

環境管理規劃類

醫療用複合材質點滴袋之循環經濟 可行性探討

簡淑美*、周卓群**

摘 要

依據 2023 年行政院環境部統計資料顯示，全國醫療事業廢棄物申報量 13 萬公噸，有害事業廢棄物約為 4.2 萬公噸；世界衛生組織 (World Health Organization, WHO) 調查，生物醫療廢棄物（或稱感染性廢棄物）約占醫院有害事業廢棄物總量的 10~15%，據此推估平均全國每天約產生 0.42~0.63 萬噸之生物醫療廢棄物。根據環境部線上申報資料顯示，國內醫療廢棄物再利用率約 21%，意謂大量醫療廢棄物送往焚化與掩埋，可能衍生戴奧辛與爐渣等二次污染。現行國內醫療廢棄物回收再利用流程主要以有價標售為主，由合法處理廠商清運及分類，轉送至合法再利用機構進行清洗、破碎，製成塑料粒，最終送至塑膠工廠熔融、塑化成次級塑料產品，儘管這一系列過程能將部分醫療廢棄物轉化為可用資源，減少環境資源的消耗，但回收再利用的過程仍面臨著嚴峻的挑戰。

本團隊與北部 2 所醫療院所合作，將使用過的點滴袋做為改造原料，回收後透過專利技術製成再生塑粒及再生廢針筒儲存盒，並回用於原醫療單位，實踐複合材質點滴袋之循環經濟理念。全流程經第三方驗證，具可追溯性並取得專利證書。此創新模式經成本效益評估具可行性，並已完成產品碳足跡盤查。

【關鍵字】循環經濟、複合材質點滴袋、再生廢針筒儲存盒、醫療事業廢棄物

* 泰興工程顧問股份有限公司

資深工程師

** 廣鉉企業股份有限公司

經理

一、前言

近年來，政府積極推廣循環經濟理念，將部立醫院及公立醫院列為優先輔導對象，並要求和鼓勵這些機構提高醫療廢棄物的再利用率。然而，對於使用占比最高的點滴袋，大多數仍委託合格清理公司進行焚化處理，點滴袋的回收再利用卻少有深入研究，更不用談將其再製回供醫療院所使用；這主要是因為這些軟袋的材料組成複雜，通常由不同類型的塑料和其他添加劑混合而成。

在回收再製過程中，熔點和物化特性的掌握技術上具有高度挑戰性，因此業界對於複合材質點滴袋的回收再製多持保守態度，這也導致台灣在醫療廢棄物回收再利用方面的成效相較於其他產業效果不彰。塑料產品無處不在，並且在日常生活中往往是不可或缺的，但塑料的生產和處理可能會對環境造成損害。尤其是，丟棄的塑料如果不經過焚化銷毀處理，採用固化掩埋會在人類生活的環境中累積。據估計，如果不改善醫療廢棄物管理，到 2050 年，約有 12,000 萬噸塑料廢棄物將累積在掩埋場或自然環境中 (Geyer et al., 2017)。在歐洲塑料的生產和焚化每年約產生約 4 億噸二氧化碳 (European Commission, 2018)，而複合材質的廢棄物會污染水質、土壤以及海洋，對海洋生態系統造成損害 (Wagner et al., 2014)；(Barnes et al., 2009)。

自 COVID-19 疫情爆發以來，醫療廢塑料的產生量急遽上升，進一步突顯現行廢棄物管理體系在應對突發公共衛生事件下的脆弱性。Prata et al. (2020) 研究指出，疫情期間一次性個人防護設備 (PPE) 與塑膠醫療耗材的廣泛使用，導致大量高風險塑料廢棄物之產出，對既有管理策略構成挑戰。在此背景下，Patrício Silva et al. (2020) 強調，發展具備可行性與安全性的醫療塑料再利用技術，並建構回供醫療體系之循環經濟模式，已成為實現資源永續與韌性醫療供應鏈之關鍵議題。儘管相關技術逐漸發展，醫療廢塑料之處理與回收仍屬高度挑戰性領域。Rigamonti et al. (2014) 透過生命週期評估 (Life Cycle Assessment, LCA) 比較多種醫療廢棄物處理方案，揭示目前並無一致公認之最適化策略，政策與技術選擇須根據特定國家與地區的制度、經濟與基礎設施條件進行調適與評估。此論點亦可從 ElSaid and Aghezzaf (2018) 之研究獲得佐證；該研究強調，廢棄物管理雖為全球性課題，惟各國在制度設計與永續實踐推動上

