

廢棄物類

資源再生產業在淨零碳排趨勢下的 機會與挑戰

蔡維馨*、羅勻謙**、黃晴澤***、黃群真****

摘 要

「資源循環零廢棄」為實踐淨零碳排的關鍵戰略之一，廢棄資源再利用，可避免增加天然原料開採之溫室氣體排放，減少碳排密集產品之使用，以及減輕廢棄物最終處置對環境所造成之沉重負荷，因此資源再生產業在淨零碳排趨勢下扮演重要角色。本文分享國內資源再生產業發展現況，介紹當前淨零碳排趨勢與國內相關政策發展，並評析資源再生產業在淨零浪潮下所面臨的機會與挑戰，以提供各界參考，期望促進各界採取行動，讓淨零成為資源再生產業競爭力提升的動力。

【關鍵字】工業廢棄物、資源再生產業、淨零碳排

* 財團法人台灣綠色生產力基金會

** 財團法人台灣綠色生產力基金會

*** 財團法人台灣綠色生產力基金會

**** 經濟部產業發展署

經理

副理

工程師

科長

一、前言

自工業化以來，人為活動造成之溫室氣體排放量遽增，使得全球平均氣溫因溫室效應而升高，進而造成氣候變遷，並且已對人類及生態環境造成衝擊，其嚴重程度引起各國關注並積極展開淨零碳排相關行動，致力於控制全球升溫幅度在 1.5°C 內，以避免造成不可挽回的傷害。

我國地狹人稠且天然資源有限，為提高資源使用效率，讓資源於產業鏈中循環運用，政府已積極扶植資源再生產業發展，鼓勵產業自主建構資源循環網絡，同時推動循環產業園區發展，迄今在各界共同努力下，工業廢棄物再利用率已超過 80%；於此同時，廢棄資源再生可扭轉線性經濟，並具有溫室氣體排放減量之效益，對於我國響應國際公約實踐淨零碳排目標至關重要。

推動「環境保護」與「經濟發展」雙頭並進為我國產業發展基本原則，在當前淨零碳排趨勢下，政府已將「資源循環零廢棄」列為關鍵戰略，然而我國資源再生產業多屬中小企業，在人力及資源有限條件下，如何發揮資源再生及低碳二次物料減碳優勢，為產業必須面臨之挑戰。

本文分享國內資源再生產業發展現況，介紹當前淨零碳排趨勢與國內相關政策發展，並評析資源再生產業在淨零浪潮下所面臨的機會與挑戰，以提供各界參考，期望促進各界採取行動，讓資源再生產業成為實踐淨零碳排目標的助力，並提升資源再生產業競爭力。

二、工業廢棄物產出及資源再生產業發展現況

依據環境部統計資料顯示，2022 年全國總事業廢棄物產生量為 2,117.8 萬公噸，其中工業廢棄物產生量約 1,835.4 萬公噸，占比高達 86.67% (環境部，2023)。為促進工業廢棄物再利用，經濟部工業局 (現改制為經濟部產業發展署) 自 2001 年起著手推動「資源再生產業」發展，透過法規制度建立、再利用機構輔導、技術提升輔導、廢棄物交換媒合及資源再生綠色產品認可制度推動等措施，扶持資源再生產業蓬勃發展，迄今資源再生產業由最初 305 家成長至 2,036 家，再利用率也提升至 81.6% (經濟

部產業發展署，2023)，有效轉化產業廢棄物為有價資源，延長資源使用週期及效率。資源再生產業作為循環經濟推動之重要橋樑，以下就其發展現況進行說明。

2.1 資源再生產業發展現況

凡從事以各類可資源化廢棄物為原料，將其再利用為再生產品者，依據「工業及礦業團體分業標準」行業別定義，皆屬廣義資源再生產業之範疇，而依循我國廢棄物管理相關法令之區分，各類從事工業廢棄物資源化之管道，包含：公告再利用、許可再利用、公民營廢棄物處理及共同處理採資源化方式等 4 類管道（如圖 1），皆屬資源再生產業。



圖 1 資源再生產業範疇

依據經濟部產業發展署統計資料顯示，2023 年從事工業廢棄物再利用之資源再生廠家共有 2,036 家，其中 98.2% 為資本額小於新臺幣 1 億元或員工人數少於 200 人之中小企業，大型企業僅占 1.8%，顯示資源再生產業規模較小，需要透過法令或政府扶持其發展。

資源再生產業長期配合政府資源循環零廢棄之政策，協助將廢棄物分類、篩選、加工或提純，將其轉化為再利用產品，並作為材料、燃料或作為其他用途使用。經過

長期推動，資源再生產業再利用國內廢棄物之成效，至 2023 年再利用率已達 81.6%、產值達 798 億元，不僅提升資源循環利用率，並減少最終處置之廢棄物，對國內之經濟及環境效益具有重要貢獻。

2.2 再生物料產銷情形

經統計 2023 年度資源再生產業以產業廢棄物或剩餘下腳料為原料之再利用產品產生量約 9,515.9 萬公噸、總銷售量約 9,454.4 萬公噸，其中以建材類為最大宗（約占 98%），詳細各類產品之生產量、銷售量及產品項目摘要如表 1。另針對產生量較大之「建材類」、「金屬類」、「無機化學品類」、「燃料類」產品，以及「其他類」所涵蓋之再利用產品資源化方式說明如下：

1. 建材類：以廢磚、爐渣等無機廢棄物為原料，透過篩分、破碎等物理程序，產製各類再生粒料，並進一步與水泥拌合產製預拌混凝土或其他水泥製品、與瀝青焦油拌合產製瀝青混凝土；抑或與水泥原料經適當配料、研磨、燒成產製水泥產品。此類產品主要供應國內各式道路工程、土木工程、建築工程及其他工程使用。
2. 金屬類：將金屬廢料、含金屬污泥、廢液等，透過物理、化學或是熱處理等技術，從中回收各類金屬，以提供金屬、化工等行業使用。
3. 無機化學品類：將產業使用化學品後產生之廢液，如廢硫酸、廢酸洗液、廢酸性蝕刻液、廢異丙醇等，以中和、置換、調配、過濾、熱處理等方式，再利用產製硫酸等酸類、硫酸銅、氧化鋅或電子級清洗劑等無機化學品，提供化工、電子業作為原料，或產製氯化鐵、硫酸亞鐵、聚氯化鋁等廢水處理藥劑，以供工廠廢水處理程序使用。
4. 燃料類：因應減煤及轉廢為能政策，將廢木材、廢塑膠混合物、廢纖維混合物等具熱值廢棄物，透過破碎、分選、造粒等程序產製再生燃料，常見為木屑、固體再生燃料（SRF），提供給國內具替代燃料需求之造紙、汽電共生、紡織等業者使用。
5. 其他類：將廢輪胎透過熱裂解技術產製碳黑，漿紙污泥經碳化後產製保溫材料，或是將廢油經調整、過濾產生再生潤滑基礎油等其他工業產品，提供國內輪胎、鋼鐵及其他工業使用。

