一步經由塑膠製造過程形成新的塑膠聚合物。



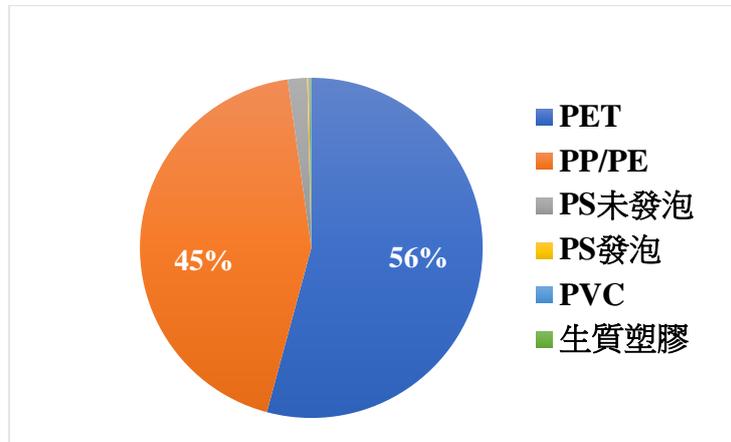
資料來源：材料世界網

圖 4.1-8、塑膠物理及化學回收機制

依據先前全世界塑膠生產量圖 4.1-1，可明顯看出化學回收雖各廠研發技術不同，但與原生塑膠或物理回收之再生塑膠相比，均未能稱上“量產等級”，故目前國內外塑膠回收處理仍以物理回收為主要技術。

分析環境部公告應回收塑膠容器材質，結果顯示國內回收占比最高者為 PET 佔 56%，而 PE/PP 則佔 46%，如圖 4.1-9 所示。因各塑膠材質特性不同，因此初

步建議個別發展國內塑膠循環材料科學驗證技術，短期建議以再生 PET 驗證技術為優先，後續再陸續建置 PE 或 PP。



資料來源：廢塑膠容器歷年回收量 (moenv.gov.tw)，本計畫自行彙整

圖 4.1-9、111 年度應回收容器塑膠材質回收佔比

4.1.2 再生塑膠供應鏈資訊盤整

依 4.1.1 節結果顯示，為邁向淨零碳排，減少原生塑膠製造或生產，增加再生塑膠使用量為國際共識，由歐盟的一次性塑膠指令、英國未添加 30%再生塑膠課徵塑膠稅及聯合國研擬全國塑膠公約均可看出其執行的強制力道。依我國塑膠回收管理機制，受廢棄物清理法管理，依廢清法第 12 條，一般廢棄物回收、清除、處理之運輸、分類、貯存、排出、方法、設備及再利用，應符合中央主管機關之規定，其辦法，由中央主管機關定之。第 14 條，一般廢棄物之清除、處理，執行機關得報經上級主管機關核准，委託公民營廢棄物清除處理機構或依中央主管機關公告或核准之方式辦理，事業廢棄物再利用亦同。再依環境部事業廢棄物再利用管理辦法第 14 條，事業對於事業廢棄物送往再利用機構之日期、種類、名稱、數量、再利用用途及再利用機構名稱，應作成紀錄；其記錄依第 15 條應於每月十日前主動至中央主管機關事業廢棄物申報及管理資訊系統（以下簡稱事廢系統）辦理申報。

人們於生活中將塑膠廢棄後，通常會進入環境保護局的資源回收系統，依據不同資源物進行分類，如塑膠、鐵、紙等，分選出的廢塑膠容器會進入回收商，進一步以光學分選或人工撿拾方式篩選成不同材質，再予以打包，打包後，經由三階段進行塑膠再生程序：**第一階段**為廢塑膠處理或再利用機構，其主要為標售廢瓶磚，經由一定除污、清洗程序再切碎成瓶片，甚至有些處理廠設有押出造粒程序，則可

直接變成再生塑膠酯粒。然而，多數都是進入**第二階段**再生塑膠粒使用廠，該廠通常以**瓶片為原料**，放置於反應槽中進行固態聚合，經由押出成型為條狀，再切成顆粒狀的**酯粒**，如有進一步再結晶，則**再生塑膠酯粒**呈現不透明白色。**第三階段**為下游再生塑膠使用者，因應國際再生塑膠添加量要求逐年上升，或品牌供應商的企業責任形象，於製程中添加一定比例或使用**100%再生塑膠酯粒生產製造再生塑膠產品**，如水瓶、汽水瓶、化妝品瓶、紡織品等，以上三階段為再生塑膠供應鏈。經查事業廢棄物申報及管理資訊系統，同一事業機構可能出現階段一與階段二同時存在，甚至同時具有階段一至階段三等情境，亦可能存在僅有一種階段的情境。

依據上述廢棄物再利用管理辦法第 14 條，塑膠廢棄物的再生程序會依據辦法作成紀錄申報，計畫自事廢系統查詢並統計民國 111 年至 112 年收受 D-0299 廢塑膠混合物、R-0201 廢塑膠、R-0202 廢塑膠容器(PET)、R-0203 廢塑膠容器(PVC)、R-0204 廢塑膠容器(PE)、R-0205 廢塑膠容器(PP)、R-0206 廢塑膠容器(PS 發泡)、R-0207 廢塑膠容器(PS 未發泡)、R-0208 廢塑膠容器(其他塑膠)等實際申報量，並進行加總排序，再排除與再生塑膠無相關的製程，譬如“廢棄物焚化處理程序”及“衍生燃料製造程序”，表列出前 20 大廠家。最終依據申報量排名及該廠可回收處理的塑膠材質種類多寡，擇定欲訪視的 10 家再生塑膠供應鏈廠，其篩選流程如圖 4.1-10 所示，再生塑膠供應鏈廠家清單如表 4.1-4 所示。

本計畫再生塑膠供應鏈廠家清單，涵蓋回收處理商、再生塑膠酯粒製造商及再生酯粒使用商分別各 7 家次、7 家次及 4 家次，訪視作業將針對**再生塑膠製程資訊**（非屬廠家機密資訊）、**再生塑膠驗證需求**、**再生塑膠科學辨識技術**、及業者對於**我國塑膠回收管理策略**等進行資訊交流。其中，再生塑膠酯粒使用商其製程原物料、添加劑及觸媒等屬商業機密，廠家均不願透露；且本期計畫亦將再生塑膠科學驗證技術之階段性目標設定於原生塑膠與再生塑膠間的特徵是否具鑑別度，如特徵具鑑別度，即能評估再生塑膠添加比例是否具線性關性，再生塑膠產品應用則設定為科學驗證技術的長期目標，故本工項**僅優先針對再生塑膠回收處理及再生酯粒製造商製程進行彙整**。10 場次訪視作業完成後，其訪視資料代表性分別占國內公告應回收塑膠材質 PET、PE 及 PP 於 112 年實際申報量的 85.6%、73.0 及 53.7%。計畫再生塑膠供應鏈訪視表單彙整如附件五。

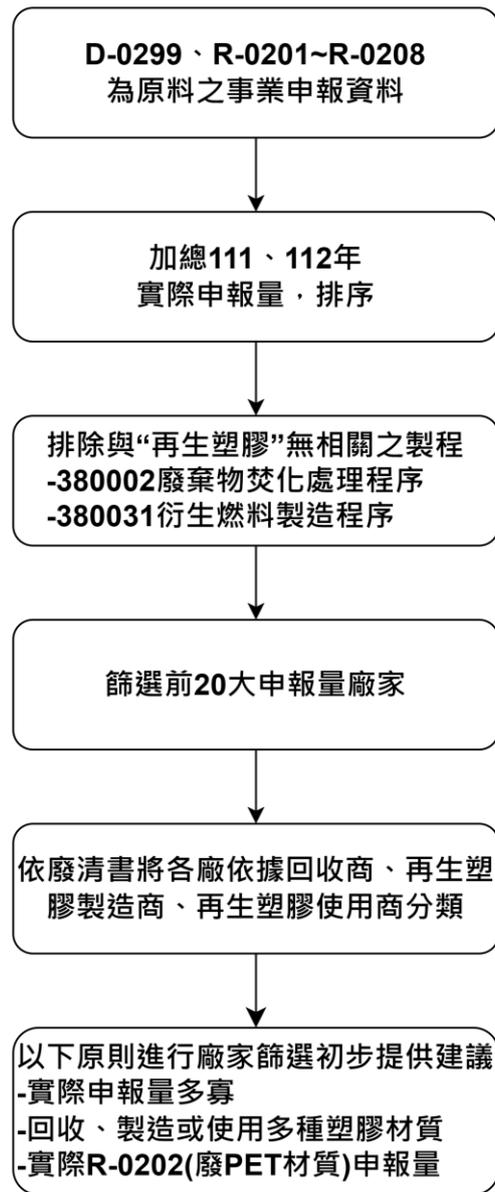


圖 4.1-10、我國再生塑膠供應鏈廠訪篩選原則

表 4.1-4、再生塑膠供應鏈廠商訪視清單

項次	機構管編	機構名稱	111~112 年 申報量(噸)	回收 處理商	再生酯粒 製造商	再生酯粒 使用商	申報 量排 名	再生 塑膠 種類	實際 R-0202 PET 申報 占比(%)	實際 R-0204 PE 申報 占比(%)	實際 R-0205 PP 申報 占比(%)
1	H53A5576	亞東綠材股份有限公司 觀音二廠	106069.9	○			1	2	35.8		
2	N2908058	永溢環保科技有限公司	85523.6	○	○	○	2	6	16.2	30.2	16.6
3	J5700222	遠東新世紀股份有限公司 化學纖維總廠	55757.0		○	○	3	1			
4	M3305030	台灣瑞曼迪斯股份有限 公司南崗廠	50215.7	○			5	5	10.8	13.2	11.5
5	N0810715	森貿環保工程有限公司	40516.8	○			6	6	8.2	8.4	5.5
6	R97A0010	尚穩環保科技股份有限 公司台南廠	38388.2	○	○		8	2	14.6		
7	N0910827	大豐環保科技股份有限 公司	38490.8	○	○	○	9	3		21.2	21.1
8	H4801478	南亞塑膠工業股份有限 公司工三廠	29397.1		○	○	10	1			
9	N15A2946	大欣國際企業股份有限 公司	27576.0	○	○		12	1			
10	D9202768	寶綠特資源再生科技股 份有限公司	25759.8		○		13	2			
合計				7	7	4	合計		85.6	73.0	54.7

一、再生塑膠供應鏈製程彙整

(一) 塑膠回收處理階段：

塑膠回收處理商：處理商自回收商標售廢瓶磚，該瓶磚已經過材質挑選、顏色分類並予以壓縮打包。為便於再生後的應用，回收商會將各材質、不同來源（如水瓶、牛奶瓶、生活清潔用品瓶、平板容器、矽利康膠等）及不同顏色進行分類，如 PET 材質同為水瓶可能又細分為透明色、透明藍綠色系，而水瓶應用與平板容器應用也會分開儲放如圖 4.1-11 所示；而 HDPE 材質則可分為本色(Natural Color)、白色及雜色等。再生塑膠處理廠多為環境部受補貼機構，瓶磚會逐一過磅紀錄重量，並查驗瓶磚中的雜質率，通過才進入處理產線。因國內仍以廢 PET 瓶磚收受量為最大宗，且再生的 PET 材質通過我國食藥署核可，得申請成為食品級再生酯粒，故計畫訪視的處理廠均將 PET 獨立為一條產線，非 PET（即 PE、PP、PS 未發泡等為一條產線）

1. PET 處理產線：

廢瓶磚解包後，先經 80°C 熱洗（熱洗程序加入鹼性物質及介面活性劑），進行廢瓶外部除污，並也透過熱洗的化學物質使標籤更易鬆脫，洗後即將寶特瓶身的標籤去除，再搭配光學分選搭配氣閥設備吹除非 PET 材質（視需求處理廠多會再設一道人工揀選程序），分類完成後廢瓶粉碎為瓶片，以清水密度分選瓶蓋的異材質（PET 的比重大於水會沉底，而瓶蓋多半為 PP 或 PE 會浮於水面將予以挑除）。篩選後的 PET 瓶片，再經揉片清洗內層髒污，脫水後即成為再生瓶片。如為食品級使用，則會在中間加入多道清洗及脫水程序，以符合食藥署規範，以上製程彙整如圖 4.1-12 所示。

2. 非 PET 處理產線：

其程序與上述 PET 處理產線大同小異，國內非 PET 材質之回收占比不如 PET，處理廠多半使用同條處理產線進行非 PET 材質之廢瓶磚處理，如該次產線處理為 HDPE，則於清水密度分選時浮於水面上為標的資源物，如處理 PVC，則沉底為標

的資源物。於每次不同材質間處理程序，均會經由產線清洗後，才會進入不同材質間轉換，以避免交叉污染問題。



圖 4.1-11、國內依塑膠材質、用途、顏色分類之廢瓶磚



圖 4.1-12、PET 瓶磚至瓶片處理程序彙整示意

(二)再生酯粒製造及使用階段：

再生瓶片欲再製成容器，則需經由一些結晶化程序提高其分子量及黏度，使其達到結晶化的白色再生酯粒，達到容器所需規格。其程序大致上為：瓶片進入金檢機篩選是否有金屬材質，再視製造廠規模大小增設一道光學分選挑片，挑片完成熔融射出為透明酯粒；再經由固態聚合(Solid State Polycondensation, SSP)程序於約200°C下，使短鏈分子間相互聚合，以提高分子量，達到提黏效果，同時達到除污效果（如醛類等揮發性有機物）。白色再生酯粒即為目前市面上廣泛流通的產品，可應用於水瓶、汽水瓶、非食品包裝材如化妝品、洗髮精瓶等，以上簡易程序彙整如圖 4.1-13 所示。

但再生瓶片亦可直接用於再生紡織，通常再生瓶片中品質較高者，可進入長纖再利用，長纖維產品如機能性衣服，如運動衣、瑜珈衣、防寒衣等；次等級則可以製成短纖維產品如填充棉，並非所有再生瓶片均會回到容器再利用，甚至多數會進入經濟價值較高的纖維製品，而造成閉鎖循環瓶到瓶(Bottle to Bottle)的回收量有限。



圖 4.1-13、瓶片至再生酯粒製造程序彙整示意

二、再生塑膠驗證需求

(一)再生塑膠需求量大，但以國外市場為主

隨著國際政策需求及供應商品牌企業社會責任，各廠均表示再生塑膠需求量上升，但市場以國外為主，如國際上對於再生塑膠添加為強制性，甚至有少數國家針對再生塑膠添加比例為達 30%或使用一次性塑膠課徵塑膠稅等制度，均為國外市場需求量遠大於國內的主因。雖近年環保意識抬頭，國內環境部也大力推動非食品容器添加再生料，食藥署通過供作食品容器具包裝製造使用之 PET 再製酯粒原料適宜性申請作業流程，但全為鼓勵方式，並非強制性。環境部雖針對電子電器產品或再生塑膠容器添加比例達 25%提供回收清除處理費優惠費率，但以目前再生酯粒相較於原生酯粒價格約多 3~5 成，短期內仍不足以構成國內企業或廠家自願性使用再生塑膠粒之經濟誘因。

(二)再生塑膠以 GRS 驗證為主

目前國內再生塑膠回收處理業者、再生酯粒製造商及再生酯粒使用商均會取得第三方驗證，以提供予下游供應商再生塑膠文件證明，多以全球回收標準(Global Recycled Stanadrd, GRS)、再回收聲明標準(Recycled Claim Standard, RCS)、SCS 回收材料成分驗證(SCS Certified Recycled Content, SCS)、財團法人塑膠工業技術發展中心建置的塑膠再生料溯源驗證(Plastics Recycled Material, PRM)、UL 2809 再生料含量驗證、TÜV 德國萊因再生材質認證、藍天使(Blue Angel)等為主。驗證方式是以文件履歷進行追溯管理，並輔以製程產線上的再生料投入量，以質量平衡原理計算再生料使用比例，而各廠家間再生塑膠買賣以交易證書(Transaction Certificate, TC)為憑，提出驗證申請後，國內查驗單位會至現場進行實地訪視，確認文件內容與實際生產、投入產出量相符。

但廠家多反應此驗證系統有的交易證書有人為竄改之嫌，尤以回收商較為明顯，交易文件追溯源頭主要從回收商至處理商，再至再生酯粒製造商，再生酯粒使用商，後端政府於國內受補貼處理商設有嚴格過磅及 24 小時影像監控系統，以佐證回收補貼費用請領，因此於處理商之後的交易區塊造假可能性較低。反倒是上游回收商，因家數眾多難以控管，因此回收商如要謊報再生塑膠總量，恐難以一一查證。因此有廠家建議，與我國回收基管會補貼費撥用相互勾稽，藉此控管回收商造假疑慮，國外輸入則靠進口報關單的申報量作為憑。但解決 GRS 文件查核的真

偽問題，仍無法消除廠家可能自國外輸入偽造的再生酯粒，有不少廠家提出自國外進口的再生酯粒可提出國際再生料驗證文件如 GRS，但其品質、色度如同原生酯粒，亦曾聽說歐洲先進國家曾發現進口再生酯粒僅 10%，但卻於文件上標明 100%，有漂綠之嫌，因此目前針對輸入之我國之再生酯粒建立輔導查核的科學驗證技術確實有其必要性。

(三)再生塑膠科學驗證技術之可行性蒐集

目前國內再生酯粒製造廠及使用廠均以產品規格符合下游使用者要求為主要出廠檢測項目，如黏度、色度(Lab)、熔點、乙醛含量等，但有大廠分享消費後回收塑膠容器(Post-Consumer Recycled, PCR)會檢出超微量**檸檬烯(Limonene)**、**苯(Benzene)**等有機物。檸檬烯主要來源為汽水飲料會添加檸檬酸，經由物理會收熱處理過程會裂解成檸檬烯，由於汽水瓶與水瓶於回收系統上一起存放，故 PCR 塑料多少含些許 Limonene；而 Benzene 則是因 PET 瓶身上的標籤，過去會使用 PVC 材質製作，如於處理時未將 PVC 去除乾淨，則 PVC 的殘留會產生 Cl，而產生 Benzene，但 PVC 材質因含 Cl，如進入垃圾焚化系統可能導致尾氣或焚化飛灰產生戴奧辛疑慮，因此目前全球均逐步淘汰 PVC，尤其環境部於 2022 年 4 月公告，自 2023 年起，不得製造、輸入及販賣含有 PVC 的食品包裝，因此 Benzene 殘留量可能越來越低。

另一大廠則分享曾透過自家製程中添加的**特殊金屬觸媒作為示蹤劑(Tracer)**，可有效追蹤自家再生料，但已知國際塑膠粒製造廠使用之氧化還原觸媒未必相同，且多為商業機密，故無法使用此示蹤技術進行再生料識別。該廠亦曾做過不同回收次數的再生料試驗，發現再生次數越多，其再生料的色度 Lab 值會有顯著差異，且再生酯粒製造過程中為美觀，避免酯粒偏黃或偏灰，通常會加入些許**抗黃劑**予以調整顏色，故色度未必是再生塑膠辨識與否的關鍵指標。

三、再生塑膠產品碳足跡

為了解廢塑膠容器切碎成瓶片，熔融射出成再生酯粒，相較於從化石原料煉製對苯二甲酸和乙二醇進行聚合反應，而製成 PET 原生酯粒間的碳排差異，計畫亦

針對各廠家自行盤查並通過第三方驗證之產品碳足跡進行蒐集，且以同一廠的數據予以比較其減碳量。原生 PET 酯粒碳足跡約為 2.49~2.8 kgCO₂e/kg，再生 PET 酯粒碳足跡約為 0.87~1.09 kgCO₂e/kg，由再生 PET 酯粒產品碳足跡顯示，再生程序可使塑膠產業碳排減少 56~62%。

四、業者於我國塑膠回收管理策略建議

(一)產品材質單一化設計，易脫標，利於回收再利用

過去平板容器使用的材質非常多樣，包括 PET、PP、PS、PLA 等，且均製作為透明的片材，於回收商進行材質分類時可能會遭遇困難，即便克服材質分選問題，亦可能因為平板容器有多種應用而存在複合材質、抗靜電塗層及雜質率過高等問題，以 PET 而言回收處理後頂多也僅能達短纖等級，經濟價值不高。

除材質單一化設計外，業者更表示目前法定認定寶特瓶必須有標籤紙方可認定回收補貼，但標籤紙於塑膠處理系統上視為異材質，必須完全去除其再生瓶片雜質率就越低，政府規定反倒成了回收的阻礙，便利商店販售的茶飲容器其瓶身的塑膠標籤更多是滿版設計，且難以輕易脫標，期許政府未來相關立法能跟上國際趨勢，以純淨瓶身代替現有產品設計，讓臺灣塑膠回收處理系統推動更為順暢。

(二)平板容器申報資訊公開，以利廠家評估產線量能

目前有部分廠家為符合食藥署規定生產食品級再生 PET 酯粒，故僅收受食品用塑膠容器，如水瓶、汽水瓶進行處理。排除此類處理廠外，其他處理廠目前投料入口端均為廢塑膠容器（瓶器）設計，如需處理平板容器則入料口需進行改裝。然而，環境部雖曾盤點每一年平板容器生產量能約為 6~70,000 公噸，但業者無法確認是否為同一材質，即便同材質達 7 萬公噸，可能亦不足以支撐處理廠一條產線的量能，故目前國內僅有兩家處理廠進行平板容器處理再生程序。

由目前處理業者情境研判，我國平板容器塑膠包裝材回收率偏低，針對此議題環境部已於修正「容器回收清除處理費費率」，納管的製造、輸入塑膠平板包材或進口公告裝填物品中含塑膠平板包材的輸入業者，應自 2025 年 5 月起登記為責任業者，並主動申報營業量、輸入量及繳納回收清除處理費，以提供回收處理經濟誘

因，尤其針對 **PET 與 PVC 平板包材**，性質外觀相近，須另以人工進行分選，為避免影響二次料品質，因此反映其回收清除處理成本調整，調整其徵收費率。

(三)再生塑膠商品或原生塑膠產品設計盡可能符合經驗法則

產品設計有利於回收商進行塑膠分類，如回收廠內人工揀選多數為經驗法則，未必會有科學分選技術予以輔助，建議塑膠製造商於產品設計上遵循過去的業界常規，譬如市面上 PET 材質多用於飲料瓶、汽水瓶及沙拉油瓶，故目前回收商多直接研判透明飲料瓶為 PET，如出現透明 PP 瓶則有可能誤判。違反經驗法則的商品，可能導致塑膠回收處理效率降低。

(四)非補貼塑膠製品產量遠大於受補貼應回收材質，建議發展與輔導相關處理再生技術

塑膠循環回收於臺灣已推廣多年，政府提供補貼的經濟誘因，推動國內塑膠容器資源回收率已高達 90%以上。反倒是日常生活塑膠製品用品，如家庭用的臉盆、垃圾桶雖同為塑膠製品，但卻沒有回收政策與補貼，業者也不願意處理。但這些非受補貼的塑膠製品也可能因添加劑（如阻燃劑或玻纖等）而導致處理不易，希望政府能予以開發相關處理技術，同樣提供回收清除處理費補貼，以利其他塑膠製品循環再利用。

(五)AI 影像分選技術輔助材質分類及代替現有人工成本

目前使用於塑膠回收處理系統上的分選技術多為光學分選搭配氣閥吹除，但為能達到百分之百材質分選，有些處理廠會增設人工揀選程序，但人力成本高且願意投入此產業的人數稀少，希望政府能開發精準的 AI 影像判識技術取代人力。