進展不一，致使回收率與資源利用效率呈現顯著落差，顯示在地化策略之重要性。在制度與政策層面，歐盟於 2008 年實施之《廢棄物框架指令》(Directive 2008/98/EC) 明定「廢棄物處理階層」原則，並於 2015 年「循環經濟行動計畫」中進一步強化該原則，促使成員國逐步由掩埋轉向重用與回收。Marin et al. (2018) 認為，歐盟相關政策的推動不僅提升資源效率，也對國際間循環經濟政策的制度化提供借鏡。

此外，醫療塑膠回收在技術實施層面亦面臨多重限制。Al-Akra et al. (2018) 指出，跨國醫療產品回收受限於不同法規間之不一致，影響回收流程與再利用的法定依據。而 Hahladakis et al. (2020) 則進一步指出，複合材料（如 PVC 點滴袋）中之添加劑、增塑劑與潛在污染物，對現行機械回收與材料再製構成重大技術障礙。綜合上述研究成果，可發現醫療複合塑料的再利用需同時兼顧污染控制、材料可回收性與法規一致性，為未來技術研發與政策制定提供關鍵方向。

廢物層級描述了各種廢物管理方法的相對環境危害，以促進實施對環境影響較小的策略。該層級包含五個級別，從預防作為最高優先事項位於金字塔的頂端，接下來依次是重用準備、回收和資源回收。處置則被置於金字塔的最低層，應該僅作為最後的選擇 (DEFRA, 2011)。在循環經濟中，廢物和污染被設計排除在系統之外，產品和材料則通過共享、重用、修理和回收保持使用時間盡可能長，自然系統則獲得恢復和再生的空間 (European Parliament, 2016)。

因此，若以歐盟循環經濟原則為出發點，減少廢複合材質點滴袋焚化後可能對環境污染的影響，可從優化傳統處理步驟做為起手式；本團隊將使用過的廢棄點滴袋做為改造原料，回收後透過專利技術製成塑粒及再生廢針筒儲存盒，整個回收再利用流程均有第三方驗證確保其溯源性並已取得專利證書。本研究創新作法經成本效益評估可行，除申請產品碳足跡，並已將再製的再生廢針筒儲存盒提供給北部 2 間醫療院所先行使用，真正落實循環經濟之初衷理念，進而達到醫療院所永續發展之目標。

二、文獻回顧

2.1 醫療事業廢棄物之定義

醫療廢棄物認定、分類主要依據「有害事業廢醫療廢棄物認定標準」（環境部，2018），屬於此標準所定義的有害事業廢棄物，都須符合高要求的處理標準。醫療廢棄物之包裝、貯存、清除、中間處理及最終處置等實務運作，以「事業廢棄物貯存清除處理方式及設施標準」（環境部，2023）為主，細分類則整理如表 1。醫療單位生產生之有害事業廢棄物處理依規定設冷藏設施的箱型車載運，送到專業處理廠以熱處理法（焚化、熱解、熔融、熔煉）或採用化學處理（滅菌法或藥劑消毒）；一般事業廢物，則可併入垃圾焚化廠或以衛生掩埋處理。

表 1 醫療事業廢棄物之細目分類

分類	次分類	細目
一般事業廢棄物	員工生活垃圾	辦公室廢棄物、訪客或非傳染病患者之生活廢棄物等
	一般性醫療廢棄物	乾淨點滴瓶、非有害藥用玻璃瓶（藥水容器）、未沾血且未與針頭相連的輸液導管、不含有害藥劑的食鹽水或葡萄糖軟袋
	人體或動物用藥	非基因毒性廢棄物之廢藥品（含藥水、藥膏、藥錠）及殘留此類藥品之容器
	巨大垃圾	廢家俱、廢棄病床、輪椅、點滴架
	營建廢棄物	房屋修繕廢棄物
	再利用	廢紙、廢玻璃（瓶、屑、平板玻璃、滅菌處理後之廢玻璃）廢金屬（藥罐、機械器具及滅菌處理後之廢金屬）、廢塑膠（瓶、罐、杯）、廚餘（不含隔離病房產生者）、廢石膏模（屑、塊、粉）、經滅菌處理後之廢尖銳器具（注射針頭、與針頭相連之注射筒及輸液導管、針灸針、手術縫合針、手術刀、載玻片、蓋玻片或破裂之玻璃器皿）、廢攝影膠片（卷）（包括 X 光膠片及以 PET 為片基材質的廢攝影膠片）、廢顯／定影液、經滅菌處理後之廢牙冠、廢食用油、醫療用廢塑膠（點滴輸注液容器、輸液導管、廢藥水桶）
	其它	破損汰換之床單被服

