



PET 的循環經濟： 回收、創新、永續之路

遠東新世紀股份有限公司遠東企業研究發展中心管理師 / 林湘琴

關鍵字：循環經濟 (Circular Economy)、聚對苯二甲酸乙二醇酯 (Polyethylene Terephthalate, PET)、PET 回收 (PET Recycling)、可再生原料 (Renewable Feedstock)

摘要

隨著環保意識抬頭，全球越來越關注消費模式對環境的衝擊。有鑑於全世界每年製造龐大的塑膠廢棄物，產業必須發展循環經濟，朝向零廢棄物和淨零碳排的未來前進。PET是目前最為廣泛使用的塑膠材料之一，故本文探討PET產業如何在永續設計的概念下，開發創新回收技術和導入可再生原料以取代石化來源，並且分享遠東新世紀之跨產業合作和共享資源的經驗，來說明產業須構建更廣泛的循環經濟體系，邁向循環經濟大道。

一、前言

(一) 廢塑膠污染日益嚴重

塑膠材料是一種高分子材料，由於加工性佳、耐用和價廉，故廣泛應用於日常生活中。常見的塑膠材料包含聚對苯二甲酸乙二醇酯 (Polyethylene Terephthalate, PET)、高密度聚乙烯 (High Density Polyethylene, HDPE)、低密度聚乙烯 (Low Density Polyethylene, LDPE)、聚丙烯 (Polypropylene, PP)、聚苯乙烯 (Polystyrene, PS)、聚碳酸酯 (Polycarbonate, PC) 和聚氯乙烯



(Polyvinylchloride, PVC) …等。據統計，全球每年塑膠總產量超過3.5億噸，且預估到2030年塑膠產量將超過4.17億噸。[1]

這些材料皆源自不可再生之石化來源，在日積月累的使用下，平均每年約產生2.4億噸的塑膠廢棄物，僅有16%的塑膠被回收再利用，高達84%的塑膠廢棄物，最終是以掩埋、焚化或甚至被任意丟棄來處置[2]。

以美國地區為例，根據The Association of Plastic Recyclers的數據指出，在各種產品應用中，以塑膠瓶的回收率最高，但也僅約28.2%[3]。若進一步探討不同塑膠的回收率，參考2021年Neeti Gandhi等人[4]發表的數據來看，統計消費後之塑膠廢棄物（含瓶子、薄膜、硬質包材等應用），所有塑膠材質中，以PET材質的回收率最高，約為19.5%，其次是HDPE的10.3%與LDPE的5.3%，其他塑膠材料的回收率甚至不到1%。

為應對龐大的塑膠廢棄物問題，2002年由德國化學家布朗嘉（Michael Braungart）和美國建築師麥唐諾（William McDonough）共同提出的Cradle to Cradle（搖籃到搖籃）的永續設計理念，為產業提供了一種解決方案。該理念的核心在強調產品須在設計階段就預先考慮產品結局，並可將塑膠製品轉化為另一個循環的開始，讓這些材料保持循環利用，或可升級再造製成相同或更高品質的材料或產品。

（二）PET 塑膠回收現況

PET是由對苯二甲酸（Purified Terephthalic Acid, PTA）和乙二醇（Mono Ethylene Glycol, MEG）聚合而成的聚酯高分子材料，可透過控制聚合條件產出不同規格的PET材料。PET重量輕，具備透明性、耐用性、熱穩定性、機械強度和阻隔性，且價格便宜與加工性優，可製成各種產品，故應用相當廣泛。除寶特瓶用途外，也可應用於包裝材料、電子級膠片、紡織品與印刷標籤…等，是最為廣泛使用的塑膠材料之一，目前全球PET年產量約9,000萬噸。

PET材料的回收發展較早，是目前全球回收率最高的塑膠材質。依據環境部最新的統計數據，臺灣2023年塑膠容器廢棄物回收總量約為21萬噸，其中又以寶特瓶原料PET的回收量最高，約12萬噸[5]，回收率達95%以上。不過，這也僅限於PET瓶的回收。其他像是PET使用量也非常高的紡織產品，全球PET年使用量約5,700萬噸[1][6]，但實際回收比例僅13%左右。以台灣為例，每年產生7萬噸廢舊紡織品中，有將近6萬噸無法回收再利用，最終以焚化或掩埋處理。

回收率低的主要原因在於大部分紡織品非單一組成，導致回收困難度大增，若僅靠回收寶特瓶的再生產能，未來恐無法滿足世界各國和企業使用再生材料含量的目標，如何提升PET的回收能力，擴大PET廢棄物



表 1 世界知名品牌企業承諾採用環保再生材料的目標

品牌企業	產業別	目標
Coca-Cola 可口可樂	飲料食品	到 2030 年，其塑膠包材至少含 50% 的再生材料
PepsiCo 百事公司	飲料食品	到 2030 年，其塑膠包材至少含 50% 的再生材料
Unilever 聯合利華	各類消費品	到 2025 年，其塑膠包材至少含 25% 的再生材料
Nestlé 雀巢	飲料食品	到 2025 年，其塑膠包材至少含 30% 的再生材料；水瓶至少含 50% 的再生材料
L'Oréal 萊雅	美妝產品	到 2025 年，其塑膠包材至少含 50% 的再生材料或生質材料；到 2030 年達到 100% 的目標
IKEA 宜家家居	家居用品	到 2030 年，所有聚酯產品 100% 使用再生材料或可再生材料製成
H&M	服飾產品	到 2025 年，產品至少含 30% 的再生材料； 到 2030 年，所有產品 100% 使用再生材料或永續環保材料製成