4.1.3 BSI Flex 6228 v2.0 方法建立原生 PET 及再生 PET 特徵數據

一、 BSI Flex 6228 v2.0 方法介紹

呈 112 年「資源循環及減碳效益驗證技術」（以下簡稱前期計畫）於再生塑膠添加比例先期研究結果，因英國於 2022 年正式針對塑膠包裝中未添加入 30%再生料之產品徵收塑膠包裝稅，為能提供英國法規查驗再生料添加比例，英國標準協會

(British Standards Institution, BSI)公告 BSI Flex 6228: v2.0 方法。該方法蒐集英國市面上已知添加再生 PET 比例達 30%之容器進行測試，且本法僅適用於物理回收，且透明或半透明的 PET 容器，最終導出經熱示差掃描分析儀(Differential Scanning Calorimetry, DSC)量測熔融後結晶溫度(Crystallization Peak Temperature on Cooling, $T_{p,c,c}$ (°C))、色差儀量測明亮度(L^*)及紫外-可見光光譜儀(Ultraviolet-Visible Spectroscopy, UV-Vis)量測波長 678 nm 下的穿透度(Transmission, $T_{678\text{ nm}}$ (%))，再代入以下關係式，即可估算 PET 容器中再生 PET(Recycled PET, rPET)添加比例是否超過 30%：

因穿透度與塑膠片的厚薄度有關，故須先將穿透度除厚薄度求得 $AN_{678\text{ nm}}$ 如關係式(1)，再將以上物性檢測數據代入以下關係式(2)求得 B 值，再將 B 值代入關係式(3)求得 rPET>30%之機率值，如機率值>0.3，即可研判該產品中 rPET 添加比例超過 30%。

$$AN_{678\text{ nm}} = \frac{-\log_{10} \left(\frac{T_{678\text{ nm}}}{89.62\%} \right)}{t} \dots\dots\dots\text{關係式(1)}$$

$$B = B_0 + B_1 AN_{678\text{ nm}} + B_2 T_{p,c,c} + B_3 L^* \dots\dots\dots\text{關係式(2)}$$

$$P_{\text{rPET}>30\%} = \frac{\exp(B)}{(1+\exp(B))} \dots\dots\dots\text{關係式(3)}$$

參數	數值
B_0	620.9
B_1	-25.78
B_2	0.7842
B_3	-8.034

於前期計畫中測試7件樣品，分別為100%原生 PET 酯粒樣品、30%再生 PET 酯粒混摻原生酯粒、60%再生 PET 酯粒混摻原生酯粒、100%再生 PET 酯粒樣品，酯粒樣品均以熱壓製片方式先行製成10 cm x 10 cm，厚度為0.26 mm 之塑膠片，再進行實驗測試；另採集市面上3種不同料源之100%再生 PET 塑膠商品驗證本方法。

其測試結果僅1點次（100%再生 PET 酯粒樣品）無法準確預估，而不同添加比例即混摻30%或60%再生 PET 塑膠酯粒樣品則適用此方法，顯示英國標準方法 **BSI Flex 6228: v2.0**經改良後，應具有潛在應用於 PET 酯粒樣品再生料與否辨識的可行性。

二、 BSI Flex 6228 v2.0 方法原理

以廢 PET 瓶磚進入物理回收系統之後，會經由多道清洗、加熱、脫水，清洗程序是透過大量清水、界面活性劑與鹼性物質等將雜質分離去除。然而，常態下 PET 材質並不耐熱，且其結構式含酯基如圖 4.1-14，遇水時，PET 分子鏈端的羧基將與酯基進行水解反應，如又伴隨升溫製程，則會增加 PET 水解速率，因此再生 PET 分子量較小，亦影響原有的物性。除外，回收再製過程中即便已經過多道的清洗、去污流程，但 PET 的原生酯粒及再生酯粒間仍會存在些微色差，同時也進而影響產品穿透度(%)，羅列各方法之原理如下述：

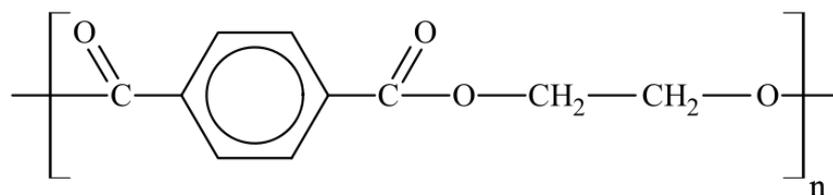


圖 4.1-14、PET 結構式

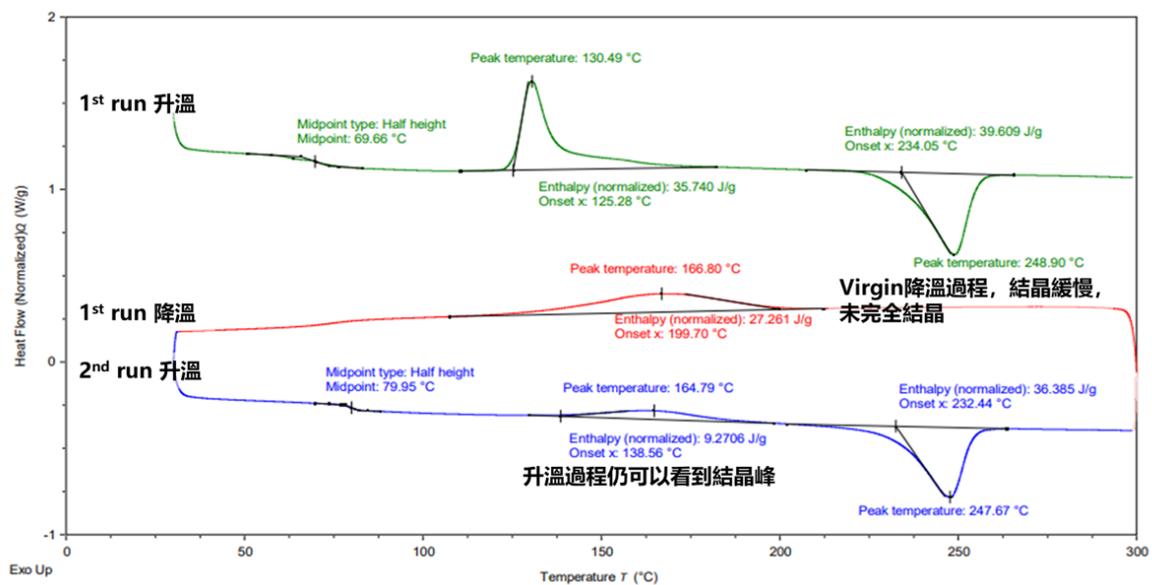
(一)熔融後的結晶溫度(Crystallization Peak Temperature on Cooling, $T_{p,c}$ (°C))：熱示差掃描儀係透過特定樣品升溫/降溫/恆溫程序，獲取樣品於各相的變化溫度、熱焓量(Enthalpy)與比熱等資訊，藉此了解塑膠分子或其他高分子於熔化(Melting)、冷結晶(Cold Crystallization)、玻璃轉化(Glass Transition)、熔融後冷卻的結晶溫度(Crystallization Peak Temperature on Cooling)等特性。圖 4.1-15 為 PET 的 DSC 曲線，第一段升溫為消除樣品加工性質及熱歷史，本方法所需的 $T_{p,c}$ (°C)為第一段降溫過程中產生的放熱峰，如欲讀取材料本身性質的玻璃轉化溫度、熔點等，則應讀取第二段升溫的量測結果。

本方法僅看熔融後冷卻時的結晶溫度（第一段降溫產生的放熱峰），冷卻時的結晶溫度可以反應 PET 材質經由第一段升溫消除材料加工性質與熱歷史後，

其內部分子冷卻時產生的結晶溫度。當塑膠高分子經物理回收製成再生酯粒，甚至進而熔融押出成產品，通常會將原有聚合且分子量一致的碳氫長鏈聚合物鏈結破壞，部分會因機械力、熱洗等過程產生較小的分子，因此再生酯粒過熔融點冷卻時會較快速結晶，其產生的放熱峰會較為明顯；反之原生酯粒因分子結構完整，降溫過程結晶速度緩慢，放熱峰較小。

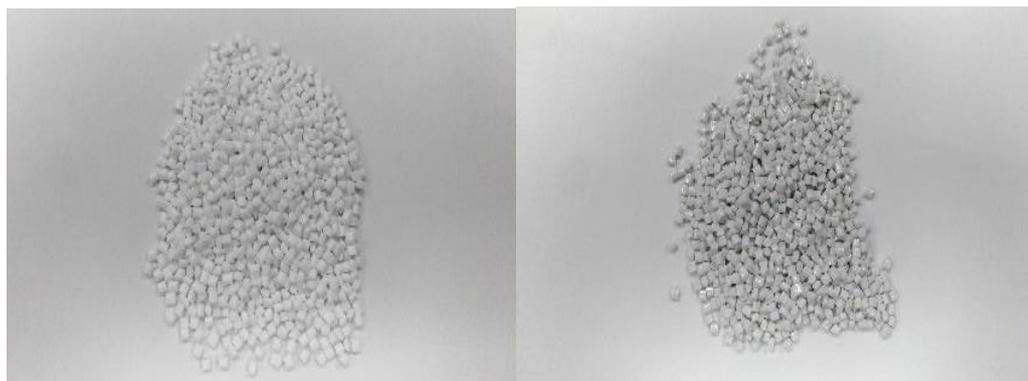
(二)色度(L^*)：塑膠回收再製成酯粒或產品時，即便經過多道去污程序仍存在肉眼可見之明亮度差異如圖 4.1-16。以色度計量測塑膠片之亮度 L^* ，其測值可從 0~100，0 值代表黑色、100 值代表白色。原生塑膠或酯粒其明亮度高於再生塑膠或酯粒。

(三)穿透度 $T_{678\text{ nm}}(\%)$ ：與色度原理相似，於加入同種色染料情境下，原生塑膠產品其穿透度高於再生塑膠產品。



備註：1st run 升溫：消除樣品熱歷史，只測到材料加工性質；1st run 降溫：量測樣品冷卻的結晶行為；2nd run 升溫：量測材料本身性質的 T_g , T_c , T_m

圖 4.1-15、本計畫原生 PET 塑膠片的 DSC 曲線



圖片來源：本團隊自行拍攝，取自今年採集之酯粒樣品

圖 4.1-16、原生（左）與再生（右）PET 酯粒樣品圖

三、 擇定塑膠加工程序的試驗規劃與成果

(一) 塑膠加工程序評估

因 BSI Flex 6228 方法適用於再生塑膠商品，但為能發展科學驗證再生商品技術，應階段性評估本技術是否得以用於原生或再生酯粒鑑別，方有機會進一步探討不同再生酯粒添加比例之特徵是否具線性關係。而酯粒與塑膠商品間最大差異為**加工程序**，然而如要仿照寶特瓶的吹氣成型程序，則每一酯粒樣品可能需要 25 公斤以上，才能吹出數個寶特瓶容器，隨國際減塑趨勢，國內大多的再生酯粒均是外銷國外，如要蒐集這麼大量酯粒樣品並不容易。故本計畫將以實驗室規模，以小量樣品測試其它常見如押出成型、射出成型等程序，以建立一套**實驗室等級且具有鑑別度**的塑膠加工程序，其鑑別原則為該加工程序所產製的**原生及再生 PET 片特徵數據差異值最大**，以下為本計畫曾測試過的塑膠加工程序與結果：

方法一：PET 酯粒烘乾後抽真空保存，以混煉射出成 PET 片；

方法二：PET 酯粒烘乾後抽真空保存，以熱壓成型成 PET 片；

方法三；PET 酯粒烘乾後未抽真空保存，以混煉射出成 PET 片。

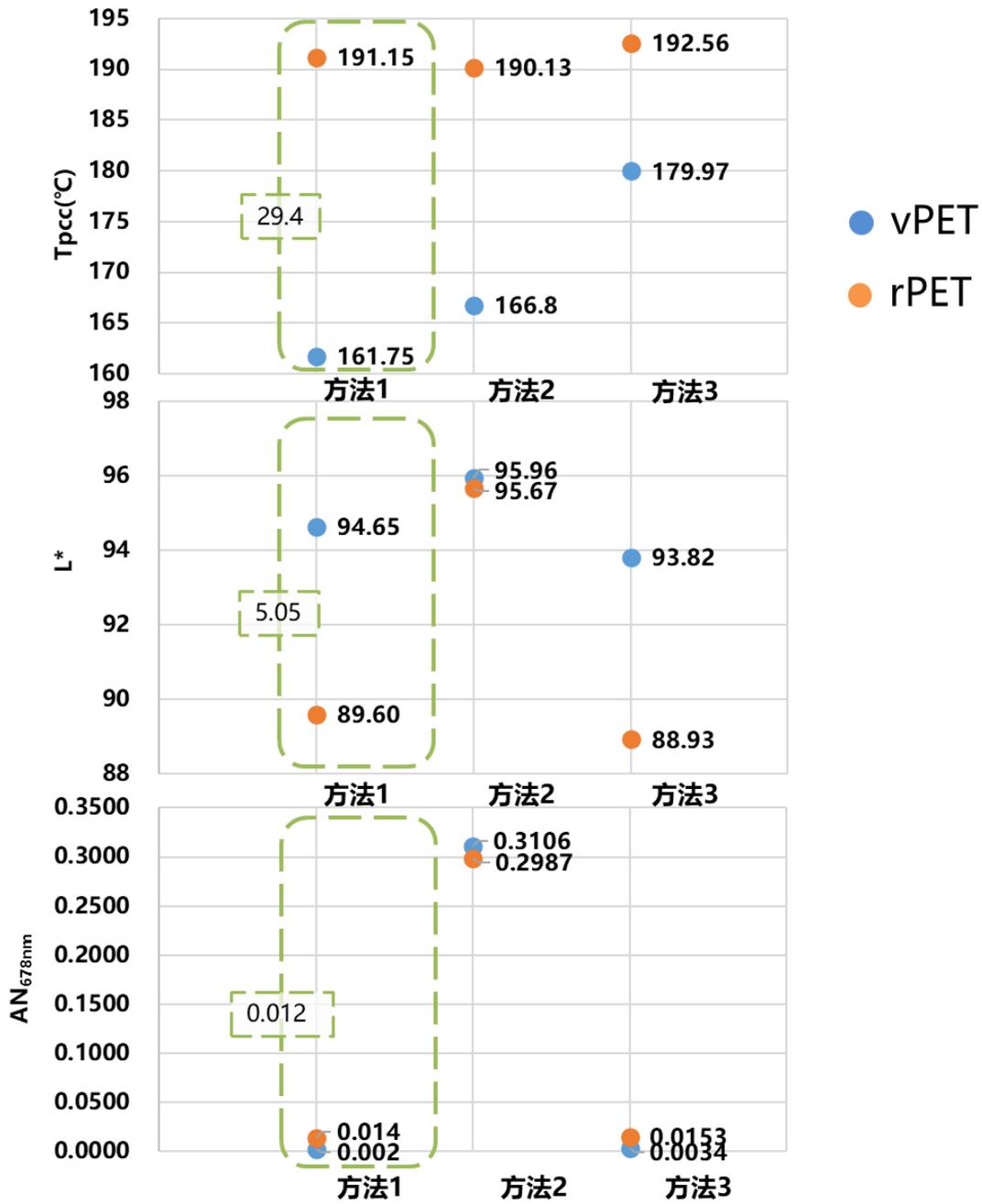


圖 4.1-17、原生與再生 PET 塑膠加工程序之特徵差異

由圖 4.1-17 顯示，以 PET 酯粒烘乾後抽真空保存，再使用混煉射出成 PET 片所產製 PET 片其特徵差異值最大，故將優先以方法一的加工程序進行部分酯粒樣品先期測試。

(二)混煉射出片先期評估成果

經以上塑膠混煉射出片，隨機選取國內原生及再生酯粒進行初步測試，以評估本加工程序於不同產品應用端的鑑別能力。初步選取 4 種不同應用端的酯粒樣品如表 4.1-5，其中 F-02 至 F-04 為原生酯粒，F-05 為再生酯粒，以上四種酯粒經混煉射出後量測 PET 片的 $T_{p,c,C}(^{\circ}C)$ 、 L^* 、 T_{678nm} ，再套入 BSI Flex 6228 關係式，如 $P_{rPET} > 0.3$ 則表示其 PET 片中含 30%以上再生料機率高，結果如圖 4.1-18。先期評估成果顯示 F-03 之 P_{rPET} 值為 0.3284 不完全正確，而 F-04 則因結晶速率快而使得 $T_{p,c,C}(^{\circ}C)$ 測得的溫度偏高， P_{rPET} 值為 1.0000 完全錯誤預判為 rPET 的情況。

針對以下兩個先期測試結果不佳的產品應用，本計畫重新檢討其塑膠加工程序，並針對 F-03、F-04 之個別問題進行研析，提出相對應的解決方案如下所述：

表 4.1-5、混煉射出先期評估的酯粒樣品

項次	樣品編號	產品用途	vPET/rPET
1	F-02	大尺寸水瓶/高透亮化妝瓶/厚板材	100% vPET
2	F-03	碳酸飲料瓶用酯粒	
3	F-04	耐熱、結晶速率快、低 oligomer、高溫殺菌填充飲料使用(如茶飲料、含糖飲料)	
4	F-05	碳酸飲料瓶用酯粒	100% rPET

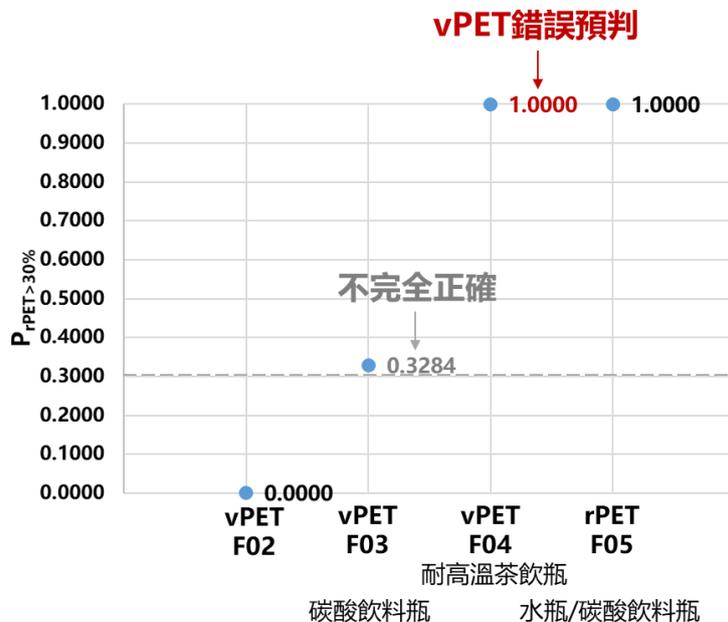


圖 4.1-18、混煉射出片先期測試成果

1. F-04 錯誤預判的問題研析與解決方案

由樣品資訊可初步得知 F-04 特性為結晶速率快的低分子量酯粒，此種酯粒之產品主要應用於耐高溫殺菌的含糖飲料瓶或茶飲瓶，為了維持飲料的風味，業者會使用瞬間高溫殺菌法將飲料填充於容器中（填充過程飲料溫度一般 $>70^{\circ}\text{C}$ ），故為了防止充填過程瓶口遇熱軟化，瓶口會特別選用此款熱充填的酯粒增加耐熱性質，故實際上此款酯粒市售商品即為不透明色如圖 4.1-19，屬於 BSI Flex 6228 方法不適用的樣品類型。



資料來源：南亞塑膠熱充填瓶用粒

圖 4.1-19、熱充填酯粒之產品應用

但計畫執行各項目量測時，發現酯粒的 DSC 圖譜具有一定鑑別的功能（以下稱之為計畫自建的創新作法），由可得知一般原生酯粒經第一段升溫消除酯粒的熱歷史與加工性質後，於第一段降溫時會產生一個熔融後的結晶溫度，此熔融後的結晶溫度因受熱充填酯粒配方影響，故 $T_{p,c,C}$ 量測值會與 rPET 相似，因而造成誤判。但觀察第二段 DSC 升溫時，由於原生酯粒其結晶速度仍不比再生酯粒，故仍可讀取升溫過程中 PET 酯粒由非結晶態變成結晶態而產生的結晶峰(Crystallization Peak Temperature, T_c)，為避免混淆故計畫稱之為 $2^{\text{nd}} T_c$ ；反之再生酯粒雖同樣於第一段降溫時會產生一個相對高的熔融後的結晶溫度，但結晶速率快，故第二段升溫過程其分子已完全結晶，不會出現 $2^{\text{nd}} T_c$ 。

除 $2^{\text{nd}} T_c$ 外，另發現為再生酯粒升溫至熔融狀態時會產生兩個波峰，代表熔狀態時再生酯粒中含有兩種晶相組成，故於熔融峰上會顯示 α 峰和 β 峰；反之原生酯粒則不會產生兩個波峰的特徵。

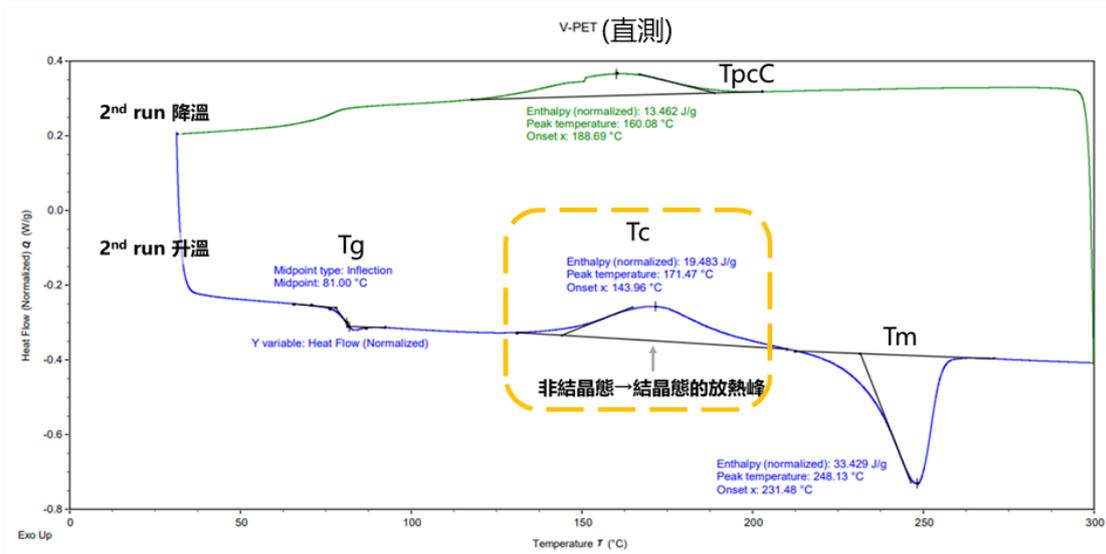


圖 4.1-20、原生酯粒特徵 (2nd Tc 峰、無 α 峰)

