

# 循環經濟對經濟及環境永續之影響—— 以歐盟國家為例

陳俊智、包曉天\*

## 一、緒論

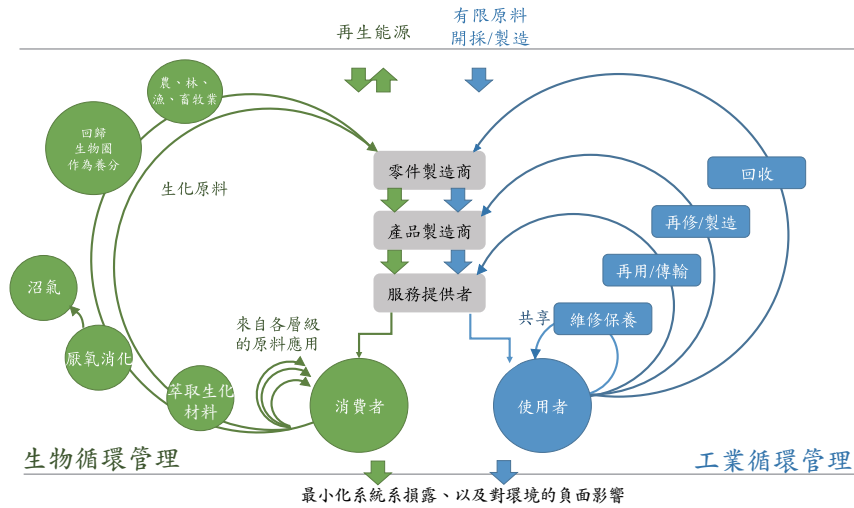
工業革命以來，線性經濟（Linear Economy）模式：原料開採→產品製造→使用後丟棄，成為全球主要的發展模式（Merli et al., 2018）。隨著人口、經濟的成長、供應鏈全球化及科技進步，線性經濟模式導致地球資源過度開發，至 2020 年止，人類在經濟活動中對於原物料的需求達到 1970 年的四倍之多（Energy in Demand, 2020）。過度開發地球也嚴重衝擊了自然環境，導致全球暖化，極端氣候造成森林大火、洪水與海平面上升，影響生物多樣性及生態平衡。整體的地球環境逐漸惡化的事實，顯示目前線性經濟模式需要被改變與轉型（循環台灣基金會，2021）。

為改變現有的線性經濟模式，循環經濟之概念油然而生。在地球資源有限的情況下，傳統的「廢棄物減量」概念已不適用，現今的循環經濟著重於「資源可回收、再利用、資源效率及生產效率」的經濟和產業變革系統，包含層面甚廣，如產品材料、製程技術、研發創新及商業模式修正等，如此才能達到循環經濟所倡議的經濟、環境、資源三面向的永續。經濟面向包含提升就業機會及經濟適應能力、減少過度消費及需求超載，以及綠色製造；環境和資源面包含減少耗能及溫室氣體排放、資源的循環使用等，降低對地球的衝擊。

循環經濟系統可分為「生物」與「工業」兩種循環。Ellen MacArthur Foundation（2019）提出循環經濟系統蝴蝶圖（Butterfly Diagram），從原有的材料開採—製造—銷售—使用的線性步驟中，將每個步驟加上循環的概念，減輕發展帶來的過度消耗。兩個系統分別介紹如下：

工業循環主要針對製造、消費端，將有限資源做最有效率的運用，以零碳排、零廢棄為目標，打造工業循環管理系統。

\* 陳俊智，東海大學工業工程與經營資訊學系助理研究員；包曉天，國立陽明交通大學管理科學系教授。



圖一：循環經濟系統蝴蝶圖 (Ellen MacArthur Foundation, 2019；  
中小企業綠色環保資訊網，2020)

生物循環如利用厭氧消化處理工業或生活廢棄物以產生燃料，如沼氣，目前已發展出多種物料混合處理 (co-digestion) 的方式，可以將不同比例、不同固體或異體廢棄同時處理，最後可作為沼氣能源，供給發電 (周楚洋、劉安琪、張寧，2020)。