的回收範圍，是目前整個產業最迫在眉梢的問題。

所以，PET產業需要透過Cradle to Cradle的理念，尋找創新的解決方案，藉此減少塑膠廢棄物的數量，並降低對新石化原料的需求，讓產品成為永續發展的一部分，促使資源在經濟循環中源源不斷地被有效運用。

（三）永續目標推動

隨著環保意識抬頭，國家、品牌商和企業甚至消費者也開始反思消費模式對於環境的衝擊，因此循環經濟逐年受到重視。特別是在《巴黎氣候協議》的推動下，各國首要目標就是將全球平均溫度上升幅度控制在合理範圍內，以遏止全球暖化趨勢，故紛紛擬定嚴格的回收和減碳目標，並規劃徵收碳稅制法，促使各企業正視循環經濟的重要性並制定降低廢棄物和碳排放的目標。再加上2023年底聯合國第28屆氣候變遷大會

（COP28）決議並一致通過，有近200國承諾「進行能源系統轉型、脫離化石燃料，並以公正、有序且公平的方式，以科學為基礎，在這關鍵的十年加速行動，以利在2050年實現淨零排放。」全球正朝向零廢棄物和淨零碳排（Net-Zero）的大道前進。

以歐盟和美國加州為例，皆將於2025年執行PET瓶使用再生材料的比例不得低於25%之目標。其他國家也正積極制定再生材料使用的比例與範圍，台灣環境部目前也開始規劃草案，與相關業者研商並制訂目標，希望於2025年可實現非食品級塑膠容器須添加再生成分占比達25%以上，到2030年則達到35%的目標。

除了各國政府展開再生材料的立法，各大企業與品牌商也積極設定減廢減塑的目標（見表1）。隨著品牌努力實現其承諾與目標，並擴大對再生材料的需求，未來再生材料的供應將是製造廠的一大考驗。根據獨立



化學資訊與市場情報公司ICIS所進行的研究指出，全球至少需要建置1,800座新的rPET回收工廠，且工廠年產能平均達2.5萬噸以上[7]，才能實現大型品牌所設定的2025年再生材料含量目標。

儘管市場對再生PET材料（Recycled PET，rPET）需求增加，但收集量和回收量仍未能跟上需求成長率，故如何提升回收效能、精進回收能力以及擴大廢棄物的回收範圍，是目前PET產業鏈的當務之急，也是推動PET產業朝向循環經濟和永續發展的重要

關鍵之一。

二、PET 回收技術總覽

以往，塑膠製品採線性經濟（Linear Economy）模式，製造商利用石化原料來製造產品，而業者販售產品給消費者，消費者使用後丟棄產生廢棄物，這種即為Take→Make→Use→Dispose的線性經濟模式，而這樣的經濟模式，急遽消耗地球資源，也產生大量的塑膠垃圾，衝擊全球環境。不過，幾十年來，整個產業不斷推動回收再生的循環經

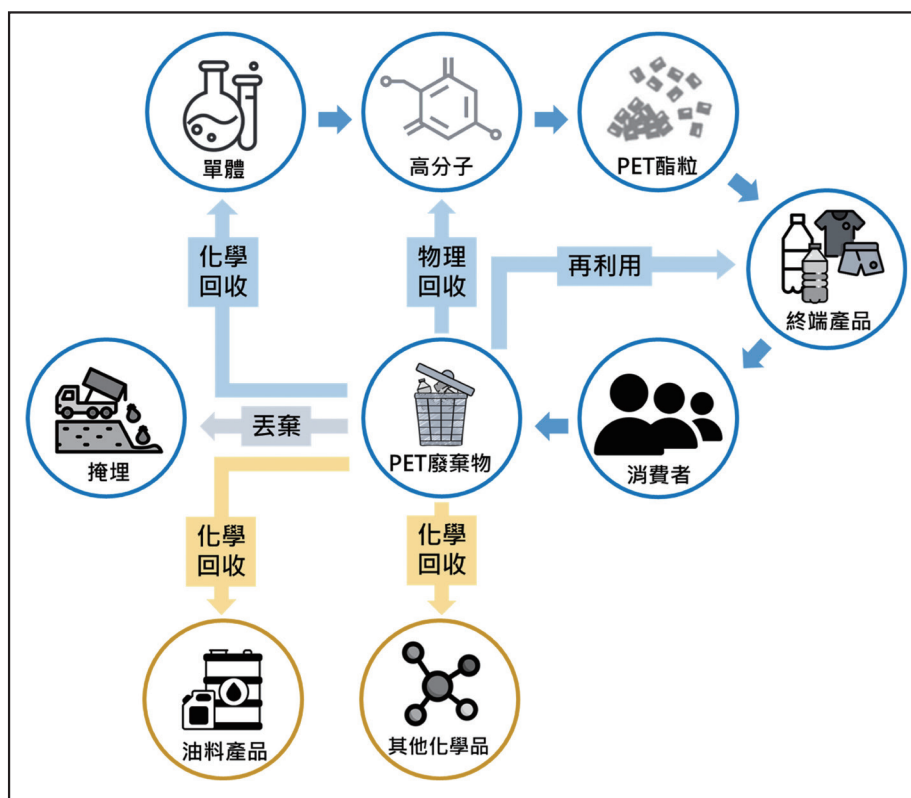


圖 1 PET 廢棄物的線性經濟與循環經濟模式 [8][9][10]。灰色箭頭代表線性經濟；藍色箭頭代表閉環經濟；黃色箭頭代表開環經濟。



濟（Circular Economy）模式，逐漸淘汰以奪取資源為主的線性經濟模式。

（一）PET 回收之閉環 & 開環經濟發展

以目前PET的回收技術，主要分為閉環回收模式（Closed-loop recycling）[8][9]和開環回收模式（Open-loop recycling）[8][10]，如圖1。