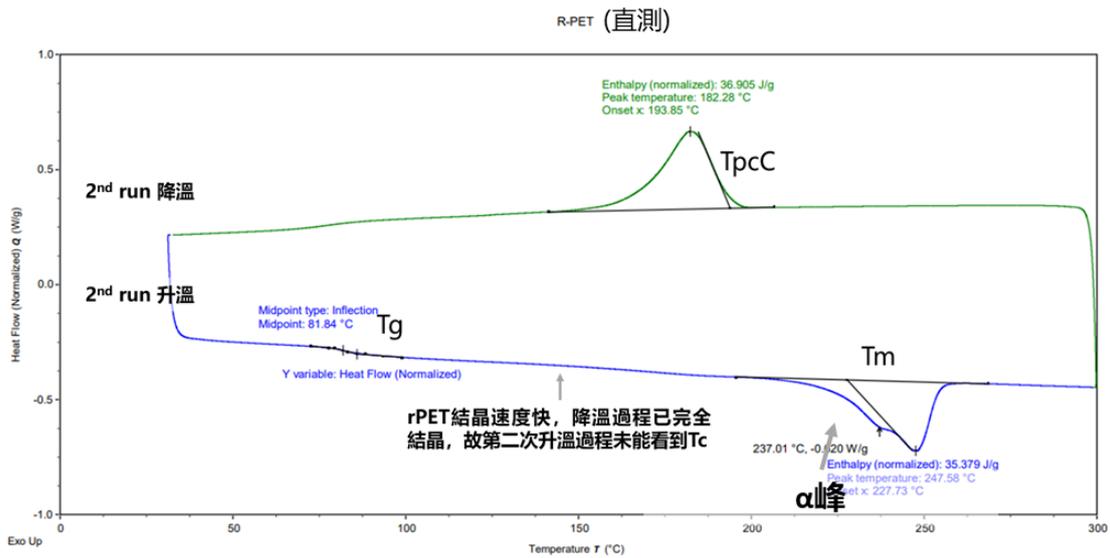


圖 4.1-21、再生酯粒特徵 (無 2nd Tc 峰、有 α 峰)

後續計畫將針對代入 BSI Flex 6228 關係式不適用之樣品，利用此創新作法驗證其方法可行性。

2. F-03 不完全正確預判的問題研析與解決方案

因方法評估過程中，為能衡量其塑膠加工程序對於酯粒特徵的影響，故於混煉射出過程中同時一併量測酯粒原有的 $T_{p,c,C}$ 溫度，如圖 4.1-22 所示，隨著混煉過程時間增加（混煉程序由 F-02→F-03→F-04），酯粒與混煉射出片的 $T_{p,c,C}$ 的差異

越大，其因可能為雙軸混煉具有較強的機械力，且無法避免 PET 於混煉過程中接觸空氣吸濕，故伴隨機械力的混煉過程越久，PET 材料熱解，故隨加工時間拉長，對於 $T_{p,c,C}$ 溫度影響越大。同時比較熱壓製片與酯粒間的 $T_{p,c,C}$ 值，結果顯示熱壓製片較能良好控制機械加工力如圖 4.1-23，其因為熱壓製片可避免 PET 酯粒與空氣接觸的時間，且其機械力可能僅來自上下熱壓板貢獻，故熱壓製片相較於混煉射出可得到與酯粒特徵差異較小的 $T_{p,c,C}$ 量測數據。

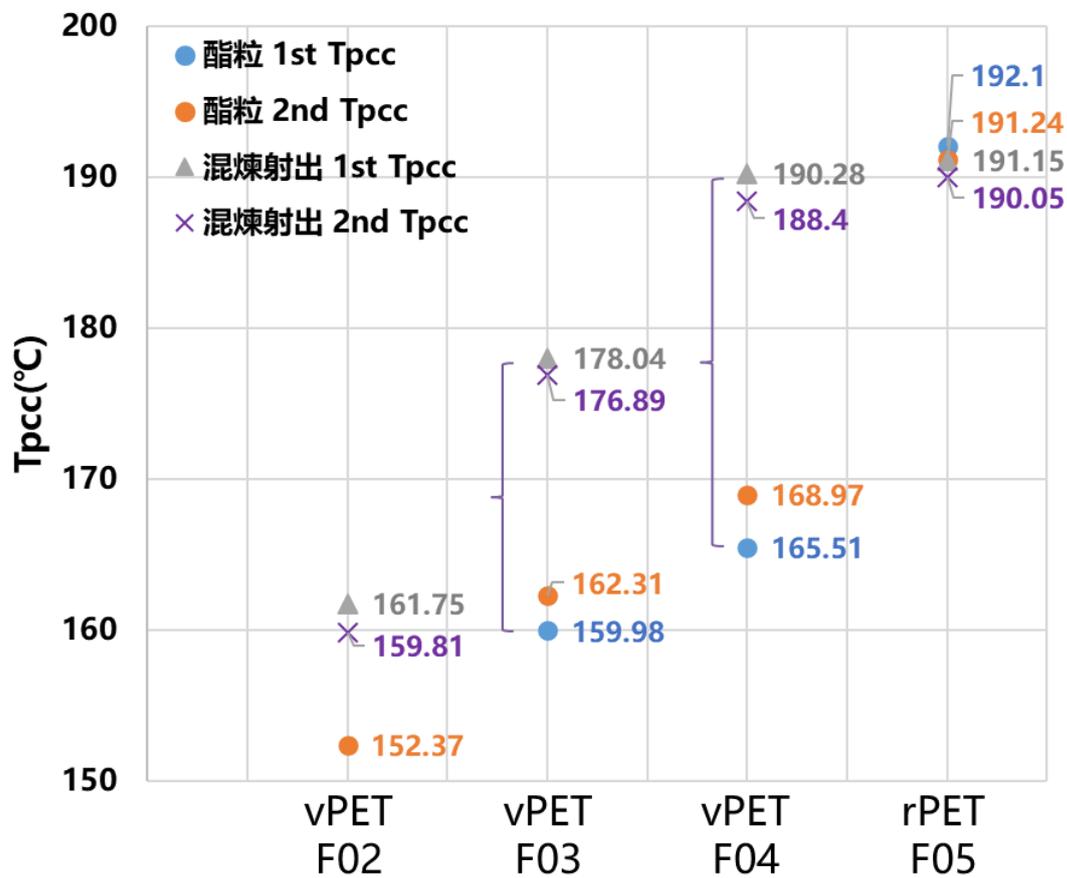


圖 4.1-22、酯粒直測與混煉射出片的 $T_{p,c,C}$ 溫度比較

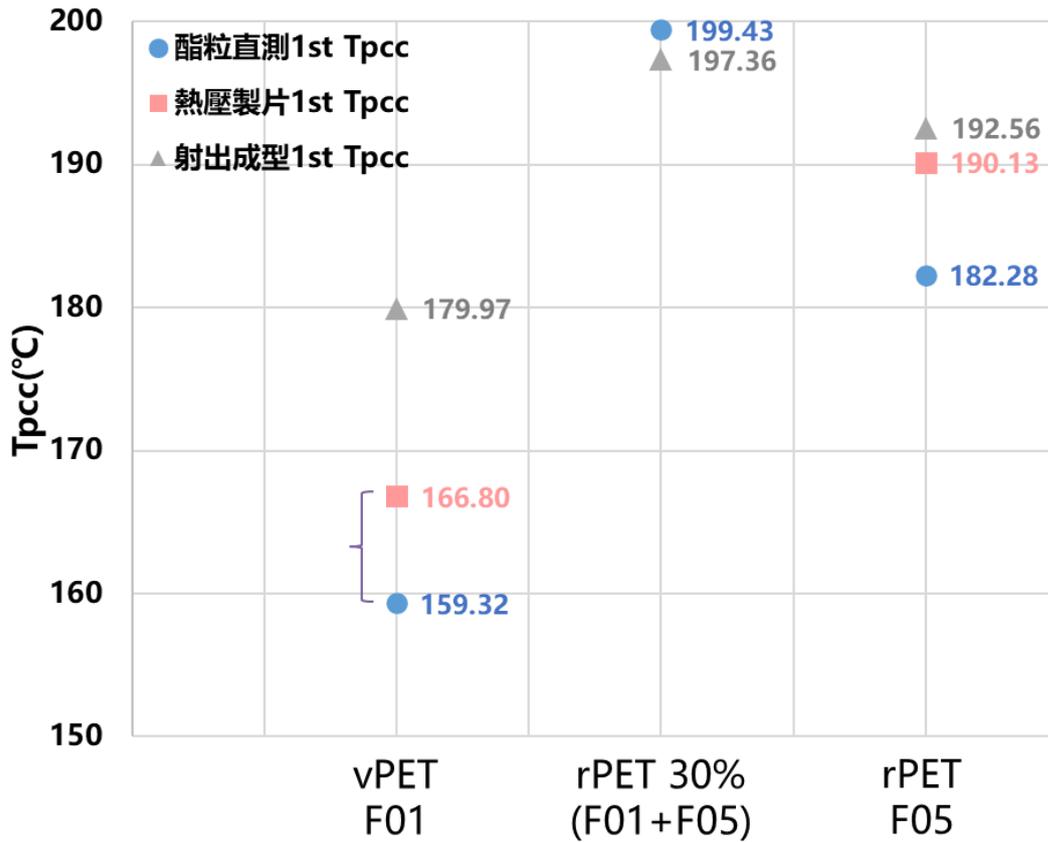


圖 4.1-23、酯粒直測、混煉射出與熱壓成型的 T_{p,c,c} 溫度比較

(三)計畫最終執行的塑膠加工程序

塑膠容器樣品僅需裁切部分符合上機量測大小之塑膠片（約 4 cm x 4 cm），直接上機即可；如為酯粒樣品，則須以一定的加工程序製成塑膠片，酯粒加工前均須烘乾並抽真空保存。經以上加工程序初期測試成果，發現 T_{p,c,c} (°C) 受到機械力及加工程序影響甚大，雙軸混煉射出將會產生較高的剪切力，且於混煉剪切過程中設備並不能完全避免 PET 酯粒接觸空氣中水分，導致酯粒吸濕而產生明顯地熱解反應，故為能降低混煉射出對於 T_{p,c,c} (°C) 產生的量測不確定性，計畫最終決定將酯粒的塑膠加工程序分為以下兩種：

1. 熱壓製成塑膠片測定 T_{p,c,c} (°C)

酯粒樣品將以熱壓製片方式先行製成 5 cm x 5 cm，厚度為 0.26 mm 之塑膠片，其熱壓溫度大於 PET 之熔點，熱壓時間為 3 分鐘，再裁切一定重量進行 T_{p,c,c} (°C) 檢測。

- (1) $T_{p,c,C}$ (°C)：參考 ISO 11357 方法，將 PET 塑膠片樣品放置於 DSC 上，紀錄塑膠片隨 DSC 升溫後，於熔融後降溫時之結晶溫度($T_{p,c,C}$)。

2. 混煉射出片測定 L^* 和 $T_{678\text{ nm}}$ (%)

酯粒樣品經混煉後熔融，再射出成啞鈴型的射出片，於射出端以冷卻模具系統避免射出片霧化影響色度及穿透度之量測，裁切射出片進行 L^* 和 $T_{678\text{ nm}}$ (%)量測：

- (1) L^* ：參考 ISO 11664 方法，依據 CIELAB 量測塑膠製片顏色的明亮程度，每一塑膠片將至少量測五重複取其平均值。
- (2) $T_{678\text{ nm}}$ (%)：以紫外-可見分光光譜儀(Ultraviolet-Visible Spectroscopy, UV-Vis)，測定波長 678 nm 下塑膠片之穿透度(%)，每一塑膠片將至少量測五重複取其平均值。

四、 國內原生或再生 PET 酯粒樣品採集

經以上塑膠加工程序擬定後，計畫經事廢系統查詢民國 111 至 112 年產品代碼為 180394 聚酯粒的各廠申報量，加總後予以排序，為確保特徵數據具代表性，故選取申報量前三大廠為採樣對象，分別為遠東新世紀股份有限公司、南亞塑膠工業股份有限公司及新光合成纖維股份有限公司進行原生及再生酯粒採樣，三大廠家所生產之酯粒加總共占全台產量之 75.8%。計畫進行再生塑膠供應鏈訪視時，同步委請廠家協助採集不同應用（譬如瓶用、紡用、片才用等）的原生及再生酯粒，另也蒐集市售 PET 瓶，包括原生 PET 瓶和含有 30%再生料的 PET 瓶，合計 34 件次，樣品說明彙整如表 4.1-6 所示。

表 4.1-6、31 件次 PET 酯粒樣品說明

項次	提供廠家	樣品編號	用途	再生料比例 (%)
1	新光合成纖維股份有限公司	S-01	非熱充填應用	-
2		S-02	非熱充填應用	-
3		S-03	非熱充填應用	-
4		S-04	熱充填應用	-
5		S-05	礦泉水瓶、汽水瓶	-
6		S-06	礦泉水瓶	-
7		S-07	礦泉水瓶、汽水瓶	-

項次	提供廠家	樣品編號	用途	再生料比例 (%)
8		S-08	礦泉水瓶	100
9	寶綠特資源再生科技股份有限公司	B-01	礦泉水瓶、汽水瓶	100
10	南亞塑膠工業股份有限公司	N-01	採血管	-
11		N-02	熱充填	-
12		N-03	冷充填	-
13		N-04	汽水瓶	-
14		N-05	五加侖桶	-
15		N-06	化妝品瓶	-
16		N-07	押出瓶	-
17		N-08	紡用	-
18		N-09	瓶用、片材用	100
19		N-10	瓶用、片材用 (FTR 製程)	30
20		N-11	瓶用、片材用 (FTR 製程)	50
21		N-12	紡用	100
22	遠東新世紀股份有限公司	F-01	一般水瓶、碳酸飲料、無菌沖填用酯粒	-
23		F-02	大尺寸水瓶/高透亮化妝瓶/厚板材	-
24		F-03	碳酸飲料瓶用酯粒	-
25		F-04	耐熱、結晶速率快、低 oligomer、須以高溫殺菌(85°C)使用的含糖飲料瓶、茶飲瓶	-
26		F-06	碳酸飲料瓶用酯粒	100
27		F-07	瓶用 (FTR 製程)	30
28		不同再生料添加比例	15% rPET	-
29	25% rPET		-	25
30	30% rPET		-	30
31	60% rPET		-	60
32	PET 瓶	原生瓶	-	-
33		30% rPET 瓶-1	-	30
34		30% rPET 瓶-2	-	30

註 1：灰底為再生料

註 2：FTR 製程其英文名稱為 Flake To Resin，依先前廠家訪視口述此製程為半化學回收製程。投入再生瓶片，先將其分子量降低，亦即將原有黏度(Intrinsic Viscosity, IV)值降到約 0.3，再加入乙二醇降解成單體。再生瓶片所獲得的單體可進一步依據廠家配方需求與原生酯粒進行不同添加比例配製，配製完成後再一起投入主聚合罐重新聚合成 rPET (FTR 製程)，即可獲得不同添加比例之半化學回收的酯粒。

五、 原生 PET 及再生 PET 特徵數據

使用上述計畫擇定的加工程序進行 34 件次原生或再生酯粒及其容器的數據量測，所獲得的數據代入前述 BSI Flex 6228 關係式內計算出 P_{rPET} 機率值，如機率值 > 0.3 ，則研判為再生料添加比例 $> 30\%$ 機率高，反之則為原生酯粒。計畫 34 件樣品量測之特徵值彙整如表 4.1-7 所示。

表 4.1-7、34 件次 PET 樣品特徵數據

樣品編號	$T_{p,c,C}$ (°C)	L^*	$AN_{678nm}(\%)$	P_{rPET} 值
S-01	172.8	95.4	0.013	0.000
S-02	163.2	95.1	0.033	0.000
S-03	168.6	95.4	0.003	0.000
S-04	172.6	87.0	0.109	1.000
S-05	158.9	93.1	0.010	0.081
S-06	170.3	94.1	0.051	0.045
S-07	169.5	94.2	0.005	0.031
S-08	191.7	90.0	0.026	1.000
B-01	189.3	89.2	0.023	1.000
N-01	172.6	94.1	0.013	0.563
N-02	179.0	71.2	0.857	1.000
N-03	165.2	86.4	0.071	1.000
N-04	163.6	94.7	0.002	0.000
N-05	160.9	95.0	0.002	0.000
N-06	150.6	95.0	0.003	0.000
N-07	152.4	93.3	0.007	0.000
N-08	182.9	42.9	0.909	1.000
N-09	192.4	89.1	0.025	1.000
N-10	188.1	84.6	0.060	1.000
N-11	190.0	79.3	0.093	1.000
N-12	196.1	25.4	0.960	1.000
F-01	166.8	93.8	0.003	0.109
F-02	160.9	94.6	0.002	0.000
F-03	162.9	94.6	0.004	0.000
F-04	168.8	90.5	0.159	1.000
F-05	190.1	89.6	0.014	1.000
F-06	183.6	91.2	0.014	1.000
15% rPET	171.1	93.0	0.008	1.000
25% rPET	180.7	91.6	0.015	1.000
30% rPET	180.5	91.2	0.016	1.000
60% rPET	186.2	90.0	0.017	1.000
原生瓶	159.1	95.9	0.049	0.000
30% rPET 瓶-1	185.1	95.4	0.015	0.274
30% rPET 瓶-2	180.8	95.3	0.023	0.021

備註：灰底為再生料

依樣品來源而言，可粗分類為（一）100%原生酯粒及容器、（二）100%或 FTR 製程所產製的不同再生料添加比例之再生酯粒（如 30%或 50%）、（三）已知來源不同 rPET 添加比例（如 15%、25%、30%及 60%）及容器（包括 2 個添加再生料比例達 30%的 rPET 瓶），以下個別針對這三類進行特徵誤判率進行討論：

（一）100%原生酯粒及容器：

本次原生酯粒的樣品來自國內不同製造廠，其產品應用涵蓋水瓶、碳酸飲料瓶、大尺寸水瓶、熱充填應用及冷充填應用等，將各廠所採集的原生酯粒特徵繪製如圖 4.1-24 所示。由明亮度(L^*)量測結果可明顯看出 S-04 熱充填酯粒、N-01 採血管酯粒、N-02 熱充填酯粒、N-03 冷充填酯粒、N-08 紡用酯粒及 F-04 熱充填酯粒等色度相較於一般原生酯粒低，係因該些酯粒於混煉射出過程中迅速結晶，故射出片呈現霧化狀態，其中又以紡用酯粒混煉射出片最為明顯如圖 4.1-25，其射出片呈現不透明白色，而英國此標準方法僅限用於 PET 物理回收的瓶裝容器，且容器須為透明或半透明狀態，故以 BSI Flex 6228 直接應用於上述產品應用類型的酯粒並不可行。

將 100%原生酯粒及容器所測得的 $T_{p,c,C}$ 、 L^* 和 T_{678nm} 代入方法關係式進行機率值計算如圖 4.1-26，結果亦顯示上述方法不適用的原生酯粒其 P_{rPET} 值均 > 0.3 ，表示錯誤研判為再生料，如進一步將方法不適用酯粒的應用類型先行扣除（包括紡用、採血管等），則 BSI Flex 6228 方法於本次採集的容器用酯粒準確率為 76% (13/17)，而 PET 原生瓶則為 100%。

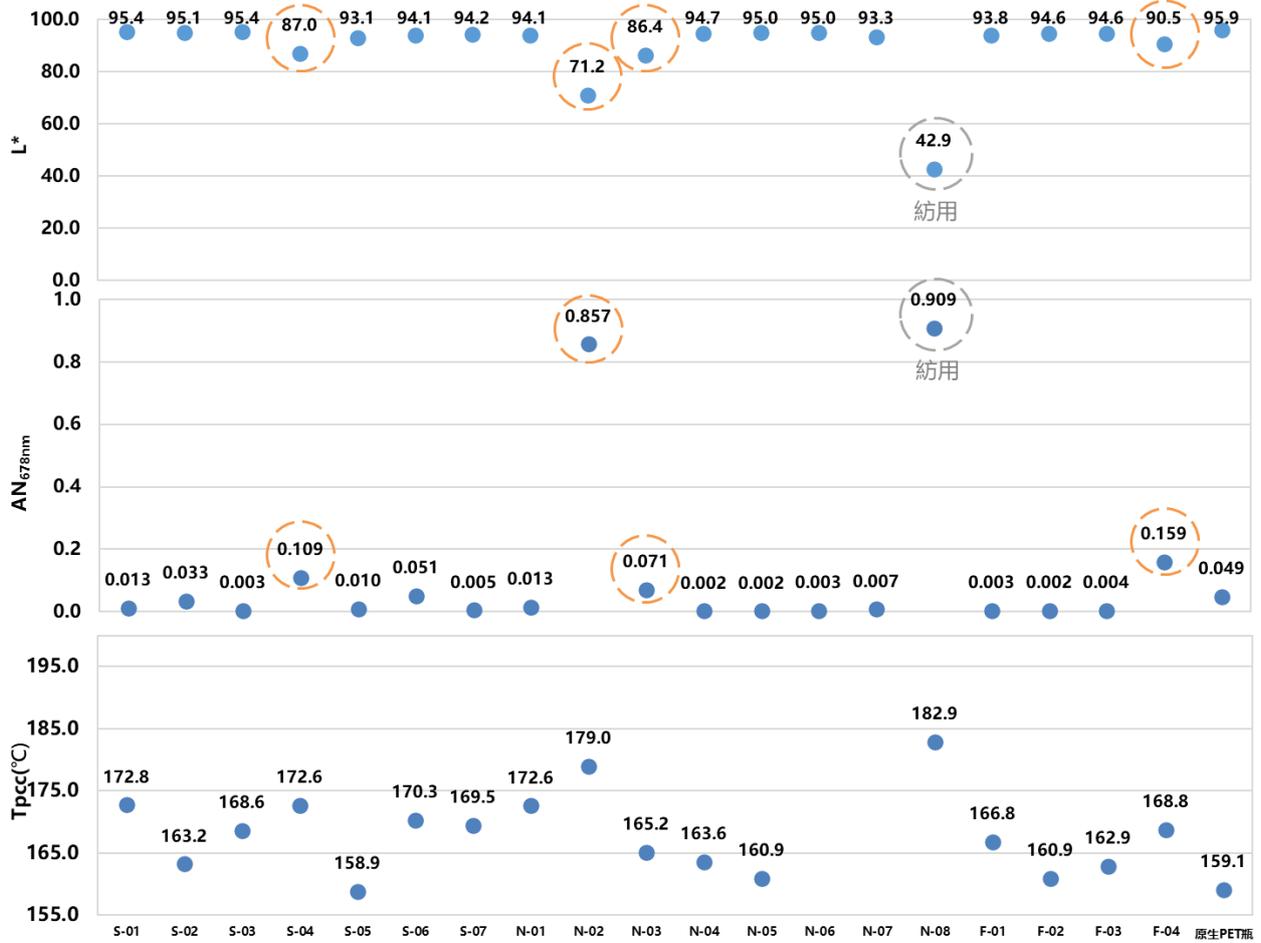


圖 4.1-24、原生酯粒以 BSI Flex 6228 方法個別量測數據



圖 4.1-25、N-08 原生紡用酯粒的混煉射出片

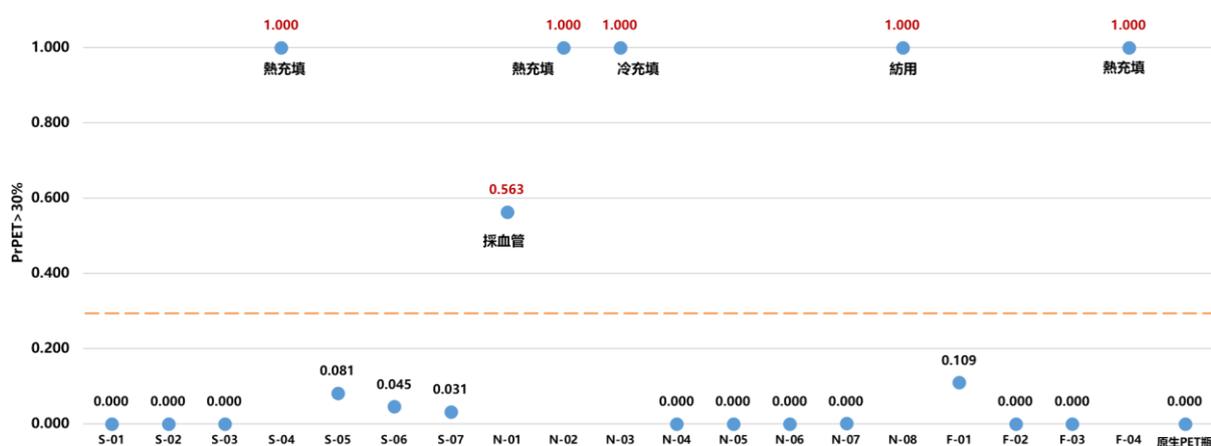


圖 4.1-26、原生酯粒的 P_{rPET} 機率值

(二) 再生酯粒及其容器

本次所取得的再生酯粒可分為物理回收，經 4.1.2 節所述經由一定處理流程最後進入塑膠酯粒製造廠，進一步提黏製成 100%再生酯粒；而另一種則為 FTR 製程（半化學回收酯粒），其中有 2 件次為 30%、1 件次為 50%。另有兩個添加 rPET 達 30%的 rPET 容器，以上樣品同樣以 BSI Flex 6228 方法量測其個別特徵，其特徵值彙整如圖 4.1-27 所示。

