

3D 列印的發展現況

■ 林鼎勝

傳統的加工方式是採用大塊材料慢慢切削雕琢的減法方式製作，常造成材料的浪費。3D 列印技術則採用層層堆疊的加法方式製作，可避免不必要的浪費。

原理與演進

20 世紀初期，美國憑藉製造工業實力成為世界上最大的經濟體。隨著工資逐漸升高，1970 年代後期其製造業開始大量轉移到工資較便宜的中國以及東南亞國家，造成國內嚴重的失業問題。一般認為一個製造工作可以產生 10 個工作機會，其中 6 個出現在供應鏈中，其餘 4 個則在為製造業服務的金融服務業工作。

但風水輪流轉，到了 2013 年，各先進國家都體認到製造業才是國家經濟長期發展的根本，因此美國總統歐巴馬喊出「讓製造業重返美國」的政策，其中的重點產業就是 3D 列印。

快速原型（rapid prototyping）以及 3D 列印技術萌芽自 1980 年代，這些年來其製程不斷地突破創新。在這波發展的浪潮中，開放硬體（open-source hardware）社群扮演著重要推手的角色，因為自從 3D 列印的軟硬體由社群中開放之後，世界各地的優秀工程師得以參與集體創作，共同完成讓 3D 列印技術普及到一般家庭中的理想。

這樣的社群環境驅使各式各樣的機型陸續推陳出新，也讓一般民眾可以評估各種機型的列印品質、列印速度、可列印物品大小、輸出穩定性、價格等，選擇一部符合個人需求的機器，完成「自造者」的夢想。根據 Wohlers Associates Inc. 的報告，3D 列印機以及其周邊服務在 2012 年已經達到 22 億美金的規模，與 2011 年相比，更是成長了 29 %。

快速原型技術其實已經行之多年，2009 年美國材料試驗協會（ASTM）把它正名為積層製造（additive manufacturing）技術，其原理是建立數位化電腦模型檔案後，運用金屬粉末或

快速原型以及 3D 列印技術萌芽自 1980 年代，這些年來其製程不斷地突破創新。

目前 3D 列印的商業模式仍處於少量客製化，以處理具有特殊形狀且傳統技術不容易加工的產品為主，未來則可以朝量少價高的高技術產品發展。

塑膠材料，利用加熱使其呈現熔融可塑狀態，再透過一層層堆疊列印以產生工件的技術。3D 列印技術原本只是其中的一個分支，但由於其在各種積層製造技術中應用最廣泛，也因此積層製造與 3D 列印這兩個名詞在一般民眾的觀念中也就合而為一了。

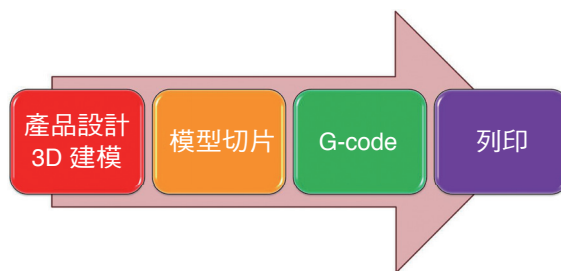
3D 列印技術就是把工件的 3D 電腦模型轉換成 2D 的分層切片，再按照這個分層切片把材料堆疊到欲成型的位置，重複堆疊動作直到工件成型。傳統的加工方式是採用大塊材料慢慢切削雕琢的減法方式製作，常會造成材料的浪費。3D 列印技術則採用層層堆疊的加法方式製作，避免了不必要的材料浪費。

目前 3D 列印的商業模式仍處於少量客製化，以處理具有特殊形狀且傳統技術不容易加工的產品為主，未來則可以朝量少價高的高技術產品發展。

成型技術分類

3D 列印製程的技術，細部可以分成下列幾個步驟：首先藉由電腦輔助設計軟體進行產品設計作 3D 建模，完成後的設計圖檔再經過類似電腦斷層掃描切片成像的概念，把立體圖檔切片，每片切片包含產品的內外輪廓造型，最後把這些切片輪廓轉換成為 G-code，藉以控制 3D 印表機列印成型製造。