當今世界各國為因應溫室氣體導致的極端氣候災害，紛紛針對永續進行各項行動，循環經濟正是其中一環，包括：中國、歐盟、荷蘭、英國、日本、臺灣等主要經濟體，且政策制定者針對產業、民間投入許多創新的投資動力，臺灣目前也參考歐盟、荷蘭等相關政策，從「生產」、「消費」、「廢棄物管理」、「二次原料市場」四個方面著手，提高資源循環效率、減少不必要的資源浪費 (中小企業綠色環保資訊網，2020)。蔡英文總統更宣示「要讓臺灣走向循環經濟的時代，把廢棄物轉換為再生資源」，政府將循環經濟列為「五加二產業創新」政策之一。在法令、技術、管理機制逐漸完備下，更擬定「資源回收再利用推動計畫」(2018-2020)，妥善廢棄物處理，替代自然資源的採用、達成物質全循環、零廢棄的願景 (行政院，2018)。

本研究以循環經濟的標竿經濟體——歐盟國家作為研究樣本，從數據分析角度切入循環經濟議題，探討實施循環經濟對於經濟、環境的影響。

## 二、研究標的簡介——歐盟

歐盟循環經濟計畫行之有年 (2015-2020)，更被臺灣作為政策參考之圭臬，所以此研究以歐盟為例，依據循環經濟的量化指標，分析歐盟循環經濟現況；

此部分將介紹歐盟循環經濟簡史、目標及其四大量化指標，讓讀者可了解歐盟循環經濟概況。

### (一) 歐盟循環經濟

2015 年歐盟開啟了第一個循環經濟啟動計畫 (Circular Economy Action Plan, 2015; European Commission, 2021)，其中包含了 54 個子計畫，涵蓋範圍從產品生命週期改善，製造、消費到廢棄物管理，以及活絡再生原材料的立法等。

2016 年更進一步提出循環經濟套案 (The Circular Economy Package)，並結合聯合國 2030 年的永續發展目標，將循環經濟納入永續發展策略中。2017 針對廢棄物管理訂定明確目標 (李盈嬌，2017)：

1. 2030 年前，城市廢棄物回收率達到 65%；
2. 2030 年前，包材回收率達到 75%；
3. 2025 年前，塑膠包裝廢棄物回收再生率達到 55%；
4. 2030 年前，都市廢棄物掩埋率低於 10%；
5. 2020 年前，營建相關非有害廢棄物回收、再生、再回填比率不可少於 70%；
6. 無法回收或用於燃料的材料／物質不可高於 10%。

2019 年歐盟利用 2015-2019 執行計畫的成果刻劃了未來循環經濟發展與氣候、自然資源脫鉤的新計畫，並於 2020 年 3 月實施。綜觀整體歐盟的循環經濟計畫，概略可分為以下四大方面 (SDG KNOWLEDGE HUB, 2020)：

1. **永續製造**：限制一次性的產品，確保產品的再用、耐用、可維修性及提升回收／可回收原材料的比例。
2. **產品資訊透明度**：讓消費者可清楚了解產品製造過程，如標示產品生命週期、碳足跡等。
3. **提升循環性**：針對需高度消耗資源的部分提升其可循環性，如電池、車輛、塑膠、紡織、建築、食物等。
4. **減少廢棄物轉移**：降低歐盟廢棄物出口及打擊非法廢棄物運輸。

除上述廢棄物管理外，循環經濟創新帶動其他外部效益，如回收產業的就業機會，於 2018 年歐盟投入循環經濟勞動力就達到了 390 萬人 (溫麗琪，薛翔之，李盈嬌，2020)，預計在 2030 年更可以達到增加歐盟國內生產毛額 0.5%、創造 70 萬個就業機會的目標。正因為循環經濟有其清楚架構、策略和可量化評估指標，兼顧經濟發展與環境永續，近年來，歐盟各國積極的致力於推動循環經濟，藉以達到永續發展目標。下一個部分，將介紹歐盟訂定的四大循環經濟指標，亦為歐盟政策量化評估依據。