表 1 2023 年資源再生產業產品之產銷情形統計

類別	產生量 (萬公噸)	銷售量 (萬公噸)	產品項目
建材	9,297.5	9,238.4	卜特蘭水泥、高爐水泥、爐石粉、預拌混凝土、控制性低強度回填材料、再生粒料、地磚、紅磚、纖維強化水泥板、紐澤西護欄、鑄砂、陶瓷土粉、耐火材料、石粉等
金屬	69.3	69.3	金、銀、銅、銻、鋅、錫、鉛、鐵、鋼等
無機化學品	58.2	57.6	氧化鋅、硫酸、硝酸、鹽酸、磷酸、硫酸銨、硫酸銅、氯化鐵、硫酸亞鐵、聚氯化鋁、電子級清洗劑等
燃料	38.5	39.1	固體再生燃料、其他燃料(如木屑)、燃料油等
肥料及飼料	16.2	15.9	有機質肥料、魚粉、飼料、飼料添加物
有機化學品	7.5	5.9	甲醇、乙醇、異丙醇、丙酮、丁酮、光阻剝離液等
塑橡膠	4.4	4.2	塑膠片、塑膠粒、再生橡膠、橡膠墊等
民生用品	0.1	0.1	紙張、不織布等
其他	24.2	23.9	碳黑、保溫材料、砂輪、潤滑基礎油等

資料來源：經濟部產業發展署(2023)，資源再生產業推動及審查管理計畫。

備註：(1) 部分再利用產品依環保法規屬免申報項目，故未納入統計。

(2) 燃料類別產品銷售量大於產生量，表示當年度銷售產品包含前一年度庫存產品。

2.3 再利用減碳案例

1. 案例一：臺灣水泥股份有限公司(臺灣水泥股份有限公司，永續報告書，2022)

水泥業為國家基礎工業，各項民生建設、公共建設及災後重建，皆需仰賴水泥之穩定供應。由於水泥旋窯製程具高溫(1,300 °C 以上)、高滯留時間、高擾流的三高特性，能夠完全分解廢棄物中的有機質，並有效地將具熱值之廢棄物轉化為能源，提供熟料燒結所需熱能，進而減少煤炭的使用，而燃燒後之剩餘物質也可作為水泥熟料之部分組成，使得水泥業成為推動循環經濟的重要角色，但另一方面，水泥業於生產原料開採及運輸、製程燃料與電力等能源耗用，以及水泥旋窯高溫鍛燒生產熟料過程分解石灰石等階段會釋放二氧化碳，使其成為高碳排產業之一。

在面臨全球淨零碳排的目標壓力下，臺灣水泥股份有限公司承諾 2050 邁向淨零排放，且為達到此目標，已擬定減少碳排之七大策略，其中替代原料及替代燃料為最有效之減碳方式。目前該公司替代煤炭所用之燃料包括：廢木材、廢油、紡織廢料、固體再生燃料等，2022 年使用替代率達 6.3%；而以廢棄物取代水泥原料部分，2022 年以氟化鈣污泥、氧化鎂脫硫無機性污泥、煤灰、還原渣、廢壓模膠、廢陶瓷、廢耐火材及焚化再生粒料等取代原料比例達 22%，不僅可達減碳目的，亦協助去化其他產業廢棄物。有關臺灣水泥股份有限公司之循環經濟模式如圖 2(臺灣水泥股份有限公司，永續報告書，2023) 所示。

此外，臺灣水泥股份有限公司生產的卜特蘭 I 型水泥已取得環境部減碳標籤，同時正在開發低碳水泥，其相較卜特蘭 I 型水泥減碳達 15~30%；另針對使用低碳水泥所配製之低碳混凝土，相較一般混凝土亦有減碳 10~15% 之效益。

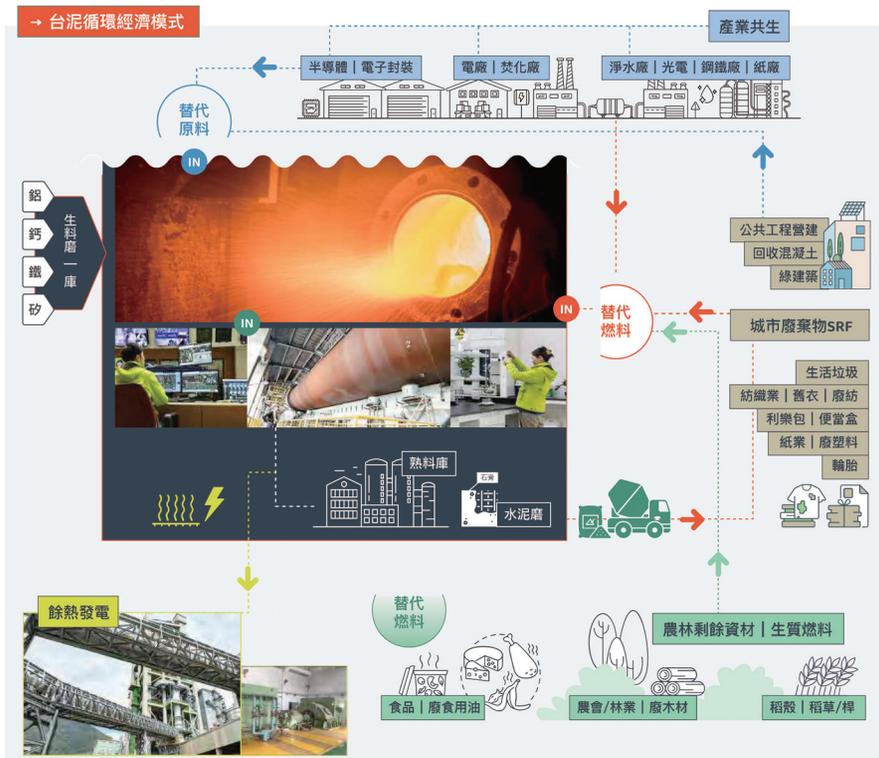


圖 2 臺灣水泥股份有限公司循環經濟模式示意

2. 案例二：永豐餘工業用紙股份有限公司

造紙業屬高耗水、高耗能產業之一，身為造紙業龍頭的永豐餘工業用紙股份有限公司一直在尋找有效的廢水處理及節能減碳措施。首先，在處理紙張回收而產生之高濃度有機質製程廢水方面，該公司於新屋廠設置國內規模最大之厭氧沼氣發電系統，透過運用不同菌種，將水體有機物分解、轉化成沼氣，再透過內燃機及發電機轉化為電能，並將餘熱回收後產生蒸汽，供給造紙製程使用。

該系統產生之甲烷純度超過 80%，總裝置容量約為 5,200KW，每年最大發電量約 4,200 萬度，相當可供應 1.2 萬戶住宅用電(天下雜誌，2023)；於此同時，永豐餘工業用紙股份有限公司藉由厭氧沼氣發電取代燃煤發電，每年可減少溫室氣體排放量約 4.1 萬公噸。(永豐餘工業用紙股份有限公司，2022)

