



LINK & LOOP

Technical Report



廢紙混合物衍生燃料 生命週期評估

A Life Cycle Assessment of
Waste Paper RDF in Taiwan

Downloadable From:
www.linkandloop.net

Date Issued:
May 15th, 2020

Linking innovations and closing Loops



目錄 Table of Contents

執行摘要	01
廢棄物衍生燃料	02
廢紙排渣資源再生	04
生命週期評估方法	05
系統邊界與情境假設	06
生命週期評估結果	07
結論與建議	09



Executive Summary

廢棄物產生量隨著經濟發展逐年攀升，World Bank 估計 2016 年全球廢棄物產生量為 20 億噸，至 2050 年預估將達 34 億噸。如何將廢棄物妥善且有效地處理，已儼然成為各國必須面臨之課題。將廢棄物轉換成衍生燃料 (refuse derived fuel, RDF) 作為燃料是其中一種常見的處理方式，可以降低廢棄物處理成本並同時提高資源使用效率。

本報告以生命週期評估法，分析紙廠製紙過程產生的廢紙排渣，透過製程再製為 RDF 作為鍋爐輔助燃料，對整體環境之衝擊。主要結果顯示，廢紙排渣再製為 RDF 對整體環境衝擊僅燃煤的 16.5% ~ 19.4%，即便考量將 RDF 運輸至廠外其他鍋爐使用，對環境衝擊仍遠小於燃煤 (*目前僅允許將廢紙排渣再製成 RDF-5 並限於廠內自用)。

Global waste generation is continuing to increase. In 2016 global waste production disposal reached 2.0 billion tons per year, and it is expected to reach 3.4 billion tons by 2050 (World Bank). Proper waste disposal and treatment remains a crucial issue for countries. Refuse derived fuel (RDF) manufactured from waste is one common treatment that both decreases the cost of waste disposal and increases resource efficiency.

In this report, the life cycle assessment (LCA) approach is used to analyze the impacts of RDF made from wastepaper on the environment. This analysis includes paper rejected from standard paper processing. Environmental impacts are 16.5% - 19.4% of the impact of coal. Even if RDF is transported to other boilers outside the plant, the impact on the environment is much lower than coal (*Current regulations in Taiwan limit this type of RDF-5 to only include internal factory use).



