

◎ 吳進三

# 芳香性的生物 可分解高分子—— 3D 列印膠條的應用

經 3D 列印製造後，其成品的結構與功能主要取決於 3D 列印膠條材料的特性，因此熱塑型 3D 列印膠條成了現今 3D 列印的重點材料。



## 3D 列印技術的發展

近幾十年來全球高科技的發展與繪圖軟體的普及化，讓 3D 列印技術逐漸受到國際產業的重視。3D 列印技術結合了數位化、材料、加工性等多元技術，配合快速成型技術，透過 3D 電腦輔助繪圖的設計，把 3D 模型圖片切割成一層又一層的 2D 分層切片，再按照分層切片大小與厚度，結合層積堆疊製造技術，把各種材料堆疊於成型的位置，再重複堆疊至產品呈現立體模樣。

全球產業（建築、工業設計、汽車、航太、軍事、醫療生技、服飾、飾品、地理資訊、食品等方面）開始陸續應用 3D 列印技術，製造許多跨時代的成品，例如 3D 列印的房屋、汽車、醫療器材、飾品、食品等商品。

3D 列印的技術經過三十年的成長與改進日臻成熟，主要用以製造符合 3F 原則（形狀（form）、尺寸適合度（fit）及使用功能（function））的成品。由於目前 3D 列印的成型技術太過於繁雜，2009 年美國材料試驗協會把 3D 列印技術分為七大類型：光聚合固化成型、材料噴塗成型、材料擠製成型、粉體熔化成型、黏著劑噴塗成型、板材疊層成型、直接能量沉積型。其中以材料擠製成型技術的市場占有率、價格和普及率最高，一般中小型企業、教育機構或家庭都可以方便使用。

材料擠製成型於 2009 年技術專利到期後，許多企業與業餘玩家開始大量進行相關材料的製作與開發，市場上也相繼推出改良後的 3D 列印機。目前市面上已有多種入門機種，其中 fused deposition modeling（FDM）型機種最受消費者青睞。



3D 列印成品圖

這是因 FDM 型機種操作簡單方便，又可依大小需求製成家庭化或企業化的不同機型，來完成各式各樣的 3D 樣品物件。

經 FDM 的 3D 列印製造後的成品，在產業上有多項優勢與特點，例如：可不需模組開發、組裝等費用、可有效節省材料的使用、跨越立體空間塑型限制、不受零件的形狀和結構的約束，使複雜模型可直接製造，因此可應用於模型、文創、生活用品等產業，讓新的商業發展機會更加龐大。

建築業—不管是設計師或者是在房仲介紹的過程中，都會利用到樣品屋模型。而一般製作時程需要長達 1 ~ 1.5 個月，但利用 3D 列印的方式可大幅縮短製作時間。

學校教具—從幼稚園至高中或大學時，常會透過教學用具加深學生對課程的認知。經由 3D 列印的設計，針對教案設計、目標和內容等可製作出更貼近課程的教學輔具。

文創業—目前許多文創業者投入 3D 列印，主要是因文創業大多訴求創新性和獨創性，並非大型量產化，因此傳統的開模製造成本太高。利用 3D 列印的技術可大幅降低產品設計與開模的成本，且不受到傳統模型製造的限制。

3D 列印的技術日臻成熟，  
主要用以製造符合形狀、尺寸適合度及使用功能的成品。

飾品業—如果把常見的飾品以 3D 列印設計與製造後，可依照個人喜好做出新穎的吊飾或耳環等飾品。

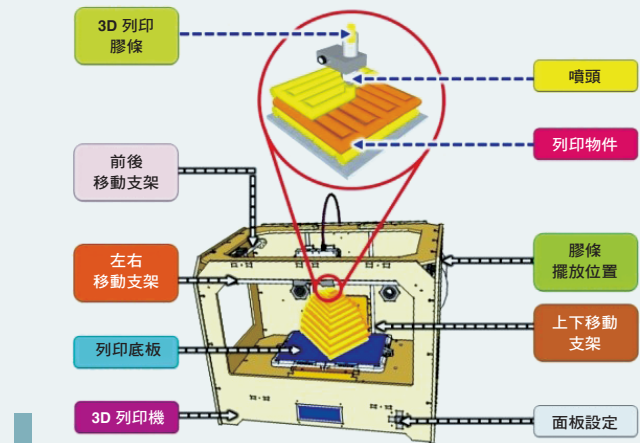
生活用品 / 親子型—可透過 3D 列印製造小型零件、玩具模型或生活用品，適合親子型的製作，增強孩童學習的能力。

而 FDM 型 3D 列印機的技術原理，是把熱塑型 3D 列印膠條通過加熱後的噴頭融化，擠壓層積在列印底板上，以層層堆積成立體物件的方式完成 3D 成品，可跳過許多傳統製造的繁雜瑣事。經 3D 列印製造後，其成品的結構與功能主要取決於 3D 列印膠條材料的特性，因此熱塑型 3D 列印膠條成了現今 3D 列印的重點材料。