分類	次分類	細目
有害事業廢棄物	生物醫療廢棄物	基因毒性廢棄物
		廢尖銳棄物
		感染性廢棄物
	溶出毒性事業廢棄物	廢顯定影液、含水銀（汞）之廢棄溫度計及血壓計、牙科銀粉（汞齊）
	毒性事業廢棄物	福馬林、環氧乙烷（含殘留環氧乙烷之氣體罐）、三氯乙烯、四氯乙烯
	反應性事業廢棄物	鈉、硝化甘油
	腐蝕性事業廢棄物	氫離子濃度指數（pH 值）大於等於 12.5（如氫氧化鈉溶液）或小於等於 2.0（硫酸、鹽酸）的廢液
	易燃性事業廢棄物	藥用酒精、有機溶劑、二甲苯、甲醇、丙酮、異丙醇、乙醚
	混合五金廢料	含油脂之充膠廢電線電纜、廢通信器材、廢棄醫療儀器（屬電路版／含零件者）

資料來源：本研究整理；有害事業廢醫療廢棄物認定標準（環境部，2018）；事業廢棄物貯存清除處理方式及設施標準（環境部，2023）。

2.2 可再利用醫療事業廢棄物

醫療機構所產生的「一般事業廢棄物」種類繁多，其中可再利用事業廢棄物當中的醫療用廢塑膠，相關之器材屬無感染疑慮，是直接回收再利用的，無須經過滅菌程序；此項類別若能落實回收再利用，可減少垃圾製造量、減少焚燒後釋放之空氣污染，及資源再回收可循環利用，減少資源耗損。

依「醫療事業廢棄物再利用管理辦法」（環境部，2018），所列醫療事業廢棄物種類及管理方式，進行再利用，其分類分為 6 大項目：

- 1. 廢石膏模（屑、塊、粉）：指事業產生之廢石膏模（屑、塊、粉）。
- 2. 廢尖銳器具：事業產生，並且經由滅菌處理後之廢尖銳器具。
- 3. 廢攝影膠片（卷）：事業產生之廢攝影膠片（卷）。
- 4. 廢顯／定影液：事業產生之廢顯／定影液。
- 5. 廢牙冠：事業產生，並且經由滅菌處理後之廢牙冠。
- 6. 醫療用廢塑膠：事業產生之醫療用廢塑膠，包含：點滴輸注液容器、輸液導管、廢針筒、廢藥水桶 4 項。

本研究範疇為第 6 項種類「醫療用廢塑膠」，以點滴輸注液容器（含點滴瓶）為主要回收再製之項目，如圖 1 所示。



圖 1 醫療用廢塑膠種類

2.3 醫療用複合材質點滴袋之循環經濟

落實醫療用複合材質點滴袋的循環經濟，需綜合檢視幾個領域的研究，包括複合材質的特性與管理處理方式、複合材質的回收再利用與應用挑戰、循環經濟理論及產品碳足跡等面向，方能從更全面的視角，了解醫療用複合材質點滴袋之循環經濟的現狀、挑戰和潛在解決方案。

1. 複合材質的特性與管理處理方式

(1) 複合材料的特性

醫療用點滴袋主要由多層塑料材質，如聚氯乙烯 (Polyvinylchloride, PVC)、乙烯 (Ethylene Vinyl Acetate, EVA)、聚丙烯 (Polypropylene, PP) 等構成，目的是達到防滲透、耐化學腐蝕及保持無菌的要求。Bagherzadeh 和 Heidari (2016) 研究指出，多層複合材料在醫療產品外包裝，結構層次的選擇對防止氣體進入醫療產品包裝至關重要，有助於保持產品的無菌性和穩定性，這對於醫療用點滴袋等需要長期保存且保持無菌的產品非常重要；近年來也有研究針對複合塑料的組成、使用和最終處置，特別是化學添加劑如何影響材料的性能及回收 (Al-Akra et al., 2018; Hahladakis et al., 2020)。

(2) 複合材料的特性的管理處理方式

根據世界衛生組織 (World Health Organization, WHO) 的研究報告，醫療廢棄物的處理一直是全球環保領域的重要議題。醫療設施中使用過的點滴袋需要經過特別的處理和處置，以確保安全和避免污染。大多數文獻的研究重點集中於焚燒處理及其環境影響，因為焚燒是主要的處理方式之一，用於消滅受污染的材料，避免病原體擴散並降低公共衛生風險 (WHO, 2018)。

2. 複合材質的回收再利用與應用挑戰

(1) 複合材質回收再利用

在複合材料回收的研究中，熱裂解和化學回收技術被視為具潛力的解決方案。化學回收能將複合材料分解為原始單體便於再製新產品，解決多層材料分離困難 (Meys et al., 2020)。Hopewell et al. (2009) 強調熱裂解能將複合材料轉化為石油原料，這些原料可用於生產再生塑膠或作為能源來源，特別適用於處理結構複雜且難以機械回收的廢棄物 (Hopewell et al., 2009)。此外，Al-Salem et al. (2009) 進一步提出，熱解和催化裂解能將複合材料轉化為其他原料，從而減少對原物料之需求，還能降低焚化及掩埋後造成的環境衝擊 (Ragaert et al., 2017)。