Source: Sinotech

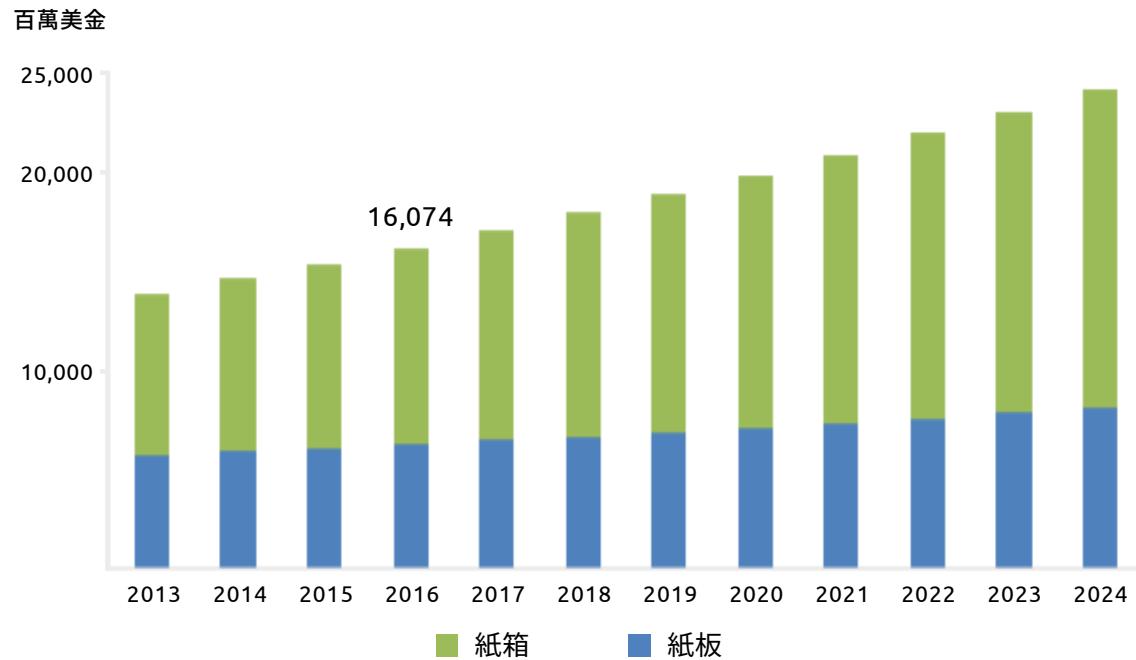
廢棄物衍生燃料

Refuse Derived Fuels (RDF)

工業生態的概念模仿自自然生態系統，將資源再利用拓展至產業鏈，如 A 廠商製程所產生廢棄物或副產品，可以是 B 廠商之原料或能源。造紙業是臺灣在能資源利用上最具代表性的產業之一，過去造紙業因製程必須耗用大量能源與資源，被認為是高耗能產業，但近年隨著產業升級，致力降低製漿製程的污染並提昇能源利用效率，發展出廢紙利用率高、回收率高且紙板生產比率高等特性。

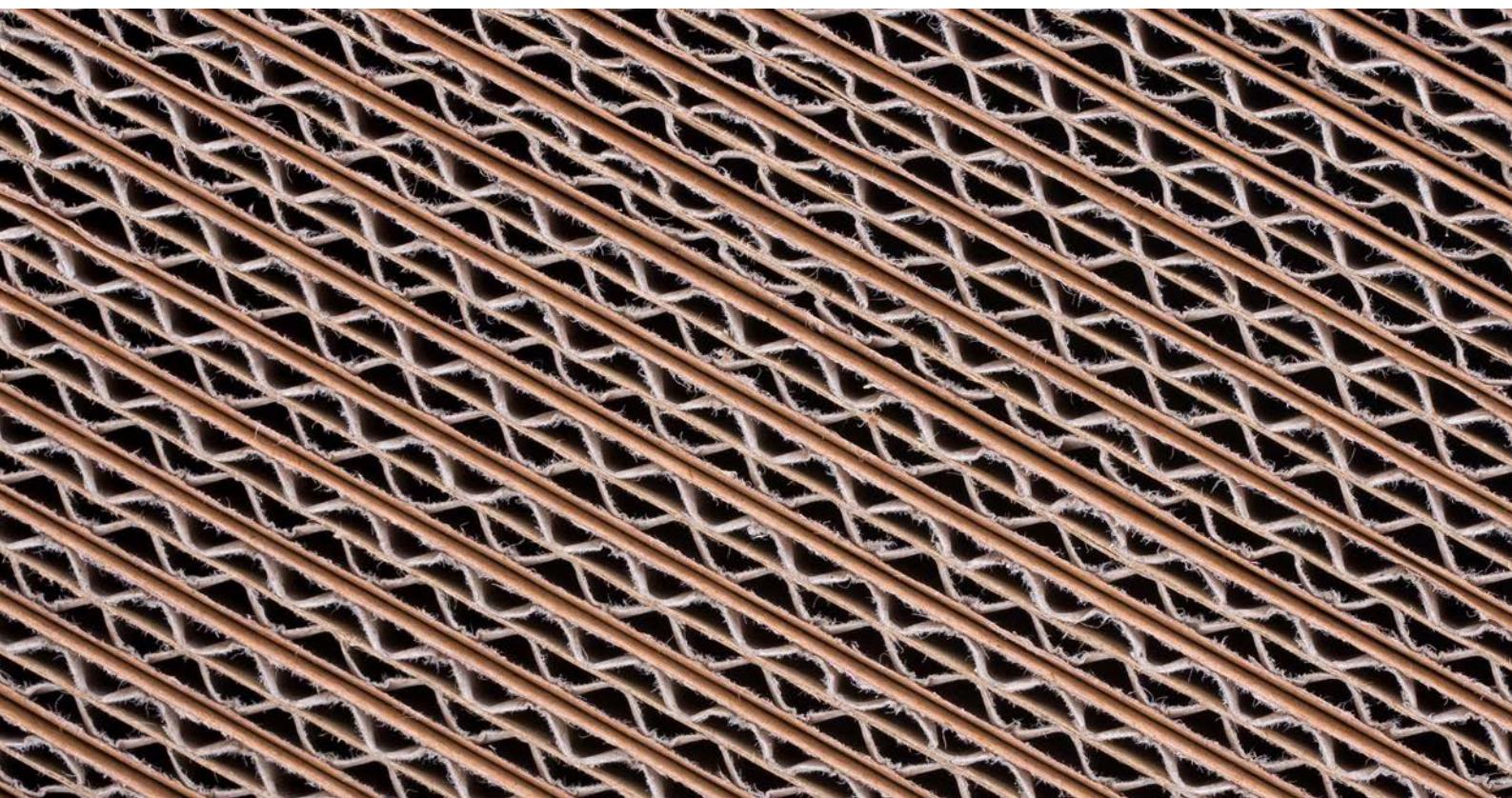
紙廠在生產過程中所產生廢棄物以「漿紙污泥」與「廢紙排渣」(或稱散漿排渣)為大宗，根據國內再利用規範，漿紙污泥可直接作為鍋爐輔助燃料使用；廢紙排渣則可透過 RDF 製程，再製為 RDF-5，作為廠內鍋爐輔助燃料使用。無論是漿紙污泥或廢紙排渣所製成之 RDF-5，其用途都可以用來取代一部分燃煤使用量，減少化石燃料使用，並且可減少漿紙污泥與廢紙排渣等廢棄物處理成本，降低焚化爐與掩埋場之廢棄物處理量。