此外，因永豐餘工業用紙股份有限公司 80% 以上碳排來源為製程或設施之直接排放，如何減少化石燃料使用即為減碳關鍵的一步。因此，該公司於新屋廠設置全台首座零燃煤汽電共生鍋爐，以固體再生燃料替代化石燃料，該鍋爐每小時能產生 70 公噸蒸汽或產生 9,500 度電力，一方面解決紙張回收製程衍生之高熱值廢棄物，同時每年可減少約 8.8 萬公噸化石燃料(燃煤)使用量。(永豐餘工業用紙股份有限公司，2022)



圖 3 永豐餘工業用紙股份有限公司新屋廠沼氣設備

3. 案例三：長春石油化學股份有限公司

電子產業中常用之特用化學品包含異丙醇、顯影劑及光阻剝離劑，經查科學園區電子零組件製造業於 2022 年之異丙醇廢液、顯影劑廢液、光阻稀釋劑廢液產生量分

別為 10.8 萬公噸、8.7 萬公噸及 0.4 萬公噸 (環境部資源循環署，2023)。近年半導體產業規模持續擴張，先進製程占比逐漸提升，特用化學品需求量必定逐年提高，同時衍生廢棄物產出量亦將同步增加。

隨著化學品純化技術發展，目前國內已有多家資源再生業者將異丙醇廢液、顯影劑廢液、光阻剝離液廢液等產製為符合工業級或電子級之再生異丙醇、顯影劑及稀釋劑，實現化學品循環利用並開拓綠色經濟，而長春集團即為積極投入業者之一。

該集團旗下之長春石油化學股份有限公司已取得經濟部核發之異丙醇廢液、四甲基氫氧化銨 (TMAH) 顯影劑廢液、光阻剝離液廢液之通案再利用許可資格，透過純化技術，將上述廢液產製為工業級產品或電子級化學品 (長春集團，2022)。此外，因應半導體領航業者對於異丙醇製程封閉循環使用之規劃，該公司已進駐中部科學園區零廢中心，未來將把半導體業者所產出之廢異丙醇純化為電子級異丙醇後，再送返半導體製程使用。

長春集團 2022 年收受約 3 萬公噸 TMAH 廢液、4 萬公噸異丙醇廢液及 2,000 公噸光阻稀釋劑廢液 (長春集團，2021；長春集團，2022)，其中再生異丙醇相較新品異丙醇可減少約 54% 碳排放量 (環境部資源循環署，2023)；若以 2022 年科學園區電子零組件業之異丙醇廢液產生量 10.8 萬公噸，以及電子級再生異丙醇回收率 15% 進行估算，減碳效益約可達 1.3 萬公噸二氧化碳當量。

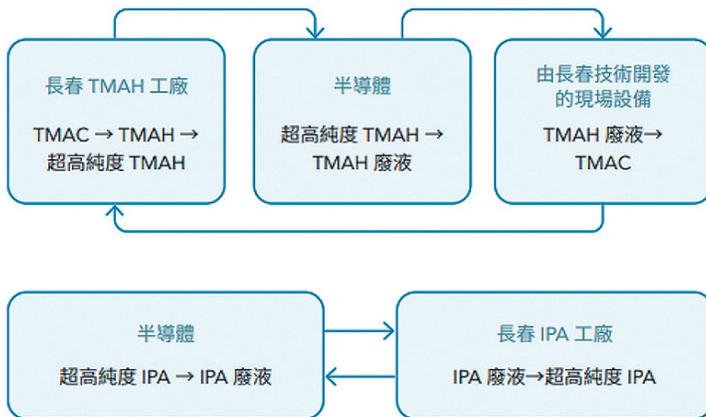


圖 4 長春集團之 TMAH 廢液及異丙醇廢液循環經濟模式示意

4. 案例四：環拓科技股份有限公司 (中小型資源再生產業推動淨零碳排輔導計畫，2022)

我國汽機車數量規模龐大，基於行車安全，輪胎成為定期需汰換之物品，進而衍生每年約產生 15 萬公噸之廢輪胎。由於廢輪胎不易清除、處理，且在自然環境下不易分解，因此，環境部已將其公告為強制應回收物品項目。

環拓科技股份有限公司具備成熟之熱裂解技術，可將廢輪胎轉化成環保碳黑及裂解油，其中環保碳黑可作為橡膠的補強劑使用，並應用於輪胎製造；另經估算，生產每公噸碳黑需使用 2 公噸原油，並產生 2.6 公噸二氧化碳當量，而生產每公噸環保碳黑僅產生 0.9 公噸二氧化碳當量，其相較傳統碳黑約可減少 65% 之碳排量。因此，在淨零碳排趨勢下，國內輪胎製造商已積極導入使用環保碳黑，其亦已成為輪胎產業構建低碳產業鏈不可或缺之重要材料。有關環拓科技股份有限公司之循環經濟模式如圖 5 所示。

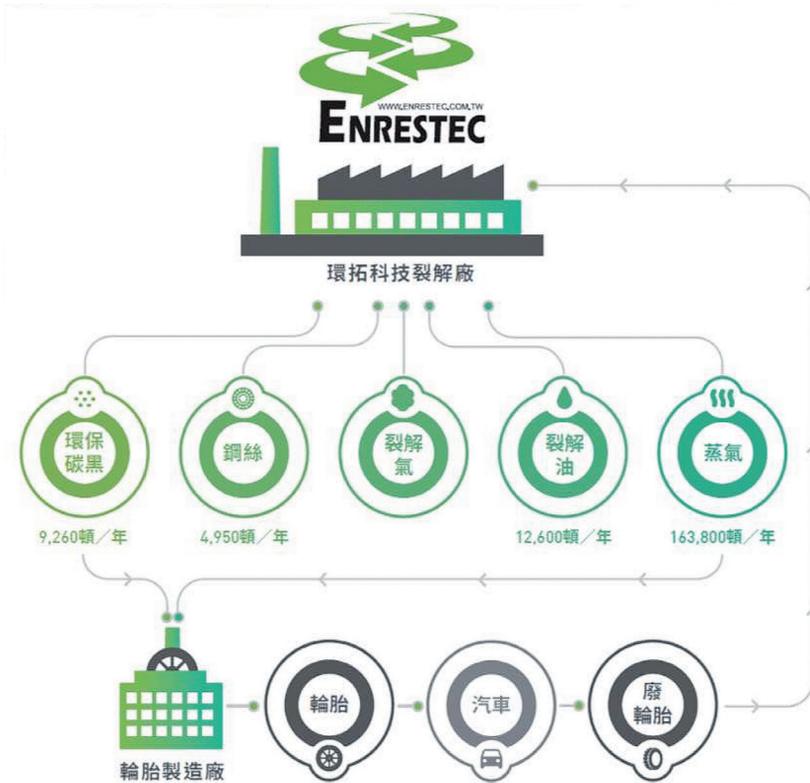


圖 5 環拓科技股份有限公司循環經濟模式示意

三、淨零碳排趨勢及國內政策發展

3.1 淨零碳排趨勢

政府間氣候變化專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, 以下簡稱 IPCC) 於 1990 年發表第一次氣候變遷評估報告, 表示確信人類活動正在大幅增加大氣溫室氣體濃度, 造成全球暖化。隨著地表氣溫上升, 將導致氣候改變、加劇極端天氣現象、海平面上升、損害生態系統等重大負面影響, 進而威脅人類生命財產及自然生態。