## (二) 歐盟循環經濟量化指標

歐盟為了解其循環經濟計畫的執行成果，建立了四大構面的可量化衡量指標 (Eurostat, 2021)：

1. **生產與消費**：監測生產和消費。由於廢棄物減量為家庭或經濟活動參與循環經濟之要務，如提升綠色採購、食物浪費等，因此，監測生產和消費有助提高歐盟在原材料的自主性。
2. **廢棄物管理**：廢棄物管理著重於回收後返回經濟活動循環中持續創造價值的廢棄物比例，包含：資源回收率、特殊廢棄物回收率 (包材、生物廢棄、電子廢棄等)。
3. **可再生原材料**：利用回收原材料代替新擷取資源，歐盟利用可再生原材料使用率監測是否減少自然資源開採、消費和環境足跡、確保原材料供給安全性。
4. **競爭力與創新**：技術創新可以提升資源效率、生產效率、產業創新與競爭力；歐盟透過私人投資、工作機會數量與總增加值 (衡量工業或各部門對國內生產總值貢獻程度)、再生原材料相關專利數，作為衡量循環經濟下的競爭力與創新程度指標。

本研究採用人均城市廢棄物產生量 (生產與消費構面)、城市廢棄物回收率 (廢棄物管理構面)、循環材料使用率及再生原材料貿易量 (可再生原材料構面) 作為量化變數，分析循環經濟對經濟 (國內生產毛額) 與環境 (碳排放總量) 之影響，並將結果呈現於第三章節。

## 三、研究結果

### (一) 資料分析及視覺化

本研究蒐集歐盟 25 個國家 (歐盟 27 國中扣除有缺失資料的愛爾蘭、馬爾他共和國) 六個變數 2010-2018 年的資料進行分析，包含國內生產毛額 (GDP) 和碳排放總量 (CO<sub>2</sub>)，以及循環經濟指標變數：人均城市廢棄物產生量、城市廢棄物回收率、再生原材料貿易量和循環材料使用率，各變數定義整理如表一。

表二顯示歐盟 25 國各變數 2010-2018 之平均值及平均值之年複合成長率 (2010-2018, 8-year 成長率)，圖二顯示各變數平均值的趨勢。研究發現：歐盟存在經濟持續成長 (國內生產毛額 8-year 成長率為 1.37%) 而環境汙染改善的現象 (碳排放總量 8-year 成長率為 -1.26%)，意味著歐盟已朝向「經濟發展不會犧牲環境」的脫鉤路徑發展。即便人均城市廢棄物產生量逐年增加 (8-year 成長率為 0.69%)，但城市廢棄物回收率 (8-year 成長率為 4.81%) 及循環材料使用率