在現代商業社會中，包裝的主要的功能在增加產品外觀效果以吸引顧客注意，對各類產品銷售具有重要影響。由於各國購買力水準上升，包裝行業在已開發國家及開發中國家均以指數性增長，加上電子商務的普及，進一步推升紙板包裝市場的需求，因此瞭解造紙業永續包材議題以減少生態足跡，對環境保護至關重要。



資料來源：Global Market Insight

圖1 美國紙類包裝材市場成長趨勢



廢紙排渣資源再生

Paper Reject Recycling

紙廠製程所產生得主要廢棄物為「廢紙排渣」或「散漿排渣」(廢棄物代碼 D-0699，廢紙混合物) ，其再利用途徑為製成 RDF，與漿紙污泥相同，可作為鍋爐輔助燃料。

美國材料試驗學會 (American Society for Testing and Materials, ASTM) 將 RDF 分為 RDF-1 至 RDF-7 等 7 類，RDF-5 較為大眾熟知。其中，RDF-5 與 RDF-3 最大的差別在於 RDF-5 由於經過造粒，含水率較低、體積較小，適合運輸；RDF-3 無造粒程序，物性較為蓬鬆、較不易成形，因此運輸成本相對較高。國內目前對於紙廠廢紙排渣製成 RDF，僅允許將其製成 RDF-5 並限廠內自用。

RDF 製程如 圖2 所示，廢紙排渣經過破碎、風選 (將沙、石等材料篩選出來)、磁選 (將金屬材料篩選出來) 及造粒 (RDF-3 不須造粒) 等程序後，可取代煤作為鍋爐輔助燃料。