以特徵數據而言，再生酯粒的明亮度(L^*)及穿透度均較原生酯粒低，其因為再生酯粒於國內為消費後(Post-Consumer Recycled, PCR)塑膠，廢塑膠回收再製即便已經由一系列清洗除污，但仍難以避免再生酯粒色度不如原生酯粒，由射出片可明顯觀察到再生酯粒射出片的明亮度較暗如圖 4.1-28 所示。而非容器用酯粒，如再生紡用酯粒其射出片同為不透明白色如圖 4.1-29，故於色度和穿透度的量測特徵上均出現偏離值。將再生酯粒及容器原生酯粒及容器所測得的 $T_{p,c,c}$ 、 L^* 和 T_{678nm} 代入方法關係式進行機率值計算如圖 4.1-30，扣除不適用的紡用酯粒，全數的再生酯粒其 P_{rPET} 均等於 1.000（包括 FTR 半化學回收酯粒），預判準確率達 100%，但 30% rPET 瓶則預判錯誤，準確率為 0%。

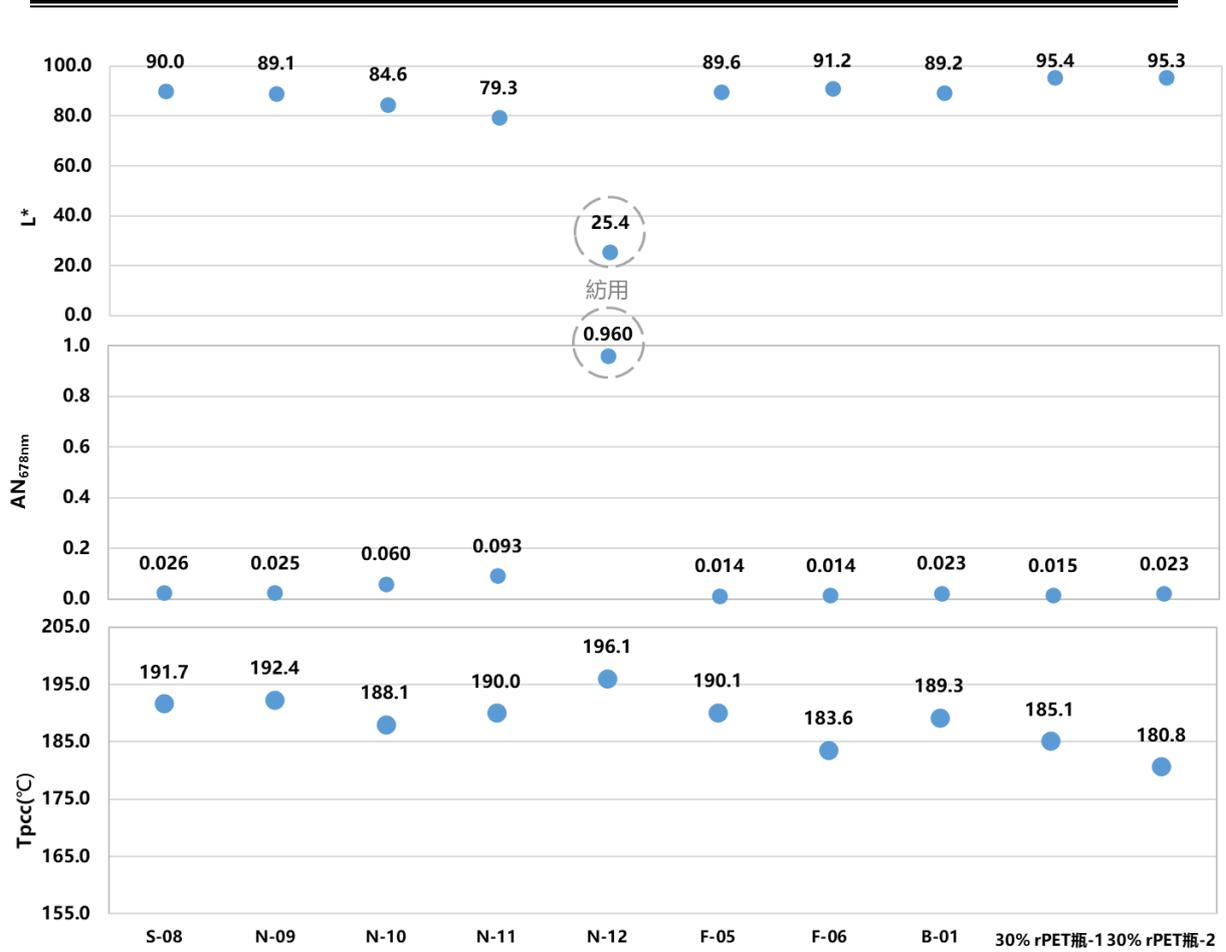


圖 4.1-27、再生酯粒及容器以 BSI Flex 6228 方法個別量測數據

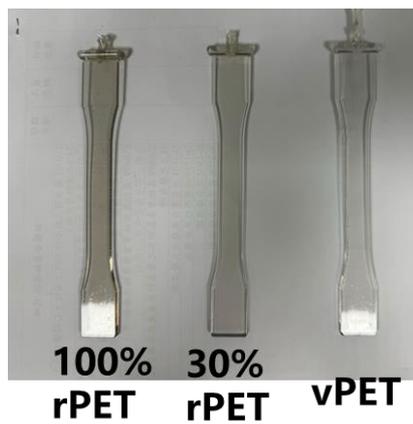


圖 4.1-28、原生及再生酯粒混煉射出片



圖 4.1-29、N-12 再生紡用酯粒的混煉射出片

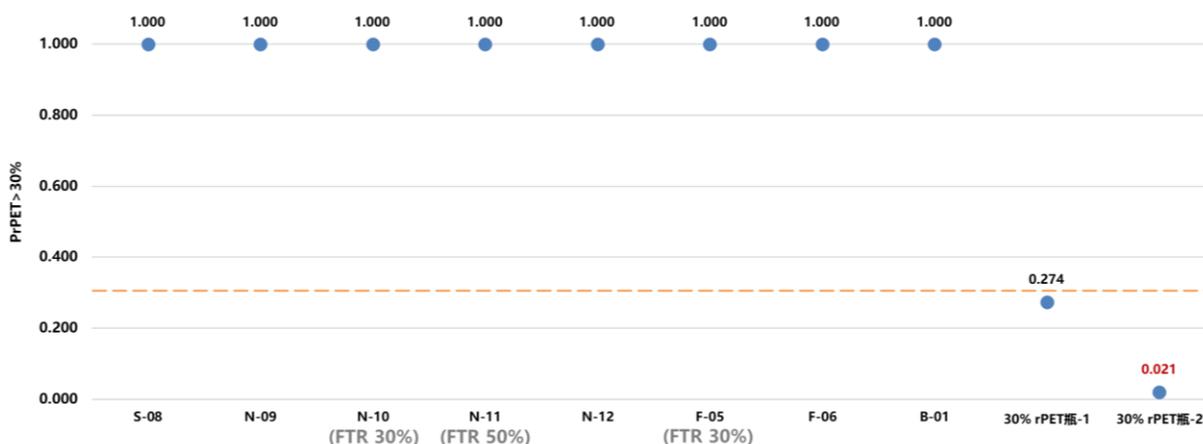


圖 4.1-30、再生酯粒的 P_{rPET} 機率值

(三) 已知來源不同 rPET 添加比例

選取一原生酯粒和再生酯粒，於特徵已知情況下，進行不同再生料添加比例之試驗，其結果顯示其樣品如含有再生料，則其 P_{rPET} 機率值即為 1.000 如圖 4.1-31，研判機率值與再生料添加比例並無直接關聯性。如進一步探究混合酯粒特徵如圖 4.1-32 所示，可發現特徵成趨勢性，明亮度(L^*)和穿透度(T_{678nm})隨再生料添加比例上升越趨下降（穿透度經由厚度正規化後的 AN_{678nm} 會呈現向上趨勢）；熔融後冷卻時的結晶溫度($T_{p,c}$)則隨再生料添加比例上升而上升，但三個測相均非線性關係。

除外，計畫進一步彙整原生酯粒和再生酯粒特徵值如表 4.1-8，扣除方法不適用之酯粒發現原生酯粒、再生酯粒特徵組間差異大，意指不同應用端的酯粒樣品因配方不同、製程條件不同其 $T_{p,c}$ 、 L^* 和 T_{678nm} 差異大，該組內差異已大於組間特徵差異變化，綜合研判要以 BSI Flex 6228 方法推估再生料添加比例有其困難度。

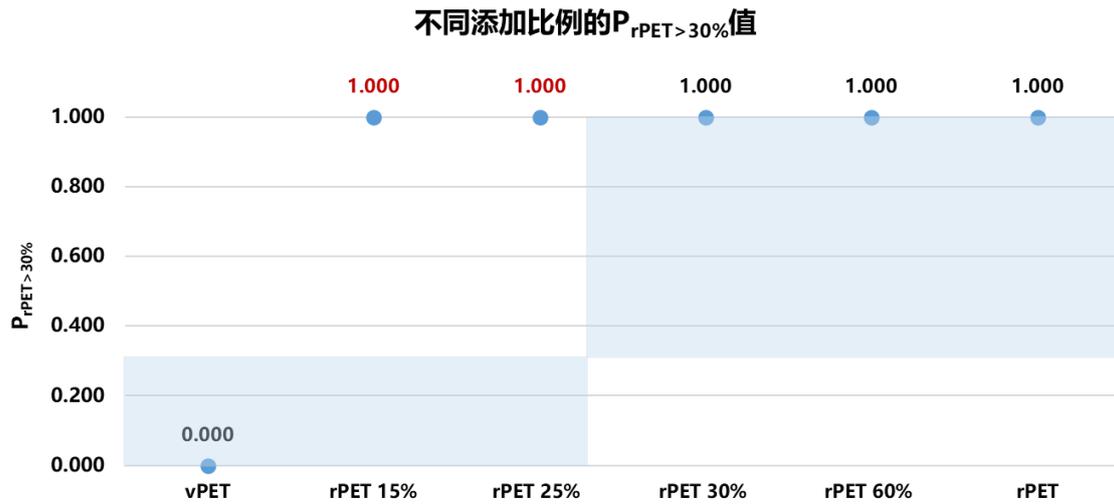


圖 4.1-31、不同再生料添加比例的 P_{rPET} 機率值

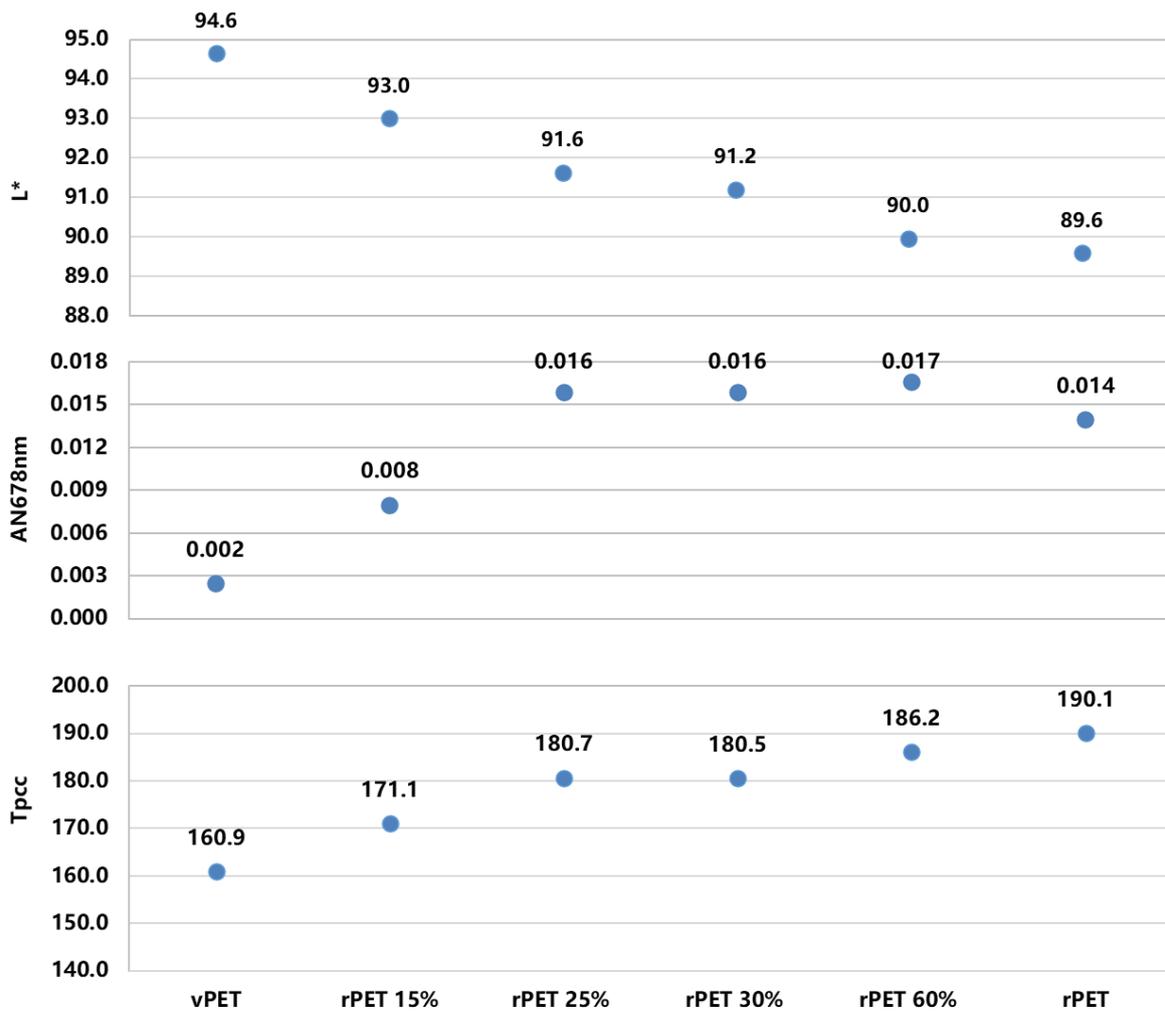


圖 4.1-32、不同再生料添加比例以 BSI Flex 6228 方法個別量測數據

表 4.1-8、原生酯粒、再生酯粒量測值彙整

(排除不適用的樣本)	原生 PET 酯粒(13 件)	再生 PET 酯粒(7 件)
L*	93.1 ~ 95.9	79.3 ~ 91.2
AN678nm	0.002 ~ 0.049	0.014 ~ 0.093
Tpcc	158.9 ~ 172.8	183.6 ~ 192.4

4.1.4 BSI Flex 6228 v2.0 方法改善建議

經 4.1.3 節系統性建立國內原生或再生酯粒、容器的特徵數據，並以 BSI Flex 6228 關係式進行再生料添加比例是否大於 30%之機率預判，結果顯示容器用原生酯粒有 4 件樣品錯誤預判，而添加 30%之 rPET 瓶則有 2 件次錯誤預判，計畫以創新作法進行特徵雙重確認，並綜整其它件樣品圖譜作為此創新作法之驗證數據，其結果彙整如表 4.1-9、表 4.1-10、表 4.1-11 所示。

表 4.1-9、酯粒於定性方法判斷原則的符合性

酯粒	2nd Tc	α 峰	是否符合預期
S01(vPET)	○	×	V
N01 (vPET)	○	×	V
N02 (vPET)	○	×	V
N03 (vPET)	○	×	V
F04 (vPET)	○	×	V
112 年 vPET	○	×	V
112 年 rPET	×	○	V
N08 (vPET)紡用	×	○	

表 4.1-10、寶特瓶於定性方法判斷原則的符合性

寶特瓶	2nd Tc	α 峰	是否符合預期
vPET bottle	○	×	V
30% rPET bottle 1	×	○	V
30% rPET bottle 2	×	○	V
100% rPET bottle 1	×	○	V
100% rPET bottle 2	×	○	V

100% rPET bottle 3	×	○	V
--------------------	---	---	---

表 4.1-11、rPET 酯粒壓片於定性方法判斷原則的符合性

30~100% rPET 酯粒壓片	2nd Tc	α 峰	是否符合預期
S08(rPET)	×	○	V
F05 (30% FTR)	×	○	V
F06 (rPET)	×	○	V
B01 (rPET)	×	○	V
N09 (rPET)	×	○	V
N10 (30% FTR)	×	○	V
NN11 (50% FTR)	×	○	V
N12 (rPET)	×	○	V

由上述研判邏輯結果顯示，扣除不適用之紡用酯粒，無論是容器用酯粒、寶特瓶或 30~100% rPET 酯粒壓片，目前圖譜均符合創新作法的研判邏輯，顯示創新作法確實可進一步釐清酯粒、塑膠片或容器是否為再生料。

總結以上，以 BSI Flex 6228 方法進行 PET 酯粒研判，17 件原生酯粒有 4 件誤判，而 8 件 30~100%再生酯粒皆判斷正確；如為 PET 瓶，則 1 件原生瓶判斷正確，但 5 件 30~100% rPET 瓶中有 2 件誤判。而創新作法於樣品研判結果，6 件原生酯粒及 9 件 30~100%再生酯粒皆判斷正確；如為 PET 瓶，則 1 件原生瓶和 5 件 30~100% rPET 瓶亦判斷正確。創新作法圖譜的波峰判斷可以目視或儀器自動辨識，當波峰較小時可能會有偵測極限，本法之偵測極限尚需更多實驗數據。

第五章 固體再生燃料生質碳比率檢測技術

【章節摘要】

依據我國溫室氣體排放量盤查作業指引，固體再生燃料中含生物質的部分燃燒產生的二氧化碳不計入溫室氣體排放總量，本章參考前期計畫建議，建置我國低背景液體閃爍計數器檢測量能，並以不同生質碳含量的固體再生燃料樣品評估其準確度，建立我國標準方法參考之品保品管。另隨著淨零碳排趨勢，國際生質能發展擬受法規趨勢及創新技術影響，將彙整國際間生質碳政策與供應鏈驅動力，再從中彙整出未來生質碳材料可能之樣品，並以前述正在建置之高溫燃燒爐搭配低背景液體閃爍技術器技術，評估其技術擴大應用的可行性。

5.1 固體再生燃料(SRF)定義

我國環境部於民國 109 公告「固體再生燃料製造技術指引與品質規範」，並於 112 年 1 月 11 日再次修訂，明確將 SRF 定義為具適燃性之廢棄物，可經一定製程製造成燃料，並且需符合特定品質規範。可作為 SRF 原料之廢棄物種類如表 5.1-1，其中適燃性並不包括以下：

- 一、 不包含依相關法規認定為有害事業廢棄物或醫療用廢塑膠。
- 二、 不包含電器廢棄物(R-1901~R-1908)、金屬製品、灰渣(D-1101~D1199)、飛灰固化物(D-2002)、廢觸媒(D-1499)、無機性污泥(D-0902)及其他經主管機關指定之不可燃廢棄物。

表 5.1-1、可作為固體再生燃料原料之廢棄物種類

廢棄物種類	名稱	適用項目
廢塑膠	廢樹脂	非有害之樹脂如黏著劑等(D-0202)。
	廢塑膠混合物	非屬公告應回收或再利用廢塑膠或其混合物(D-0299)。
	廢塑膠	依中央主管機關公告可直接再利用之廢塑膠(共通性、內政部)或廢塑膠(容器)(交通部、通傳會)(R-0201)。

廢棄物種類	名稱	適用項目
	廢塑膠容器(PET)	公告應回收廢棄物。PET 瓶(軟飲料、酒類容器)、地毯、服飾等(R-0202)。
	廢塑膠容器(PE)	公告應回收廢棄物。包裝膜(包裝材料)、購物袋、鋁蒸發紙、可重複使用的運輸紙箱(乙烯基箱、零件箱等)(R-0204)
	廢塑膠容器(PP)	公告應回收廢棄物。可回收的盒子、綑綁繩、糖果包裝袋、鋁蒸發紙(R-0205)。
	廢塑膠容器(PS 發泡)	公告應回收廢棄物。電視機、音響設備、鋁蒸發紙、食品托盤、聚苯乙烯泡沫塑料、玩具外殼等家用電器外殼(R-0206)。
	廢塑膠容器(PS 未發泡)	公告應回收廢棄物(R-0207)。
	廢塑膠容器(其他塑膠)	公告應回收廢棄物(R-0208)。
	廢生質塑膠容器(PLA)	公告應回收廢棄物(R-0211)。
廢橡膠	廢橡膠混合物	非屬公告應回收或再利用廢橡膠或其混合物(D-0399)。
	廢橡膠	依中央主管機關公告可直接再利用之廢橡膠(經濟部、內政部)(R-0301)。
廢紙	廢紙混合物	非屬公告應回收或再利用廢紙或其混合物(D-0699)。
	廢紙	依中央主管機關公告可直接再利用之廢紙(共通性、交通部)(R-0601)。
廢木材	廢木材棧板	指廢棄之木質棧板(D-0701)。
	廢木材	依中央主管機關公告可直接再利用之廢木材(板、屑)(交通部、內政部)或廢木材(板、屑、木質電桿、木質橫擔或枕木)(經濟部、通傳會)(R-0701)。
廢纖維	廢纖維	指廢棄之纖維材質廢棄物(D-0801)。
	廢棉屑	指廢棄之含棉屑材質廢棄物(D-0802)。
	廢布	指廢棄布類廢棄物(D-0803)。
	廢纖維或其他棉、布等混合物	指無法分類之廢纖維、棉屑、布或其混合物(D-0899)。
	廢人造纖維	依中央主管機關公告可直接再利用之廢人造纖維(經濟部)(R-0801)。
	紡織殘料	依中央主管機關公告可直接再利用之紡織殘料(經濟部)(R-0802)。
污泥	漿紙污泥	依中央主管機關公告可直接再利用之漿紙污泥(紙漿、紙及紙製品製造業在廢水處理設備產生之污泥)(經濟部)(R-0904)。
	紡織污泥	依中央主管機關公告可直接再利用之紡織污泥(紡織業與塑膠原料製造業及人造纖維製造業於人造纖維製程所產生廢水在廢水處理設備產生之污泥或生產製程產生之污泥)(經濟部)(R-0906)。