其中，G-code 就是數值控制（numerical control, NC）機械所使用的指令，基本上就是操作者與數控機械的溝通語言，可以利用人工編輯輸入或電腦軟體自動產生 NC 控制碼，使得數控機械的加工刀具可以依照



3D 列印製程的成型技術流程

所設定的方式移動。現今因為開放硬體社群的努力，使得這一部分切片轉換的動作已經有相當多的免費軟體可以處理，使用者不需擔心不熟悉數控機械程式碼的問題。

目前常見的 3D 列印成型技術有下列幾種：

選擇性雷射熔融（selective laser melting, SLM） 這種方法是把成型用的材料（通常是顆粒或粉末）鋪在平台上，利用高能量的雷射照射在欲成型的位置上，使材料熔融聚合。之後在不同高度重複這個步驟，就可製作出成品。

這個製程必須在一個精密控制氣壓且充滿惰性氣體的工作空間中完成，常見的材料有不銹鋼、鈷鉻合金、鈦金屬、鋁等。美國航空暨太空總署（NASA）就曾利用這個方法製造引擎零件，雖然成品的強度稍差，但因為省去焊接的手續，避免了焊接點上結構容易發生破壞的缺點。

選擇性雷射燒結（selective laser sintering, SLS） 這個方法是由德州大學奧斯汀分校卡爾·德克（Carl Deckard）與喬·比曼（Joe

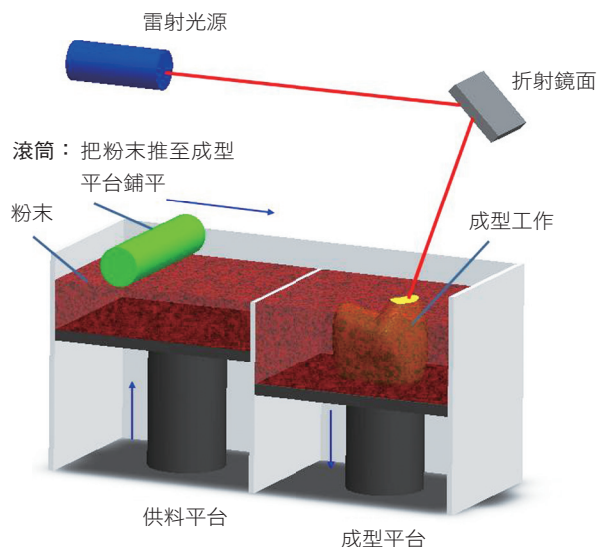
Beaman)兩位博士研發出來且取得專利，但今年(2014年)年初這項專利已超過保護期。這種方法是利用電腦控制雷射照射的位置，粉末經雷射照射後會層層燒結黏著聚積成塊，之後再鋪上另一層粉末繼續下一層的製程，直到最後產品成型。

SLS 似乎跟 SLM 製程相似，所形成物件的特性卻明顯不同。因為 SLM 製程僅利用熔融後再冷卻固化的方式製成，SLS 製程則經由燒結成型，成品的晶粒結構、孔隙率等都會跟原來的粉末有所差異。常見的材料包括鋼、鈦等金屬粉末，以及熱塑性高分子材料如尼龍、陶瓷粉末等。與其他製程相比，由於成型過程中成品周圍一直有未燒結的粉末存在，因此不需要使用其他周邊支撐結構就可完成成品。