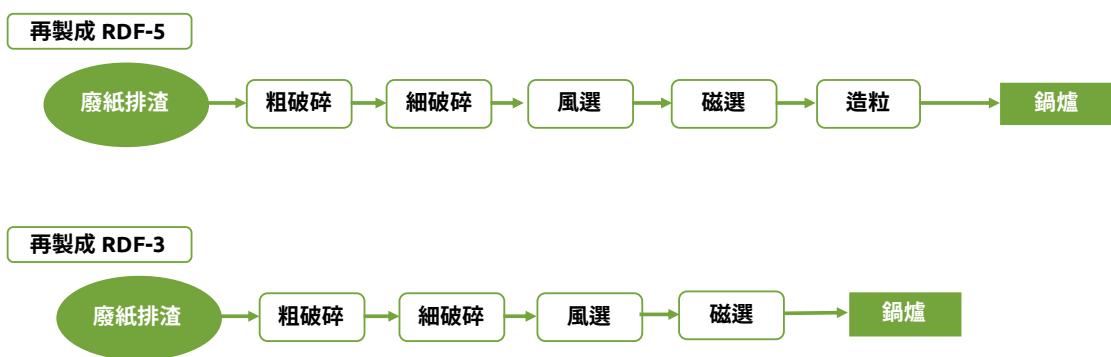


圖2 廢紙排渣再製 RDF 流程

生命週期評估方法

Life Cycle Assessment

根據 ISO 14040 的定義，生命週期評估 (Life cycle assessment, LCA) 係「對產品系統自原物料的取得至最終處置的生命週期中，投入和產出及潛在環境衝擊之彙整與評估」，也就是評估產品整體生命過程對環境造成的衝擊。

產品的整個生命週期包含「原料」、「製造」、「運輸」、「使用」及「壽命終止」等5個階段，衝擊類型包含「人類健康」、「生態影響」及「資源使用」等。其評估對象聚焦於一個特定的產品、製程或服務，評估階段可為整體生命週期或部分階段，因此可作為企業產品研發或公部門制定永續政策的環境評估工具。

本報告生命週期評估參考 ISO 14040 流程進行，生命週期衝擊評估模式選擇上，以 IPCC GWP 100a 評估 RDF 減碳效益，另以 IMPACT 2002+ 評估多面向環境衝擊。

- IPCC GWP 100a 被廣泛應用於評估產品之減碳效益分析，其衝擊評估方法中，以二氧化碳當量 ($\text{CO}_2 \text{ eq}$) 做為測量單位，計算產品形成後 100 年期間溫室氣體排放之二氧化碳當量衝擊。
- IMPACT 2002+ 衝擊評估方法，將環境衝擊分為 17 項衝擊類別，並將衝擊結果歸納為人類健康 (Human health)、生態品質 (Ecosystem quality)、氣候變遷 (Climate change) 與資源耗用 (Resources) 等 4 項衝擊評估結果。

系統邊界與情境假設

Boundary Settings and Scenarios

本報告生命週期評估以造紙廠產生廢紙排渣所製成 RDF 作為評估標的，評估範疇包含運輸、加工及燃燒產熱等階段，過程中所有能源、資源、設備投入及排放之廢棄物須納入計算。