廢棄物種類	名稱	適用項目
動植物性廢棄物	蔗渣	依中央主管機關公告可直接再利用之蔗渣(製糖業在製糖製程產生之蔗渣)(經濟部)(R-0102)。
垃圾	事業活動產生之一般性垃圾	事業活動(含營業活動)所產生與一般垃圾性質相近且非屬其他事業廢棄物種類之廢棄物。須經機械分選設備(Mechanical Treatment, MT)或機械生物處理程序(Mechanical Biological Treatment, MBT)分選後之適燃性廢棄物, 方可作為 SRF 原料。(D-1801)
	一般垃圾	指家戶或其他非事業產生源所產生之日常生活廢棄物。須經機械分選設備(Mechanical Treatment, MT)或機械生物處理程序(Mechanical Biological Treatment, MBT)分選後之適燃性廢棄物, 方可作為 SRF 原料(H-0001)。
	事業員工生活垃圾	指事業員工(不包括營業活動與生產製程)所產生之一般廢棄物。須經機械分選設備(Mechanical Treatment, MT)或機械生物處理程序(Mechanical Biological Treatment, MBT)分選後之適燃性廢棄物, 方可作為 SRF 原料(H-0002)。

5.2 生質碳比率檢測技術建置

5.2.1 碳 14 量測生質碳比率之原理

大氣上層存在著宇宙射線，宇宙射線會連擊大氣圈中的 N_2 ，於此過程產生放射性同位素 ^{14}C ， ^{14}C 與 O_2 結合形成 CO_2 ，並隨著植物行光合作用進入到生物圈中，故對於生活在自然環境中與大氣平衡的生命體譬如農作物、植物、動物、真菌、微生物、海洋生物等均具有一定豐度(Abundance)的 ^{14}C 。當生命體死亡後，由於 ^{14}C 屬於放射性同位素，其半衰期約 5700 年，故死亡後體內的 ^{14}C 豐度將隨著時間遞減，經過了 4~5 萬年，基本上體內已不存在 ^{14}C 。人類過去使用的化石燃料（如煤炭、石油等）即是在億萬年前地球上死去的有機物掉落到海底或沼澤等，最終被泥土和淤泥掩埋，並隨著多年來地殼壓力及微生物的厭氧消化，形成富含碳的沉積物，其 ^{14}C 已衰變殆盡，可視為零。因此，經由量測 ^{14}C 的總量（或活度），可以推算 SRF 中的化石燃料與生質燃料的比例。

5.2.2 碳 14 量測流程

根據 ISO 21644-2021，整體量測流程如圖 5.2-1 所示。大致上可分為樣品均質化前處理、高溫燃燒轉化、液體閃爍計數器(Liquid Scintillation Counter, LSC)量測等 3 個階段。

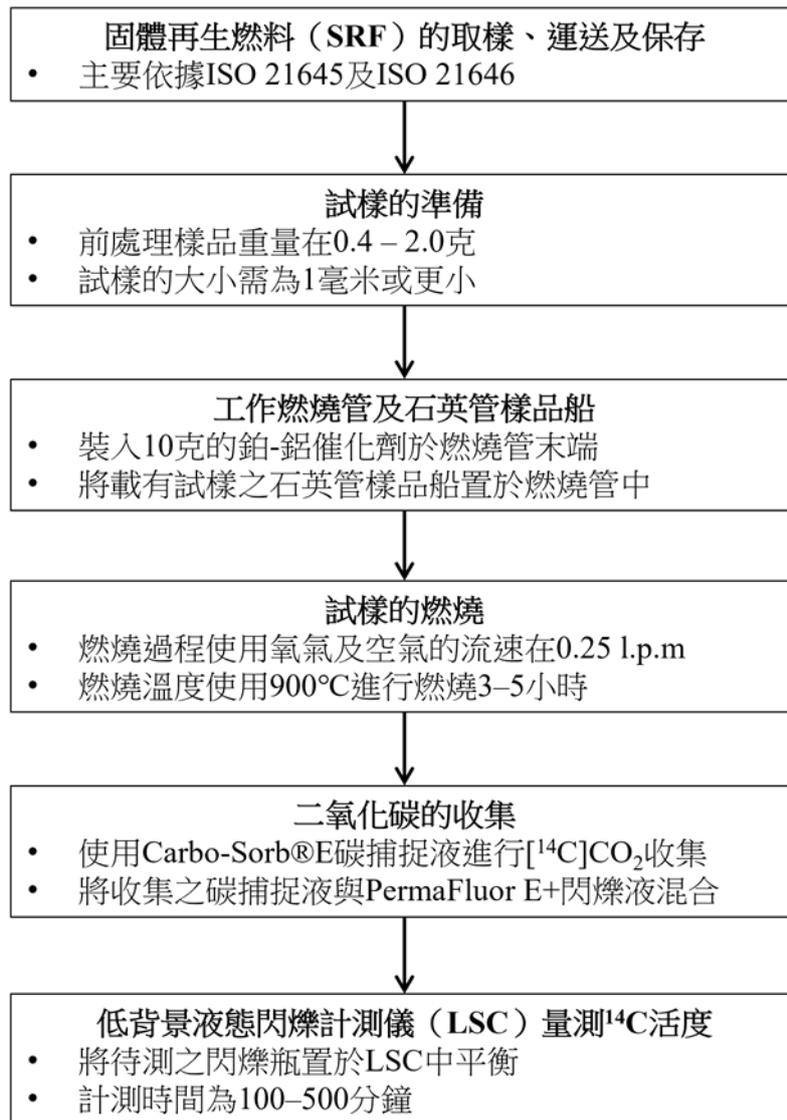


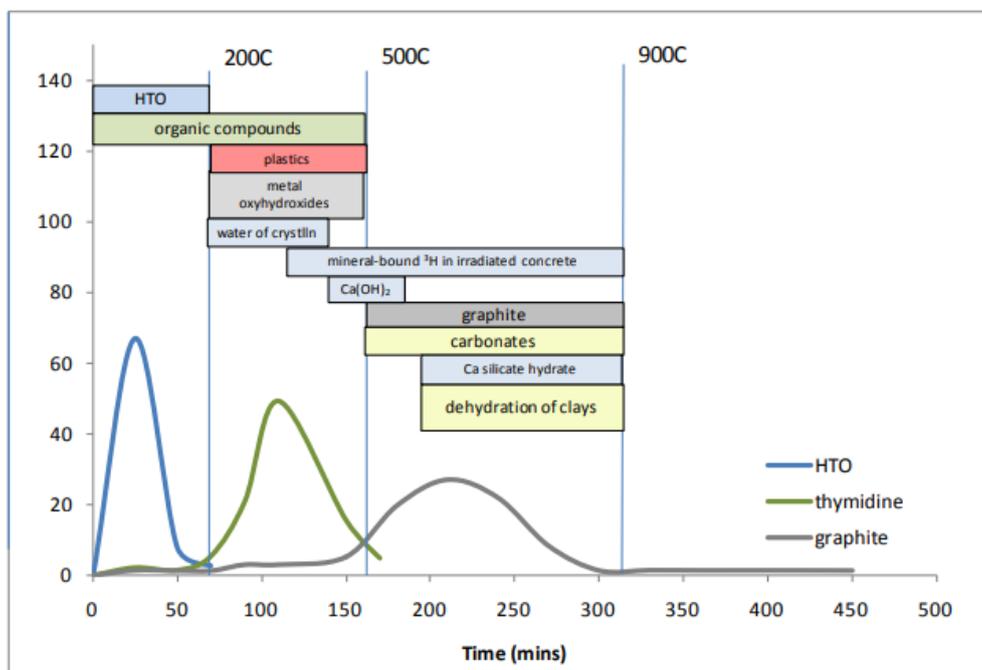
圖 5.2-1、高溫燃燒前處理進行碳-14 活度分析之作業流程圖

一、 樣品均質化前處理

SRF 是多種適燃性廢棄物的混合，均質化前處理的目的在於將 SRF 破碎成較均勻的樣品，通常利用破碎機或研磨機將 SRF 破碎成粒徑 1mm 以下，提升分析取樣時的代表性。

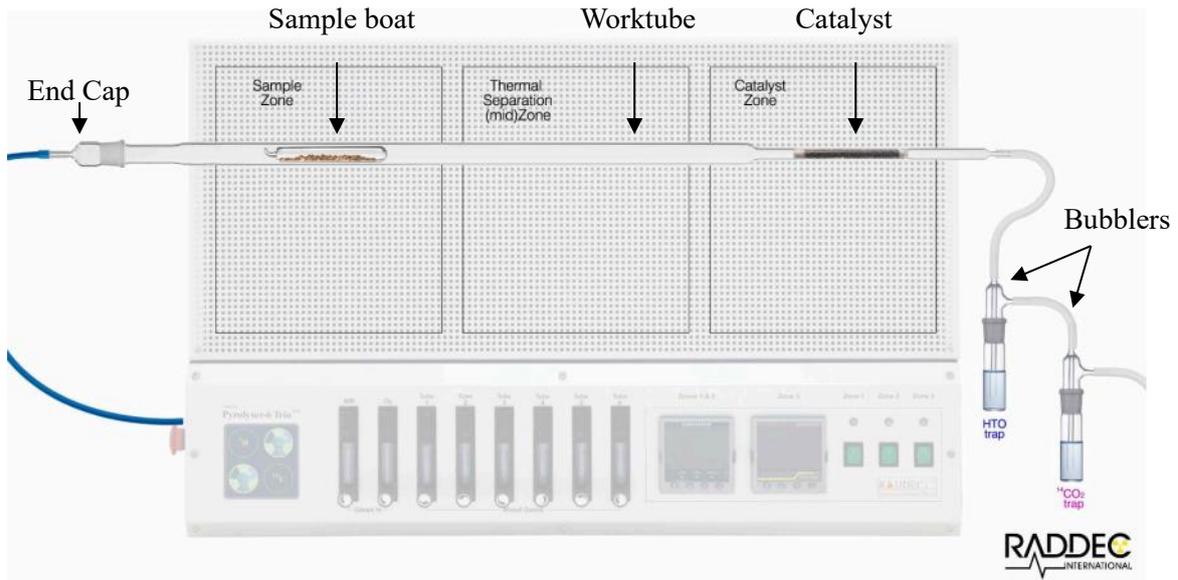
二、 高溫燃燒轉化

此步驟主要目的是將 SRF 中所有的碳轉移到閃爍計數瓶內。本團隊採用「高溫燃燒儀(Pyrolyser-2 Trio™)」將 SRF 中所有的碳轉換化為二氧化碳，再以碳吸收液 Carbo-Sorb®(Capacity of 4.8 mmol C/ml)將二氧化碳捕捉於閃爍計數瓶內。試樣的前處理燃燒所需溫度梯度依試樣基質而異，其可參考如圖 5.2-2 不同試樣前處理燃燒所需溫度應用。其碳-14 定量之試樣燃燒轉化溫度，以碳酸鹽(Carbonate)為例，建議需達 900°C 進行處理。處理燃燒試樣時的總碳量，不得超過吸收液最大捕捉量，且捕捉二氧化碳過程中，須置閃爍瓶於冰浴中。待捕捉程序完成後，加入與碳吸收液等量的閃爍液 Permafluor E⁺混合均勻，置入 LSC 中待其平衡後，方可進行 ¹⁴C 活度計測。圖 5.2-3 為 Pyrolyser-2 Trio™ 工作區域示意圖。



資料來源：RADDEC

圖 5.2-2、評估不同 ³H 試樣之燃燒溫度示意圖



資料來源：RADDEC

圖 5.2-3、Pyrolyser-2 Trio™ 工作區域示意圖

三、LSC 量測

本團隊使用低背景液體閃爍計測儀 PerkinElmer Quantulus GCT™ 6220（現為 Revvity Quantulus GCT）或 Hidex 300SL Super Low Level Automatic TDCR Liquid Scintillation Counter 作為量測儀器，該儀器的背景值較低，適合做環境樣品等 β 核衰變低劑量量測。

LSC 主要量測 ^{14}C 產生的 β 核衰變，其量測原理為 β 射線與閃爍液相互作用產生螢光效應。首先是閃爍液分子吸收射線能量成為激發態，再回到基態時將能量傳遞給閃爍體分子，閃爍體分子由激發態回到基態時，發出的螢光被光電倍增管 (Photomultiplier Tube, PM) 接收轉換為光電子，再經倍增，以脈衝信號形式輸出，如圖 5.2-4。

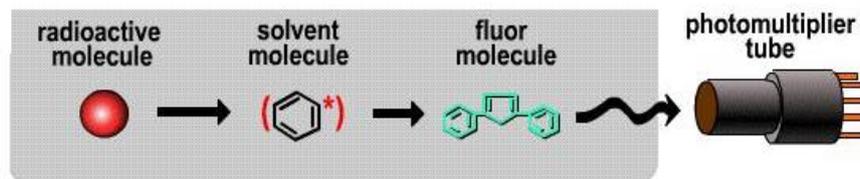


圖 5.2-4、LSC 量測原理圖

β 核衰變被閃爍液吸收至光電倍增管量測過程中，可能會受外界化學、顏色、冷光、靜電、宇宙射線等因素出現淬息效應(Quench)如圖 5.2-5，此效應將使光譜

波峰最高點移動至較低能階如圖 5.2-6，也因偵檢效率(Counting Efficiency)受到淬息影響，影響每分鐘的衰變數(Disintegrations Per Minute, DPM)，因此必須先進行淬息效應的校正，以獲取精準的 DPM。

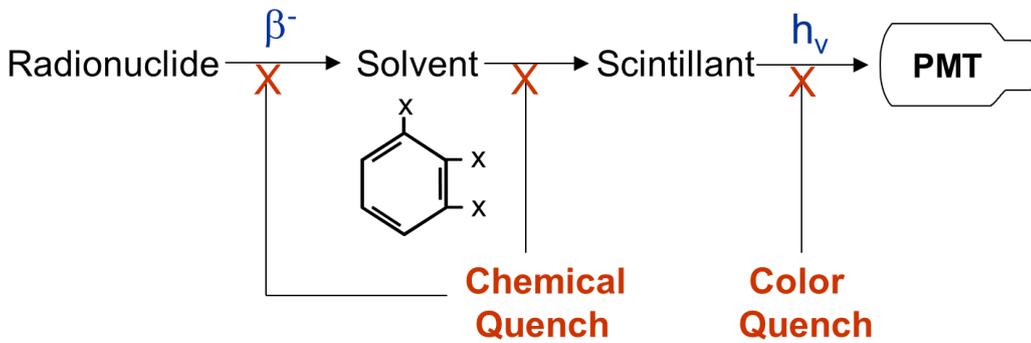


圖 5.2-5、Quench 影響 LSC 之偵檢效率

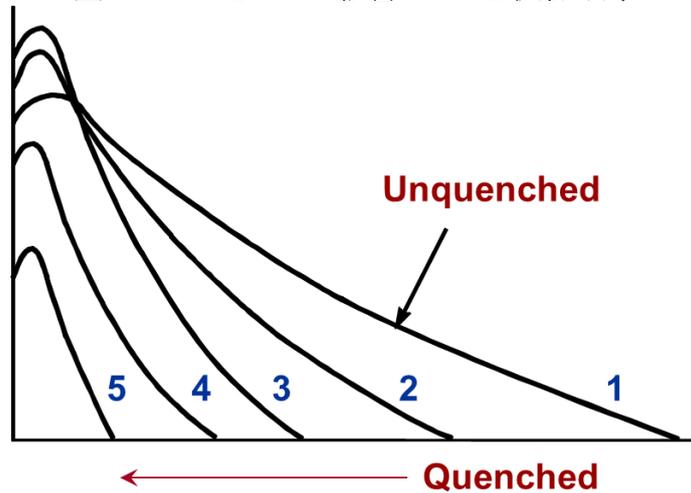


圖 5.2-6、LSC 光譜受 Quench 影響示意圖

(一)淬息校正

其淬息校正方式可大致上分為兩種，一為儀器上有一較強的 β 外標準射源，如 Eu-152、Ba-133；另一種則是選用已知的內標準品(Internal Standard)針對樣品進行添加(Spike)或做淬息曲線的建立，其主要目的均為建立淬息參數，以針對樣品的 DPM 進行校正計算如下列公式所述

$$DPM(\text{unknown}) = \frac{\text{Net CPM}}{\text{Counting Efficiency}}$$

↑
受淬息效應影響而異

(1) 外標準射源校正程序：

利用較強的 β 外標準射源與樣品一同進行測讀，再與樣品測讀的光譜進行比對，即可計算淬息參數。第二次測讀樣品時，即可直接對樣品進行淬息校正計算，獲取較準確的 DPM 值。

(2) 內標準樣品進行添加程序：

利用已知 DPM 值的國際標準品，添加一定量於樣品中，再與樣品一同量測，再與樣品測讀的光譜進行比對，獲取淬息參數。

(3) 內標準樣品進行淬息曲線(Quench Curve)

需依照最終 LSC 上機的樣品體積、顏色作一序列稀釋的內標準樣品，一般通常會執行 10 個序列活度樣品製備，量測讀值後得到一校正曲線，再依這條校正曲線對樣品讀值進行淬息校正。但如樣品最終上機體積改變、顏色與內標準樣品差異甚大，則淬息曲線須重新製備。

(二)樣品量測

液體閃爍瓶混合均勻後，待其溫度與 LSC 平衡後方可進行計測，計測時間約為 6–24 小時（例如：可設定每次計測時間為 50 分鐘週期單位，總共計測 10 次，共計 500 分鐘），最後測得 DPM 為 10 次計測之平均值。

試樣的計測活度將與標準物質的活度進行比較。計測分析過程，需進行背景試樣(Background Sample)的計測（即生質碳為 0%的參考物質，如煤炭），分析完後，結果以 DPM 呈現。而試樣的 ^{14}C 活度計算如下列公示，將試樣計數率減背景計數率，求得淨計數率(Net Count Activity)，同時分析標準參考物質(Oxalic Acid SRM 4990C)淨計數率，計算試樣與標準參考物質相對之淨計數率。

$$\text{DPM} = A_s - A_b = \frac{R_s - R_b}{E_{\text{ff}}}$$

$$A \text{ (Bq/L)} = \frac{A_s - A_b}{60} \times \frac{1}{V}$$

As：試樣衰變率(DPM)
 Ab：背景衰變率(DPM)
 Rs：試樣計數率(CPM)
 Rb：背景計數率(CPM)
 Eff：偵檢效率(%)

經由量測 ^{14}C 的活性，則生質碳比率可由下式計算而得，其中 DPM 為樣品中 ^{14}C 的活性，REF 為大氣校正因子，sm 為樣品重量(公克)。

$$\% \text{ Biobased Carbon} = [\text{DPM}/(13.56 \times \text{REF}/100)/\text{sm}] \times 100$$

5.2.3 生質碳比率檢測方法之品保品管

一、 高溫燃燒法之轉化回收率(Recovery)

為評估前端高溫燃燒法的轉化率，將先測定樣品的總碳量或取一個已知總碳的樣品進行高溫燃燒，並於後端捕捉液蒐集 CO_2 氣體，予以計算該高溫燃燒法的回收率，計算公式如下：

$$\text{Recovery}(\%) = \frac{\text{實際收集之 } \text{CO}_2 \text{ 生成量(g)}}{\text{樣品燃燒之理論 } \text{CO}_2 \text{ 生成量(g)}} \times 100\%$$

二、 方法準確度

本計畫預計以生質碳比率低(<30%)、中(30~60%)及高(>60%)等 3 類 SRF 產品評析計畫建置生質碳比率技術準確度，以建議準確度可能的允收範圍。目前計畫已完成不同生質碳比例樣品採樣共計 10 件次，其樣品清單如表 5.2-1 所示。

表 5.2-1、計畫評估準確度之 10 件次 SRF 樣品

項次	樣品名稱	生質碳含量(%)	組成
1	SRF #1	<30	廢塑膠
2	SRF #2	<30	廢塑膠
3	SRF #3	<30	木屑、其他塑膠粒、其他未列名塑膠製品、廢塑膠
4	SRF #4	30~60	木屑、其他塑膠粒、其他未列名塑膠製品、廢塑膠
5	SRF #5	30~60	廢塑膠混合物、廢紙混合物
6	SRF #6	30~60	廢紙混合物(廢紙排渣)
7	SRF #7	30~60	廢紙混合物(廢紙排渣)
8	SRF #8	30~60	廢紙混合物(廢紙排渣)
9	SRF #9	>60	廢木材
10	SRF #10	>60	廢木材

方法準確度以絕對誤差值表示，亦即測量值與基準值的差值絕對值。計畫將以 Beta Analytic Lab 的檢測值作為基準值，Beta Analytic Lab 使用 AMS 分析 ^{14}C ，為國際生質碳標章之檢測實驗室，其檢測值可追溯至 NIST 國際標準品草酸(Oxalic Acid II, OX II)。

三、方法精確度

與樣品基質相近的參考標準物質重複分析作為方法精確度評估，並擬以至少 3 重複分析以評估其方法精確度，並以標準偏差表示之。

5.2.4 生質碳比例檢測技術建置及分析成果

依 SRF 生質碳比例檢測技術所需，本實驗室已完成高溫管式燃燒儀系統及低背景液態閃爍計數儀建置系統，其結果如圖 5.2-7 及圖 5.2-8。以下將個別回收率測試成果、品保品管分析數據、及 10 件次不同生質碳比率之樣品說明如下：



圖 5.2-7、高溫管式燃燒儀系統



圖 5.2-8、低背景液態閃爍計數儀系統

一、 高溫燃燒爐二氧化碳回收率測試成果

高溫燃燒爐 Pyrolyser 2 燃燒儀之樣品前處理操作程序如圖 5.2-9：

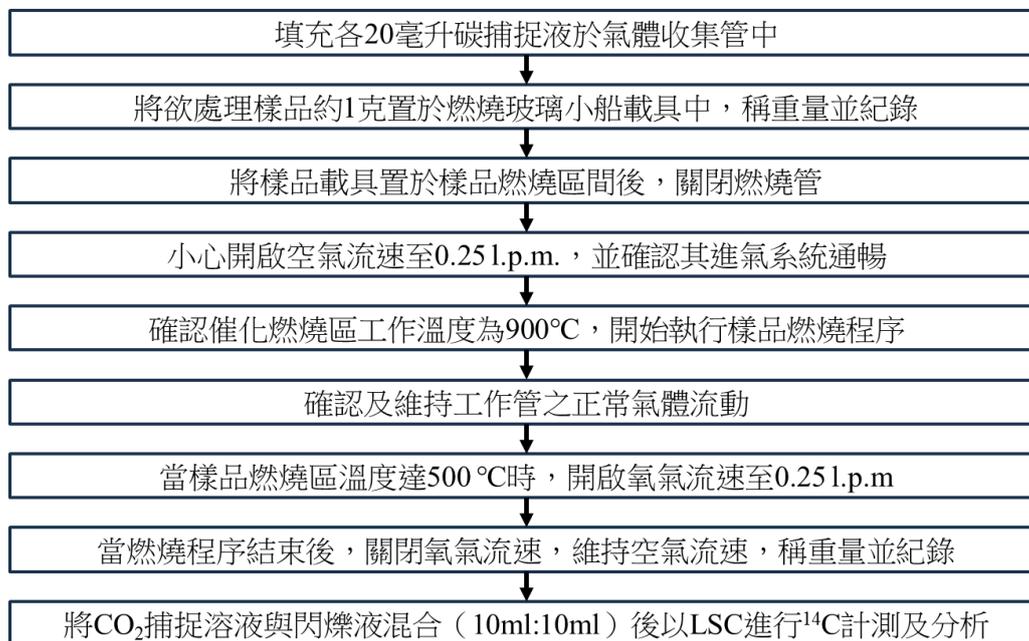


圖 5.2-9、高溫燃燒爐前處理操作程序

為進行二氧化碳回收率評估，將使用燃燒系統中不同加熱梯度進行標準樣品燃燒測試，評估其不同條件對於二氧化碳燃燒回收率之影響。其測試因子包括不同「加熱梯度」及「標準物質」，其測試的加熱梯度說明如下：