1. 閉環回收模式：

藉由物理回收、化學回收或再利用的方式，讓 PET 廢棄物可重新回到 PET 產業鏈中。

2. 開環回收模式：

以廢棄的 PET 作為原料，轉化為其它非 PET 產業鏈內的化學品或原料，可應用於非 PET 產業鏈上。如利用化學回收法將 PET 廢棄物轉化成回收多元醇，可應用於 PU 產業鏈中；抑或是藉由熱解回收法來獲得輕油或其他燃料油，可應用於能源產業。

這些創新的回收技術不僅為PET產業創造永續發展路徑，也可作為其他產業鏈的典範。PET回收技術成為推動循環經濟發展的重要一環。圖2彙整目前回收技術的路徑與主要產物，並於下一章節簡介各個回收技術。

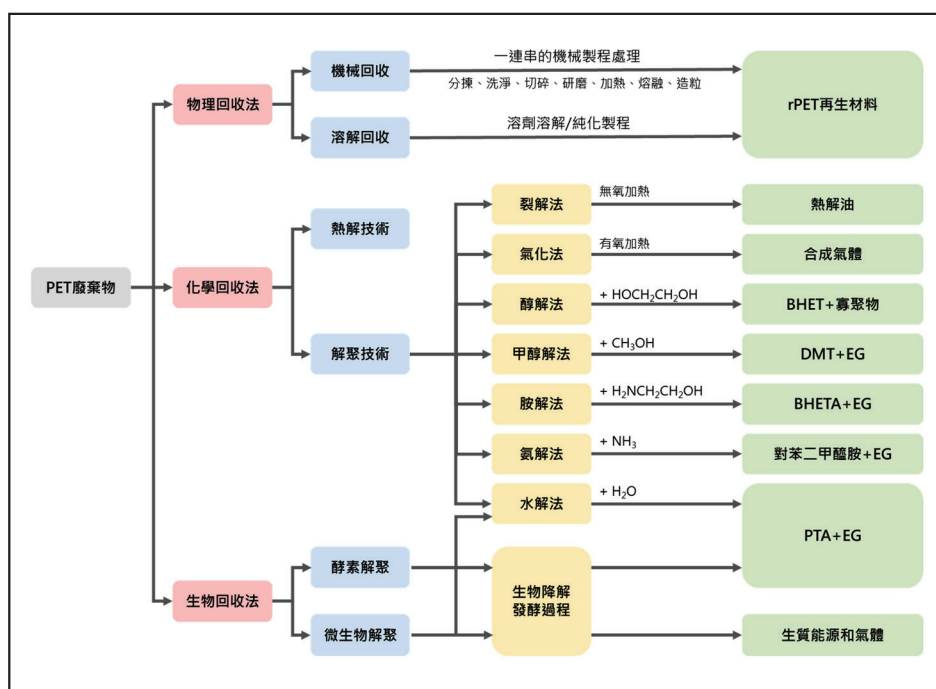


圖 2 PET 回收技術路徑表 [2]



(二) PET 回收技術 [2][8-15]

1. 物理回收法 (Physical recycling)

物理回收法是建立在不改變PET分子鏈結構的前提下，將回收的PET廢棄物經粉碎、熔融或溶解，再加工造粒生成新的再生聚酯材料 (Recycled PET, rPET) 產品，或與其他材料進行物理混合後加以再造利用。以目前的物理回收法，主要有兩種技術：

—機械回收 (Mechanical recycling)

機械回收法會將 PET 廢棄物經過一連串的製程處理，如分揀、洗淨、切碎、研磨、加熱、熔融、造粒等過程，但仍保持其分子結構，使其重新變成可用 rPET 材料。這種方法通常只能應用在相對乾淨、成分單一且無污染的 PET 廢棄物，例如寶特瓶。不過因其回收方式，所製成的 rPET 由於機械性能損失，導致品質略為劣化，通常作為較低端與廉價的產品應用，例如：寶特瓶回收做為紡織用途 (Bottle-to-Fiber (B2F) recycling)。

因回收 rPET 物性也會隨著回收次數而衰退，故以前機械回收法普遍被業界認為是一種降級回收 (DownCycling)；但隨著技術的進步，台灣在 2023 年核准寶特瓶回收可做為食品包裝用途 (Bottle-to-Bottle (B2B) recycling)，就可以不再降級回收。

—溶解回收 (Dissolution recycling)

溶解回收法是將 PET 廢棄物溶解在適當的

溶劑中，且未改變 PET 的分子結構，接著進行分離和純化，通常適用於含有雜質的 PET 廢棄物，可有效地分離出純度較高的 PET。不過由於整個製程會使用大量溶劑和熱能，需設計妥善的溶劑回用系統和降低能耗，否則對環境的衝擊可能更大。