系統邊界設定如 **圖3** 所示，情境假設說明如下：

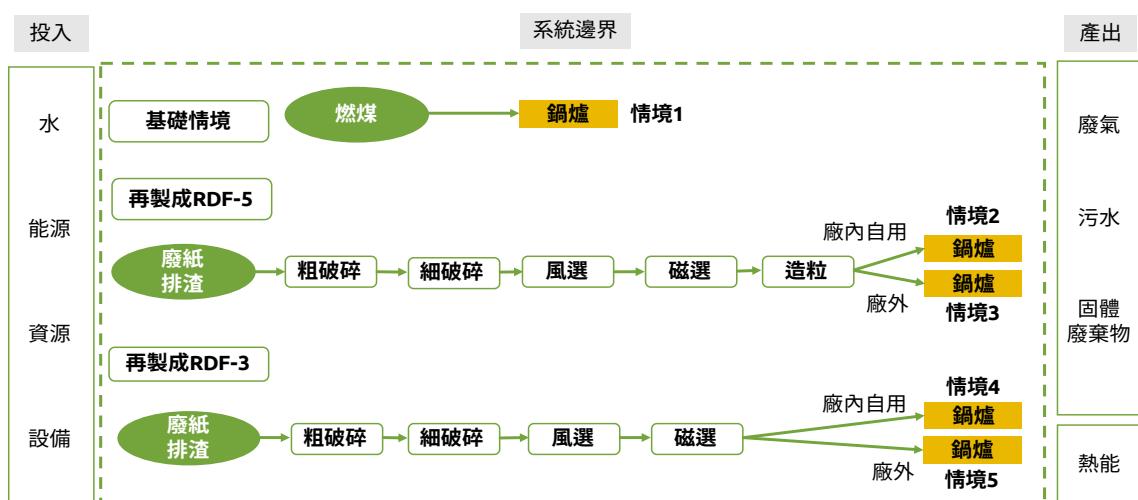
情境1：1 噸煤作為廠內鍋爐燃料 (基礎情境)

情境2：廢紙排渣再製成 RDF-5，並作為廠內鍋爐燃料

情境3：廢紙排渣再製成 RDF-5，並作為廠外鍋爐燃料 (考慮運輸距離 10、30 與 150 公里)

情境4：廢紙排渣再製成 RDF-3，並作為廠內鍋爐燃料

情境5：廢紙排渣再製成 RDF-3，並作為廠外鍋爐燃料 (考慮運輸距離 10、30 與 150 公里)



註：因研究使用之原料為下腳料，依照生命週期評估截斷 (cut-off) 準則，原料之生產過程不納入範疇內，可直接忽略不計。

圖3 生命週期評估系統邊界與情境假設

生命週期評估結果 Results and Analysis

氣候變遷是廢紙排渣資源化主要衝擊：廢紙排渣資源化主要衝擊來自氣候變遷，此衝擊類別主要來自於 RDF 燃燒階段；在燃煤的基礎情境中，主要衝擊亦來自燃煤本身燃燒時所產生溫室氣體排放。

廢紙排渣再製為 RDF，對環境衝擊遠低於燃煤：綜合人類健康、生態品質、氣候變遷及資源等 4 大類衝擊，廢紙排渣再製成 RDF 作為燃料，對環境衝擊分別只有燃煤的 18.0% (情境2) 與 16.3% (情境4)；即便考慮將 RDF 運至廠外鍋爐使用，對環境衝擊也只有燃煤的 16.5% ~ 19.4% (情境3 與 情境5)。