基於上述報告基礎, 為因應溫升導致之全球性氣候變遷危機, 聯合國於 1992 年通過「聯合國氣候變化綱要公約」(United Nations Framework Convention on Climate Change, 以下簡稱 UNFCCC), 對人為溫室氣體排放提出防制協議, 並定期召開締約方大會 (Conference of the Parties, 簡稱 COP) 協商及確立應對氣候變化的全球行動。

由於各會員國普遍未認真執行減量, 促使 1997 年 UNFCCC 第三次締約國大會通過具約束力之「京都議定書」(Kyoto Protocol, 2005 年 2 月 16 日生效), 明確規範 38 個工業國家及歐洲聯盟已開發國家的減碳責任, 目標在 2008 年至 2012 年間, 將其溫室氣體排放量降至 1990 年平均排放水準再減 5.2%。

2014 年 UNFCCC 第 20 次締約國大會通過「利馬氣候行動呼籲」(Lima Call for Climate Action), 決議各國於 2015 年第 21 次締約國大會前提交「國家自定預期貢獻」(Intended Nationally Determined Contribution, INDC), 以作為接替「京都議定書」新協議的基礎。隨後 2015 年 12 月 UNFCCC 第 21 次締約國大會通過具約束力之「巴黎協定」(Paris Agreement, 2016 年 11 月 4 日生效), 要求簽署國以每五年為一週期提交自主貢獻 (Nationally Determined Contributions, 簡稱 NDCs), 即自願性的減排承諾和行動計劃, 目標讓升溫幅度控制在與前工業時代相比最多 2°C 內; 另與京都議定書不同的是, 本協定將減排義務擴及至中國大陸與印度, 以及要求已開發國家提供氣候變遷資金, 協助開發中國家減少溫室氣體排放, 並有能力應對氣候變遷帶來的後果。批准巴黎協定之簽署國碳排總量達全球碳排量 55% 以上, 顯示各國遏阻全球暖化趨勢的決心。

儘管如此，2018 年 IPCC 報告指出，全球升溫幅度必須控制在工業化前平均水準的 1.5 °C 內，並於 2050 年達成淨零排放 (Net-zero emission)，才能避免溫室效應對全球自然環境造成不可挽回的傷害，促使 2021 年 UNFCCC 第 26 次締約國大會因應氣候緊急，通過「格拉斯哥氣候決議」(Glasgow Climate Pact)，各締約方同意加快行動，除重申巴黎協定目標外，並將致力控制升溫在 1.5 °C 內，並於 2050 年達到淨零排放，同時 2030 年二氧化碳排放量相對 2010 年應減少至少 45%，以減緩氣候變遷衝擊。2022 年 UNFCCC 第 27 次締約國大會，重申控制升溫 1.5 °C 的重要性，進一步督促落實，且締約國首次同意設立基金，賠償氣候脆弱國家因氣候變遷造成的損失及損害。

根據牛津大學開發出的淨零追蹤器網站 (Net Zero Tracker) 出具 2023 年報告書 (New Climate Institute, Oxford Net Zero, Energy & Climate Intelligence Unit and Data-Driven EnviroLab, 2023) 顯示，提出淨零排放相關承諾之國家、地區、城市及企業皆逐年增加，如圖 6；此外，截至 2023 年 4 月 2 日，全球已經有 149 個國家、159 地區、268 個城市及 1,088 家企業提出淨零排放相關承諾，涵蓋範圍達全球 88% 溫室氣體排放、92% GDP 與 89% 人口，另已將淨零目標納入法律規範者有歐盟及其他 17 個國家，淨零碳排發展趨勢可見一斑。以下針對國際大國及聯盟相關政策趨勢摘要如下，並彙整歐盟及其他國家淨零宣示及目標如表 2 所示：

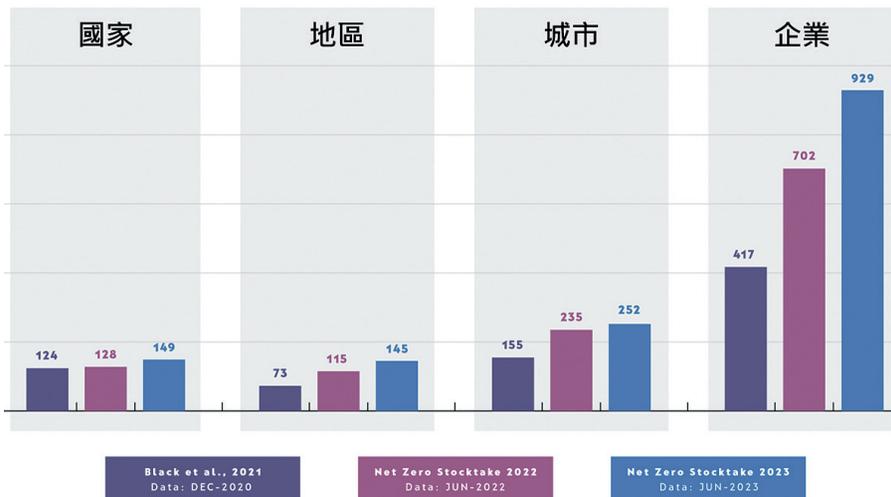


圖 6 淨零承諾目標數量變化趨勢

1. 歐盟

2019 年歐洲理事會批准 2050 年實現氣候中和目標及公布「綠色政綱」(又稱綠色新政)(European Green Deal)，其涵蓋「推動循環經濟」在內之八大構面，詳如圖 7 所示(王彬墀、周麗芳、盧芬絹，2022)，並以此作為達成 2050 年氣候中和的藍圖。另歐盟於 2021 年通過「歐盟氣候法」(Regulation (EU) 2021/1119 establishing the framework for achieving climate neutrality, European Climate Law)，明定 2030 年與 1990 年相比減少至少 55% 的溫室氣體排放，並於 2050 年實現氣候中和，歐盟續而採取多項政策工具，包含碳邊境調整機制(Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM)、能源稅指令(Energy Taxation Directive, ETD)、再生能源指令(Renewable Energy Directive, RED)、永續燃料政策等。

此外，歐盟執委會於 2023 年 2 月 1 日提出「綠色新政產業計畫」(Green Deal Industrial Plan)，加速淨零產業轉型，並積極與其他國家建立合作關係，共同開發淨零排放技術、推動供應鏈多樣化、加強供應鏈(謝汎琪、古慧雯，2023)。此外，歐盟於 2023 年 3 月 16 日公布「淨零產業法案」(Net-Zero Industry Act)，目的為加強歐洲淨零技術的製造能力，並鎖定太陽能、陸地和離岸風能、電池和儲能、碳捕捉和封存、核能..等 17 項關鍵科技進行投資，以提升歐盟淨零技術製造的韌性和競爭力，並防止對中國大陸等第三國的依賴。