(2) 複合材質應用挑戰

複合塑料在醫療產品中具備出色的功能性，主要是因為多層結構保持產品的無菌性和穩定性。Zhou 和 Xie (2018) 研究指出聚合物複合材料在高溫應用中易變形或分解，一般均會添加高熔點填料，以提高複合材料的熱穩定性。Bagherzadeh 和 Heidari (2016) 指出，複合材料多層結構中不同層次的熔點差異可能導致加工過程中的不一致性，特別是在醫療產品包裝中需要保持高耐熱性和穩定性。Chung (2017) 則指出，在航空航天和醫療設備等應用中，不同材料層的熔點不一致可能導致結構失效，因此開發具有更高熔點且具一致性的複合材料至關重要。這些研究顯示，熔點問題是影響複合材料應用的重要因素，改進材料組成和結構設計是解決此問題的關鍵，這也意謂者複合材料在熔點的差異會導致融熔處理不易，因此熔點是再回收利用的關鍵因素之一。

3. 循環經濟理論的應用

Tudor et al. (2020) 將循環經濟原則導入醫療廢棄物管理，針對醫療器材的設計優化和可分解之材料選擇，旨在減少資源浪費並強調優化醫療器材的設計以及選擇可分解材料的重要性，以提高資源的再利用率。這一觀點與 Diaz-Elsayed et al. (2021) 的研究一致，後者指出開發具生物相容性且可回收的醫療器材材料是推動醫療行業可持續發展的重要途徑。這不僅能提高材料的回收利用率，還能顯著減少醫療廢棄物的產生。

4. 永續性評估

近年來，已有許多研究使用生命週期評估 (Life Cycle Assessment, LCA) 來評估醫療用品對環境的衝擊。Beylot et al. (2022) 研究計算醫療塑料廢棄物在不同化學處理方式其碳足跡總量，並發現回收系統的引入可顯著減少碳排放。該研究也進一步說明改進的回收方法不僅降低了碳排放，還能提高資源的再利用效率。此外，Rincón et al. (2021) 分析了不同醫療耗材處置對環境的影響，透過 LCA 可識別出環境熱點，有助於預測和降低整體環境負荷，能提供永續性材料選購的決策方案。

三、研究方法

(一) 優化醫療用複合材質點滴袋廢棄物處理流程

傳統的醫療廢棄物塑膠回收流程中，回收廠商自醫院清運後，須將 PE、PVC、PP 等材質進行分類、破碎並作為次級材料出售，而複合材質的塑膠則多以焚化處理為主。本研究改變傳統方式，針對回收的醫療用複合材質，進行點滴瓶與點滴袋本體分離處理，使用過的點滴袋經回收後製成再生塑粒，並通過專利技術加工成再生廢針筒儲存盒。

本研究所提出的醫療用複合材質點滴袋廢棄物優化處理流程，具備多項顯著優勢。首先，透過點滴瓶與點滴袋本體的分離處理，避免不同材質混合，顯著提升再生塑粒的純度與物理性能，確保再生廢針筒儲存盒具備足夠的耐用性與安全性。在注塑製程方面，針對產品尺寸及成型缺陷的挑戰，升級射出機鎖模力並精準匹配螺桿容量，有效減少飛邊、短射及充填不足問題，確保再生廢針筒儲存盒的一致性和結構完整性。

此外，本研究利用優化的模具設計及冷卻控制，提高產品的尺寸穩定性，特別是在密封結構與卡榫設計上，確保再生廢針筒儲存盒組裝密合度與使用安全。整體處理流程結合多段分離、清洗、比重分選及高效造粒設備，不僅提升回收效率，還有效避免傳統焚化處理對環境的負面影響。

更重要的是，本研究開發的再生廢針筒儲存盒為耐用且可重複使用產品，促進醫療廢棄物管理的閉環循環，降低醫療機構長期成本與資源消耗，符合永續發展目標。此優化流程整合先進技術與製程管理，實現醫療複合材質廢棄物的高價值再利用。相關流程與傳統回收流程之比較，於圖 2 以流程圖呈現。