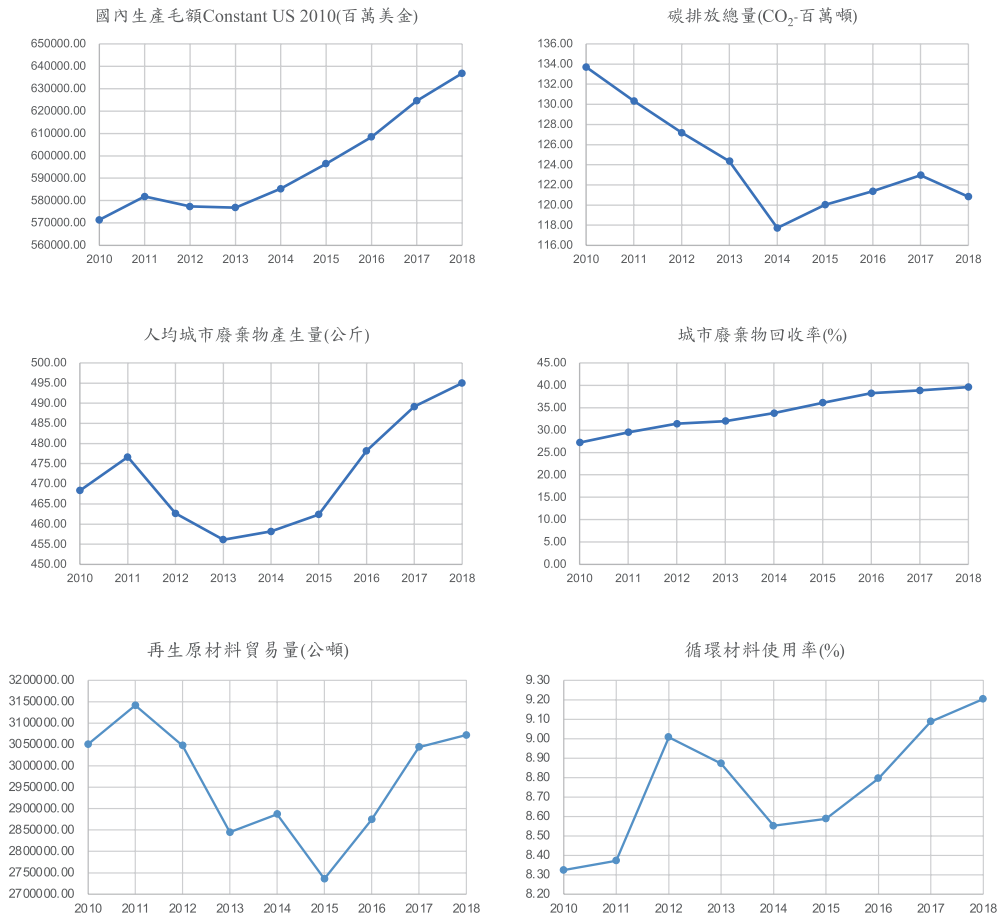
(8-year 成長率為 1.26%) 也隨之逐年提升，其資源的回收及循環利用之平均 8-year 成長率為 3.04% ( $= (4.81\%+1.26\%) / 2$ )，大約是城市廢棄物產生量成長率的 4.4 倍，這意味著歐盟在資源利用的效率方面已有所突破，並積極朝向資源、經濟和環境脫鉤的永續發展目標邁進。

表一：變數定義

變數	定義	單位	資料來源
國內生產毛額	代表一國國內人民在某一單位時間中，生產的所有最終商品和勞務的市場價值。	Constant us 2010 百萬美金	World Bank
碳排放總量	各類能源產品燃燒消耗的排放(煤炭、天然氣、各類石油產品)。	百萬噸	BP
循環經濟指標 (資料來源：Eurostat)			
變數	定義	單位	
人均城市廢棄物產生量	家庭、商業、辦公室和公共機構所產生的廢棄物。	公斤	
再生原材料貿易量	歐盟成員國間(歐盟內部)和歐盟邊界(歐盟以外)之間運輸的廢棄物類別和副產品的數量。包含：塑料、紙和紙板、貴金屬、鐵和鋼、銅、鋁和鎳。	公噸	
城市廢棄物回收率	回收的城市廢棄物在城市廢棄物總產生量中的份額。	%	
循環材料使用率	回收與反饋到經濟活動中的材料比例，可節省環境資源(原材料)的提取。	%	

表二：各變數歐盟25國2010-2018平均值資料、8-year年複合成長率

年	國內生產毛額 (百萬美金)	碳排放總量 (百萬噸)	人均城市廢棄物 產生量(公斤)	再生原材料 貿易量(公噸)	城市廢棄物 回收率(%)	循環材料 使用率(%)
2010	571422.09	133.71	468.33	3050682.72	27.20	8.32
2011	581850.89	130.34	476.64	3141460.40	29.50	8.37
2012	577349.05	127.18	462.64	3047524.20	31.40	9.01
2013	576895.75	124.36	456.12	2844633.64	32.01	8.87
2014	585272.34	117.73	458.16	2887189.88	33.78	8.55
2015	596476.72	120.03	462.40	2735831.92	36.12	8.59
2016	608422.45	121.37	478.20	2874454.56	38.23	8.80
2017	624613.85	122.97	489.16	3044054.40	38.84	9.09
2018	636889.03	120.83	495.00	3072113.48	39.61	9.20
8-year 成長率	1.37%	-1.26%	0.69%	0.09%	4.81%	1.26%