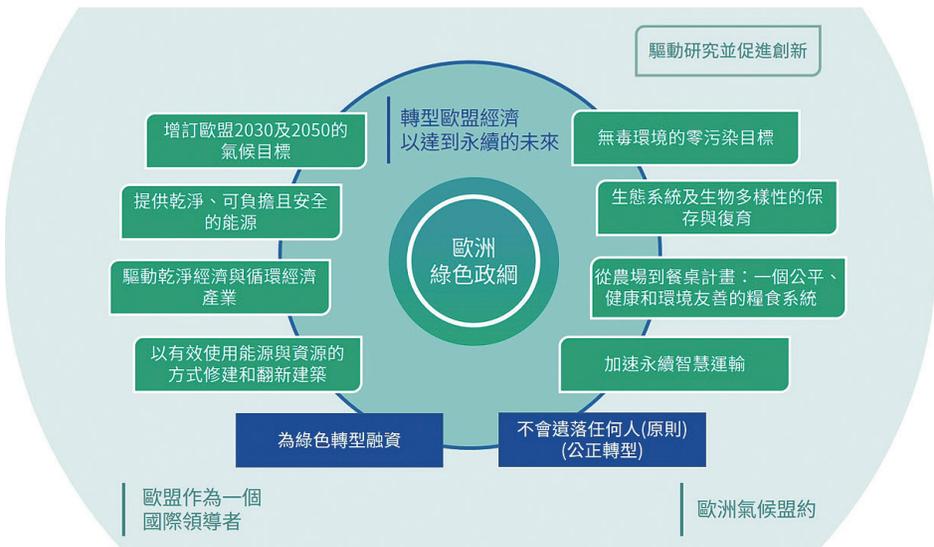


圖 7 歐洲綠色政綱架構

2. 美國

拜登總統就任首日宣布重返巴黎協議，並採取措施以應對氣候危機。2021 年 11 月公布「2050 邁向淨零排放之路：美國長期策略」(The Long-Term Strategy of the United States: Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050)，著重能源、運輸、建築及工業製程四大部門減量，承諾 2050 年達到淨零排放。目前美國由地區自行制定相關規範，主要區域性倡議有「區域溫室氣體倡議 (RGGI)」及「運輸及氣候倡議計畫 (TCIP)」，前者共計 11 個州加入，主要規範電力業之排放，目標於 2030 年排放量相較 2020 年減少 30%。

此外，美國於 2022 年 6 月提出「清潔競爭法案 (Clean Competition Act)」，用以限制石油產品、鋼鐵、水泥、化肥等高碳排初級產品的製造與進口，以美國行業平均排放強度為基礎課徵碳稅，碳含量超過基準者，將對超出部分徵收 55 美元 / 公噸的碳稅，最快將於 2024 年實施。此外，由於資訊揭露為降低碳排放的重要基礎工具，美國加州亦於 2023 年 9 月通過「氣候企業資料課責法」(the Climate Corporate Data Accountability Act, Senate Bill No. 253, SB 253)，又稱為「最強氣候揭露法案」，要求在加州開展業務且年收入超過 10 億美元之企業，必須每年公開前一財務年度的範疇 1、範疇 2 及範疇 3 之溫室氣體排放量 (康昱涵，2023)，由於揭露範圍涵蓋範疇 3 之排放量，未來業者勢必向其供應鏈廠商提出排放數據之需求甚至要求，進而施以碳管理壓力。

3. 日本

2020 年 10 月宣示 2050 淨零排放目標，2021 年 10 月 22 日修正「地球溫暖化対策推進法」，提出 2050 碳中和與 2030 路徑。日本公布的淨零排放策略包括 5 項跨部門政策工具和針對 14 個部門的行動計畫，其中 2021 年 6 月 8 日針對 14 個行業領域提出「2050 碳中和綠色成長戰略」修訂版，將減碳挑戰轉變為驅動經濟轉型的契機，相關措施包含創設綠色創新基金提供企業融資補助、提供投資抵減與優惠稅率等以鼓勵企業生產與研發綠色商品、建立標準化規範讓該國企業研發生產的技術或產品可行銷全球 (鄧凱方，2021)。另針對資源循環產業部分，其綠色成長戰略相關推動策略包含提高生物質材料功能及擴大用途、開發回收技術及高性能材料、推動垃圾發電及熱能利用技術發展等 (日本經濟產業省，2023)。

此外，由於日本約 90% 溫室氣體排放量與化石能源使用有關，故於 2012 年 10 月起實施碳稅 (Carbon Dioxide Tax of Global Warming Countermeasure)，針對汽油、天然氣及煤炭等化石能源進行課稅，以作為溫室氣體減量手段。

4. 中國

中國為全球最大溫室氣體排放國，但在京都議定書中，因非屬規範需控制人為排放溫室氣體數量之表列國家，因此在 UNFCCC 下的國際氣候談判中，無義務提供氣候資金，亦不需要根據公約進行有約束力的減排行動。2014 年中國與美國發布中美氣候變化聯合聲明，將加強雙邊合作，攜手達成 2015 年適用於所有締約方之協議，並續於 2015 年 6 月 30 日提交 INDC，承諾 2030 年達到峰值碳排量。同時，中國是最早批准巴黎協定的主要國家之一，並宣示將於 2060 年達到碳中和目標。

中國國務院 2016 年發佈「十三五節能減排綜合工作方案」及「十三五控制溫室氣體排放工作方案」，明確節能減排與溫室氣體排放控制目標、任務及各部門分工，且為加速經濟社會全面綠色轉型，續於 2021 年 12 月 28 日發佈「十四五節能減排綜合工作方案」，聚焦「重點產業(鋼鐵、有色金屬、建材、石化化工)綠色升級」、「園區節能環保提升」、「城鎮綠色節能改造」、「交通物流節能減排」、「農業農村節能減排」、「公共機構能源效率提升」、「重點區域污染物減量」、「煤炭清潔高效率利用」、「揮發性有機物綜合整治」、「環境基礎設施水準提升」等十大工作，分別明定重點任務，目標於 2025 年國內生產總值能源消耗相較 2020 年下降 13.5%，同時減少主要污染物排放總量。其中重點產業綠色升級部分，除推動產業清潔生產外，以鋼鐵業為例，亦鼓勵將一貫作業之長流程煉鋼轉型為短流程之電弧爐煉鋼(中華人民共和國國務院，2021)。

表 2 歐盟及其他國家淨零宣示及目標

國別	歐盟	美國	日本	中國
法案	2021 年通過氣候法	—	2021 年 10 月修正地球溫暖化對策推進法	—
宣示淨零時間	2019 年 (歐洲理事會批准)	2021 年 4 月 (拜登總統於第 26 屆世界領導人氣候峰會宣示)	2020 年 10 月	2020 年 9 月
NDC 目標 (2030 年)	較 1990 年減量 55%	較 2005 年減少 50-52%	較 2013 年減量 46%，並以 50% 為目標	較 2005 年降低 65% 以上
淨零目標	2050 年實現氣候中和	2050 年達成淨零排放	2050 年達成碳中和	2060 年達到碳中和