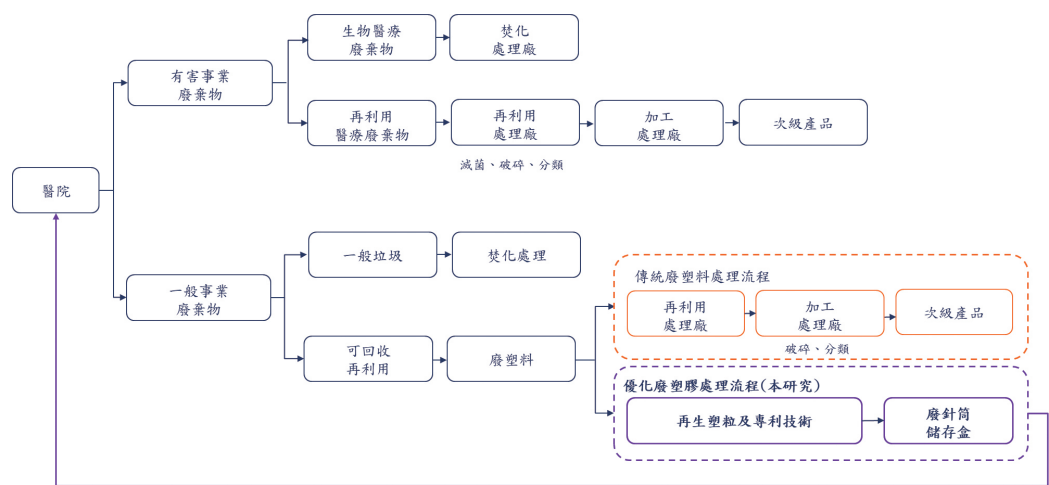


圖 2 醫療廢塑料處理流程

(二) 再生廢針筒儲存盒製造

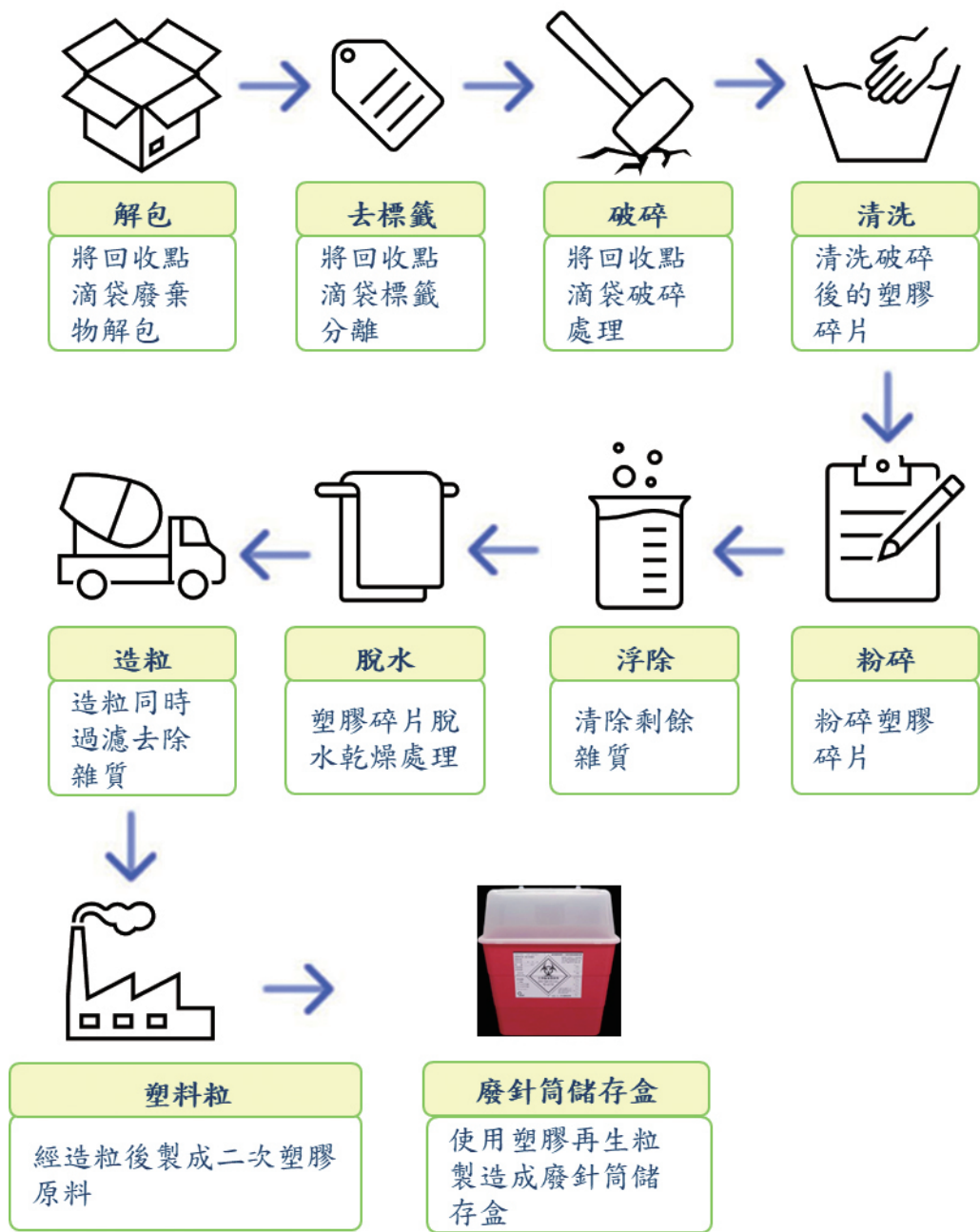
再生廢針筒儲存盒的製造流程包括以下主要步驟，以確保符合 ISO 及相關法規標準：