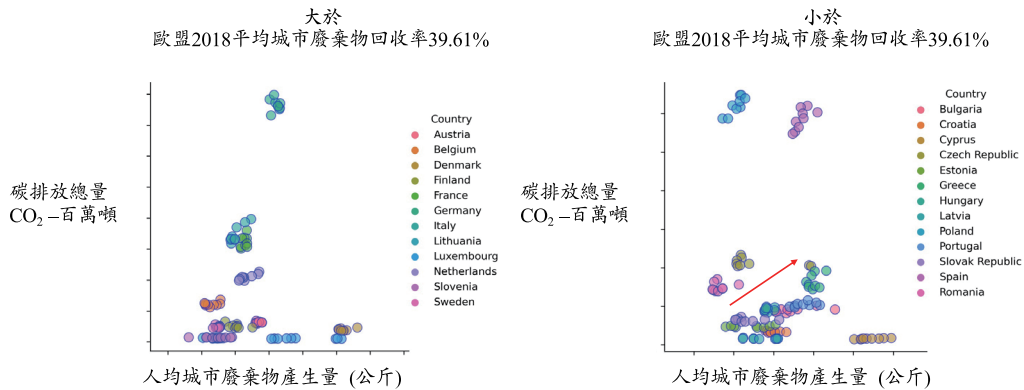


圖二：歐盟25國2010-2018各變數年度平均值趨勢圖

表二顯示城市廢棄物回收率的「8-year 成長率為 4.81%」最高，故另繪製圖三，以 2018 年歐盟 25 國平均城市廢棄物回收率（39.61%）作為分界，將 25 個國家分為兩區：城市廢棄物回收率  $\geq 39.61\%$  的國家及其他國家，進一步觀察：是否在城市廢棄物回收率高的國家，人均廢棄物產生量對碳排放總量的影響較小。如是，意味著積極推動廢棄物循環利用有益於環境。

圖三左方為：大於、等於 2018 年平均城市廢棄物回收率 39.61% 的歐盟國家（奧地利、比利時、丹麥、芬蘭、法國、德國、義大利、立陶宛、盧森堡、荷蘭、斯洛維尼亞、瑞典），可發現其人均城市廢棄物產生量（橫軸）雖呈現增加趨勢，但對於碳排放總量（縱軸）較不具影響，故圖形呈現集中或人均城市廢棄物產生量增加，碳排放總量無明顯趨勢存在。

圖三右方為：小於 2018 年平均城市廢棄物回收率 39.61% 的歐盟國家（保加利亞、克羅埃西亞、賽普勒斯、捷克、愛沙尼亞、希臘、拉脫維亞、匈牙利、波蘭、葡萄牙、斯洛伐克、西班牙、羅馬尼亞），些許國家具有碳排放總量（縱軸）隨著人均城市廢棄物產生量（橫軸）增長趨勢，如圖三紅色指標處；可見平均城市廢棄物回收率高／低可以調節人均城市廢棄物產生量對環境造成的影響。



圖三：歐盟25國——城市廢棄物回收率差異座標圖  
（橫軸（人均城市廢棄物產生量）；縱軸（碳排放總量））

## （二）迴歸分析結果

為了深入了解循環經濟對經濟及環境的影響程度，本研究選取循環經濟指標中代表資源回收及資源循環利用的兩個指標：城市廢棄物回收率及再生原材料貿易量作為解釋變數（自變數），建置兩個應變數分別為國內生產毛額和碳排放總量的面板迴歸模式（表三），驗證自變數對應數變化的解釋能力，供政策制定者作為參考依據。