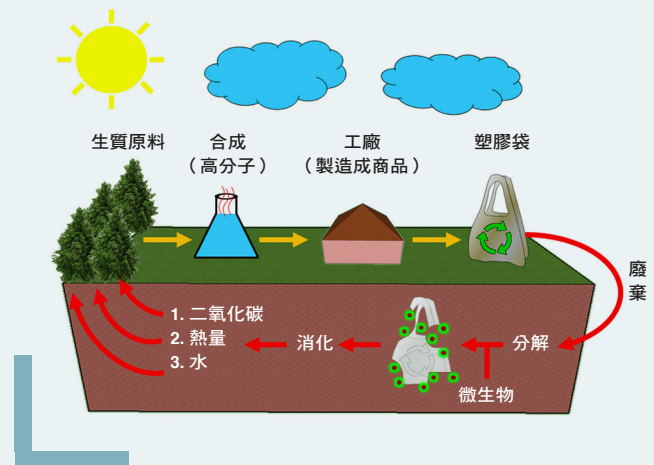
### 3D 列印膠條

現今國內在 FDM 型 3D 列印技術方面，有非常完整的系統性，再加上 3D 列印機市場有明顯普及化的現象，以及硬體技術更為成熟，因此產業開發重心逐漸轉移至以 3D 列印膠條為主，並以提升材料結構強度、功能性及實用性做為開發的目的，來滿足消費者客製化產品的需求。所謂 3D 列印膠條是指由熱塑性高分子所製造出的圓條狀線材，線徑範圍約為  $1.75 \pm 0.05$  或  $2.85 \pm 0.05$  公厘等，若不符合相關線徑規範的材料，容易在噴頭中造成線材堵塞、斷裂或印製不完全等情況。

而目前在熱塑性 3D 列印膠條高分子材料中，以丙烯腈—丁二烯—苯乙烯共聚物 (ABS)、尼龍 (Nylon)、聚碳酸酯 (PC) 等線材較為常見。這些材料都是由石油原料提煉得到，雖有良好的物理與化學性質，且適用於 FDM 型印製，但在列印過程中可能釋放出有毒物質與異味，進而影響到人體健康。此外，考慮到未來 3D 列印製品廢棄後後續處理的環境問題，上述這些材料已較不適合長期發展使用。



3D 列印示意圖



生物可分解高分子的分解示意圖

在未來使用環境友善性生物可分解高分子材料會更加普及化，另外生物可分解高分子的性能須與石化膠條相近，且廢棄後能在自然環境條件下受到微生物降解，分解成二氧化碳、水、熱量等。而過去因生物可分解性膠條價格較傳統石化膠條高出許多，使其市場受限。目前生物可分解性膠條已進入量產階段，技術越來越成熟，價格也隨之下降，因此往後發展生物可分解高分子膠條會成為必然的趨勢。

生物可分解的 3D 列印膠條丟棄後經由堆肥或掩埋方式可完全分解，不會對環境造成衝擊。

## 生物可分解 3D 列印膠條

生物可分解的 3D 列印膠條高分子材質是經聚合反應而成的，具有類似傳統熱塑性高分子材質的物理性質，丟棄後經由堆肥或掩埋方式，於數月或數年就可完全分解，不會對環境造成衝擊。而目前最常應用的生物可分解 3D 膠條，主要以 PVA、PLA、PCL 和複合式的 3D 列印膠條為主，各材料的優缺點說明如下：

**Polyvinyl alcohol (PVA)** — 主要經化學合成的方式製造出來。列印溫度約在攝氏 180 ~ 200 度，是一種廣泛使用的水溶性高分子，遇水後會迅速分解，因此屬於支撐型材料，並不能做為列印的主要材料，且容易與空氣中的水分子結合導致線材變質。

**Polyactic acid (PLA)** — 由玉米澱粉和甘蔗衍生物混合製成。列印溫度約在攝氏 180 ~ 200 度，並在列印過程中產生微弱的香氣，其價格便宜。但 PLA 脆性很高，產品碰撞時較會破損。

**Polycaprolactone (PCL)** — 經由化學合成製得。列印溫度約在攝氏 60 ~ 80 度，具有優異的耐衝擊強度和耐久性，且熔化溫度僅需約攝氏 60 度，遠低於一般 3D 列印膠條材料的加工溫度。但相對的，在較稍微高溫的環境下（如太陽底下），容易造成產品軟化變形或破裂。

複合式生物可分解膠條—是利用生物可分解材料與其他材料混合，如科技產品（奈米碳管）、化合物（奈米銀）、農業廢棄物（稻殼）、餐飲廢棄物（咖啡渣）、加工廢棄物（檜木屑）等各種物質，重新製成具有功能性的 3D 列印膠條，可構成導電型、抗菌型、仿木型或芳香型等多層面的應用。

在上述的材料中，複合式生物可分解膠條最能符合 3D 列印技術的潮流，以及



各類型的 3D 列印膠條

顧客對膠條材料多樣化的需求。目前許多企業逐漸開發這種不僅環保，還具再生資源及機能性的 3D 列印膠條材質，並藉由複合材的技術提高膠條的應用性及功能性，大幅增強附加價值及應用層面，使消費者有更多的選擇性。而在眾多的複合式膠條中，又以芳香型的 3D 列印膠條最具獨特性，且在國內市場中相當罕見。