2. 化學回收法 (Chemical recycling)：

主要利用化學反應來打斷原本PET的高分子鍵結，並獲得單體或其他原料。這些再生原料可再經合成反應來獲得高分子材料。有些化學回收法除了可將PET廢棄物解聚為原本單體之外，甚至可轉化為更高價值和品質的化學品或材料，除了具可回收性，亦不會損失價值或可用性，而這種回收就可視為是一種升級回收 (UpCycling)。

目前化學回收法主要分兩大類，分別是熱解技術與解聚技術，以下針對兩大類型的回收技術進行介紹。

—熱解技術 (Thermolysis)

◇裂解法 (Pyrolysis)

在高溫無氧的條件下，將 PET 廢棄物裂解成氣體、液體和固體產物，再進行適當的分離和再利用，通常可用來生成燃油，不過熱裂解的反應溫度相當高，需要消耗較多能源，且投入的廢棄物若成分複雜，也易影響燃油的品質。

◇氣化法 (Gasification)

將 PET 在高溫下與氣體反應，生成合成氣體，可進一步轉化為其他化學品或燃



料。但因收集到的廢棄物須妥善進行前處理與分類，再加上其製程的維護成本過高，目前商業化應用比例極低。

一 解聚技術 (Depolymerization)

◇ 醇解法 (Glycolysis)

使用乙二醇將 PET 解聚，主要的產物為對苯二甲酸雙羥乙酯 (Bis-2-Hydroxyethyl Terephthalate, BHET) 或其寡聚物，可將其再重新聚合成新的 PET 材料。其製程多在常壓下進行，條件相對簡單，較易實現商業化生產。

◇ 甲醇解法 (Methanolysis)

利用甲醇將 PET 解聚，主要的產物為對苯二甲酸二甲酯 (Dimethyl Terephthalate, DMT) 和乙二醇，可用來生產新的 PET 材料，缺點為目前世界上使用 DMT 製造 PET 的產線越來越少，DMT 可能需要轉化成 PTA 或 BHET，才能進料到大部分的 PET 產線進行 PET 聚合。

◇ 水解法 (Hydrolysis)

水解法可在鹼性、酸性和中性環境下進行 PET 解聚，主要產物為對苯二甲酸和乙二醇，也就是 PET 的基本單體，可重新進行 PET 再生製造。

◇ 胺解聚 (Aminolysis)

利用乙醇胺 (Ethanolamine) 將 PET 解

聚，主要產物為雙(2-羥基乙烯)對苯二甲醯胺 (Bis-(2-hydroxyethylene) Terephthalamide, BHETA) 和乙二醇，BHETA 在聚氨酯和不飽和聚酯等材料上具有應用潛力。不過胺解反應較慢，且副反應多，目前尚未實現商業化應用。

◇ 氨解聚 (Ammonolysis)

利用氨進行解聚反應，主要產物為對苯二甲醯胺 (Terephthalamide) 和乙二醇。對苯二甲醯胺可加氫製備成對苯二甲胺，可用於製造聚氨酯和環氧樹脂。

3. 生物回收法 (Biological recycling)

生物回收法是利用微生物和酵素降解的方式，將 PET 轉化為可再利用的單體，進而被微生物當為碳源進行生物製造，獲得新的 PET 材料或其他高值化學品。目前 PET 生物回收法以酶催化水解反應為主。

生物回收法與其他物理或化學回收製程相比，通常不需要高溫和高壓等極端條件，能耗較低，並且不需要過多的化學助劑，降低製造過程對環境的衝擊。同時，特定的微生物和酵素專注於降解 PET，而不影響其他材料，具備高度的材料選擇性，有助於提高回收效率並減少副產物的產生。

然而，生物回收法仍面臨一些挑戰。首先，由於各種 PET 廢棄物具備不同的結晶性



質，容易影響生物降解效率。為了解決這一問題，可通過酵素工程改造，使其更適合PET材料；或針對PET廢棄物進行預處理，以改善生物降解性能。其次，PET廢棄物的來源差異可能影響生物回收的效果，所以必須清楚瞭解PET廢棄物的來源，才能進行合適的預處理過程。另外，生物回收技術的商業化製程技術，需要複雜的生物工程和反應器的研究，才能實現高效降解、產品分離和純化。故生物回收技術的發展需要結合微生物學、酵素學和生物工程等領域的研究，故商業化程度仍不及物理或化學回收法。

4. 遠東新世紀的回收技術發展[16]

遠東新世紀自1988年起，已開始投入深耕循環經濟，建立台灣第一個機械回收寶特瓶的工廠，目前已具備成熟的機械回收技術，並且在美國、日本和菲律賓等地，都建立了機械回收廠，除了可將廢棄的PET寶特瓶回收再製成高品質的rPET產品，其應用領域更涵蓋食品包裝、非食品包裝、機能服

飾、鞋材、家用品和車用材料…等。以回收寶特瓶為原料所製成的rPET酯粒，較傳統從石化來源的PET酯粒，可減少約63%的溫室氣體排放量。

不僅回收陸地上的PET廢棄物，遠東新世紀也致力於海洋回收領域，與非營利組織Parley for the Oceans和運動品牌adidas合作，透過創新的回收技術，將海洋中的廢棄寶特瓶，回收再製成「海洋回收紗」並製成新鞋（如圖3）。統計到2022年，已成功攔截14,000噸以上的海洋廢棄塑膠，促進海洋保護和推動循環經濟。