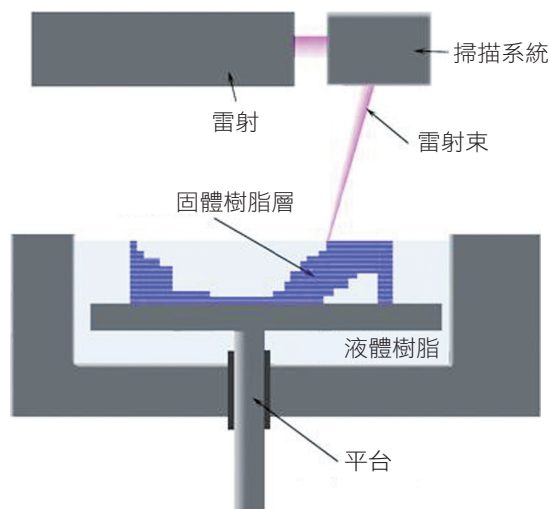
光固化立體造型 (stereolithography, SLA) 這一製造方法必須使用液態的光活化樹脂，藉由雷射或紫外線光束一層一層地進行光固化過程。由於成型的精確度很高(可達到0.05~0.15毫米的精密度)，成品表面的光滑度及細緻度已經相當接近射出成型加工的塑膠製品。這一製程的優點在於製造速度快且可製作較大型工件，缺點在於光活化樹脂的成本過於昂貴。

熔融沉積造型 (fused deposition modeling, FDM) 這一製程是目前市面上最廣為流行的方法，一般平價3D列印機種大多採用這一種製程。製造方法類似蛋糕師傅把奶油在蛋糕上擠出各式花樣一般，原料熔融後一層一層地擠出堆疊上去，直到產品製作完成為止。

大多數的材料是以塑膠類為主，製作成直徑約1.75毫米的線材，目前以使用ABS與PLA (poly-lactic acid, 聚乳酸)材料最多，也可以使用黏土或矽膠材料等。



選擇性雷射燒結製程示意圖



光固化立體造型製程示意圖 (圖片來源: Wikimedia Commons)

ABS 材料本身有高強度、售價較低、耐熱度高等優點，缺點是在列印時會因高溫而產生帶有臭味的有毒氣體。相形之下，PLA 材料雖然價格較貴且強度上稍嫌不足，但它不具毒性且是生物可分解的材料，使用上較安全。



青蛙解剖套件



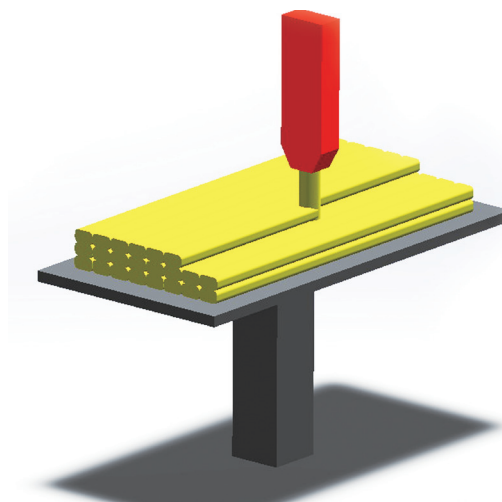
筆者自行製作的手機外殼

以 3D 列印機為例，製造方法是把塑膠原料加熱融化後，藉由擠料機構把熔融狀的塑膠擠出噴頭，透過步進馬達控制噴頭位置與移動速度，熔融塑膠在擠出堆疊的同時，利用噴頭底面抹平。當已加熱至工作溫度的噴頭離開之後，塑膠溫度降低就可自動固化成型。

應用領域

目前在各產業中都有相當多的人力物力投入 3D 列印的設計製造，根據未來的產值預測，可能的應用方向依次是消費性產品、汽車工業、醫療產業、3D 列印生產製造，以及航太工業。

其實國內外已有相多的應用實例，例如：利用 3D 列印製作流行服飾與配件；客製化完全符合個人腳形的運動鞋；製作流行時尚且具有個人風格的眼鏡鏡框；根據客人的想像創意，不受材料及加工方法的



熔融沉積造型製程示意圖

限制，訂作獨一無二且具紀念價值的結婚首飾；NASA 為了解決太空旅行所需要的食物問題，也投資大量經費在研發食物列印機，希望能列印出義大利麵條、巧克力等食品。這些都是可以發揮創意的方向，筆者也曾試著自行製作手機外殼。

