

全球碳捕捉紡織品發展趨勢分析

■ 紡織產業綜合研究所 巫佳宜

一、前言

2021年COP 26格拉斯哥氣候協議後，各國政府以「2050淨零排放」為目標，加速推動各項政策以達成減碳目標。例如歐盟執委會（European Commission）於2023年3月16日通過「淨零產業法案」（Net Zero Industry Act，簡稱NZIA），將太陽能、風能、電池與儲存、熱泵與地熱、電解槽與燃料電池、沼氣、生物甲烷、電網技術、碳捕捉與碳封存等列為策略關鍵技術，目標2030年歐盟潔淨能源在地製造達40%。我國國發會亦在2022年3月發佈《臺灣2050淨零排放路徑及策略》，並陸續展開各項減碳政策。2022年12月，國發會公布我國淨零轉型之2030年階段目標，並說明12項關鍵戰略的具體行動與措施（參見圖1）。其中，「碳捕捉利用及封存（Carbon capture, utilization and storage, CCUS）」為12項關鍵戰略之一。



資料來源：國發會（2022/12）

圖1 臺灣2050淨零轉型12項關鍵戰略

根據MarketsAndMarkets報告（2022）指出，2021年全球CCUS市場規模20.83億美元，預計2026年全球CCUS市場規模可達76.74億美元，2021～2026年CAGR平均年複合成長率29.8%，足見碳捕捉利用及封存技術的市場發展潛力。

國際運動品牌因應永續趨勢，也陸續加入SBT（Science Based Targets），並發佈淨零承諾目標。部分品牌也開始嘗試結合以碳捕捉技術將溫室氣體轉為紡織原材料的素材，以減少紡織品的碳足跡以及對環境產生的影響。以下說明相關商品案例：

二、以碳捕捉轉化為碳捕捉紡織材料的產品案例

碳捕捉及二氧化碳回收技術涉及將工業廢氣或環境空氣分子中所排放的二氧化碳和甲烷（CH₄）加以收集，並將其轉化為可利用的材料和成分。該技術目前仍處於初期的研究開



發、投資和實驗階段，但已陸續看到國際運動及時尚服飾品牌運用該技術推出形象產品（目前大多數尚未進行銷售），以展示其淨零減碳的行動。

（一）從廢碳到聚酯纖維

1. 美國 LanzaTech 公司

總部位於美國芝加哥的生物技術公司 LanzaTech，利用合成生物學技術改造一種來自於兔腸道的梭菌，將各種工業或家庭廢物來源的一氧化碳廢碳源發酵生產乙醇 CarbonSmart™，實現循環再利用。2022年10月，LanzaTech 與再生能源公司 Brookfield 建立資金合作夥伴關係，共同開發和建造新的商業規模生產工廠，這些工廠將採用 LanzaTech 的技術，將捕獲的碳轉化為有價值的原材料商品。該合作總投資額約 10 億美元，預估每增加一座工廠，每年就能從大氣中減少相當於約 100,000 噸的碳排放。Brookfield 還另外對 LanzaTech 投資 5,000 萬美元，用於自有設施內的碳捕獲技術應用。目前國際運動及時尚服飾品牌如 Lululemon、Zara、On Running、Craghoppers 等，已運用該技術所衍伸的原材料開發出碳捕捉服飾或鞋材。

（1）LanzaTech 技術的應用案例一：Lululemon 瑜珈褲

Lululemon 在《2021 Impact Report》中，以 Mylo™（菌絲皮革）、Genomatica（生質尼龍）及 LanzaTech（碳捕捉技術）等三家公司為該年度創新合作夥伴，展現品牌希望透過創新永續材料來實踐其氣候行動。2021年7月 Lululemon 首次發表運用創新碳捕捉運動布料，該布料採用 LanzaTech 碳捕捉技術生產的乙醇，經過 India Glycols 公司將乙醇轉化為乙二醇（MEG），再由臺灣的遠東新世紀將其製成 FENC®TOPGREEN®Bio3-PET 碳捕捉聚酯纖維後，織造成聚酯布料並製成瑜珈褲。

（2）LanzaTech 技術的應用案例二：Zara 禮服

全球第二大服飾品牌 Zara，也在 2021 年年底時發佈其採用來自 LanzaTech CarbonSmart™ 乙醇生產的碳捕捉聚酯纖維及布料，並開發派對禮服膠囊系列（參見圖 2），此系列禮服聚酯布料成分含有 20% 來自 LanzaTech 工業排放物碳捕捉技術所生產的乙二醇（MEG）和 80% PTA。這項合作是 Zara 母公司 Inditex 推廣永發展創新中心計劃的一部分，目的為將廢碳轉化生產再生聚酯纖維和醋酸纖維。

資料來源：Zara（2021/12）

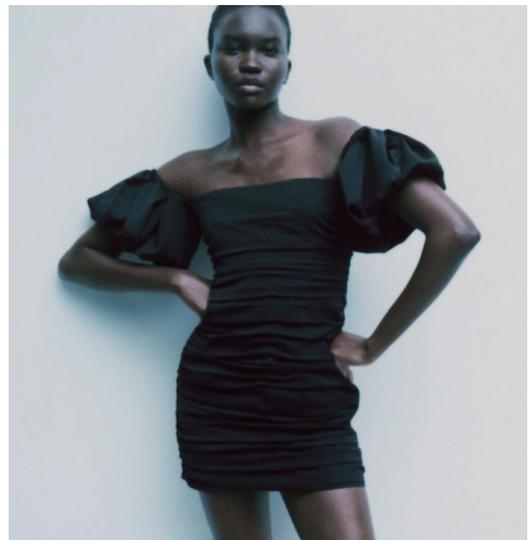


圖 2 Zara 採用來自 LanzaTech 技術所開發的碳捕捉纖維製成派對禮服



(3) LanzaTech 技術的應用案例三：On Running CleanCloud™ 泡棉鞋材

跑鞋品牌 On Running 於 2021 年發佈其採用 LanzaTech 技術所開發的碳捕捉泡棉鞋材 CleanCloud™，其採用 LanzaTech 技術，先捕捉工業來源排放的碳排 (carbon monoxide)，將其投入專利發酵製程轉化為液態乙醇後，由法國公司 Technip Energies 將乙醇脫水後製造乙烯，並由奧地利 Borealis 公司將乙烯聚合成小型 EVA 顆粒 (參見圖 3)。



資料來源：On Running (2021)

圖 3 On Running 與 LanzaTech、Technip Energies 和 Borealis 公司合作開發碳捕捉泡棉鞋材 CleanCloud™



資料來源：On Running (2022)

圖 4 On Running 結合 CleanCloud™ 材料開發 Cloudprime 系列機能鞋

2022 年 9 月 On Running 發表 Cloudprime 系列機能鞋 (參見圖 4)，將 CleanCloud™ 中的碳捕捉泡棉鞋材應用於中底，同時在鞋面採用與 Fairbrics 公司合作開發的碳捕捉聚酯纖維織物；鞋內的 Speedboard®，使用 40% 來自蓖麻子的生質 TPU；外底則採用 35% 來自消費後塑料回收再生的 TPU (與美國加州公司 Novoloop 合作開發)。On Running 計畫在未來三到五年內將 CleanCloud™ 納入更完整的永續材料組合，而不僅限於以碳捕捉技術所製成的 EVA 泡棉鞋材。

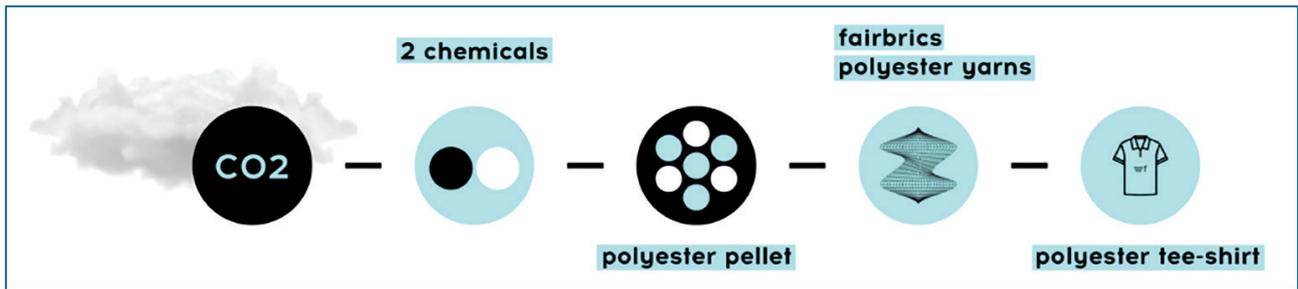
(4) LanzaTech 技術的應用案例四：Craghoppers CO₂ Jacket Jacket

2022 年 11 月的 ISPO 展中，英國戶外品牌 Craghoppers 發表了一款 100% 回收再生材質的刷毛上衣 (參見圖 5)，該上衣所採用的 CO₂ Renu 刷毛布料，來自 100% 回收纖維，內含 30% 碳捕捉紗 (與 LanzaTech 合作，將碳捕捉原料轉化為回收再生聚酯纖維)；標籤 100% 可回收；拉鍊織帶亦為 100% 回收聚酯材料。此外，此上衣在開發過程採用 CLO 3D 設計軟體進行數位開發，減少實體樣品所衍伸的資源浪費。



資料來源：Craghoppers、ISPO Award 2022

圖 5 Craghoppers 結合 LanzaTech 開發 CO₂ Jacket 刷毛上衣



資料來源：<https://fairbrics.co/technology/>

圖6 Fairbrics 碳捕捉聚酯紗線及布料技術示意圖

2. 法國 Fairbrics 公司

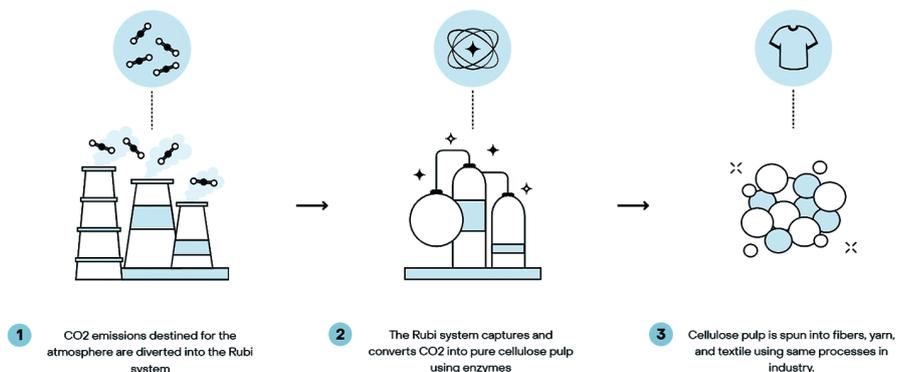
法國新創公司 Fairbrics 透過捕獲來的二氧化碳及綠色氫氣，與催化劑和溶劑反應生成乙二醇，然後聚合成聚酯粒並將其紡成紗線，最後製成聚酯織物（參見圖6）。目前已與瑞典 H&M 集團（Fairbrics 股東）、瑞士 On Running 跑鞋品牌 和法國 Aigle 戶外品牌等品牌建立戰略合作夥伴關係。

2023年1月，Fairbrics 公司由歐盟的 Horizon 2020 研究與創新計畫（Research & Innovation Program），獲得 1,700 萬歐元的資金，並從技術升級項目合作夥伴（Partners to the Technology Upscaling Project）組織籌措 500 萬歐元資金，合計獲得 2,200 萬歐元的募資，可用於該技術的商業化並投入市場應用。公司規劃在 2024 年之前，建立一條日產能 100 公斤的試驗產線，並於 2026 年打造日產能達 1 公噸的示範工廠。

(二) 從廢碳到纖維素纖維

美國舊金山新創公司 Rubi Laboratories 成立於 2020 年，是 H&M 基金會 Global Change Award（全球變革大獎）的獲獎公司之一，也是 Fashion for Good 時尚創新平台 2022 Global Innovation Program（全球創新計劃）成員。Rubi 將紡織廠和食品廠將廢碳收集到生物反應器中，以正在申請專利的「無細胞生物催化製程（cell-free biocatalysis process）」，透過酶將捕捉到的碳轉化為碳中和纖維素紙漿，生成黏膠後可紡成紗線及製成紡織品（參見圖7），具有商品化應用的市場潛力，目前已與 H&M、Patagonia 等品牌形成合作夥伴關係。

美國舊金山新創公司 Rubi Laboratories 成立於 2020 年，是 H&M 基金會 Global Change Award（全球變革大獎）的獲獎公司之一，也是 Fashion for Good 時尚創新平台 2022 Global Innovation Program（全球創新計劃）成員。Rubi 將紡織廠和食品廠將廢碳收集到生物反應器中，以正在申請專利的「無細胞生物催化製程（cell-free biocatalysis process）」，透過酶將捕捉到的碳轉化為碳中和纖維素紙漿，生成黏膠後可紡成紗線及製成紡織品（參見圖7），具有商品化應用的市場潛力，目前已與 H&M、Patagonia 等品牌形成合作夥伴關係。



資料來源：<https://www.rubi.earth/technology>

圖7 Rubi 碳捕捉纖維素紗線及布料技術示意圖



Rubi 碳捕捉纖維素纖維的利基點在於，相較於其他從棉花廢料或樹木中提取纖維素，都需要用水用地，也要經過化學處理，Rubi 公司所開發碳捕捉纖維素纖維不需用水也不占地，且能生產出無需化學處理的可溯源纖維素纖維。

Rubi 於 2022 年 2 月獲得來自 Talis Capital、Incite Ventures 和 Collaboration Fund 等創投公司的 450 萬美元的種子資金。Rubi 正在與 Ganni 和 ThredUp 等品牌及零售合作夥伴合作開發，以驗證該技術。

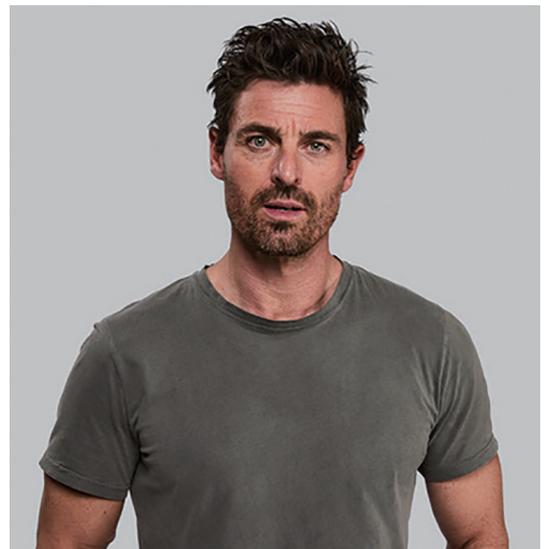
三、其他碳捕捉紡織品：光合作用的染料或塗層

(一) Vollebak 與 Living Ink 合作，以黑色水藻染料製成黑色 T-shirt

荷蘭 Vollebak 品牌擅長運用先端材料推出創新科技服飾，過去曾推出 100% Dyneema Black 製成的高性能夾克、石墨烯夾克、採用 100% 藻類墨水的印花 T-shirt 等。

藻類負責生成全球一半以上的氧氣，是碳捕捉機制的重要一環。2021 年 Vollebak 與生物科技公司 Living Ink 合作，以黑藻墨水 Algae Ink 開發出 Vollebak Black Algae T-shirt。Algae Ink 由藻類生長過程中的廢棄副產品所製成，這類水藻在露天池塘中生長，可作為天然食品色素，且因為它可以將碳永遠「封鎖」在墨水中，也是一種負碳材料。

2022 年，Living Ink 克服了生產尺度極小且色調極深的黑色顏料顆粒，成功開發出黑藻染料 (dye)，並進一步與 Vollebak 合作推出 Black Algae Dyed T-shirt (參見圖 8)，據稱是全球第一件採用水藻染料染色而成的黑色 T-shirt，此 T-shirt 由 80% 的有機棉和 20% 的 SeaCell 製成，後者是一種由桉樹漿和來自冰島峽灣的海藻混合而成的纖維材料。



資料來源：<https://vollebak.com/products/black-algae-dyed-t-shirt>

圖 8 Vollebak 黑色海藻染料 T-shirt

(二) H&M 基金會與香港紡織及成衣研發中心合作研發碳捕捉圍裙

「碳捕捉圍裙 (Carbon Looper - CO₂ capturing textile)」研究專案是 H&M 基金會與香港紡織及成衣研發中心 (HKRITA) 共同發起的〈Planet First〉計劃 (2020 ~ 2024 年) 的一部分，目標是尋找能夠為地球帶來正面時尚未來的技術。



在「碳捕捉圍裙 (Carbon Looper)」研究專案中，研發出一種特殊胺溶液 (amine-containing solution)，塗佈於棉纖維布料上，可以吸收環境周圍的二氧化碳，並穩定儲存於圍裙等布料表面。吸收完二氧化碳的圍裙布料，經加熱到 30 ~ 40°C 之後，可將吸收來的二氧化碳釋放，並讓植物進行光合作用再釋放出氧氣。

研究人員針對瑞典斯德哥爾摩 Fotografiska 博物館的餐廳員工所穿的棉質圍裙 (參見圖 9) 進行試驗後發現，圍裙每天吸收的二氧化碳量相當於一棵樹每天吸收二氧化碳量的三分之一。H&M 基金會表示，這項創新有可能成為減少全球二氧化碳排放量的遊戲規則改變者，但目前該技術項目的開發仍處於早期階段，它們對是否能降低紡織業對環境影響仍有待觀察。



資料來源：H&M 基金會

圖 9 碳捕捉圍裙

四、結論與建議

在全球追求「2050 淨零排放」的共同目標之下，紡織產業對碳捕獲技術的興趣也逐漸增加，部分品牌和供應商已經開始嘗試透過外部合作開發及驗證該項創新技術，期待透過利用工廠排放的二氧化碳，以減少對石油系纖維依賴，以及解決植物性纖維（如：棉纖維）耗水多、占地大且需投入化學藥劑進行除蟲等問題。

然而，現階段碳捕捉再製聚酯的成本昂貴，不具備大規模生產的條件，因此目前市場上所看到的碳捕捉紡織品，多仍屬合作性質的小規模實驗項目。今後仍有賴國際時尚服裝品牌及國家資源持續進行該技術的研發投資，以降低生產成本並提升製程的節能效果，碳捕捉紡織品未來才有擴大應用及商品化的可能性。



本會訊為季刊，每逢 3、6、9、12 月出刊，自 104 年 2 月起即免費為會員刊登彩色廣告，版面為封面裏及封底裏，以來稿先後編排，文稿截止日為出刊當月 10 日，請會員先進多多運用。

來稿請 E-mail：ttftcsa3@textiles.org.tw 若有任何指教歡迎來電：02-23916445