另外，為了擴大廢棄物再利用的範圍，遠東新世紀憑藉在寶特瓶回收的成熟經驗，發展紡織廢棄物回收解決方案，將成份單純的聚酯紡織廢棄物，經由熔融造粒或以機械回收的方式，重製成全新紡織品的商業化應用技術。

然而，物理回收技術無法有效處理成分



圖3 以遠東新世紀的海洋回收紗所製成的鞋子

較為複雜的包裝材料、織物、鞋材與印刷標籤…等，所以這類型的廢棄物通常只能當作垃圾焚化處理，造成嚴重的資源浪費與環境污染。

為了實現PET各類終端產品的循環經濟發展，遠東新世紀於2013年即開始進行化學法回收處理技術TopGreen® ChemCycle的研究，見圖4。ChemCycle技術結合醇解和水解

兩個解聚技術，並進行脫色、結晶與純化等一連串化工流程，將成分較複雜的PET廢棄物有效回收並還原為生產聚酯的原料：再生對苯二甲酸（rPTA），其品質與石化來源的原料相同，現已於1噸先導工廠完成瓶到瓶（Bottle to Bottle，B2B）、布到布（Fabric to Fabric，F2F）、標籤到標籤（Label to Label，L2L）等回收測試。

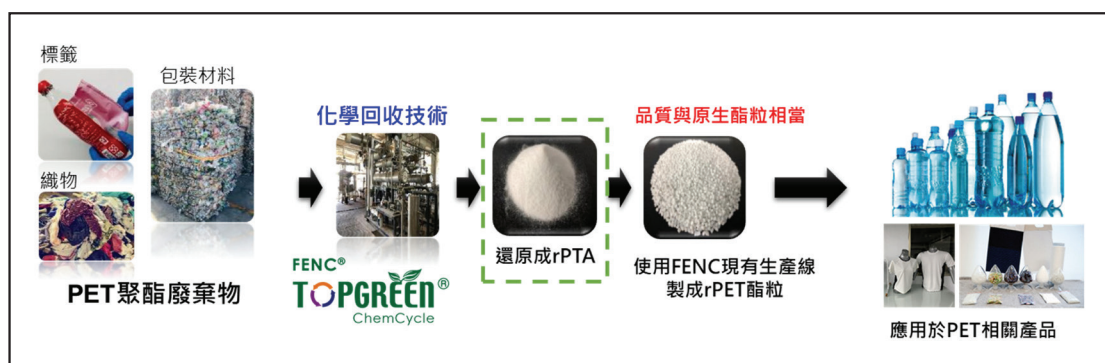


圖 4 遠東新世紀 PET 聚酯廢棄物之化學回收循環製程



圖 5 由遠東新世紀 ChemCycle 技術所製成的衣服



目前遠東新世紀TopGreen® ChemCycle技術已取得台灣、美國、澳洲等多國專利，並獲得多項獎項肯定，包括2021年榮獲第十八屆國家新創獎、2022年榮獲第十九屆國家精進獎和亞洲企業商會國際創新獎的肯定。另外也獲得可口可樂瓶裝日本公司（CCBJI）採用，成為世界第一個商業化使用含有化學回收原料之PET飲料瓶。而在2022年，遠東新世紀與日本可口可樂及東洋紡（TOYOBO）合作，完成世界第一個聚酯瓶用標籤重製成商業化使用標籤的回收技術（Label to Label, L2L），並與多個國際知名品牌合作開發及推廣下游應用，下個階段正規劃建置年產能千噸以上ChemCycle製程產線，藉此擴大回收量能。

三、可再生原料在聚酯製程的發展

雖然目前PET產業可藉由回收技術來取得rPET和再生原料，達到循環經濟的目標，但全球每年對PET塑膠的高需求量，再加上受限於目前的回收率，以及回收製程勢必會產生部分損耗，若要完全以再生原料取代原生石化原料，可說是一種不可能的任務，為了降低對石化原料的依賴，產業也必須思考尋求其他可再生原料的來源。

（一）可再生原料 - 植物來源

植物是一種很好的可再生來源，而且植物生長過程會透過光合作用從空氣中吸收二

氧化碳，減少溫室氣體的累積，符合減碳和資源再生的需求，近幾年逐步取代現有石化產品成為未來產業的發展重點。

早期，糧食作物是主要的生質原料來源。以PET的製造來說，主要的原料為乙二醇和對苯二甲酸，其中，要獲得生質乙二醇（bio-MEG），可將玉米或甘蔗等作物當原料，將其中的澱粉分解成糖後，再發酵成酒精，酒精再脫水轉化成乙烯，並經一連串化工製程得到bio-MEG。不過近幾年考量到日益嚴重的糧食危機，生質來源逐漸從糧食轉為農業廢棄物，除了不與人爭糧之外，也不會導致產業為了種植更具經濟效益的糧食，而侵蝕其他農作物的份額，或甚至砍伐森林增加農作用地。

生質對苯二甲酸（bio-PTA）及生質乙二醇（bio-MEG）的生產，可利用農業廢棄物的第二代生質原料，如：玉米稈、甘蔗渣、稻稈、麥稈和木材廢料，經過前處理、醱化、發酵後獲得葡萄糖及木糖，再經一連串的化學過程將糖轉換為生質PTA或MEG。UPM公司宣稱將於2024年底量產以木材為原料的bio-MEG[17]，可望成為將第二代生質原料量產的先驅。