- 加熱梯度條件如下：
 - 600°C (gradient)，如圖 5.2-10
 - 900°C (fast)，如圖 5.2-11
 - 900°C (gradient)，如圖 5.2-12
- 標準試樣條件如下：
 - IAEA_C1_Marble 大理石
 - IAEA_C5_Wood 木頭
 - NIST_4990C_Oxalic acid 草酸

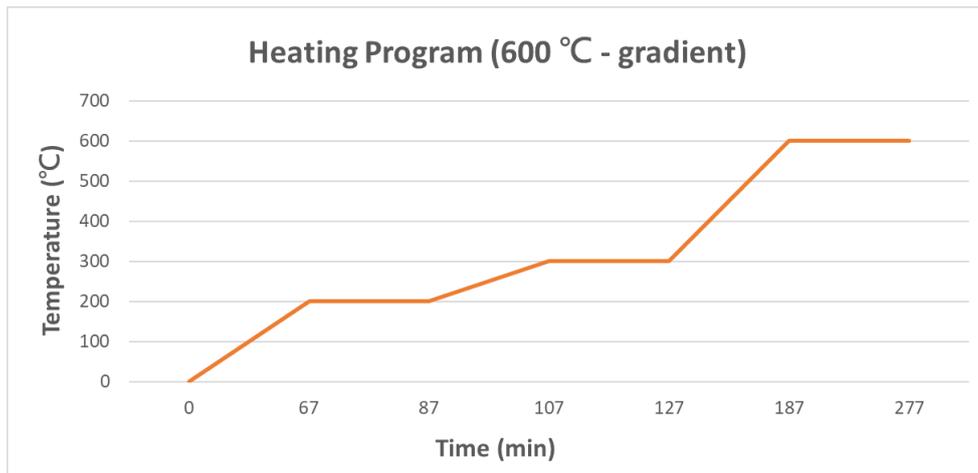


圖 5.2-10、Pyrolyser 2 燃燒儀之 600°C 加熱升溫曲線（梯度）

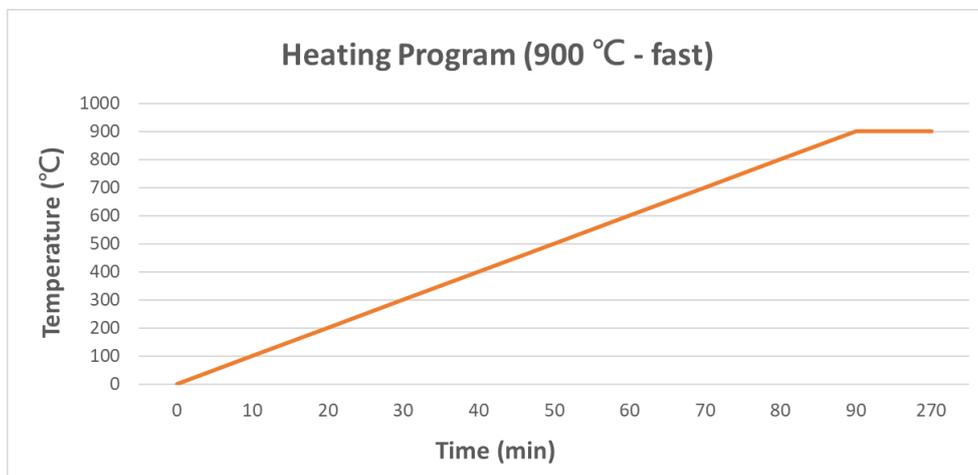


圖 5.2-11、Pyrolyser 2 燃燒儀之 900°C 加熱升溫曲線（快速）

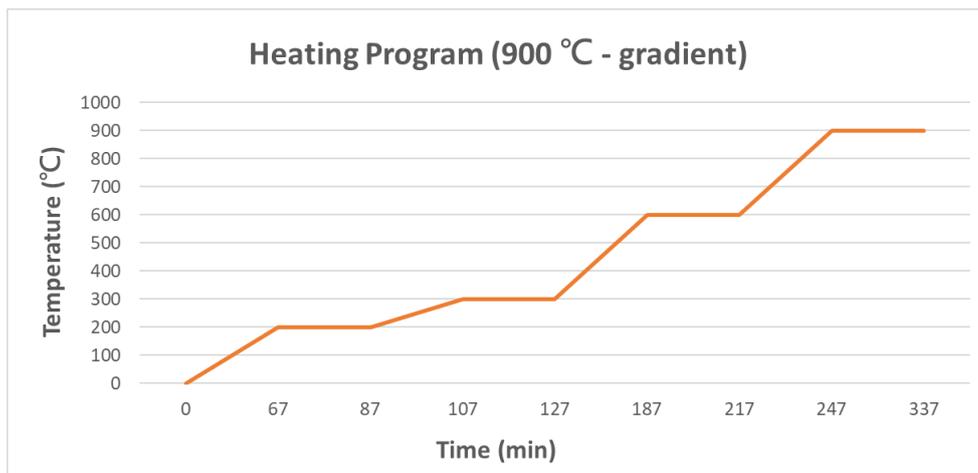


圖 5.2-12、Pyrolyser 2 燃燒儀之 900°C 加熱升溫曲線（梯度）

以上述標準品進行不同升溫梯度測試結果如表 5.2-2。結果顯示加熱溫度及升溫梯度明顯影響二氧化碳轉化回收率。在加熱 600°C時（升溫以梯度方式進行），回收率約在 67 – 77%。當溫度高達 900°C時（升溫度以梯度方式進行），回收率可達 79 – 113%。但如直接使用快速升溫至 900°C，則二氧化碳回收率未能有明顯上升，推測可能與燃燒太過迅速而造成燃燒不全的可能。因此，不同試樣、加熱溫度、及升溫梯度等都是主要可能影響二氧化碳回收率高低之重要因子。此外，氣體的流速等亦可能為影響之重要因子，計畫另進行回收率損失評估結果如表 5.2-3 所示，使用碳捕捉液吸收二氧化碳過程中，其曝氣可能造成碳捕捉液重量些微損失，其影響率約為 1 – 8%，故氣體流速亦為回收率影響因子。

表 5.2-2、以標準物質測試高溫燃燒系統不同升溫梯度成果

測試日期	樣品名稱	高溫燃燒爐升溫梯度	二氧化碳回收率 (%)
2024.09.21	Oxalic acid	600 (gradient)	77.05
2024.09.21	Oxalic acid	600 (gradient)	66.99
2024.10.01	Oxalic acid	600 (gradient)	68.58
2024.10.01	Oxalic acid	600 (gradient)	69.08
2024.10.10	Wood	600 (gradient)	73.30
2024.10.10	Wood	600 (gradient)	73.08
2024.10.13	Oxalic acid	900 (fast)	69.95
2024.10.13	Oxalic acid	900 (fast)	75.74
2024.10.15	Wood	900 (fast)	58.56
2024.10.15	Wood	900 (fast)	42.85
2024.10.17	Marble	900 (gradient)	87.62
2024.10.19	Oxalic acid	900 (gradient)	113.37
2024.10.19	Wood	900 (gradient)	78.70

表 5.2-3、以樣品總碳含量進行樣品回收率評估成果

測試日期	樣品名稱	高溫燃燒爐升溫梯度	回收率損失評估 (wt %)
2024.10.10	Wood	600 (gradient)	0.68
2024.10.10	Wood	600 (gradient)	0.75
2024.10.13	Oxalic acid	900 (fast)	3.78
2024.10.13	Oxalic acid	900 (fast)	5.85
2024.10.15	Wood	900 (fast)	4.04
2024.10.15	Wood	900 (fast)	3.49
2024.10.17	Marble	900 (gradient)	7.62

最終計畫以梯度升溫至 900°C 作為後續 10 件次不同生質碳比率 SRF 樣品之燃燒轉化條件，其樣品回收率轉化結果如表 5.2-4 所示。結果顯示，當使用溫度為 900°C（升溫以梯度方式進行），其 SRF 試樣之二氧化碳轉化回收率在 40–109%。其中，回收率較高的組別出現在編號#9 及編號#10 的 SRF 試樣，回收率為 89–109%，其材料屬性為廢木材。而回收率較差的組別出現在編號#1 及編號#2 的 SRF 試樣，回收率為 39–42%，其材料屬性為廢塑膠。整體 SRF 的回收率較碳-14 標準物質來的低，推測可能為材料中不純物及無機物質所致，欲改善其回收率，可能再從燃燒程序及各影響因子進行深究及評估，包括如：升溫梯度、加熱時間、氣體流速、尾氣水氣影響等。

表 5.2-4、固體再生燃料之二氧化碳轉化回收率結果彙整

測試日期	樣品名稱	高溫燃燒爐升溫梯度	二氧化碳回收率 (%)
2024.11.11	SRF #1	900 (gradient)	42.58
2024.11.11	SRF #2	900 (gradient)	39.64
2024.11.09	SRF #3	900 (gradient)	46.90
2024.11.09	SRF #4	900 (gradient)	54.60
2024.11.07	SRF #5	900 (gradient)	59.04
2024.11.07	SRF #6	900 (gradient)	53.43
2024.11.05	SRF #7	900 (gradient)	59.50
2024.11.05	SRF #8	900 (gradient)	58.62
2024.11.03	SRF #9	900 (gradient)	109.96
2024.11.03	SRF #10	900 (gradient)	89.14

二、不同生質碳比率之固體再生燃料品保品管建議

(一) 方法準確度

以不同生質碳比率之固體再生燃料評估其方法準確度，其量測結果如表 5.2-5 所示，由結果顯示生質碳比率低(<30%)樣品為廢塑膠組成，其生質碳比率約等於 0，與國際生質碳實驗室檢測值相當；而生質碳比率中(30~60%)為廢塑膠混摻木屑或廢紙排渣樣品，前者廢塑膠混摻木屑樣品其絕對誤差範圍為 12.13~13.15%，後者廢紙排渣樣品則為 0.15~30.28%；生質碳比率高(>60%)為廢木材組成樣品，其絕對誤差範圍為 8.4~21.4%。如為國內實質具檢測需求，即成分混摻的樣品如廢塑膠混

摻木屑、廢塑膠混摻廢紙或廢塑膠混摻紡織，則初步計畫以高溫燃燒系統搭配低背景液體閃爍計數器之方法準確度約為 0.15~30.28%。

表 5.2-5、不同生質碳比率固體再生燃料樣品準確度評估

樣品名稱	總碳含量 (%)	生質碳含量 (%)	生質碳含量基準值 ¹ (%)	絕對誤差值
SRF_#1	69.07	0 (-3.3)	1.62	1.62
SRF_#2	72.45	0 (-22.4)	<0.44	0
SRF_#3	76.93	33.8	21.67	12.13
SRF_#4	62.17	39.4	26.25	13.15
SRF_#5	58.85	30.9	31.05	0.15
SRF_#6	60.40	33.3	35.82	2.52
SRF_#7	55.93	55.9	36.11	19.79
SRF_#8	54.96	76.7	46.42	30.28
SRF_#9	40.86	91.6	100	8.4
SRF_#10	45.12	78.6	100	21.4

註 1：生質碳含量基準值：以加速器質譜儀分析 ¹⁴C 含量，其檢測品質可追溯至國際標準品草酸(SRM 4990C)。

(二) 方法精確度

以國際標準品草酸確認方法精確度，草酸樣品經由本系統量測三次其生質碳含量計算為 90.4%、66.3%、51.6%如表 5.2-6 所示，計算三次測值之標準偏差作為方法精密度，初步建置本系統之精確度約為 20%標準差。

表 5.2-6、不同生質碳比率固體再生燃料樣品準確度評估

樣品名稱	生質碳含量(%)
Oxalic acid-1	90.4
Oxalic acid-2	66.3
Oxalic acid-3	51.6
平均值	69.43
標準差	19.58

三、 技術建置心得

目前初步評估液體閃爍器以 ^{14}C 進行生質碳含量量測方法確實可行，然前處理分析作業及 LSC 計測作業卻相當耗時，依據目前本套高溫燃燒轉化系統前處理轉化時間需時 5 小時，不包括降溫、燃燒管清潔作業等，而液體閃爍計數器量測一樣品，為能取得較穩定之量測值，目前方法須計測 10 小時，除外尚須投入以下成本如：

1. 儀器維護成本
2. 試劑耗材成本（較昂貴部份）
 - (1) 前處理部份：試樣準備、燃燒管、燃燒船載具、觸煤、集氣瓶
 - (2) 計測儀部份：碳捕捉液、閃爍液
 - (3) 品管品保部份：碳-14 標準物質
3. 人力成本
 - (4) 樣品前處理（燃燒時間長）
 - (5) 設備清潔（頻率高）

四、 未來技術精進方向

由於 SRF 試樣之碳-14 量測屬環境級範圍，分析過程影響因子甚多，依據儀器商所提供的實測生質碳含量參考數據顯示，於 25~30% 生質碳比率含量範圍，其量測結果之準確度 (2σ) 標準偏差值約可達 $\pm 10\%$ 以內（在最佳化的操作程序及足夠長的計測時間），初期建置的系統若要達到精確及穩定分析，其最佳化的標準作業程序建立及各項因子評估有其必要，重要精進方向包括：

1. 樣品準備：顆粒大小、乾燥程度、樣品均勻度、取樣方式、總碳分析、樣品燃燒重量
2. 燃燒處理：氣體純度、氣體流速、燃燒溫度與梯度、觸煤使用、記憶效應、除污、碳捕捉液及閃爍液、尾氣管線長度、尾氣中水氣影響、集氣瓶選擇、回收率、燃燒順序

3. 計測分析：計測模式選擇如外標準射源(External Standard Source)、添加樣品分析(Spiked Sample)、計測參數設定（計測時間、能窗限制、背景遮斷、偶合時間、樣品冷光影響等）

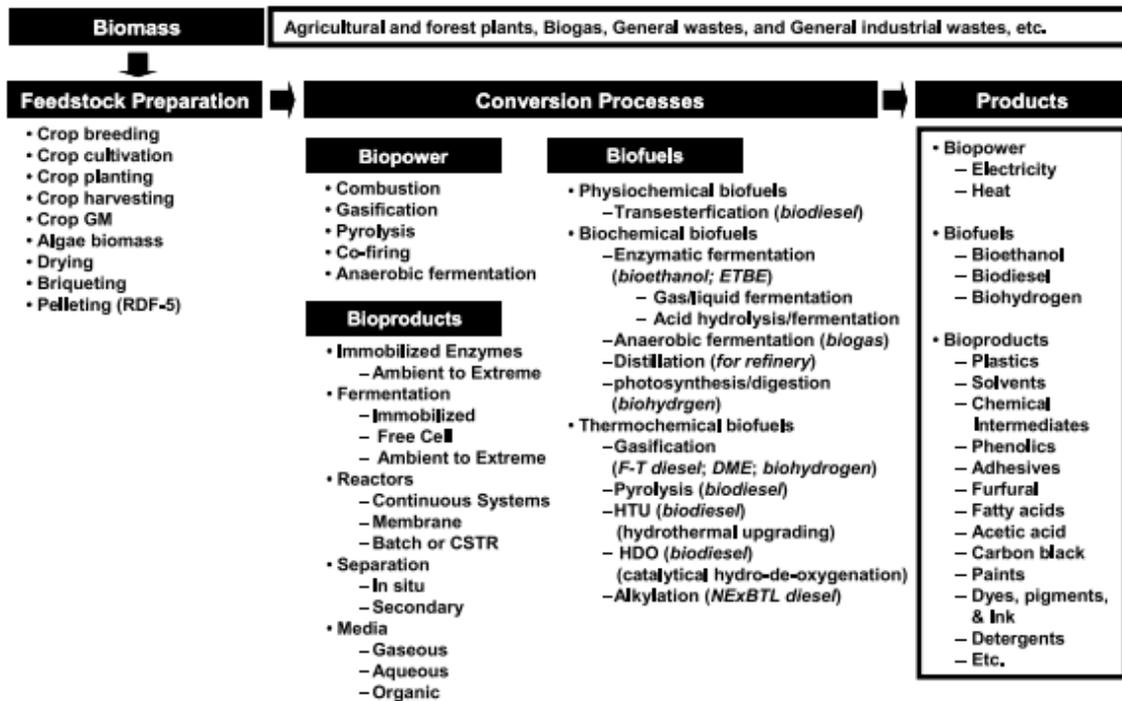
5.3 生質碳檢測擴大應用可行性評析

聯合國在 COP28 開幕前夕（2023 年 9 月），公布了第一次全球減緩氣候變化進展的評估報告，即「全球盤點」(Global Stocktake, GST)，為巴黎協定簽署後 8 年來第一次檢核 200 國氣候行動的成績單。由盤點結果顯示，地球仍升溫 1.2°C，如希望達成限溫 1.5°C，2030 年需減碳 43%，2035 年需減碳 60%（以 2019 年為基準年）。因此於大會上各國可經由國家自主決定的方式，針對再生能源容量增加、逐步減少燃煤電力及以公正、有序和和平的方式讓能源系統「轉型脫離化石燃料」(Transition Away from All Fossil Fuels)。為評估全球於生質碳產品及其應用推動趨勢，計畫將分為產品面、政策面以及技術面三大面向進行研析，以評估生質碳技術擴大應用的可行性：

一、 產品面：

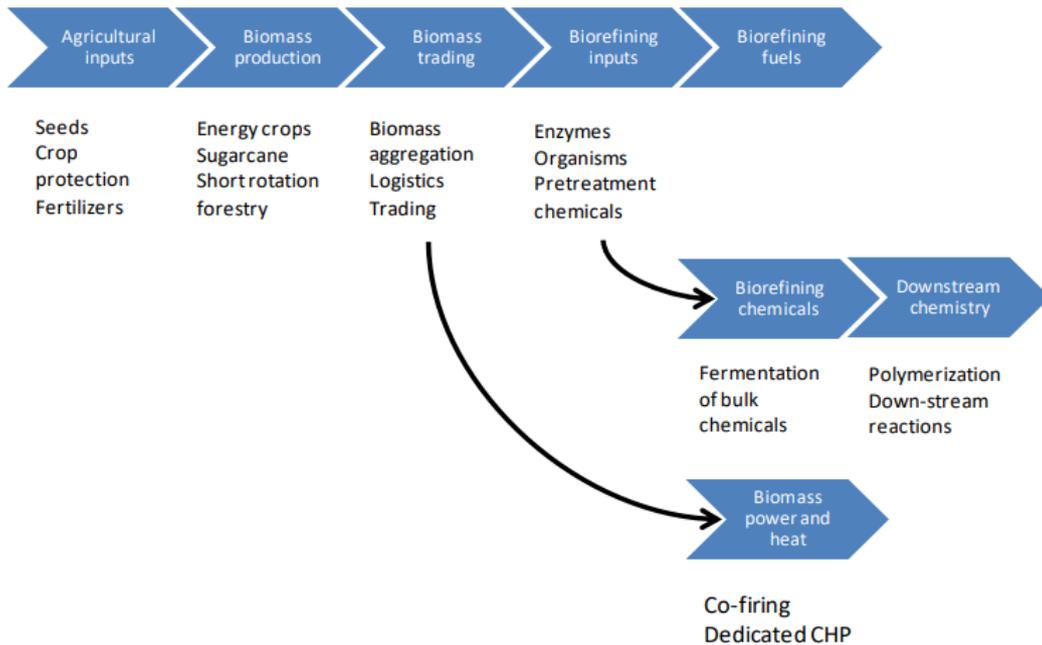
為避免大量二氧化碳等溫室氣體排放伴隨的暖化效應與氣候異常，各國與國際大廠紛紛推動減碳目標，包括使用生質燃料、廢棄物能源化、回收再利用、低碳技術、碳捕捉等，以多元管道併行進而滿足降低碳排之需求。

其中，生物質應用由來已久，從最早期發展的廢棄物衍生燃料，其中生物質的部分即屬於生質能燃料發電之應用；而後於西元 2000 年左右，因石油短缺及價格上揚，國內外發展出生質燃料（如生質柴油、生質酒精）；迄今生質能技術已因應減碳需求發展出更多面向，譬如生質化學品、生質塑膠及其衍生產品應用等，其相關生質能技術應用總覽如圖 5.3-1、圖 5.3-2 所示。針對目前市場上已成熟之產品利用方式，可區分為三大類：



資料來源：吳耿東，李宏台。(2007)。全球生質能源應用現況與未來展望

圖 5.3-1、生質能技術總覽



資料來源：IEA Bioenergy: Task 42: 2020: 01. Bio-Based Chemicals A 2020 Update.

圖 5.3-2、生物基產品上中下游的價值鏈

(一) 生物質熱電技術利用(Biopower)及生質燃料(Biofuel)：

1. 環境部推動之固體再生燃料即為適燃性廢棄物經適當破碎、分選、乾燥、均質化，得作為鍋爐、水泥窯之替代燃料產生蒸汽或電力。

2. 經熱化學技術將生物質經氣化作用(Gasification)、裂解作用(Pyrolysis)等轉換程序，生成燃油或合成氣(Syngas)（如甲烷、氫氣、一氧化碳等）。
3. 經化學或生物技術，如發酵、酯化等轉換程序產生沼氣、生質乙醇(Bioethanol)、生質柴油(Biodiesel)、生質氫氣(Biohydrogen)等。譬如工業或畜牧場廢水經微生物厭氧發酵產生沼氣，可用於發電；糖或玉米等進行酯化反應產製生質柴油，可作為汽車之替代燃料。盤點 2021 年全球液態生質燃料產量約 1,620 億升，其中生質乙醇(Bioethanol)占 2/3、生質柴油(Biodiesel)28%，剩餘為少許的氫化植物油(Hydrogenated Vegetable Oil, HVO)及永續航空燃料(Sustainable Aviation Fuel, SAF)。

(二) 生質產品(Bioproducts)

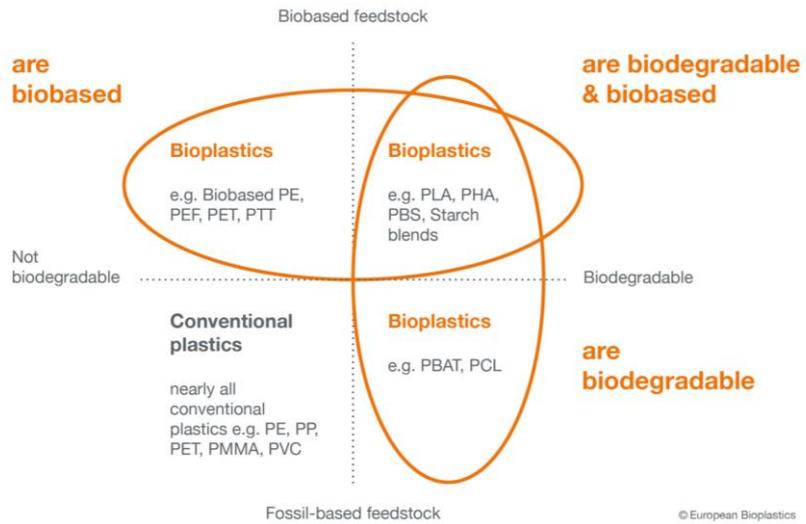
1. 生質塑膠(Bioplastics)

塑膠依據原料來源可分為石油基(Fossil-based)和生物基(Biobased)，其中生物基是指以生物質為資源，譬如糖、澱粉、玉米、植物油或其它植物材質等製成的塑膠，由生物質製成的塑膠即為生質塑膠，如圖 5.3-3 中上半部。生質塑膠又可分為生物可分解塑膠(Biodegradable Plastic)和生物基(Biobased Plastic)兩大類，其中生物可分解塑膠是指在某些特定環境條件下，塑膠物質可被微生物分解，如圖 5.3-3 右上。

Material coordinate system for bioplastics

Bioplastics are biobased, biodegradable, or both.