1. 醫療用複合材質點滴袋處理

複合材質點滴袋回收，並將其分類處理並進行破碎、清洗、粉碎、浮除、脫水等的程序（如圖 3 所示），接著將處理好的塑膠半成品，透過製粒機在高溫高壓的條件下，讓塑膠呈半熔融狀態後擠出，並造成粒子狀，將塑粒加熱至適當溫度，使其熔融均勻，再進行後續注塑成型，熔融塑膠進入模具並冷卻固化，形成儲存盒的基本結構，模具需設計精確，確保貯存盒尺寸、厚度和內部支撐結構的穩定性。

2. 第三方驗證及碳足跡盤查

為能證實本研究研製之再生廢針筒儲存盒落實循環經濟之理念，整個回收再利用流程均有第三方驗證確保其溯源性。本團隊研製之再生廢針筒儲存盒採用依據產品環保性的方法檢驗和 ISO 23907-1 防止割傷 - 要求和測試方法等第三方驗證，並已取得相關專利申請；同時也完成 ISO 14067 產品碳足跡之盤查。



資料來源：本研究繪製

圖 3 醫療用複合材質點滴袋處理

四、結果與討論

本團隊優化廢料處流程提出回收之醫療用複合材質點滴袋，經由專利技術製成二次塑料，在注塑成形為再生廢針筒儲存盒，依循 ISO 14021 之方法驗證和取得 ISO 23907-1 認證，這意味著該儲存盒不僅在環保與安全性上達標，還能落實循環經濟方面做出貢獻。以下是本團隊針對醫療用複合材質點滴袋如何透過標準要求來實現循環經濟的具體說明。

1. 可回收材料之使用

依據 ISO 14021 的要求，醫療再生廢針筒儲存盒可以選用可回收和再生材料，如再生塑料或其他環保材料，減少對新原材料的需求。本團隊與北部醫療院所合作，將使用過的廢點滴袋做為改造原料，回收後製成再生塑粒，透過專利技術製成再生廢針筒儲存盒，真正落實醫療用複合材質點滴袋之循環經濟理念，再生產品同時回饋於醫療或照護單位使用。

2. 非生物性資源消耗之減少

本團隊研製之再生廢針筒儲存盒已於 2023 年 4 月 26 日及 6 月 19 日，由財團法人塑膠工業技術發展中心，依據塑膠再生料檢驗程序 (PIB-QP-12) 並參照 ISO 14021 標準，對生產管理流程及場內取樣進行檢驗。該檢驗證實本產品製程中使用的再生料為 100% 回收聚丙烯 (PP) 與聚乙烯 (PE)，確保再生料真實且完整地應用於再生廢針頭儲存盒製程中，具備完整追溯性與符合相關規範。此結果證明本創新技術能有效實現醫療廢棄物的資源化利用，並降低非生物性資源消耗及環境負荷。

實際再生廢針頭儲存盒製程應用方面，上蓋部分使用 20 公斤原料，其中包含 10 公斤再生料及 10 公斤新料，可製作 80 個上蓋，平均每一個上蓋再生料含量為 50%；桶身部分使用 20 公斤原料，其中 6 公斤為再生料，14 公斤為新料，平均每一個桶身再生料含量為 30%。上述數據可作為廢點滴袋改造再生料投入的量化基準，並為產品碳足跡盤查提供重要計算依據。

3. 防刺穿和防漏設計之安全考量

ISO 23907-1 的要求，儲存盒應具備防刺穿和防漏功能，以保護使用者和處理人員的安全，防止廢棄針筒意外刺穿或洩漏。本團隊研製之再生廢針頭儲存盒已通過 ISO 23907-1 之防刺穿、防漏要求，已能確保多次或長期使用的安全性，耐用性高的儲存盒能減少醫療廢棄物的總量，降低環境負擔，並提高資源利用效率，亦是循環經濟中的重要一環。

4. 產品碳足跡之盤查

產品之碳足跡盤查樣本數並無固定標準，係依產品特性、生命週期階段及資料可取得性綜合評估後決定。一般而言，碳足跡盤查以具「代表性」且「數據量足夠」為原則。本研究評估之再生廢針頭儲存盒為標準化、規格一致之 **Business to Business (B2B)** 產品，主要供應醫療機構等單位使用，其生產流程相對穩定、集中。因此本研究擷取單一生產批次之投入原料進行說明：

- (1) 上蓋部分使用總重 20 公斤原料，其中再生料與新料各 10 公斤，可生產 80 個上蓋；
- (2) 桶身部分亦使用 20 公斤原料，其中包含 6 公斤再生料與 14 公斤新料，可生產 50 個桶身。

在本研究之產品碳足跡盤查中，產品於製程階段使用再生料與新料混合製作，屬於典型之多來源原料系統，須進行環境負荷之合理分配。根據 ISO 14044 及 ISO 14067 規範，當單一系統產出多項產品或混合來源時，應採用適當之分配原則以確保碳足跡計算之準確性與一致性。本研究採用質量基礎分配法 (mass allocation)，以下列 2 種數據分配原則，進而量化本產品於整體生產系統中所占之原料與回收使用比例：

- (1) 分配原則一（依原料重量占比）：以再生廢針頭儲存盒於全廠生產體系中所使用的原物料重量比例進行分配，計算結果為 0.29%。
- (2) 分配原則二（依回收點滴袋數量）：以每件產品對應之回收點滴袋或瓶數量為依據，計算結果為 0.71%。各階段之分配原則如表 2 所示。

表2 再生廢針頭儲存盒各階段之分配原則

階段	活動數據名稱	分配原則
原料	PP 再生塑膠粒 PP 新料 委外射出成型	分配原則 1 分配原則 2
原料	紙箱、棉手套、活性碳口罩、貼紙	分配原則 1 分配原則 2
製造	用電、用水	分配原則 1 分配原則 2
製造	堆高機、發電機	分配原則 1 分配原則 2
製造	化糞池	分配原則 1 分配原則 2
製造	廢棄物	無分配
運輸	事業廢棄物	分配原則 1 分配原則 2
運輸	原料運輸	無分配

上述原料投入量及分配原則，構成本研究產品碳足跡盤查的基礎，並作為功能單位設定與後續各階段溫室氣體排放量量化之依據。產品碳足跡範疇說明及盤查結果如表 3 所示。為進行比較，我們廣泛蒐集了相關產品的碳足跡數據，然而發現無論國際或本土研究在此方面的數據揭露仍然有限，使得進行比較頗具挑戰，甚為遺憾。希望藉由此次數據的公開，能為醫療用複合材質點滴袋的再利用提供更多的研究結果及應用基準。

表3 廢針頭儲存盒產品碳足跡之盤查

產品之生命週期評估範疇				搖籃到大門（原料取得到製造階段）			
產品碳足跡生命週期溫室氣體排放量							
生命週期階段	原料	製造	配銷	使用	廢棄	總和	功能單位排放
搖籃到大門	1.587	0.265	N/A	N/A	N/A	1.85	1.85
單位	(Kg_CO ₂ e)						

五、結論

本研究首創運用廢棄醫療用複合材質點滴袋作為創新環保材料，透過熔融與塑化技術製成次級塑料產品－再生廢針頭儲存盒。該產品已經過 ISO 驗證、取得專利技術，並完成碳足跡盤查。本研究之集針盒已與北部 2 家醫院合作使用，證實其具備循環再利用的潛力。即便產品最終無法再使用，仍可透過優化的循環鏈達到真正的永續利用，有效減輕環境負擔。

醫療廢棄物的清除和處理流程受嚴格法規約束，因此多數醫院將有價廢棄物進行標售處理。本研究由醫院、業界（處理加工廠）、產界（顧問單位）三方共同參與，採用優化的循環再利用流程，並經過 ISO 安全性測試的認證和碳足跡本土數據建立，搭建醫院與業界之間的橋梁，切實落實循環經濟與永續發展的目標。

參考文獻

- Geyer, R., Jambeck, J.R. and Law, K.L., 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*. 3 (7), e1700782.
- European Commission, 2018. A European Strategy for Plastics in a Circular Economy.
- Wagner, M., Scherer, C., Alvarez-Munoz, D., Brennholt, N., Bourrain, X., Buchinger, S., Fries, E., Grosbois, C., Klasmeier, J., Marti, T., Rodriguez-Mozaz, S., Urbatzka, R., Vethaak, A.D., Winther-Nielsen, M., and Reifferscheid, G., 2014. Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know. *Environmental Sciences Europe*. 26 (1), 12.
- Barnes, D.K., Galgani, F., Thompson, R.C., Barlaz, M., 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*. 364 (1526), 1985e1998.