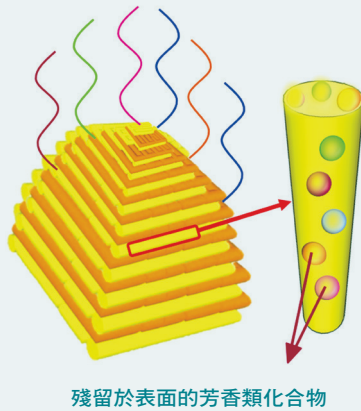
## 設計機制

利用各式廢棄的香氣粉末體做為填充材，並均衡分布於膠條內部，而其芳香性主要依靠內部的芳香類化合物或者植物纖維，在高溫的噴頭中散發出味道，或可保留至印製後的產品中，這取決於芳香性粉末的添加量。

添加量較低時—可使膠條在列印過程中，透過高溫釋放出各種芳香性粉末的味道或植物纖維的木質味。

添加量較高時—除了在 3D 列印過程中會釋放濃郁的香氣外，還可在列印後把剩餘的芳香類化合物儲存在 3D 製品表面上，並保留芳香性的味道。

通常芳香性粉末可取自花草樹木的內含物，但因芳香類化合物含量過多時會造成在製造 3D 列印膠條的加工良率降低，且導致釋放



殘留於表面的芳香類化合物

3D 列印完成後釋放香氣的示意圖

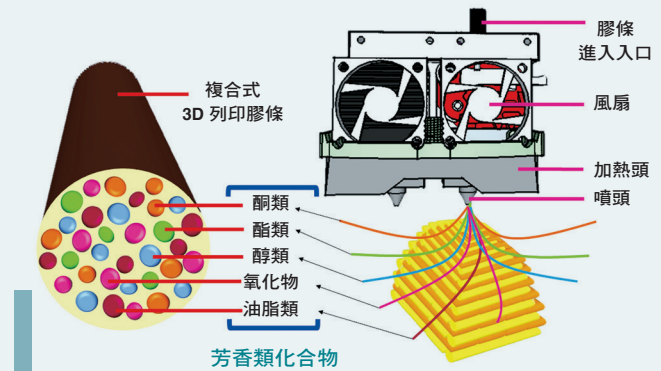
的芳香氣味太過濃厚，使人感到頭暈、想吐等症狀，因此把這類物質作為添加材的處理與含量控制是重要的課題。

而為了響應目前環保與再生資源的議題，可選擇廢棄後的芳香類花草樹木做為添加的材料。像利用農業廢棄物（具有豐富的植物纖維，如稻殼或棕櫚等）、餐飲廢棄物（含有許多油脂類的成分，如咖啡渣或酒渣等）或萃取過後的花草樹木（內含少數油脂和多數植物纖維，如檜木或檀香等）等研磨及處理後的粉末，與生物可分解高分子製作成芳香性生物可分解 3D 列印膠條。

稻殼芳香性膠條—稻殼占農業殘留物最大宗，取得容易，價格低廉。其中稻殼組成包含纖維素、木質素、半纖維素、有機醃類等，在添加少量的稻殼後，可以在列印的過程中釋放出木質的芳香味，且因結構含有大量纖維，對 3D 列印膠條的機械性質有提升的效果。

咖啡渣芳香膠條—咖啡衍生出的咖啡渣量相當龐大，咖啡渣包含許多纖維素、半纖維素、油脂類，以及少量碳氫化合物、活性碳分子結構等物質，運用於 3D 列印時，可藉由高溫釋放出咖啡香氣，並且在產品中保留淡淡的咖啡香。

薰衣草芳香性膠條—一般工業萃取精油的體積量相當大，因此精油萃取率較低，且萃取完的廢棄物也不易處理。而萃取後薰衣草的廢棄物富含許多纖維素、碳氫化合物和少量的



複合式芳香膠條組成和釋放香氣的示意圖

精油，隨著 3D 列印的印製可帶出薰衣草香味。

檜木芳香性膠條—檜木是高經濟價值的樹木，且具有醫藥價值，可從萃取過後的廢棄物回收或木工切割剩餘後的殘渣收集。回收後的檜木內部仍含有許多纖維素、半纖維素、木質部、精油、生物活性因子等成分，因此在 3D 列印的加工後，除了具有檜木香味外，還會使產品具有仿木的效果。

這類芳香性生物可分解 3D 列印膠條，不論是添加稻殼、咖啡渣、薰衣草、檜木等芳香性物質，都是透過 3D 列印的噴頭，刺激出內部的油脂成分於空氣中或產品表面上，而讓香氣散發出來。而相關 3D 列印製品的廢棄物，可利用堆肥方式埋入土壤中，除了生物可分解物質的分解效果外，還可透過芳香性粉末自身分解效果，促進土壤中的微生物快速分解，產生二氧化碳、熱、水，也不會造成環境的汙染，而能達到環境保護的目的。

吳進三

高苑科技大學化妝品應用研究所