雖然各家廠商積極研發100%全生質PET（bio-PET）材料，但仍處於技術宣告和小型試驗規模，目前尚未有100% bio-PET正式商品化的產品推出。遠東新世紀在2015年與美



國Virent及可口可樂合作，在義大利米蘭世博會上推出世界第一瓶100% bio-PET的可樂瓶[18]；也在2016年地球日當天與美國Virent展示世界第一件100% bio-PET的生質衣[19]。

總而言之，現有商業化的bio-PET產品，主要為30%生質含量的bio-PET，其成分為30%的生質乙二醇和70%石化來源的對苯二甲酸。所以要達到100% bio-PET的商業化生產，仍靠生質原料的技術發展進程而定。

（二）可再生原料 - 工廠廢氣

在全球淨零碳排趨勢下，企業將溫室氣體的減排列為重點目標。若能藉由捕捉工廠廢氣當作碳源，並轉化成PET的原料，不僅達到循環經濟的目標，更直接符合減碳、固碳的環保要求。

遠東新世紀自2019年起，與美國生物科技公司LanzaTech合作，將鋼鐵廠排出的廢氣，經由特殊微生物發酵技術來產製酒精，酒精再經由化學催化製程，轉化成以廢氣為來源的乙二醇（waste-gas-based-MEG），遠東新世紀將這種廢氣來源的乙二醇導入PET的聚酯合成生產線，生產出TopGreen® Bio3-PET，其性能和品質與原生PET相同，且經由生物轉換獲得的Bio3-PET，可應用於各種產業應用，如瓶子、膠片、薄膜、工業纖維和紡織品…等，已獲adidas、H&M、Zara等歐美許多時尚品牌採用。此外，Bio3-PET廢棄物一樣可進入現有rPET的回收體系，持續為淨零碳排提供更多的解決方案。

四、建構循環經濟體系 [16]

在當今追求環保永續的時代，企業持續



圖 6 ZARA 以遠東新世紀提供之廢氣來源 TopGreen® Bio3-PET 所製成的衣服



精進產品設計和回收技術，PET產業現已在循環經濟的道路上取得了重要的成就。然而，要實現真正的循環經濟，不僅需要單一企業的努力，更應在整個產業鏈中建立緊密的合作。遠東新世紀透過跨產業合作和共享資源，構建更廣泛的循環經濟體系，並藉由產業垂直整合的優勢，再加上獨步全球的綠色技術，與品牌客戶共同建構永續循環生活圈。下文介紹遠東新世紀如何與其他企業攜手，共同建構循環經濟的成功典範。

◆ 與 7-ELEVEN 合作推動循環經濟回收系統

遠東新世紀在2022年與台灣統一超商 7-ELEVEN和統奕包裝攜手合作，共同推動「循環經濟資源回收機」，專為北部地區提供獨一無二的環保解決方案。此創新計

畫由統奕包裝在7-ELEVEN門市內部署寶特瓶回收機，旨在促進民眾回收使用過的廢棄寶特瓶。

收集到的寶特瓶將進入遠東新世紀的全方位回收體系，將廢棄物轉化為高品質的rPET材料，可應用於7-ELEVEN門市的環保制服及其他商品的生產，進一步構建起綠色永續生態圈。

◆ 與日本姬路市政府及伊藤園推動「100% PET Close Loop」專案

遠東集團旗下日本遠東石塚グリーンペト株式会社（簡稱日本遠東石塚）與姬路市政府和飲料品牌伊藤園共同簽署「100% PET Close Loop」合作協定。預計自2024年日本遠



圖 7 遠東新世紀與統一超商 7-ELEVEN 和統奕包裝合作推動「循環經濟資源回收機」



東石塚關西新廠啟動後，收集姬路市當地廢棄寶特瓶，運送至日本遠東石塚關西廠，其產出的再生材料最終可用於生產伊藤園飲料產品的包裝，形成閉環循環經濟模式。

早在2019年起，日本遠東石塚與日本7-ELEVEN、Coca-Cola合作，在東京地區超過300家7-ELEVEN門市進行寶特瓶回收，並再製成rPET產品供應給Coca-Cola作為商

品包裝材料使用，而這些使用再生材料的商品於7-ELEVEN門市上架，達成「100% PET Close Loop」循環體系，也成功吸引更多品牌與機構加入。

◆與越南 AEON 簽訂合作備忘錄，推動寶特瓶回收計畫

遠東集團旗下之遠東紡織（越南）與越南大型百貨AEON於2022年6月簽訂合作備忘



圖 8 遠東集團旗下日本遠東石塚グリーンペット株式會社廠區



圖 9 遠東集團之遠東紡織（越南）廠區



錄，自2023年起所有自AEON賣場內回收的寶特瓶，將供應給遠東紡織（越南）再製成rPET材料，用來製造全新商品。此合作計畫是越南第一個回收再生聚酯的閉環經濟專案，除了將遠東集團的永續循環理念擴大至越南地區，也可吸引其他潛在客戶的合作機會。