面板迴歸模式結果發現：

1. 該模式對國內生產毛額的變化及碳排放總量的變化之解釋能力達到 99% 以上；
2. 城市廢棄物回收率每增加 1%，國內生產毛額平均增加 0.69%，碳排放總量平均減少 0.42%；
3. 再生原材料貿易量每增加 1%，對國內生產毛額的影響不顯著，卻會使碳排放總量平均增加 0.10%；可能原因是貿易量大，而技術水平卻沒有相對的大幅提升之情況下，對環境不利。

結果意指：有效回收廢棄物，提升資源使用效率，對經濟和環境都有利，且對經濟（提升國內生產毛額 0.69%）的效益些許高過對環境（減少碳排放總量 0.42%）的效益。

表三：城市廢棄物回收率／再生原材料貿易量—國內生產毛額／碳排放總量面板回歸模式

自變數	應變數	係數
城市廢棄物回收率 再生原材料貿易量	國內生產毛額	0.69% -0.004%
城市廢棄物回收率 再生原材料貿易量	碳排放總量	-0.42% 0.10%

## 四、結論與建議

研究結果顯示，城市廢棄物回收率為目前循環經濟中最重要指標，故研究在此建議政策制定者可從廢棄物管理指標著手，在最終端（消費者）建立回收獎勵機制，並可同時獎勵製造者、廠商提升其產品可回收率，整合開採、製造、使用、丟棄及回收的工業循環管理。另一變數：再生原材料貿易量，對於環境影響仍劇；研究建議可從綠色物流、刺激投資、鼓勵研發創新，提升再生原材料的使用率、品質及生產效率，使其貿易行為對環境有利，在貿易和環境間取得平衡，最終使得「使用資源、經濟發展、環境影響」三者脫鉤，達成永續發展目標。

## 參考文獻

- 中小企業綠色環保資訊網（2020）。〈循環經濟概述〉，2020年10月13日。取自 <https://green.pidc.org.tw/detail.php?lang=tw&type=2&id=65>
- 行政院（2018）。〈推動循環經濟——創造經濟與環保雙贏〉，2018年3月2日。取自 <https://www.ey.gov.tw/Page/5A8A0CB5B41DA11E/12c0a2b8-485d-49d7-ba9e-a9a10b82828e>
- 李盈嬌（2017）。〈歐盟循環經濟進程及啟示〉，《經濟前瞻》第171期，頁116-120。
- 溫麗琪、薛翔之、李盈嬌（2020）。〈轉型循環經濟勞動力之國際經驗探討〉，《勞動及職業安全衛生研究季刊》第28卷第2期，頁82-93。
- 循環台灣基金會（2021）。取自 <https://circular-taiwan.org/known/history/>
- 周楚洋、劉安琪、張寧（2020）。〈厭氧消化與共消化 開啟農業循環經濟大門 化畜牧廢棄物為沼氣能源的綠能技術〉，《豐年雜誌》70卷01期，頁20-27。取自 <https://www.agriharvest.tw/archives/29786>
- BP. (2021). Statistical Review of World Energy – all data. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
- Ellen MacArthur Foundation. (2019). <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept/infographic>
- Energy in Demand. (2020). The materials used by the global economy have quadrupled since 1970. <https://energyindemand.com/2020/01/25/the-materials-used-by-the-global-economy-have-quadrupled-since-1970/>

- European Commission. (2021). First Circular Economy Action Plan. [https://ec.europa.eu/environment/topics/circular-economy/first-circular-economy-action-plan\\_en](https://ec.europa.eu/environment/topics/circular-economy/first-circular-economy-action-plan_en)
- Eurostat. (2021). Which indicators are used to monitor the progress towards a circular economy? <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/indicators>
- Merli, R., Preziosi, M., & Acampora, A. (2018). How do scholars approach the circular economy? A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 178, 703-722.
- SDG KNOWLEDGE HUB. (2020). European Commission Adopts Circular Economy Action Plan. <https://sdg.iisd.org/news/european-commission-adopts-circular-economy-action-plan/>
- The World Bank. (2021). World Bank National Accounts Data, and OECD National Accounts data files. <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD>