

航向織女星 — 化纖產業升級的推進器

周哲民博士
國家同步輻射研究中心產業推動小組

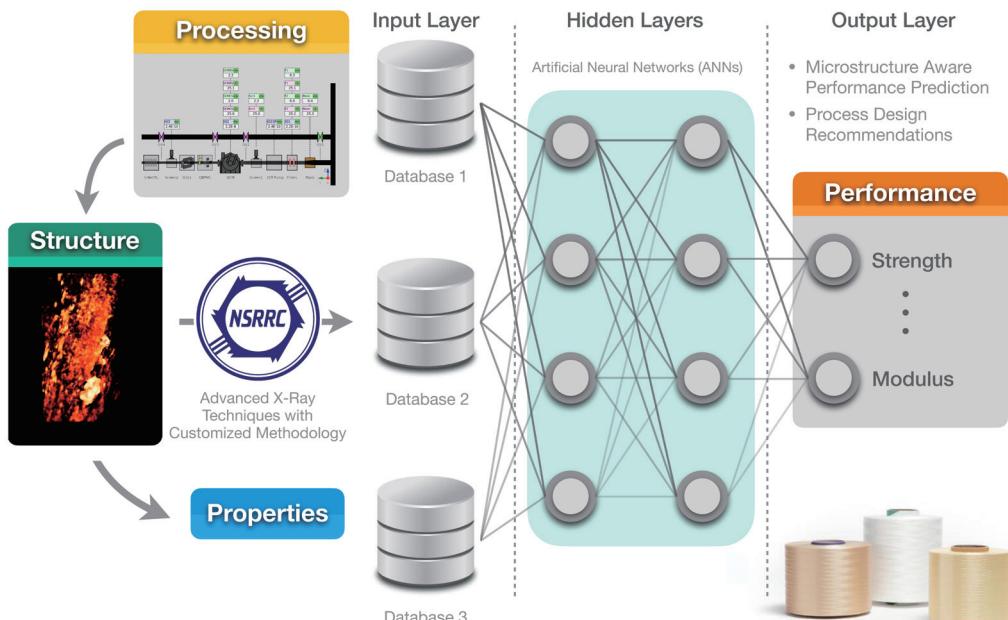
台灣塑化纖維產業過去以規模經濟為核心競爭力，大量生產標準化產品並供應全球市場，曾在國際占有重要地位。然而，隨著紅色供應鏈崛起與全球產能持續擴張，更大規模、成本更低的競爭者逐步侵蝕台灣的既有優勢。面對產業格局劇變，台灣唯有從大宗生產轉向細分市場，全面朝高值化、差異化、智慧化與綠色製造升級，才能開啟下一個成長曲線。

化纖產業的高值化策略多元，其中機能性纖維常被視為最容易切入的方向。然而若僅停留在既有產品邏輯與傳統框架內，本質仍屬「舊模式的新變化」，難以帶來真正的跨越式創新。要推動產業升級，必須從材料微觀結構、製程科學化到研發方法全面轉型，建立從根本理解材料的能力。以超高分子量、超延伸聚乙烯纖維 (UHMWPE) 為例，其化學組成與一般 PE 塑膠袋完全相同，但因特殊製程使分子鏈高度拉伸並形成「伸展鏈晶體」，強度甚至可超越鋼絲。這清楚顯示，材料價值不僅由化學構造決定，更在於對微觀結構的精準操控。因此，高值化不只是開發更多機能性的產品，更是建立以「結構設計力 + 製程科學化」為核心的新一代研發能力。

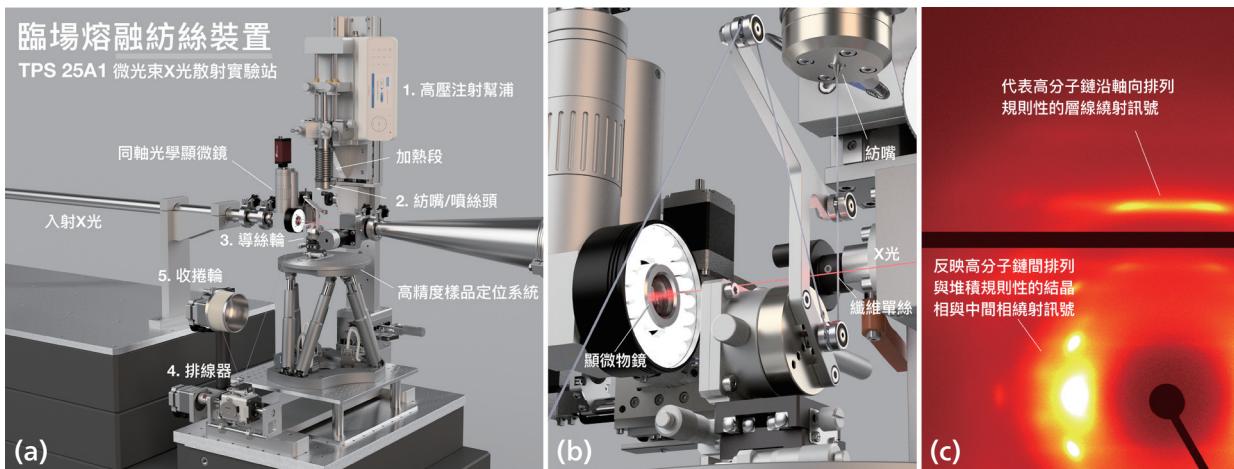
當前材料科學正邁向第四次典範轉移，進入以材料資訊學 (materials informatics) 與機器學習 (machine learning) 為核心的 AI 驅動時代 [1,2]。材料開發從依賴經驗與試誤法，轉向以大量數據、模型預測與智慧演算為基礎的新模式。如圖一所示，其核心為「製程 (processing)—微結構 (structure)—材料性質 (property) —產品性能 (performance)」所構成的 PSPP 架構，並透過數據與 AI 加速創新。在此模式下，產業競爭從以量制價的「材料商品化」，轉向以技術含量與微結構設計為基礎的「技術產品化」，使材料更能對應細分市場需求，並有效提升附加價值。

PSPP 各層面並非獨立，而是高度耦合的系統：製程的本質即是設計材料微結構；而聲、光、熱、力、電等性質也都是微結構的呈現。然而在規模經濟導向下，台灣產業長期強調 Know-How (把事做對)，重視製程能力，卻相對忽視 Know-Why (材料為何如此運作)。這種偏頗的研發文化，讓台灣塑化纖維產業在國際競爭變動時失去優勢，也可能使今日強勢的半導體產業在未來面臨相同挑戰。此時，同步輻射 X 光技術為台灣開啟新的「視」界，提供材料微觀結構的關鍵證據，協助產業從 Know-How 邁向 Know-Why，真正提升長期競爭力。

Machine Learning in Materials Informatics



圖一 本中心在材料資訊學研究中所扮演的關鍵角色。



圖二 (a) 安裝於 TPS 25A1 微米 X 光散射光束線實驗站的微型化臨場熔融紡絲裝置示意圖；(b) 實驗區局部放大圖；(c) 高分子纖維的 WAXS 散射圖。

本中心已與多家指標性業者合作推動高性能纖維開發。依託 TPS 25A1 微米 X 光散射技術，搭配奈米級定位與光學導航，能深入纖維單絲內部，解析影響性能的關鍵微結構因子，並已協助國內廠商突破瓶頸，成功打入歐洲輪胎大廠供應鏈。然而靜態微結構觀測僅是 PSPP 的一部分，真正提升性能的關鍵在於掌握「製程—結構」的動態關係。日本在此領域長期領先，不僅擁有世界級同步輻射光源 SPring-8，更因同步輻射設施普及且產業使用率極高，使其能即時觀察材料微觀行為，建立完整的製程—結構—性質關聯。

在強大競爭者的壓力下，台灣必須導入同步輻射技術並結合具備「實時製程調控」與「微結構追蹤」能力的研發平台，以有效降低研發成本、縮短開發週期，並維持創新動能。因此，產業應用組依據台灣化纖以熔融紡絲為核心製程的特性，建構一套前瞻性的研究平台。本中心開發的微型化熔融紡絲裝置結合 TPS 25A1，可進行「製程—微結構」的臨場觀測。如圖二所示：(a) 加熱後之高分子熔體由 (1) 高壓注射幫浦推送，經 (2) 紗嘴擠出後，透過 (3) 導絲輪輔助樣品定位，進行臨場 X 光散射實驗；凝固後之纖維再經 (4) 排線器導引，由 (5) 收捲輪收集，並可透過調整擠出與收捲速度以控制纖維之牽伸比。(b) 顯示顯微觀察與定位系統如何協助 X 光精確照射於高速跑動之纖維樣品。(c) 為典型之纖維 X 光繞射圖，據此可進一步解析紡絲過程中高分子鏈的流動、冷卻、拉伸與結晶等動態行為。此技術不僅首次量化製程—結構因果關係，也大幅提升研發效率，使台灣化纖產業得以邁向高端製造、智慧紡織與永續發展的新航道。

參考文獻

- K. Rajan, Mater. Today **8**, 38 (2005).
- A. Agrawal et al., APL Mater. **4**, 053208 (2016).

用戶資訊

實驗計畫申請

2026-2 期實驗申請

2026 年第二期 (2026 年 7 - 12 月) 光束線使用預計 2026 年 1 月初開放申請，截止日期為 2026 年 2 月 23 日 (一)，歡迎計畫主持人踴躍上網 (<http://tpsportal.nsrrc.org.tw/>) 提出計畫申請 (新用戶須先完成註冊)。

其他資訊

為提升台灣在加速器光源相關領域之研究水準，獎勵學術科技界利用本中心所屬光源實驗設施 (含 SPring-8 台灣光束線)，於國際學術期刊發表具高影響力之論文，特設置「光環論文獎」。2026 年度受理申請之論文屬於「自然科學領域」，包含物理、化學、環境、地球科學等相關課題之研究，請於 2026 年 2 月 28 日前提出線上申請。



為促進同步輻射相關領域之人才培育，建立學生用戶人才培育暨實習獎勵機制，以鼓勵國內大專院校具正式學籍之在學學生用戶，使用本中心「台灣光源」或「台灣光子源」之光束線進行學術研究實驗，符合規定的學生用戶將可申請獲得獎勵金與免費住宿 NSRRC 宿舍。