◆與IKEA合作建構布到布（Fabric-to-Fabric，F2F）循環經濟系統

遠東新世紀受邀參與經濟部產業發展署2022年的「建構循環供應鏈對接機制」計畫，與來自瑞典的跨國居家用品零售企業IKEA和台灣服裝與布料製造商鑑呈行，共同進行國內首例廢布全循環回收推廣。

由IKEA提供零售專賣店的廢棄布料，包含展示用商品或是不符合販售品質的退貨商品，交由遠東新世紀以織物回收技術進行再生，經由粉碎、熔融造粒、抽絲及假撚加工

的製程，將廢棄織物重製成聚酯回收纖維，再由產業鏈夥伴生產出全新產品販售。

五、挑戰與機遇

根據邁德魯基金會（Minderoo Foundation）於2023年所公布的《2023塑膠垃圾製造者指數》（2023 Plastic Waste Makers Index）[20]，統計2019年到2021年間，全球所增加的一次性塑膠使用量，是目前再生材料產量的15倍。儘管市場預估到2027年將新增300萬噸的回收能力，但相較新增的6000萬噸塑膠材料，全球新增的回收量能仍遠遠不及新增的塑膠產能。業者雖然極欲提升塑膠回收能力，但受限於多重因素，導致回收量能成長有限，表2列出產業在實現循環經濟時，可能會遇到的挑戰和機遇。

表 2 產業推動循環經濟之挑戰和機遇

循環經濟議題	挑戰	機遇
原料方面	回收率低，回收原料供不應求。	開發創新回收技術，擴大可回收產品範疇。
成本方面	以石化來源生產塑膠的成本相對較低，市場上價格也較具競爭力。	精進製程以提升回收效率，或將廢棄物轉化為高值產品，不僅可降低成本也可提高利潤。
技術方面	組成複雜和多層複合的混合材料，難以有效回收。	發展可處理複雜材料之回收技術，不僅強化PET的循環經濟，更有助於整體塑膠材料的永續發展。
市場方面	民眾對再生材料認知不足，購買意願有限，需求具不確定性。	各國持續推動循環經濟，並開始推動相關政策與法規，市場需求預估將持續攀升，事先布局循環經濟不僅可達到環境永續，也為企業在綠色商機上鋪路。
經濟方面	市場價格波動和國際政策的不確定性，增加投資風險。	透過國際合作，隨時掌握經濟脈動，建立標準化和共通的驗證標準，有望促進再生材料的應用範疇擴大，推動全球循環經濟發展。



若能克服這些挑戰，將能帶領PET聚酯產業邁向更具永續性和環保的未來，同時也在挑戰中培養創新技術，推動循環經濟理念的深化和擴展。

◆ 遠東新世紀的永續發展藍圖

遠東新世紀致力於打造永續商業模式，秉持與環境共生共存的理念。身為全球領先的PET製造商，遠東新世紀積極推動資源永續，發展各種尖端回收技術，並為各種PET終端產品研究出更優越的回收解決方案。

在考量石化資源有限的情況下，遠東新世紀不只在陸地上、海洋回收寶特瓶，也透過採用生質原料及工廠廢氣等環保替代方案，進行陸、海、空的全方面回收，積極實現原料的可再生性，從而真正創造PET產業的循環經濟。這不僅有助於減少對有限石化

原料的依賴，更在生產過程中降低了碳足跡，為環境友善做出實質的貢獻。

圖10為遠東新世紀的循環經濟路徑圖，展示遠東新世紀對環境友好生產的承諾，透過創新技術，期望促進PET產業邁向更永續與環保的未來。

六、結論

PET產業的循環經濟為解決全球塑膠問題開啟了嶄新的未來，透過引入創新回收製程，不僅改變PET的回收方式，也突破對石化原料的依賴，並實現更永續性的生產。

企業應在實踐循環經濟方面展現積極性，以遠東新世紀為例，透過高效的回收技術，再加上使用生質和工業廢氣等可再生原料，以期能為整個產業鏈注入新的活力。然

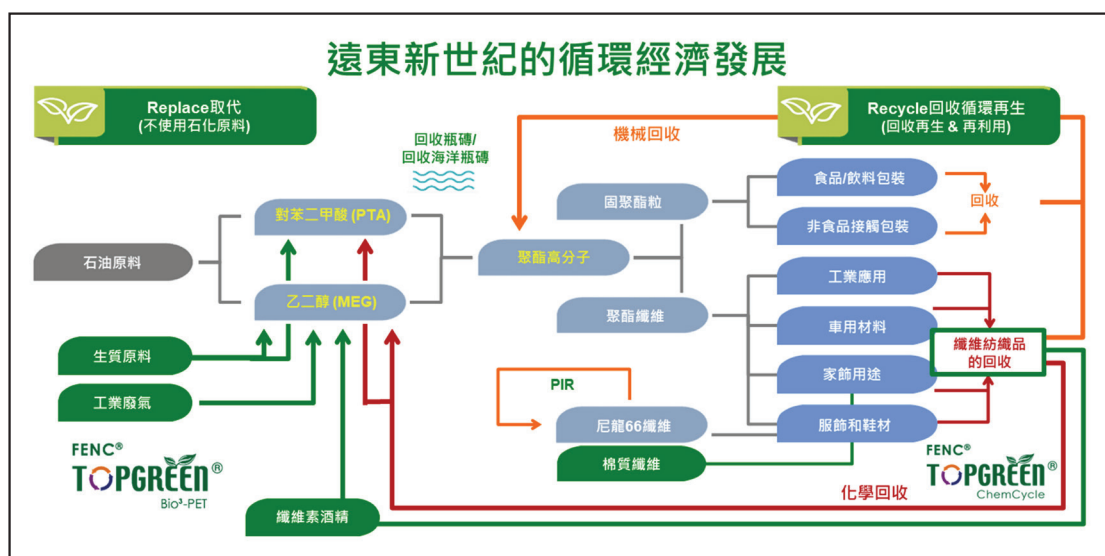


圖 10 遠東新世紀的循環經濟發展路徑圖



而，實現循環經濟並非一蹴可幾，仍需面對成本挑戰、技術限制、市場需求等多重阻礙。共同攜手合作，建立全球標準和政策是實現循環經濟的關鍵。PET產業將在循環經濟的引領下，實現更為永續發展的願景。

參考文獻

1. Maider Iturrondobeitia, Laura Alonso, Erlantz Lizundia. "Prospective life cycle assessment of poly (ethylene terephthalate) upcycling via chemoselective depolymerization." *Resources, Conservation and Recycling* 2023, 198, 107182. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107182>
2. Soong, Y.-H.V.; Sobkowicz, M.J.; Xie, D. "Recent Advances in Biological Recycling of Polyethylene Terephthalate (PET) Plastic Wastes." *Bioengineering* 2022, 9(3), 98. <https://doi.org/10.3390/bioengineering9030098>
3. 美國消費後塑膠材料統計資料, <https://circularityinaction.com/2021PlasticRecyclingData>
4. Neeti Gandhi, Nicholas Farfaras, Nien-Hwa Linda Wang, Wan-Ting Chen. "Life Cycle Assessment of Recycling High-Density Polyethylene Plastic Waste." *Journal of Renewable Materials* 2021, 9(8), 1463. <https://doi.org/10.32604/jrm.2021.015529>
5. 資源回收網統計資料, 環境部資源循環署。 <https://recycle.moenv.gov.tw/ConvenienceServices/Downloads>
6. ITIS 研究團隊 (紡織所), 「紡織業永續減碳關鍵 - 紡織品回用技術」, 經濟部產業技術司, 2023。 https://www.moea.gov.tw/MNS/doi/industrytech/IndustryTech.aspx?menu_id=13545&it_id=464
7. "Plastics recycling – How to square supply and demand." *Recycling Magazine* 2022. <https://www.recycling-magazine.com/2022/07/06/plastics-recycling-how-to-square-supply-and-demand/>
8. Benyathiar, P.; Kumar, P.; Carpenter, G.; Brace, J.; Mishra, D.K. "Polyethylene Terephthalate (PET) Bottle-to-Bottle Recycling for the Beverage Industry: A Review." *Polymers* 2022, 14(12), 2366. <https://doi.org/10.3390/polym14122366>
9. 陳育誠, 「全球 PET 閉環式化學回收技術發展概況」工業技術研究院 IEK 產業情報網, 2020。
10. 陳育誠, 「全球 PET 閉環與油料化學回收技術發展概況」工業技術研究院 IEK 產業情報網, 2020。
11. 鄭名淵、廖瑞芬, 「全球 PET 回收技術之發展趨勢」, *工業材料雜誌* 405 期, 2020, 100。
12. 芮嘉璋, 「PET 塑料化學回收再循環技術」, *科儀新知* 225 期, 2020, 60。
13. Shanmugam Thiagarajan, Evelien Maaskant-Reilink, Tom A. Ewing, Mattijs K. Julsinga and Jacco van Haveren. "Back-to-monomer recycling of polycondensation polymers: opportunities for chemicals and enzymes." *RSC Advances* 2022, 12, 947. <https://doi.org/10.1039/D1RA08217E>
14. 李志斌、唐輝、羅大偉、應俏, 「廢棄 PET 化學回收及製備不飽和聚酯樹脂的研究進展」, *化工進展*, 2022, 41(6), 3279. <https://hgjz.cip.com.cn/CN/10.16085/j.issn.1000-6613.2021-1439>
15. Mudondo J, Lee H, Jeong Y, Kim TH, Kim S, Sung BH, Park S, Park K, Cha HG, Yeon YJ, Kim HT. "Recent Advances in the Chemobiological Upcycling of Polyethylene Terephthalate (PET) into Value-Added Chemicals." *J. Microbiol. Biotechnol.* 2023, 33(1), 1. <https://doi.org/10.4014/jmb.2208.08048>
16. 「遠東新世紀 2022 年永續報告書」, 遠東新世紀, 2023。 https://csr.fenc.com/index_focus.aspx?lang=zh
17. UPM 官網資訊。 <https://www.upmbiochemicals.com/biorefinery/>
18. "Virent BioFormPX® paraxylene used for world's first PET plastic bottle made entirely from plant-based material." *Virent*. 2015. <https://www.virent.com/news/virent-bioformpx-paraxylene-used-for-worlds-first-pet-plastic-bottle-made-entirely-from-plant-based-material/>
19. "Virent BioFormPX® paraxylene used to produce world's first 100% plant based polyester shirts." *Virent*. 2016. <https://www.virent.com/news/virent-bioformpx-paraxylene-used-to-produce-worlds-first-100-plant-based-polyester-shirts/>
20. Plastic Waste Makers Index 2023. *Minderoo Foundation* 2023. <https://www.minderoo.org/plastic-waste-makers-index>