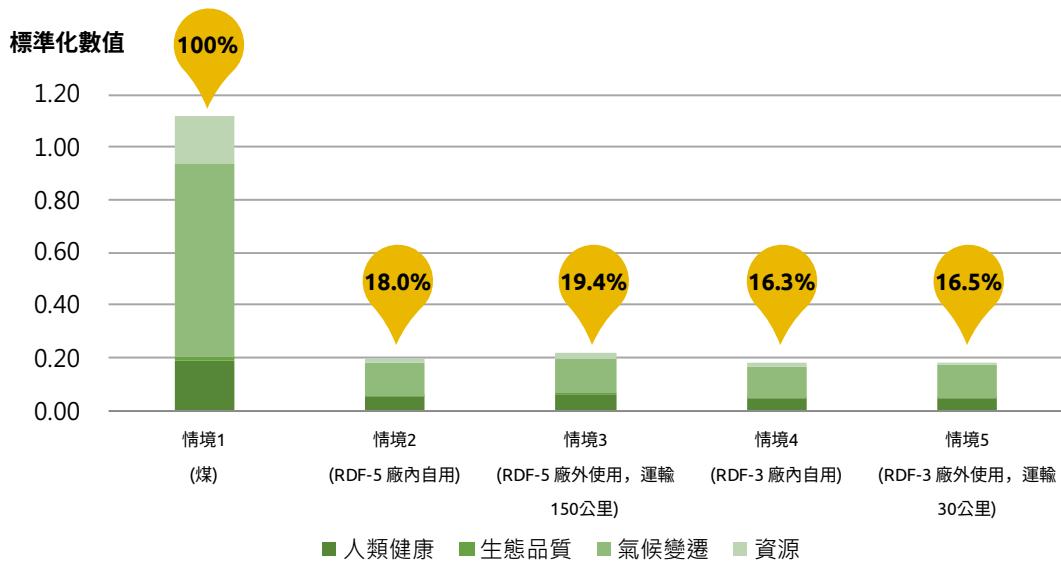


圖4 生命週期評估結果：總衝擊

生命週期評估結果

Results and Analysis

考慮廠外運輸情境，運輸對環境影響主要在氣候變遷：廠外鍋爐使用之假設情境中（情境3與情境5），分別假設 RDF-5 與 RDF-3 在 10 公里、30 公里與 150 公里等運輸距離，將其運至廠外供其他鍋爐使用，研究發現運輸對於環境衝擊主要在氣候變遷，其次為人類健康。

即便考慮運輸，相較燃煤，廢紙排渣再製為 RDF 仍具有減碳效益：根據熱值換算，1.15 噸廢紙排渣所製成 RDF 相當於取代 1 噸燃煤燃燒所產生熱量；考慮運輸距離對碳排放之影響，運輸距離每增加 10 公里，碳排放量約增加 2.43 kg CO₂ eq。

RDF-5 經過造粒程序便於運輸，但需耗用額外能源：RDF-5 經過造粒程序便於運輸，但造粒過程須耗用額外能源與成本。依照國際上對於 RDF 的實務經驗，考慮 RDF 的體積密度比、運輸成本及貨車載重理想運輸距離如下。

- 運輸距離在 30 公里內，以 RDF-3 形式運送較具經濟及環境效益；
- 運輸距離在 30 公里至 150 公里間，以 RDF-5 形式運送較具經濟及環境效益；
- 運輸距離在 150 公里以上，運輸成本太高不具經濟及環境效益。

結論與建議

Conclusions and Suggestions

- 漿紙污泥與廢紙排渣 (或稱散漿排渣) 是紙廠造紙過程所產生的主要廢棄物，通常作為紙廠鍋爐輔助燃料。其中漿紙污泥可直接再利用，廢紙排渣則製成 RDF，再作為鍋爐輔助燃料使用。除可減少原有廢棄物處理成本，亦可減少鍋爐燃煤使用量。
- 本報告以燃煤燃燒產熱作為基礎情境，並以廢紙排渣所製成之 RDF 替代相同熱量之燃煤作為評估標的，採用生命週期評估法分析其對環境之衝擊，使用 IMPACT 2000+ 評估環境衝擊；並使用 IPCC GWP 100a 評估減碳效益。
- 整體研究結果顯示，相較於燃煤，造紙廠廢紙排渣再製 RDF 對環境整體衝擊遠小於燃煤，整體環境衝擊只有燃煤的 16.3% ~ 19.4%；即便考慮運輸，相較燃煤，廢紙排渣再製為RDF仍具有減碳效益，運輸距離每增加 10 公里，碳排放量約增加 2.43 kg CO₂ eq。
- 將廢紙排渣透過 RDF 製程重新再利用，除了可以減少廢紙排渣處理成本，同時可減少燃煤使用量、減少碳排放量，並降低少焚化爐或掩埋場的廢棄物處理量。



Report Writing:

許桓瑜、吳周燕、蘇媚伊、馬耐德

Project Lead and Coordination:

羅時芳、李怡蒼

Design and Layout:

陳 捷



LINK & LOOP

Linking innovations and closing Loops.



Supported by | **IDB**
INDUSTRIAL DEVELOPMENT BUREAU,
MINISTRY OF ECONOMIC AFFAIRS
經濟部工業局

Organized by | **S** **CIER**