3.2 國內淨零碳排政策發展

氣候變遷的影響是全球性的，台灣雖非聯合國會員及 UNFCCC 締約國，但根據國際能源總署 2021 年數據，台灣人均年排碳 10.77 公噸，排名世界第 19 名，具有相當減碳責任，且因屬海島型國家及外貿國家，容易受到氣候變遷影響，且在氣候外交、供應鏈要求下，勢必要積極面對減碳議題，加入國際淨零排放行列。

基於此，我國依據公約精神，呼應氣候變遷全球行動，於 2015 年訂定公布「溫室氣體減量及管理法」，並納入國家溫室氣體長期減量目標及檢討調整機制，明定 2050 年溫室氣體排放量降為 2005 年溫室氣體排放量 50% 以下，且中央主管機關應擬訂國家因應氣候變遷行動綱領及溫室氣體減量推動方案，報請行政院核定後實施，中央目的事業主管機關則應訂定所屬部門溫室氣體排放管制行動方案，合力推動減碳行動。

此外，呼應巴黎協定，國家發展委員會於 2022 年 3 月 30 日公布「2050 淨零排放路徑及策略」，在「能源、產業、生活、社會」等四大轉型及「科技研發」、「氣候法制」兩大治理基礎上，輔以「十二項關鍵戰略」來整合跨部會資源，並於 2022 年 12 月 28 日制定發布「淨零轉型十二項關鍵戰略行動計畫」，如圖 8 所示 (國發會，2022)。其

中，關鍵戰略之一的「資源循環零廢棄」，由環境部資源循環署訂立永續生產與消費、提升資源使用效率、加值化處理廢棄物等 3 大主要目標，提出綠色設計源頭管理、能資源循環利用、廢棄物量能平衡與管理等 3 大循環策略，以及暢通循環網絡、創新技術與制度等 2 大驅動支柱，藉以落實淨零轉型之目標，前述資源循環零廢棄施政主軸如圖 9 所示 (環境部，2023)。

同時，我國於 2015 年提出 INDC，設定 2030 年溫室氣體淨排放量為依現況發展趨勢推估情境減量 50%，相當於以 2005 年作為基準年排放量再減 20%，2022 年更新後的國家自定貢獻承諾，強化減量目標，到 2030 年與參考年相比，排放量減少 23% 至 25%，加強減量企圖心並努力實現 2050 年淨零排放目標 (環境部氣候變遷署)。

另在「氣候法制」治理基礎上，為提升因應國際減碳作為及建構氣候變遷調適之能力，於 2023 年 2 月 15 日將原「溫室氣體減量及管理法」修正為「氣候變遷因應法」，明定 2050 年淨零碳排目標，使我國成為全球第 18 個將淨零排放目標入法的國家。環境部於氣候變遷因應法發布後，便參酌國際公約決議事項及國情變化，檢討擬定第二版國家因應氣候變遷行動綱領，並於 2023 年 11 月 3 日經行政院核定，其基本原則遵循巴黎協定促進減緩溫室氣體排放，推動綠色金融及碳定價機制，優先實施碳費徵收，逐步降低化石燃料及訂定再生能源發展目標外，且將致力提高資源與能源使用效率，促進資源循環使用，確保國家能源安全及資源永續利用。



圖 8 臺灣淨零轉型十二項關鍵戰略

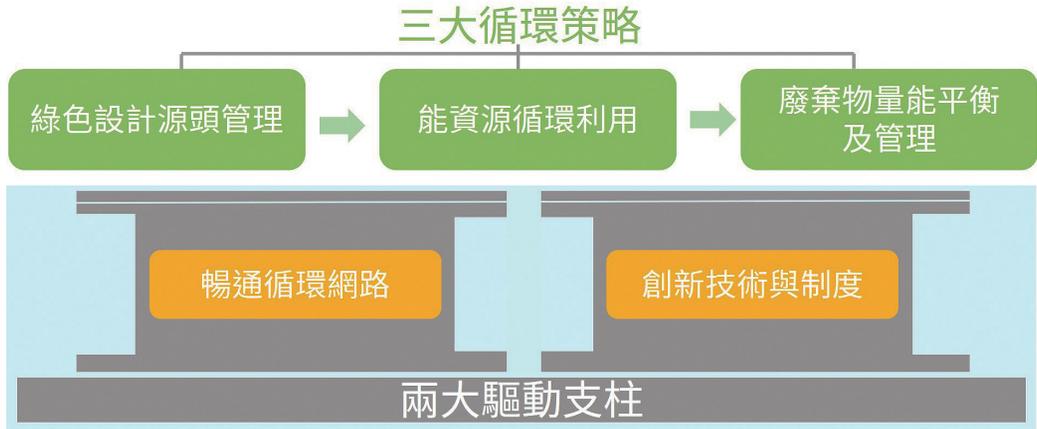


圖 9 資源循環零廢棄施政主軸

四、資源再生產業的機會與挑戰

全球產業在面臨氣候變遷的挑戰下，開始以循環經濟作為產業永續發展之重要路徑。在此趨勢下，資源再生產業可透過由廢棄資源轉化為二次物料，供應其他產業邁向低碳轉型或循環經濟所需要的資源，協助產業加速因應法規、採購準則、供應鏈要求或是自願性協議等。資源再生產業已是發展低碳路徑及循環經濟不可或缺的一環，評估其具備之潛在機會與面臨挑戰如下：

4.1 資源再生產業的機會

資源再生產業在淨零碳排趨勢下的機會，主要可從 3 個觀點說明：

1. 二次物料需求及使用量增加

循環經濟概念提出後，歐盟執行委員會於 2015 年「歐盟循環經濟行動計畫」、2019 年「綠色新政」、2020 年「新循環經濟行動計畫」等，皆將使用二次料作為重要的推動策略；爾後，又進一步於 2018 年之「循環經濟塑膠策略」或是 2023 年通過「新電池法」等，更積極、明確訂定使用回收料目標或禁用不可回收材料目標等，加速廢棄塑膠或電池材料之循環利用。除歐盟外，包括我國、美國等皆訂有使用再生料目標。以塑膠再生料為例，到 2030 年，全新塑膠製品中消費後回收塑膠 (Post-Consumer

Recycled material, PCR) 比例，在歐盟是 30%，美國加州規定寶特瓶須達 50%，我國非填充食品之塑膠再生商品之自願性使用塑膠再生料則是 30%；至於電池部分，歐盟新電池法規明定新電池使用再生材料的最低比例，至 2031 年至少應為鈷 16%、鉛 85%、鋰 6%、鎳 6%，且逐步提高。前述措施大幅提升二次料使用需求，帶動二次料市場商機。

除政府措施外，許多國際品牌大廠，如 Apple 為呼應永續發展，推動零碳、零廢棄物及零掩埋目標，自願性逐年擴大使用再生材料或再生能源，其中所使用再生材料包括我國業者所生產之金、錫、鎢等材料；另外像是紡織供應鏈，也受到品牌商 Nike、Addias、The North Face 等要求，使用再生纖維、再生皮革等製成運動衣、機能服、球鞋等戶外用品，顯示使用再生材料、再生產品不再是特殊案例，產業已將再生材料納為優先且必要採購及使用之材料，且比重持續攀升。

2. 再生產品有利減少供應鏈產品碳足跡

一般而言，產業於生產、製造、營建等過程皆會產生下腳料或廢棄物，此類下腳料或廢棄物因其仍具材料特性，可進一步被資源再生產業加工、再製為產業可使用之二次物料，且品質亦符合應達之標準。在此過程中，資源再生產業所產製之二次物料，相較原材料於原料取得階段減少開採、提煉過程之溫室氣體排放量，部份亦減少國外至國內長途運輸之溫室氣體排放量，使得產品碳足跡可大幅下降，而被視為低碳產品。

一般而言，在計算產品碳足跡時，需考量「原物料取得」、「製造」、「配送銷售」、「使用」及「廢棄」等五大產品全生命週期階段之溫室氣體排放。以金錠產品為例，一般需由國外礦場開採金礦及冶煉後，再運至我國用於印刷電路板或電子產品製造，而資源再生業者只需自國內含金廢料中回收金屬，故計算「再生金錠」的碳足跡時，原物料取得及其運輸之溫室氣體排量較低，使得再生金錠碳足跡低於原生金錠。

企業面臨低碳轉型時，勢必優先自製程之耗能設備、效率提升等進行改善，但隨著減碳目標日趨嚴峻，當重大的改善措施完成後，下一步減碳空間在哪？這時，便需綜合考量企業生產之各環節，而資源再生產業可供應低碳產品，減少供應鏈廠商於原物料取得階段之碳排放量，協助產業達成減碳。

3. 法規或供應鏈要求納入範疇三間接溫室氣體排放計算

企業在計算溫室氣體排放時，主要依循「ISO 14064-1 溫室氣體盤查標準」，其中一項較令產業頭痛的部分為範疇三間接溫室氣體排放量的量化，但其將是未來趨勢。範疇三間接溫室氣體排放量係指非企業內部產生，而是來自上、下游排放，如供應鏈原料、原料運輸、員工通勤、設備租賃、廢棄物處理，以及產品銷售使用、產品運輸、投資等，大多非企業直接控制的項目，如原料部分需取得上游供應鏈產品碳足跡，再與實際採購量計算範疇三之原料溫室氣體排放量。隨著越來越多資料顯示，範疇三的溫室氣體排放量佔企業整體排放量之大宗，顯示具減量重要性，並進一步影響供應鏈減碳行動。

目前法規尚未強制要求量化範疇三排放量，但全球領先企業如 Apple、台積電、華碩等，早已關注供應鏈減碳議題，積極佈局供應鏈碳管理措施，例如要求供應鏈廠商提出溫室氣體排放數據，建立材料碳排放資料庫，進一步訂定減碳目標及納入採購指標，建立低碳供應鏈。在法規面，2023 年美國加州提出 SB 253 法案，要求 2026 年企業須揭露範疇一、範疇二溫室氣體排放量，至 2027 年則須進一步揭露範疇三間接溫室氣體排放量，且範疇三至 2030 年須達有限保證等級；此法案對於未揭露溫室氣體排放量之企業訂有行政處分 (50 萬美元)，且受管制的企業包括 Google、Apple、Walmart 等跨國品牌，表示全球供應鏈業者皆將受到直接衝擊，範疇三間接溫室氣體揭露已是未來趨勢。

當企業將碳排納為採購評估指標時，表示低碳產品具有較大的利基，而前面所提到二次物料具備低碳特性，則是資源再生產業之機會。資源再生產業除專注於本業外，應配合供應鏈範疇三間接溫室氣體排放量揭露之需求，建立溫室氣體排放量數據，並運用政府提供之低碳診斷輔導，進行企業體質調整及加強碳管理能力。雖然資源再生產業非我國法規要求應申報碳盤查資料之業者，但應敞開心胸，即早建立碳排放基線資料及針對排放熱點減碳，才可乘著低碳浪潮轉型及打入關鍵供應鏈，將壓力化為企業永續發展之助力。

4.2 資源再生產業挑戰

艾倫·麥克亞瑟基金會 (Ellen MacArthur Foundation) 研究報告 (EMF, 2019) 指出，全球碳排總量 55% 來自能源，可透過再生能源及能效提升減低碳排；其餘 45% 排放來自產品製造有關；此外，來自產品製造有關之碳排，以食物、鋼鐵、水泥、塑膠、鋁等 5 大關鍵領域產品占大宗，其約 45% 減碳量必須仰賴循環經濟達成淨零排放最後一哩路，顯示資源再生產業對於淨零碳排具相當重要性。但我國在推動資源再生碳排減量及推廣低碳資源再生二次物料過程中，仍有面臨下列挑戰，必須予以重視及協助產業克服，俾利實踐國家淨零目標。

1. 再生技術有待升級

國內資源再生產業所採用之資源化技術，仍多為低階物理處理程序，產品價值多不高，且除控制性低強度回填材料 (CLSM) 等工程材料外，部分具潛在高價值之化學品再生二次料僅屬中間原料，尚需輸出精煉再製，始可供製造業作為原料使用，例如：廢鋰電池現採簡易拆解、破碎、篩分處理，其中有價黑粉 (正負極混合粉體) 仍輸出國外，尚無法於國內再生為碳酸鋰供電芯製造，故有必要扶持國內業者提升加工技術及深度。因此，針對重點發展產業之關鍵物料，建議加強建構技術研發中心，建立核心資源再生技術及推動產業研發聯盟，並由政府提供資源再生研究、設備相關投資抵減之獎勵措施，營造有利技術研發創新之環境，俾利關鍵資源留存國內運用，同時提高資源再生產業競爭力。

2. 基礎碳管理能力欠缺

我國資源再生產業高達 98.2% 為中小企業，人力及資源相較缺乏，難以掌握目前國家淨零政策及減碳趨勢，即便遭受供應鏈客戶要求，亦不易推動自主碳管理與進一步減碳措施；另一方面，屬中小型資源再生產業之溫室氣體排放量相較動脈產業低，且多非屬「氣候變遷因應法」列管對象，廠商對於碳管理及低碳轉型意識低、意願也不高，即便政府投入輔導資源，仍不易推動，造成資源再生產業普遍缺乏碳管理能力，且難以進一步投資導入減碳措施。有鑑於資源再生產業行業特性，廠商多僅關注資源再生相關法規動態及參與相關活動，故可將碳管理輔導資源結合資源再生法令宣導說明會進行推廣，以提升業者參與意願，進而接受輔導及建構基礎碳管理能力。

3. 減碳效益未被看見

艾倫·麥克亞瑟基金會 2022 年發表的專題文章提到，全球輪胎生產使用的碳黑，只有不到 1% 來自回收的報廢輪胎，然而與原生材料相比，在新輪胎生產中使用再生碳黑最多可減少 85% 的二氧化碳排放量，由此可知，使用資源再生產業生產之二次物料，可減少原生物料使用及其於製造過程或交通運輸之能耗，對於減碳具有貢獻。由我國推動資源再生產品應用實務上，可發現資源再生產業因欠缺碳管理能力，以至於鮮少量化產品碳足跡，從而缺乏資源再生產品減碳效益資訊。因此，推動資源再生二次物料減碳效益可視化，可為未來政府推動之重點，以利動脈產業於擇定原物料時可優先採購具減碳效益之資源再生二次物料。

4. 循環加工碳排需減量

丹麥玩具大廠樂高 (LEGO) 生產的積木，主要由丙烯腈丁二烯苯乙烯 (ABS) 塑膠製作，該公司曾承諾，2030 年將採用可持續性材料取代石油基塑膠材料，並於 2021 年啟動回收寶特瓶製造積木計畫，卻因製程能耗及碳足跡太高，不符其減碳目標，故而宣告失敗 (Jem Bartholomew, 2023)。由前述案例可知，資源再生產業以廢棄物為原料之製造加工程序未必減碳，故尋求低碳製程及導入製程減碳相當重要，必要時必須對基礎設施、技術或製程改善等研究及導入投入大量資金，此對於資本額較低的中小型資源再生產業而言，也將是一個障礙，必須由政府提供相關補助或綠色融資等經濟面誘因，協助企業推動及落實低碳轉型，甚至導入數位化或自動化，進而提供低碳資源再生二次物料，俾利後端供應鏈製造業降低生產產品碳足跡。

5. 法規阻礙製程升級

現行廢棄物清理法中，涉及事業廢棄物再利用運作，依各部會再利用管理辦法規定，非屬公告再利用種類及管理方式者，則需申請再利用許可。由於事業研發優化資源再生技術、製程時，於落地前必須經過模組試驗，惟受限既有法規，必須為已設置完成之製程設備始能提出相關再利用資格申請，並於申請核准後始能取得廢棄資源源進行測試，不利產業升級轉型及開發低碳製程。當前環境部刻正研議訂定「資源循環促進法」(草案)，支持基於研究、技術發展、設備測試等目的，提供廢棄資源源取得之簡化程序，俾利促進資源再生產業升級及轉型。

五、結語

全球產業在面臨氣候變遷的挑戰下，已開始由低碳技術發展及轉化為循環經濟型態，以邁向淨零碳排及永續發展目標。同時，資源再生產業也面臨前所未有蓬勃發展，產業對於二次物料需求與日俱增，各種循環經濟標準也讓資源再生產業有了明確的角色及定位。

因此，我國的資源再生產業，除奠基於過去推動廢棄物再利用的基礎上，更應利用資源再生產業所生產二次物料於原物料取得具有較低碳排之特性，及整體環境對揭露供應鏈範疇三碳排資訊之需求，搶先建立碳管理能力及推動低碳轉型，提供產業需求之低碳二次物料，共同促成供應鏈減碳目標。透過掌握低碳商機，導入智慧、高效及創新之技術及應用，帶動資源再生產業發展，並運用長期於廢棄物循環利用之經驗，整合動脈產業，塑造更為健全及創新之循環經濟系統，使企業、供應鏈、整體社會、環境得以永續發展。

參考文獻

天下雜誌 (2023)，「沼」到新出路，永豐餘轉廢為能打造低碳產業鏈。

中華人民共和國國務院 (2021)，國務院關於印發“十四五”節能減排綜合工作方案的
通知，https://www.gov.cn/zhengce/content/2022-01/24/content_5670202.htm。

王彬墀、周麗芳、盧芬絹 (2022)，2050 淨零排放新思維解析《歐洲綠色新政》，科學
月刊，487 期，<https://www.scimonth.com.tw/archives/5801>。

日本經濟產業省 (2023)，全球暖化對策 / 綠色成長策略 / 資源流通相關產業，https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/13_shigenjunkan.html。

永豐餘投資控股股份有限公司 (2022)，永豐餘永續報告書。

環境部 (2023)，111 年事業廢棄物申報量統計報告。

長春集團 (2021)，長春集團永續報告書。

長春集團 (2022)，長春集團永續報告書。

長春集團 (2023)，長春集團永續報告書。

康昱涵 (2023)，美國加州最強氣候揭露法案 SB-253 如何要求企業揭露碳資訊？，
<https://rsprc.ntu.edu.tw/zh-tw/m01-3/en-news/1825-sb-253.html>。

國立臺灣大學風險社會與政策研究中心 (2023)，美國加州最強氣候揭露法案 SB-253 如何要求企業揭露碳資訊？。

國發會 (2022)，淨零轉型之階段目標及行動簡報。

經濟部產業發展署 (2023)，資源再生產業推動及審查管理計畫，112 年度期末報告。

經濟部產業發展署 (2023)，中小型資源再生產業推動淨零碳排輔導計畫，112 年度期末報告。

資誠企業永續發展新訊 (2023)，淨零趨勢下 供應鏈溫室氣體範疇三的挑戰！

臺灣水泥股份有限公司 (2022)，台灣水泥永續報告書。

臺灣水泥股份有限公司 (2023)，台灣水泥永續報告書。

鄧凱方 (2021)，日本 2050 年實現碳中和的綠色成長策略，科技發展關鍵平台 / 科技議題，<https://outlook.stpi.narl.org.tw/index/topic?type=E>。

謝汎琪、古慧雯 (2023)，歐盟綠色新政產業計畫及相關法案，科技發展關鍵平台 / 焦點報導，<https://outlook.stpi.narl.org.tw/index/focus-news>。

環境部資源循環署 (2023)，金屬化學品循環資訊平台及減碳效益評估計畫成果報告。

環境部資源循環署 (2023)，推動塑膠再生商品，攜手共創綠色循環。

環境部氣候變遷署，中華民國 (臺灣) 更新版國家自定貢獻，<https://www.moenv.gov.tw/cca/D2B61B18C99F9C47>。

環境部 (2023)，立法院第十屆第八會期社會福利及衛生環境委員會環境部業務報告簡報。

環拓科技股份有限公司網站，<https://www.enrestec.com.tw/>。

聯合國氣候綱要公約 (UNFCCC)，中華民國外交部參與國際組織網站，<https://subsite.mofa.gov.tw/igo/Default.aspx>。

Apple (2023), Environmental Progress Report Covering.

EMF (2019), Completing the Picture : How the Circular Economy Tackles Climate Change.

European Commission (2023), EU Batteries Regulation.

Jem Bartholomew (2023), Lego abandons effort to make bricks from recycled plastic bottles.

Net Zero Tracker (2023), <https://zerotracker.net/>.

The EU Green Deal – a roadmap to sustainable economies, <https://www.switchtogreen.eu/home/>.

New Climate Institute, Oxford Net Zero, Energy & Climate Intelligence Unit and Data-Driven EnviroLab (2023), NET ZERO STOCKTAKE 2023: Assessing the status and trends of net zero target setting.