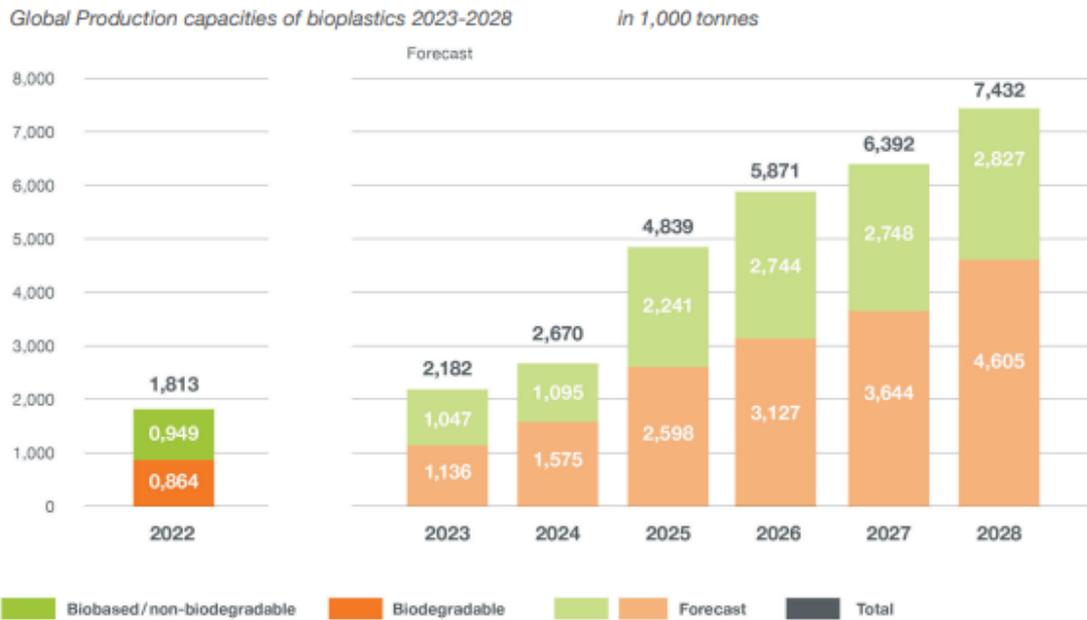
Source: Institute for Bioplastics and Biocomposites (IBB) and European Bioplastics (EUBP)



資料來源：Bioplastics – European Bioplastics e.V. (european-bioplastics.org)

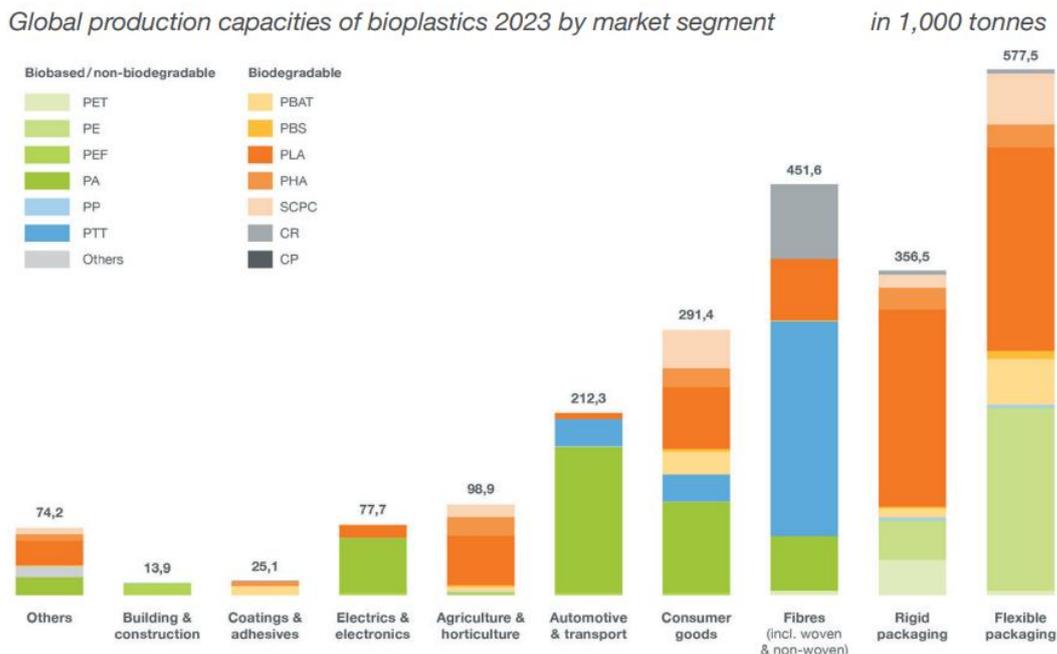
圖 5.3-3、一般石化塑膠與生質塑膠分類

依據歐洲生質塑膠組織(European Bioplastic)於 2023 年市場發展更新的報告，全球生質塑膠產量約占塑膠總產量的 0.5%，然而於國際與各國政府於減碳力道與全球塑膠公約的驅動下，生質塑膠產能應會逐漸成長。未來可能將從 2023 年生產的 2.18 百萬噸，於 2028 年成長至 7.43 百萬噸，如圖 5.3-4 所示。其中，以包裝材料為原塑膠製品最主要的市場應用，因此於全球減塑、限塑的趨勢下，包裝材料將成為首要被取代與改變的應用如圖 5.3-5。於目前 2023 年應用端顯示，生質塑膠於包裝應用約占 43%，其它則有生質纖維、消費用品、車用或運輸業、農業與園藝業、電子及電器產品、塗裝及膠著劑、建築業等。



資料來源：European Bioplastic. Bioplastics market development update 2023.

圖 5.3-4、歐洲生質塑膠組織預估生質塑膠未來產能



資料來源：European Bioplastic. Bioplastics market development update 2023.

圖 5.3-5、歐洲生質塑膠組織盤點 2023 年生質塑膠應用

2. 生質化學品(Biobased Chemical)

生質化學品是以生物質作為原料所生產之化學用途的產品（不包含使用於燃料用途的生質乙醇、生質柴油等產品）。這些產品具有可生產多種二階化學品 (Secondary Chemical) 的衍伸特性，可以衍伸發展出龐大的生質化學產業結構如圖

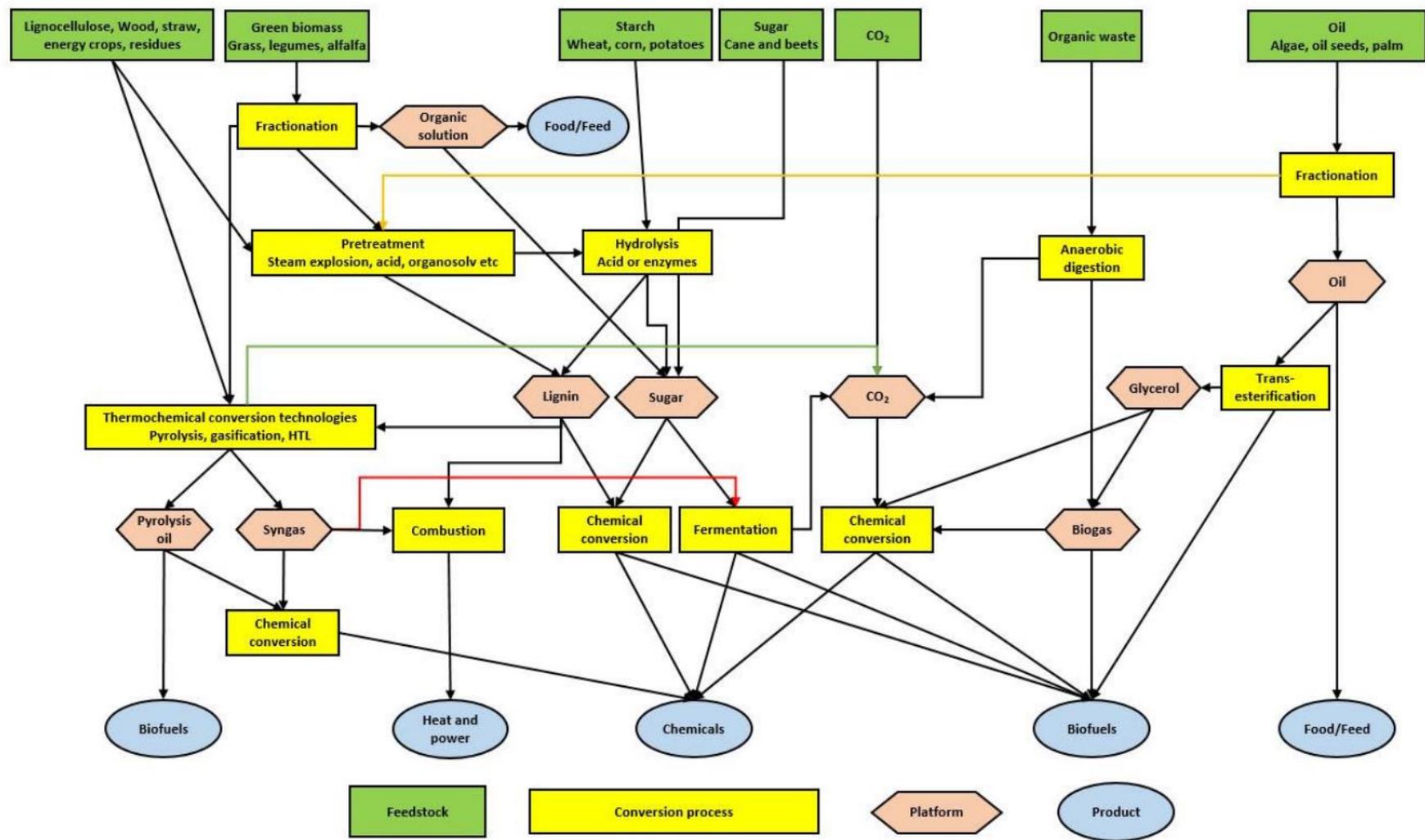
5.3-2。以國際能源總署(International Energy Agency, IEA)報告[26]指出，將生物質轉化成化學品的途徑包括 1. 木質素(Lignin)經化學轉換成化學品；2. 糖(Sugar)經由化學轉換或發酵轉換成化學品；3. 裂解燃油(Pyrolysis Oil)或合成氣(Syngas)經化學轉化成化學品；4. 二氧化碳經化學轉化成化學品等如圖 5.3-6。

其中，以生物質轉換成化學品之技術歷史最悠久的應為檸檬酸，其它的包括乙醇、丙二醇，而國際能源總署另盤點目前國際間正處於開發階段或試量產階段之生質化學品，計畫僅擷取部分羅列如表 5.3-1，以上資訊為 IEA 2020 年盤點之結果，直至 2024 年，全球研發之生質化學品應不計其數。

表 5.3-1、全球公司生產的生質化學品概覽以及示範規模（擷取部分）

Cn	化學品	化學式	全球生物基產能 (Kta)	發展公司
1	Methane	CH ₄	-	Many
	Methanol	CH ₃ OH	43	OCI (BioMCN), Sodra, Carbon Recycling International, W2C*
	Formaldehyde	CH ₂ O	-	BASF
	Syngas	CO	760	Many
	Formic Acid	CH ₂ O ₂	-	Avantium
	Carbon Dioxide	CO ₂	-	ClimeWorks
2	Ethylene	C ₂ H ₄	200	Braskem
	Ethanol	C ₂ H ₆ O	80,800	Many
	Ethylene oxide	C ₂ H ₄ O	40	Croda, Biokim
	Ethylene glycol (MEG)	C ₂ H ₆ O ₂	175	India Glycols Ltd, HaldorTopsoe, UPM, Avantium, ENI/Versalis
	Acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	24.5	Sekab, Wacker, Godovari Biorefineries Ltd, Zechem
	Glycolic acid	C ₂ H ₄ O ₃	-	Metabolic Explorer (Metex)
	Oxalic acid	C ₂ H ₂ O ₄	-	Avantium

資料來源：IEA Bioenergy: Task 42: 2020: 01. Bio-Based Chemicals A 2020 Update.



資料來源：IEA Bioenergy: Task 42: 2020: 01. Bio-Based Chemicals A 2020 Update.

圖 5.3-6、國際能源總署 42 種分類系統的生物質轉化技術

譬如 LanzaTech 與 India Glycols Limited 合作開發生產 MEG、與中國石化公司共同開發一條新路線來生產聚乙烯。另外，2020 年 10 月，LanzaTech 宣布與 Total 和 L'Oréal 合作，生產由工業碳排放製成的化妝品聚乙烯瓶。由 LanzaTech 將所捕獲之工業碳排放使用其生物技術轉化為乙醇；再由 Total 將乙醇轉化為乙烯並將其聚合成聚乙烯；最後，L'Oréal 使用這種聚乙烯，生產永續的化妝品包裝，如圖 5.3-7。

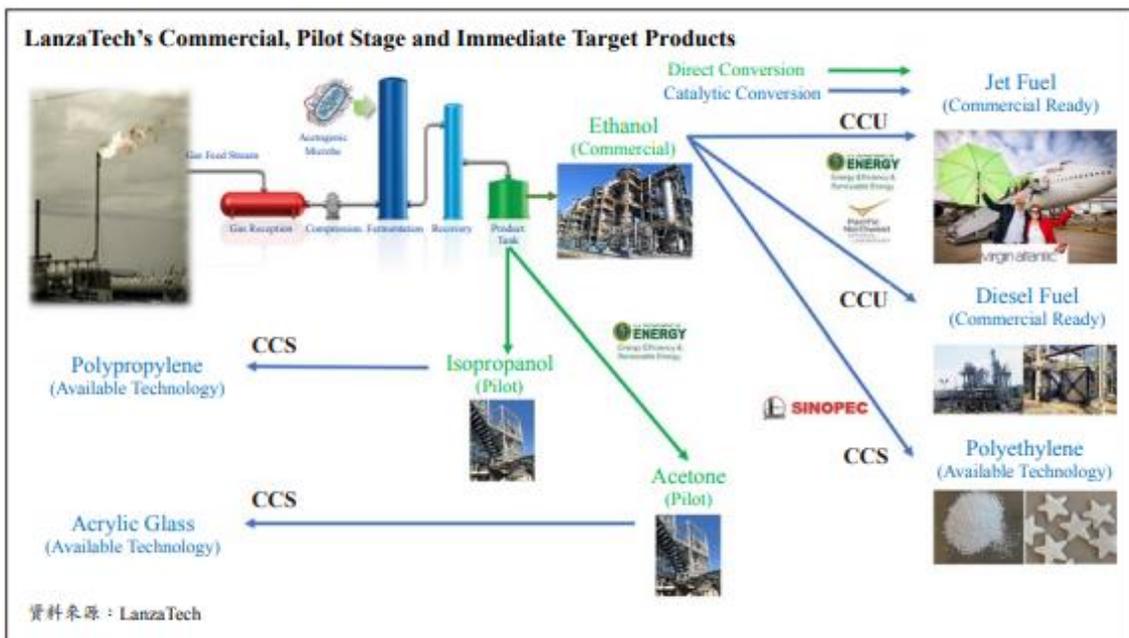


圖 5.3-7、LanzaTech 生產生質化學品應用於生質塑膠包裝

而國內也早於 2010 年由中國人造纖維股份有限公司與日本豐田通商公司合資建設，於 2010 年底成立了臺灣綠醇公司，由豐田從巴西引進由甘蔗提煉出的生質酒精，在綠醇製造年產 10 萬噸的生質乙烯，以及生質乙二醇、生質 PET，形成上下游生質供應鏈。承德油脂每年回收全近九成的廢食用油約 7 萬公噸，透過化學催化製程與蒸餾精煉技術轉化成高品質生質柴油，在國際市場佔有一席之地，去年外銷歐洲就超過 6 萬公噸，英國石油公司、殼牌石油都是承德油脂的合作夥伴，初估該公司每年約締造 15 億的生質柴油商機。另目前國內前三大塑膠酯粒製造廠，如遠東新世紀股份有限公司、南亞塑膠工業股份有限公司、新光合成纖維有限公司都已使用生質乙二醇，取代石化煉製之乙二醇，研發出生質碳含量 30% 的 bio-PET 酯粒產品。

二、 政策面

以聯合國糧食及農業組織(Food and Agriculture Organization, FAO)和經濟合作暨發展組織(Organization for Economic Cooperation and Development, OECD)於 2023 年分析報告指出，生質燃料產能將持續受到全球交通燃料需求及國際政策推動如：

1. 歐盟

歐盟於 2009 年推動再生能源指令(Renewable Energy Directive, RED)，旨在推動歐盟成員國使用再生能源，起初歐盟首次推出 RED 時，要求歐盟成員國制定相應的國家計畫，以實現 2020 年再生能源使用量達整體 20%的目標，且規定交通運輸再生能源的使用量需達到 10%。近年來隨歐盟提出綠色政綱與淨零碳排的減碳目標，歐盟自 2020 年起展開一系列修法，再生能源指令至 2023 年 3 月 30 日已初步達成第三版的臨時協議，其再生能源使用量目標也從 **RED II 的 32% 提升至 RED III 的 42.5%**。為滿足再生能源指令 RED III 指令的新目標，歐盟執行委員會執行 2,100 億歐元的 REPowerEU 計畫，透過節能、能源供應多元化、加速推出再生能源及減少工業與運輸中的化石燃料消耗四大面向進行轉型，其中與生質燃料有關的政策如：

1. 運輸交通：於 2030 年減少溫室氣體排放量 14.5%，或使**再生能源佔運輸部門能源使用量 29%**，並**應透過生質燃料**（非由食品原料生產）或氫能等非生物來源的燃料以達成目標。
2. 工業部門：每年須**增加 1.6%**的再生能源使用量。
3. 建築部門：於 2026 年前再生能源使用須逐年增加 0.8%，2026 至 2030 年間則須年增加 1.1%，最終於 2030 年再生能源占比須達 49%。
4. 能源使用：因應歐盟生物多樣性戰略，強化生質能使用的永續標準，成員國禁止生產非永續的生質能，且不得自原始森林、泥地及濕地生產生質能。

2. 美國

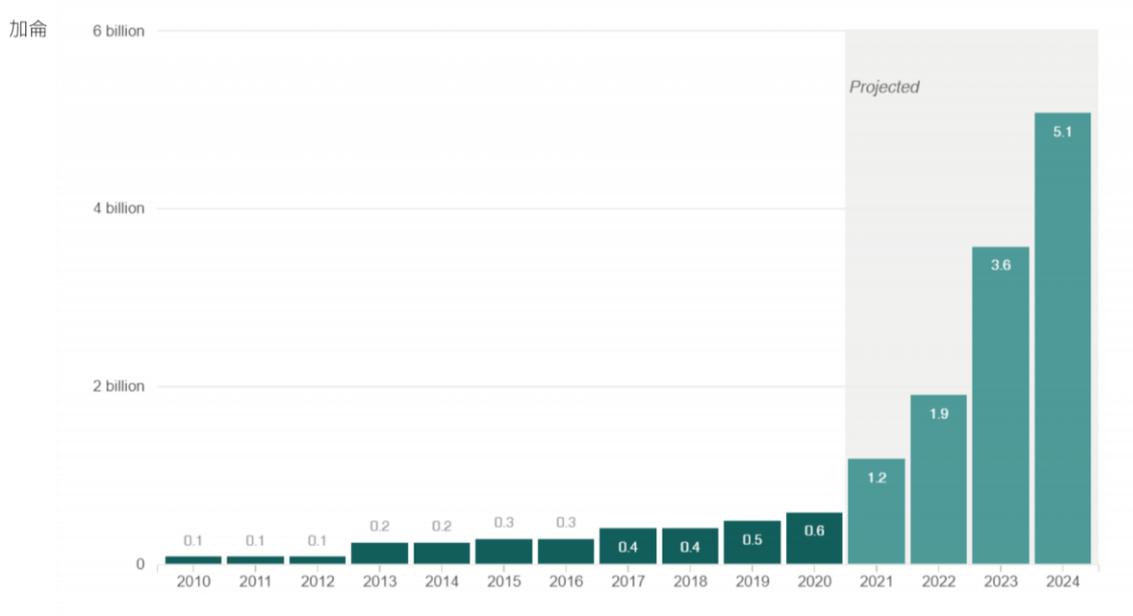
美國為全球最大石油消費國與進口國，每年進口原油約 5 億多噸，為降低對化石燃料依賴，美國積極發展生質能源並擬定相關政策與以推動，其中以美國糧食作物玉米為主要原料，將其轉換為生質燃料或生質酒精為主要應用。

2005 年 8 月美國頒布能源政策法(EPAct 2005)，將再生燃料標準(Renewable Fuel Standard, RFS)的強制添加量授權予美國環境保護署為主責機關，並於該法中規範美國本土販賣、輸入汽油中須強制添加特定量的再生燃料，並制定每年再生燃料最低使用量，如預計 2012 年達 75 億加侖的目標。為順利推動再生燃料，混合生質酒精與汽油享有**免聯邦貨物稅之優惠**，除外美國為保護本土生質酒精生產業者，另課徵進口關稅。

於政府政策帶動與生質酒精需求大增情況下，美國於 2007 年 12 月實施能源自主及安全法案(Energy Independence and Security Act, EISA)，希望能將第一代生質原料玉米改為第二代的木質纖維素、木材、生物廢棄物等，並期望再生燃料使用量於 2022 年達到 360 億加侖，其中 **120 億加侖為先進燃料**。此法案適用美國再生燃料生產和進口商，依據美國環保署對於 RFS 規劃，2017 年玉米酒精使用量達 150 億加侖，纖維酒精使用量目標則設定為 311 萬加侖、生質柴油為 20 億加侖，前瞻生質燃料使用量則為 42.8 億加侖[27]。為滿足此再生燃料使用量要求，美國目前汽油中至少都已添加 **10%生質酒精**，甚至有 15%生質酒精(E15)，且自 2017 年起將有 80%新款車適用 E15。

部分州政府境內僅提供添加生質酒精的混合燃料，有部分州政府則僅規範公務車必須使用生質酒精混合燃料，美國各州政府對於生質柴油政府補貼與規範各有不同。加州政府頒布低碳燃料標準(California's Low Carbon Fuel Standard)，根據此標準於加州銷售普通汽油的煉油公司，**必須要向銷售低碳燃料(再生柴油)的煉油廠購買碳權(Carbon Credit)**，這項措施讓傳統煉油廠紛紛轉型成新型的再生柴油煉油廠。再生柴油即為氫化植物油(Hydrogenated Vegetable Oil, HVO)，通常是利用廢食用油或纖維素作為原料，藉由加氫脫氧(Hydrodeoxygenation, HDO)、脫碳酸基(Decarboxylation, DCX)、去羧基(Decarbonylation, DCN)等反應，而得到直鏈烷類結構之再生柴油。再生柴油是純粹的碳氫化合物，與傳統化石柴油極為相近，不僅

可摻配於化石柴油中，亦可直接取代化石柴油作為燃料，先前的生質柴油則是要與化石柴油進行混摻，且混摻比例不宜大於 20%，一般引擎系統無法使用。經聯邦政府與各州政府推動與鼓勵津貼下，預計在美國 2024 年再生燃料可能超過 50 億加侖如圖 5.3-8 所示。