- Prata, J.C., Silva, A.L.P., Walker, T.R., Duarte, A.C., Rocha-Santos, T., 2020. COVID-19 pandemic repercussions on the use and management of plastics. *Environmental Science & Technology*. 54 (13), 7760e7765.
- Patrício Silva, A.L., Prata, J.C., Walker, T.R., Campos, D., Duarte, A.C., Soares, A.M.V.M., Barcelo, D., Rocha-Santos, T., 2020. Rethinking and optimising plastic waste management under COVID-19 pandemic: policy solutions based on redesign and reduction of single-use plastics and personal protective equipment. *Science of The Total Environment*. 742, 140565.
- Rigamonti, L., Grosso, M., Møller, J., Martinez Sanchez, V., Magnani, S., Christensen, T.H., 2014. Environmental evaluation of plastic waste management scenarios. *Resources, Conservation and Recycling*. 85, 42e53.
- ElSaid, S., Aghezzaf, E.-H., 2018. A progress indicator-based assessment guide for integrated municipal solid-waste management systems. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 20 (2), 850e863.
- Marin, G., Nicolli, F., Zoboli, R., 2018. Catching-up in waste management Evidence from the EU. *Journal of Environmental Planning and Management*. 61 (11), 1861e1882.
- DEFRA, 2011. Guidance on Applying the Waste Hierarchy. London. Affairs, D. f. E. F. a. R.. Available at: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69403/pb13530-waste-hierarchy-guidance.pdf.
- European Parliament, 2016. Closing the Loop: New Circular Economy Package.
- Bagherzadeh, R., & Heidari, M. (2016). Influence of multilayer structure on the gas permeability of food and medical packaging. *Packaging technology and science*, 29(3), 115-122.

- Al-Akra, M. H., Al-Jamal, O., & Obaidat, M. S. (2018). Mechanical and antimicrobial properties of polypropylene/ethylene-vinyl acetate copolymer composites for medical applications. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 106(8), 2737-2745.
- Hahladakis, J. N., Velis, C. A., Weber, R., Iacovidou, E., & Purnell, P. (2020). An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. *Journal of Hazardous Materials*, 383, 121-174.
- Zhou, L., & Xie, X. (2018). High-temperature stability of polymer-based composite materials: Challenges and opportunities. *Polymer Composites*, 39(10), 3787-3801.
- Chung, D. D. L. (2017). Polymer-matrix composites for high-temperature structural applications. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 113, 1-27.
- World Health Organization. (2018). Safe management of wastes from health-care activities: A summary. World Health Organization.
- Meys, R., Frick, F., Westhues, S., Sternberg, A., Klankermayer, J., & Bardow, A. (2020). Towards sustainable chemical recycling of waste plastics with liquid-phase catalytic hydrocracking. *Angewandte Chemie International Edition*, 59(37), 15402-15410.
- Hopewell, J., Dvorak, R., & Kosior, E. (2009). Plastics recycling: Challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2115-2126.
- Al-Salem, S. M., Lettieri, P., & Baeyens, J. (2009). Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. *Waste Management*, 29(10), 2625-2643.
- Ragaert, K., Delva, L., & Van Geem, K. (2017). Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management*, 69, 24-58.

Tudor, T., Văduva, S., Dinescu, A., & Dima, M. (2020). Implementing circular economy principles in healthcare waste management. *Waste Management*, 106, 222–234.

Diaz-Elsayed, N., Montalvo, M., & Macias, E. (2021). Biocompatible and recyclable materials for medical devices: A path towards sustainable healthcare. *Journal of Cleaner Production*, 315, 128166.

Kumar, A., Ghosh, A., & Purohit, H. (2022). Circular economy in healthcare: A comprehensive review. *Sustainable Production and Consumption*, 30, 143–157.

Beylot, A., Sulpice, P., & Lemaire, C. (2022). Carbon footprint of medical plastic waste: Assessing the impact of different treatment options. *Waste Management*, 142, 247–257.

Rincón, L., Torres, F., & Ibarra, D. (2021). Life cycle assessment of medical devices: Identifying environmental hotspots. *Environmental Science & Technology*, 55(11), 7473–7483.

Clemente, M., Manfredi, S., & Cattaneo, S. (2023). Integrating life cycle assessment into medical device design: Impacts on sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 331, 129876.

環境部 (2023), 《事業廢棄物貯存清除處理方式及設施標準》, <https://law.moj.gov.tw>。

環境部 (2018), 《有害事業廢醫療廢棄物認定標準》, <https://law.moj.gov.tw>。

環境部 (2018), 《醫療事業廢棄物再利用管理辦法》, <https://law.moj.gov.tw>。