雖然目前 3D 列印技術越來越精進，應用範圍也越來越廣泛，但是和其他新技術一樣，其應用前景並非完美無瑕。

3D 列印可能顛覆傳統思維模式的例子還有：美國微軟公司所贊助的 3D 印表機製造公司，就發布了一個 3D 電腦模型，取名為「青蛙解剖套件」，也在網站上公布了這個學習活動的完整教案，提供給美國六到八年級的學生及老師上課免費使用；國內也有以 3D 列印出常見物質分子結構式的 3D 模型，讓分子結構能用眼睛搭配指尖觸摸更清楚地呈現！

在醫學工程領域中，3D 列印更有很大的想像空間。國外已有組織工程方面的應用，如 3D 生物印表機，其與一般 3D 印表機構造相似，只是列印的材料不一樣，它使用的是病人自己的幹細胞或是再培養的細胞。

概念上，在列印前先用電腦斷層掃描真的器官，之後轉換為 3D 電腦模型，把這些細胞噴在一張張可被生物降解的材料上，接著利用水膠或黏著劑使細胞附著在特定位置堆疊起來，所留下的細胞就能形成具有立體結構的器官。

除此之外，2012 年美國密西根大學也有小兒科醫師利用生物可吸收材料 3D 列印氣管支架，幫助一位先天氣管塌陷，只有 3 個月大的嬰兒正常呼吸，且接受治療後，嬰兒目前已經超過 20 個月大。台灣也有工業技術研究院以及各大專院校的研發團隊正在進行金屬 3D 列印應用研發，目前主要以顱顏顎面的大型缺損修補和金屬假牙製作為應用的方向。

筆者在個人的研究中，也碰到一些臨床問題需要進行醫療器材開發或術前評估，例如：人工關節的試製、下顎長跨距骨板等的應用，目前義守大學醫工系與義大醫



(c) 2014 科普飛行隊 (Pop.Sci.Flyers)

3D 列印分子模型（圖片來源：由科普飛行隊授權）



人工髖關節研發設計與試製

院整形外科及骨科部都有持續良好的合作模式，希望能使 3D 列印技術更廣為應用，以解決目前臨床上不易解決的難題，提供病人更好的解決方案。

未來與隱憂

雖然目前 3D 列印技術越來越精進，應用範圍也越來越廣泛，但是和其他新技術一樣，其應用前景並非完美無瑕。首先，所使用的塑膠材料並非完全無毒無害，若做為需要高溫使用的餐具，是否會釋放出有毒物質還待驗證。其次，為因應不同需求，工件所需的強度不盡相同，而現階段除了部分金屬材料之外，其餘材料的強度仍有待提升。

在國家與社會秩序的考量上，這議題尤其重要！現在連具有殺傷力的槍械都能用 3D 列印輕易打造出來，成為執法當局頭痛的新問題。日本神奈川縣一名大學職員就因為非法製造 3D 列印槍而遭逮捕，其中兩把樹脂手槍經鑑定可以發射實彈，幸好現場並沒有發現適用的子彈。顯然 3D 列印技術普及化之後，其背後所隱藏的治安風險必須重視。

對智慧財產權的衝擊也必須重視。3D 列印技術使玩偶或公仔的再製或重新翻版變得很簡單，這一趨勢會完全改變這類企



下顎長跨距骨板設計與試製

業在市場上的商業模式與獲利狀況。在法律方面，政府必須審慎思考如何規範，否則很可能引發許多問題，這些都考驗著政府的應變能力！

目前 3D 列印技術在各個領域的應用都方興未艾，希望本文能夠拋磚引玉，讓大家更了解 3D 列印的發展應用情況，也能一起腦力激盪出更多更有創意的作品，希望 3D 列印讓各位都能成為夢想的實行者。

林鼎勝

義守大學生物醫學工程學系