資料來源：U.S. Energy Information Administration

圖 5.3-8、美國再生燃料預估量

3. 巴西

巴西是全球使用酒精作為燃料的先驅，也是發展生質能源最成功的國家之一，早在 1975 年代因應石油危機，巴西政府就頒布國家酒精計畫(Proálcool)，提出以國內大宗甘蔗為原料發展生質酒精，並授權石油公司在汽油中添加一定比例的酒精。自頒布計畫起，即逐年調高酒精混和比例目標，從初期 10%，調整至 2006 年的 25%，並且提供相關補貼措施，如 1975 年起使用生質酒精汽油即免繳能源稅，1982 年起更對生質酒精汽油車減徵 5%的工業產品稅，為穩定料源，巴西政府對甘蔗原料提出保價收購等，透過政策強制性與獎勵措施使用生質酒精汽油於巴西已趨成熟，產業結構也相對完整，目前巴西於交通運輸使用生質燃料比例超過 25%，遠超過美國與歐盟等國家，全球平均比例僅 4%。故巴西政府已不再提供甘蔗保價收

購，生質酒精價格由市場機制訂定，為能維持國際市場上的競爭力，巴西仍持續研發並精進生質酒精生產技術，以降低生質酒精生產成本。

因應淨零趨勢，巴西聚焦於能源轉型，巴西總統於 2023 年 9 月簽署未來燃料 (Combustível do Futuro) 計畫法案，並召集國家能源政策委員會，建議將柴油中生質柴油的混摻比例從 12% 提高至 13% 或 14%，另生質酒精混添加於汽油中的比例提高至 30%。

4. 印度

印度原有 7 成以上原油仰賴進口，為保障能源安全，印度國家政府推動提高生質燃料自給率的戰略計畫，並提出汽油中混合酒精的政策。印度政府以稻桿、棉桿等非可食用植物為原料，逐步進行生質酒精的產量提升，並期望未來整體能源中的 10% 以上是由生質能源供應，以減少對原油或天然氣的依賴度。印度總理於 2021 年 6 月世界環境日發布印度 2025 低碳汽油（生質酒精）推廣，依據本報告建議於汽油中混摻 20% 生質酒精是可行的，且印度也將提出 E20 生質酒精汽油推廣年度計畫，並建議聯邦層級、各州政府、汽車製造商於生產製造方面應供應和推廣 E20 生質酒精汽油。

印度總理更於 2023 年 G20 的會議上宣布成立「全球生質燃料聯盟」(Global Biofuels Alliance)，成員包括每美國、巴西等 19 個國家以及 12 個國際組織，該聯盟預計將加強市場，促進全球生質燃料貿易，並協助制定具體的政策、分享經驗，為全球各國的生質燃料計畫提供技術支援。

5. 國際民航組織(International Civil Aviation Organization; ICAO)

ICAO 組織是專責協調與管理全球各國民用航空事務，且致力於擬定全球航空運輸排放減量規劃。ICAO 於 2016 年通過國際航空業碳抵換與減排計畫(Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation; CORSIA)，希望藉由適當的排放基準與市場機制輔助，推動各國航空公司將超過基準的碳排放量予以抵換，達到淨零效果。並於 2022 年 10 月的會員國會議上，同意各國航空公司於航空器

上使用叫先進的科技與技術，並支持與強調投資發展永續航空燃油(Sustainable Aviation Fuel; SAF)的重要性。

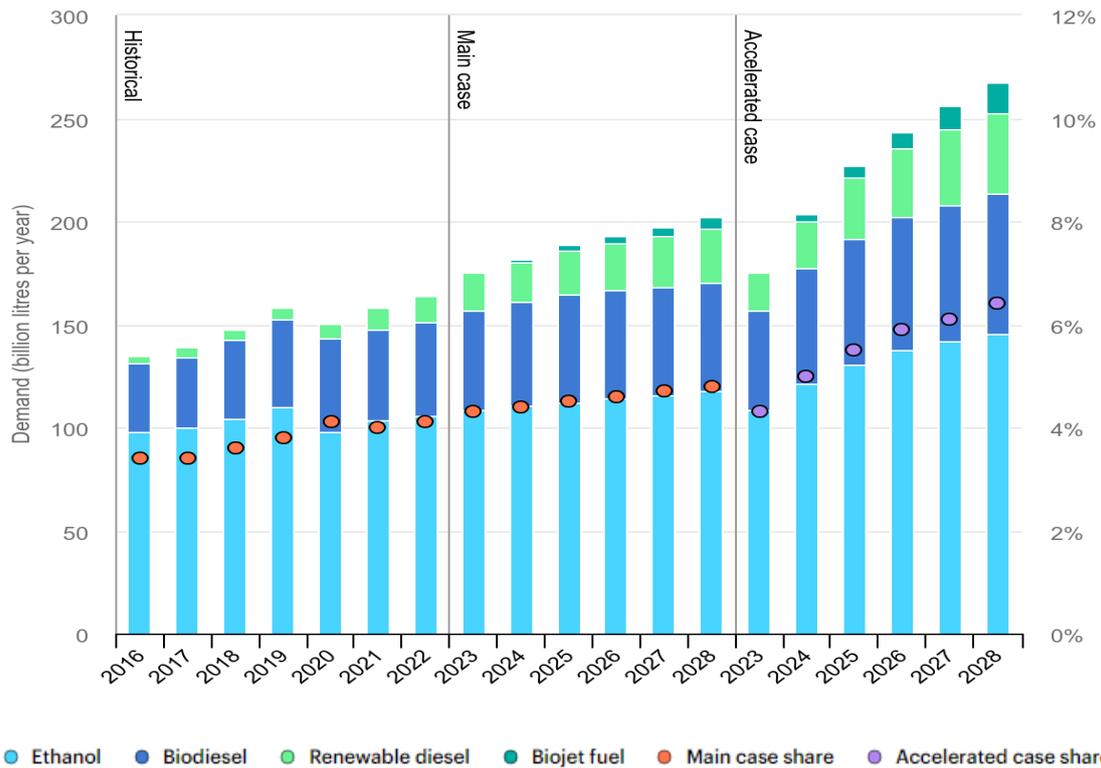
歐盟要求航空公司 SAF 摻配比例至少須達 2% 以上，未來 2040、2050 年最低摻配比例目標則須高達 37% 及 85%，因此挪威、瑞典、法國等歐洲國家已相繼立法強制 SAF 的摻配比例。美國亦將 SAF 視為再生燃料的一種，於美國生產每一加侖的 SAF，即可獲得再生燃料憑證(Renewable Identification Number, RIN)，用以抵免汽、柴油生產進口業者之再生燃料義務量(Renewable Volume Obligation, RVO)。亞洲國家中目前如新加坡、日本、韓國，分別針對 SAF 摻配比例設有目標值或協議，而我國亦於 2024 年 6 月 11 日由交通部民用航空局啟動於我國機場添加永續航空燃之試行計畫，預計 2025 上半年於桃機及松機由台灣中油公司為國籍航空首次添加 SAF，加速國籍航空碳排放減量，為符合國際規範，民航局亦於 2023 年修訂公告民用航空運輸業及普通航空業管理規則，將 CORSIA 機制之減碳工作國內法制化。國籍航空公司今年也首度依管理規則規定申報 112 年度碳排放量，並由民航局進行審查。

6. 國際海事組織(International Maritime Organization, IMO)

IMO 是聯合國負責海上運輸安全，防止國際航運活動造成海洋污染的專門機構。航運業每年排出的溫室氣體排放量占全球溫室氣體 3%，因此 IMO 將 2008 設為基準年，分別制定於 2030、2040 年達到減少 30%、70% 碳排放目標。為達此目標，除了已大量運用在陸上交通工具的氫能之外，船運公司較矚目為「甲醇能」。

2023 年 6 月，全球最大的貨櫃船運經營公司及貨櫃船供應商快桅集團(Maersk)也宣布向中國揚子江船業訂購 6 艘 20 呎標準貨櫃(9,000 TEU)貨輪，都將配備可使用燃油及甲醇為燃料的雙引擎。此外，快桅集團在 2021 年承諾任何新下訂的船隻都將使用綠色燃料；到了 2023 年，快桅集團總共已下訂 25 艘可使用甲醇燃料的貨輪，約占全球訂單的 20%。

綜合以上，國際上多透過期程目標訂定輔以進口關稅或免徵能源稅等經濟誘因，促進生質燃料發展；而由國際大型運輸組織協議亦可顯現生質燃料於淨零碳排路徑上扮演重要角色。IEA 也強調**導入生質燃料與再生能源成為交通運輸的主要驅動力，政策訂定是主要關鍵**，並也預估於各國急迫的減碳趨勢下，再生柴油或生殖航空燃料可能為未來大幅增長的產品。



資料來源：International Energy Agency. 2024. Global biofuel demand, historical, main and accelerated case, 2016-2028.

圖 5.3-9、IEA 全球生質燃料預估量

7. 供應鏈（品牌商）減碳目標

2015 年由碳揭露專案(Carbon Disclosure Project, DFP)、聯合國全球契約(UN Global Compact)、世界資源研究所(World Resources Institute)及世界自然基金會(World Wide Fund for Nature)共同發起成立「科學基礎減碳目標」(Science Based Targets initiative, SBTi)，聯合超過五百家公司投入各種計畫[29]，其中訂定減碳目標廠商至少包括：Chanel、Gucci、Nike、PUMA、H&M、GUESS、Levi's、Gap、Zara、Uniqlo 等。

而後，聯合國於 2018 年發起「時尚產業氣候憲章」(Fashion Industry Charter for Climate Action)[30]，以「科學基礎減量目標」為減量目標進行規劃，超過 40 家時尚界品牌龍頭及供應鏈上的紡織業、物流業及相關公會加入響應，憲章訂定目標為在 2050 年達成時尚產業淨零排放，並在 2030 年先行減少排放量 30%。其中知名品牌包括：Adidas、Gap Inc.、H&M Group、NIKE 等。

在 2050 淨零碳排及碳中和等相關議題發酵下，已引起不少國際組織與國際品牌商之關注，而發起相應的活動或規劃，而許多國內廠商身為國際品牌商之上游廠商則直接受影響，尤其是國際品牌商所主要牽動的紡織相關產業。除了上述時尚產業氣候憲章外，於國際知名的電子產業如 Apple、Microsoft、台灣積體電路製造股份有限公司、華碩、宏碁等也已訂定相關減碳目標或要求，此驅動力雖不屬於法規強制性，但透過供應鏈廠商要求亦可促使生質碳材料或相關產品研發。

8. 臺灣

國內目前正大力推動轉廢為能，故環境部近期陸續公告固體再生燃料相關管理方式及固體再生燃料製造技術指引與品質規範，並研訂以固體再生燃料替代煤碳在鍋爐及燃燒裝置產生熱能之小規模減量方法學(TMS-III.007)。另 2008 年起便開始鼓勵使用生質柴油，實施車用柴油 B1，即化石柴油中添加 1%生質柴油，2010 年提升至生質柴油 B2。但 2014 年爆發使用 B2 生質柴油導致油路堵塞及熄火等問題，為維護行車安全，生質柴油推廣計畫因而暫時中止。2014 年底國內爆發黑心油事件，廢食用油的流向管控與再製受到重視，資源循環署再次力推將廢食用油製成 100%生質柴油，供垃圾車使用。已知目前全台共有 14 座供應 E3 低碳汽油的加油站，分布於台北市以及高雄市，其中台北市環境保護局的 2 台洗街車、2 台重機具挖土機及 1 台小山貓均使用生質柴油(B5-B20)，截至 2023 年 8 月底，累計使用 2413.8 公升生質柴油，目前車輛、機具運行狀況都良好。

依上述政策及供應鏈驅動力下，可將未來生質碳材料或產品範疇依據基質歸納成**液態**（如生質柴油、生質酒精、再生柴油、生質航空燃料、生質化學品）及**固態**（如資源循環燃料、生質塑膠、生質纖維、民生消費用品、車用或運輸業、電子

及電器產品等)等，以下將針對國內建立之高溫燃燒爐搭配低背景液體閃爍技術器進行技術可行性評估。

三、 技術面：

針對未來生質碳技術可能應用的基質樣態應為固態或液態居多，如為固態樣品則與本期計畫建置固體再生燃料雷同，需先使用高溫燃燒爐將固態樣品轉化為 $^{14}\text{CO}_2$ 氣體，於後端捕集管中使用二氧化碳吸收液將其捕捉下來，最後將二氧化碳補集液與閃爍計數液相互混合，即可直接使用低背景液態閃爍計數器進行分析。然而，方法原理雖大同小異，但不同固態樣品於高溫燃燒轉化的溫度、升溫梯度、持溫時間等不盡相同，故前端高溫燃燒轉化條件可能需再進行方法微調或測試，未來若要擴大應用到液體生質燃料或生質化學品的生質碳比率量測，建議應補充驗證數據並有公告方法做為依據。

如為液態樣品則可以將液體與閃爍液互溶，待其混合均勻後直接使用低背景液體閃爍計數器分析其 ^{14}C 含量，相關操作方式可參考國際公告之標準方法 ASTM D8473-22 使用 ^{14}C 添加標準品以液體閃爍計數器分析液態燃料中生質碳含量[31]。此標準方法是為因應前述美國環境保護署所規範的可再生燃料標準(Renewable Fuel Standard, RFS)及加州空氣資源委員會(California Air Resources Board, CARB)所規範的低碳燃料標準(Low Carbon Fuel Standard, LCFS)政策推動，為能監管石化煉油廠所產製的生質燃油(如生質柴油、生質汽油)產品確實符合標準而擬定。依據 ASTM D8473-22 標準方法範疇提及方法原理參考自 ASTM D6866-22 方法 C，惟方法 C 的樣品轉化程序是經由一連串的化學轉化反應將樣品轉化成苯，苯溶於液體閃爍計數液後，再以低背景液體閃爍計數器進行分析。而 ASTM D8473 則方法內容重點摘要如下：

- (一) 本法不需將樣品轉化成苯，直接將液體與閃爍計數液與樣品相互混和即可利用液體閃爍技術器量測生質碳含量。

- (二) 本測試方法適用於任何液體燃料產品，無論是石油基（純烴類）、生物基（如可再生柴油或含氧化合物如乙醇的燃料）或混合燃料，只要生物碳含量介於 1%至 100%範圍內均適用。

總結以上，目前計畫建置之生質碳比率技術已可應用至資源循環燃料，包括初級固體再生燃料、固體再生燃料及廢棄物衍生燃料。為能因應此國際上低碳材料發展趨勢，未來如要擴大應用至其他液體生質燃料或生質化學品，則建議補充相關驗證數據。

第六章 結論與建議

【章節摘要】 本章說明本期計畫目標結論及未來建議。

6.1 結論

一、趨勢研析及驗證機制需求評估：

1. 適逢我國資源循環促進法訂定，針對塑膠、電池、紡織品等項目，可參考國際經驗強化生產者責任、綠色設計、回收驗證及減碳標準，並配合產品數位履歷規劃進行全生命週期之資訊登載，以符合我國推動建立廢棄資源循環型社會邁進。
2. 國際間因應淨零碳排，資源循環再利用已成為趨勢，為能確保資源循環材料之落實性，熱塑性塑膠、紡織、電池等之數位化履歷管理系統或流向追蹤系統為未來之發展方向。
3. 完成熱塑性塑膠、底渣、橡膠殘餘物、飛灰、紡織品、循環建材及關鍵戰略等4+3個循環項目之資源循環及減碳效益驗證機制需求評估。評估結果驗證機制又可分為數位化履歷管理系統、再生料科學檢測技術及循環產品環境安全性驗證。又可分為數位化履歷管理系統、再生料科學檢測技術及循環產品環境安全性驗證。短期（三年內）聚焦於熱塑性塑膠、焚化飛灰、紡織及電池數位化履歷管理系統建立，電池再生料科學檢測技術及焚化飛灰及循環建材等環境安全性驗證；中期則逐步建構熱塑性塑膠、紡織等再生料科學檢測技術；橡膠再生料、循環建材等再生料科學檢測技術則為長期研究發展目標。

二、資源循環材料驗證技術（再生 PET 塑膠）：

1. PET 材質的廢瓶磚經過熱洗、標籤去除、光學分選、粉碎和清洗，成為再生瓶片，非 PET 材質則根據比重進行密度分選。高品質的再生瓶片可直接製成長纖維，用於機能性衣服，次等級則製成短纖，如填充棉。另可經金屬檢測、光學分選和熔融射出成透明酯粒，經固態聚合反應提高分子量和黏度製成白色

再生酯粒，用於各類容器和非食品包裝。

2. 經 BSI Flex 6228方法計算國內34件次原生或再生酯粒及其容器再生料添加比例之機率值，結果顯示 BSI Flex 6228方法應用於17件原生酯粒（排除非容器酯粒）準確率為76%、1件原生 PET 瓶為100%；而應用於8件再生酯粒準確率為100%，2件再生 PET 瓶為0%。
3. 提出熱示差掃描儀定性方法改善 BSI Flex 6228於4件原生酯粒及2件再生 PET 瓶誤判情形，結果顯示原生酯粒及再生 PET 容器均符合定性方法之判斷原則。

三、資源循環材料驗證技術建置（生質碳比率）：

1. 完成低背景液體閃爍計數器搭配高溫燃燒系統分析生質碳比率技術，依據本計畫執行標準品及固體再生燃料樣品之檢測結果，本方法準確度為30%絕對誤差、精確度則為20%標準差。
2. 生質碳比率檢測方法可應用於資源循環燃料，包括初級固體生質燃料、固體再生燃料及廢棄物衍生燃料。若以國際目前政策需求及供應鏈驅動評估，未來有機會擴大應用至液體燃料或化學品等不同的樣品基質，但方法尚須驗證。

6.2 建議

- 一、目前環境部針對 3S（純料、原色、減標籤）1R（添加再生料且達 25%）塑膠容器提供回收清除處理優惠費率，但因目前國際間推動再生塑膠添加比例受塑膠稅嚴格執行，故國內產製的再生塑膠多以外銷為主，或可透過提供更多經濟誘因如參考全球塑膠公約內容降低原生塑膠補貼、強化生產者延伸責任、接軌國際入法列管再生料添加比例等應可更有效推動塑膠產業資源循環再利用。
- 二、以 BSI Flex 6228 方法所建立的原生酯粒及再生酯粒特徵雖具差異性，但解析度不足以定量容器中再生 PET 添加比例，未來可考慮以定性方法作為履歷管理制度執行之輔助技術。
- 三、如需進一步精進低背景液體閃爍計數器搭配高溫燃燒系統之準確度或精確

度，則建議提供燃料高溫燃燒轉化之樣品克數，以蒐集更多 $^{14}\text{CO}_2$ 氣體上機計測。

- 四、本計畫建置的生質碳比率方法係參考 ISO 21644，適用於國內資源循環燃料。未來若要擴大應用到液體生質燃料或生質化學品的生質碳比率量測，建議應補充相關驗證數據。

參考文獻

1. Gina Acosta，可口可樂的減少塑膠廢棄物計畫，
<https://lowcarbon.greenideas.com.tw/page/news/show.aspx?num=312&lang=TW>
2. 經濟部中小級新創企業署，雀巢宣佈減塑 2 月起淘汰塑膠吸管，
<https://www.sme.gov.tw/caas/article-caas-3009-15416>
3. 台橡股份有限公司，2022，台橡永續報告書 chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.tsrc.com.tw/app/uploads/2023/06/2022%E6%B0%B8%E7%BA%8C%E5%A0%B1%E5%91%8A%E6%9B%B8_%E4%B8%AD%E6%96%87_Final.pdf
4. 飛灰市場：依產品種類、產量、應用分類 - 2024-2030 年全球預測，2024 年 6 月 5 日，<https://www.gii.tw/report/ires1496812-fly-ash-market-by-type-class-class-f-production.html>
5. 經貿法訓第 252 期，簡介歐盟一次性塑膠產品指令，2019 年 5 月 27 日，
<https://tradelaw.nccu.edu.tw/epaper/no252/2.pdf>
6. COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2020/2151，2020 年 12 月 17 日，
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R2151&from=EN>
7. 經濟部國際貿易署，歐洲國家課徵塑料包裝稅現況簡介(上)，2023 年 3 月 15 日，
<https://www.trade.gov.tw/Pages/Detail.aspx?nodeID=45&pid=758756>
8. CSR 天下，塑膠萬萬稅，能否終結塑廢？【重塑地球】，2024 年 4 月 19 日，
<https://csr.cw.com.tw/article/43626>
9. 環境部化學物質管理署，歐盟發布新《電池法》於 8 月上路 專注於廢電池回收、建立「電池護照」，2023 年 11 月 14 日，
<https://topic.moenv.gov.tw/hg/cp-103-10624-85bc9-3.html>

10. 材料世界網，汰役鋰電池之降階與回收(下)，2024年8月，
<https://www.materialsnet.com.tw/DocView.aspx?id=54217>
11. 歐盟新電池法上路，引領未來電池產業新趨勢，2024年6月，
<https://www.find.org.tw/index/wind/browse/58200aa59b277c0c21c72e28a6a16fc2/>
12. Emmanuel A. Aboagye, John D. Chea, Kirti M. Yenkie, 'Systems level roadmap for solvent recovery and reuse in industries', Vol 24,2021.10
13. 環境部，物品回收清除處理費費率，2023年4月27日，
<https://oaout.moenv.gov.tw/Law/LawContent.aspx?id=GL006211#lawmenu>
14. 監察委員新聞稿，廢棄物焚化處理產生有毒二次污染 危害環境與人體 監察委員田秋堃申請自動調查，113年8月4日，
https://www.cy.gov.tw/News_Content.aspx?n=125&s=31547
15. 全球塑膠條約談判在巴黎恢復，綠色和平新報告指出再生塑膠的有毒危害，綠色和平組織，2023年5月24日，<https://www.greenpeace.org/usa/news/new-greenpeace-report-calls-out-toxic-hazards-of-recycled-plastic-as-global-plastics-treaty-negotiations-resume-in-paris/>
16. 環境部資源循環署，111年資源循環再利用年報。
17. 環保署、工研院研究有成 加值二次鋰電池處理技術
<https://enews.moenv.gov.tw/Page/3B3C62C78849F32F/6020af8b-a985-450e-9ea8-e0870f374548>
18. 聯合新聞網，提升二次鋰電池再利用 環境部擬與業界合作示範場，2024年2月16日，
https://udn.com/news/story/7266/7775686?from=udn-catebreaknews_ch2
19. Ellen MacArthur Foundation. 2016. The New Plastics Economy.
20. Center for International Environmental Law. 2019. Plastic & Climate: The Hidden Costs of a Plastic Planet.

-
21. Ellen MacArthur Foundation and UN Environmental Programme. 2022. The Global Commitment 2022 Progress Report.
 22. UN Environment Programme, Intergovernmental Negotiating Committee on Plastic Pollution, Third Session (INC-3): Official documents. 2023. UNEP/PP/INC.3/4: Zero draft text of the international legally binding instrument on plastic pollution, including in the marine environment.
 23. Waste and Resources Action Programme. 2022. A Roadmap to 2025: The UK Plastics Pact.
 24. The Government of France 2021 Global Commitment report on plastic packaging (ellenmacarthurfoundation.org).
 25. Harwood, L. 2012. Handbook of Radioactivity Analysis, 3rd Edition.
 26. 日本環境省，2019。プラスチック資源循環戦略。
 27. IEA Bioenergy: Task 42: 2020: 01. Bio-Based Chemicals A 2020 Update.
 28. USEPA. 2016. Final Renewable Fuel Standards for 2017, and the Biomass-Based Diesel Volume for 2018. (<https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2016-12-12/pdf/2016-28879.pdf>)
 29. <https://sciencebasedtargets.org/companies-taking-action>
 30. <https://unfccc.int/climate-action/sectoral-engagement/global-climate-action-in-fashion/about-the-fashion-industry-charter-for-climate-action>
 31. ASTM D8473-22, Standard Test Method for Determining the Biobased content of Liquid Hydrocarbon Fuels Using Liquid Scintillation Counting with Spiked Carbon-14.