

3D列印有那麼神奇嗎

劉浩志

不論是在新聞媒體、網路社群、學術期刊或休閒雜誌上，都可以見到某種產品或醫療行為藉由 3D 列印的應用而重現新商機，例如以 3D 列印客製化人體器官。

2013 年以來，3D 列印在歐美日等國政府與民間產業的重視下，成為幾乎人人耳熟能詳的字眼。不論是在新聞媒體、網路社群、學術期刊或休閒雜誌上，都可以見到某種產品或醫療行為藉由 3D 列印的應用而重現新商機，例如以 3D 列印客製化人體器官。坊間諸多議題也時常提到這項技術可能成為解決許多問題的方案，但 3D 列印真的有那麼神奇嗎？

3D 列印的源起

3D 列印並不是近年來的創新發明，早在 1980 年，兒玉秀雄博士在日本就提出了 3D 列印機器的專利申請，但後來沒有完成程序。第 1 個專利是由美國的赫爾（Charles（Chuck）Hull）在 1986 年獲得的。

然而，這種技術當時並不叫做 3D 列印，而是稱為快速成形、快速原型，也有人稱為固態自由形製造、層狀製造等。3D



使用熱熔融沉積型 3D 列印機製造出來的羅丹〈沉思者〉雕塑，列印材質是聚乳酸。（列印檔案：MIT CSAIL 資料庫）

3D 列印不需開模就能依照設計直接製作樣品，有效縮短了開發的時間，可謂是新的工業革命。

3D 列印技術發展至今，衍生出許多不同各具優缺點的製造方式，但目前並沒有一個獨領風騷的技術能兼具所有優點。

列印的說法僅限於幾種採用類似噴墨印表機以膠水與粉末材料製造 3D 物件的技術。隨著科技的發展，2010 年左右，3D 列印成為廣泛使用的技術統稱。

技術獨到之處

3D 列印到底有什麼特別，能在近年來搶盡鋒頭？要解釋這一點，必須先檢視製造技術的發展。在人類文明的發展中，開始使用工具製造物品是一項重大的突破。在千百年演化的歷程中，各種物件的製造大抵可分為「由上而下」和「由下而上」兩種方式。

「由上而下」指的是以切削、砍劈、刮除、敲打等方式把一大塊材料製成物件。譬如雕刻師把一截原木以刀具刻出人像，或鐵匠把一塊發紅的鐵塊敲打鍛造成菜刀，都是屬於一種減法的加工製程。

「由下而上」指的是以堆疊、組立、層積、黏結等方式使小單位的材料形成物件。例如以陶土捏塑出碗盤來，或把毛線一針一線地編織成圍巾，都是一種加法的製造方式。

3D 列印是奠基於加法製造的原理，同時結合電腦輔助設計與製造，把設計的物件以電腦繪圖建立為 3D 模型，再經由切層軟體把物件的 3D 模型解構為一層一層的幾何形狀，做為製造時層層材料堆積的藍圖。這種類似印表機的工作模式，直接把電腦上的設計以自動化數位控制機台把 3D 物件形狀一層接著一層地列印出來。

在製造物品的形狀上，切層的方式巧妙地將複雜的 3D 形狀轉換為扁平的 2.5D，

也就是有厚度的 2D 平面，移除了加工過程中對於刀具形狀、切削角度、刀具途徑等的限制，幾乎可以製造出任意形狀的物品。

對產業來說，一般產品在開發過程中，由設計圖面轉為實體的物件，不管是直接加工或是開模試做，都免不了昂貴的加工、開模費用，以及漫長的等候時間。3D 列印不需開模就能依照設計直接製作樣品，有效縮短了開發的時間，可謂是新的工業革命。

3D 列印的種類

3D 列印技術發展至今，衍生出許多不同且各具優缺點的製造方式，但目前並沒有一個獨領風騷的技術能兼具所有優點。我們就來看看幾個具代表性的技術。

光固化技術 關於最早申請專利的 3D 列印技術，兒玉秀雄與赫爾提出的都是屬於光固化技術。光固化利用可以被特定波長如紫外光或雷射光的光線能量來啟動聚合反應的高分子前驅物做為製造的原料，使原本液態的前驅物反應為固體的高分子。製造物件時，使用可以上下移動的平台在充滿液態高分子前驅物的池子裡緩緩下降或上升，同時在平台上方以投影照射的方式把欲成形的幾何形狀一層接著一層地固化為 3D 實體。

熱熔融沉積 可以說是一個自動化電腦控制的熱熔槍，加熱流嘴頭把材料（通常是熱塑型高分子塑膠）加熱到可以流動時，以機構把它漸次擠出在想要成形的物體表面上。隨著流嘴頭不斷在空間移動，可以一層層地把物件製造出來。

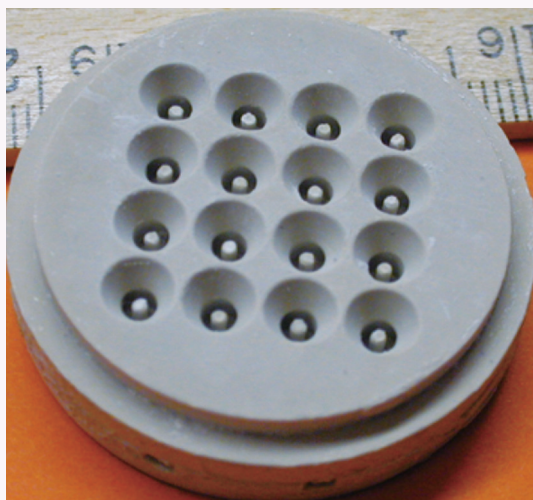
層板物體製造 如同把一疊硬紙板或保麗龍板按物品形狀切割再黏合為立體造形，層板物體製造技術是直接把一整層的板狀材料以膠水黏合成立體的實物。把前述所提到的電腦切層形狀訊息，經由雷射光或刀具直接把所鋪上的層板材料切割出需要的形狀，再依次堆積黏合為成品。

選擇性雷射燒結 使用粉體材料、高功率雷射光束，以選擇性掃描方式把切層的幾何圖形描繪出來。經雷射光束照射的粉體可產生足夠高溫，使一顆顆的粉末連結在一起，而能增加整體材料的強度。在製造上，需要在平台上逐次鋪上一層新的粉體材料，再以雷射光燒結欲成形的區域。沒有燒結的部分仍然是粉體，可以輕易清除。

3D 列印 雖然現今 3D 列印泛指積層製造的各種技術，但狹義的 3D 列印是專指以類似噴墨印表機的噴嘴塗布黏結劑膠水，把粉體材料膠合製成實體的技術。其加工方式與使用印表機列印圖形非常相近，只是在列印上把 2D 的圖層逐步堆疊成 3D 的實體物件。製造出的物件強度是靠粉體材料與黏結劑，也因膠水注出於粉體床的方式而可以靈活更換膠料，3D 列印技術可以使用不同顏色的膠水達到彩色列印的效果。

形狀沉積製造 在早期的快速原型技術中，大多僅發展加法的加工技術，形狀沉積製造是少數兼具加法與減法製程的技術。這技術靈活使用傳統與創新的製造方式，如電腦數位控制車床、精微鑄造、雷射加工等，以加法沉積每一層材料後，隨即使用減法製程去除多餘的材料，有效提升尺寸的精準度以及去除物件表面階梯化的缺點。

目前市面上的 3D 列印技術名稱繁多，尤其是商業機台，往往為了行銷以及規避



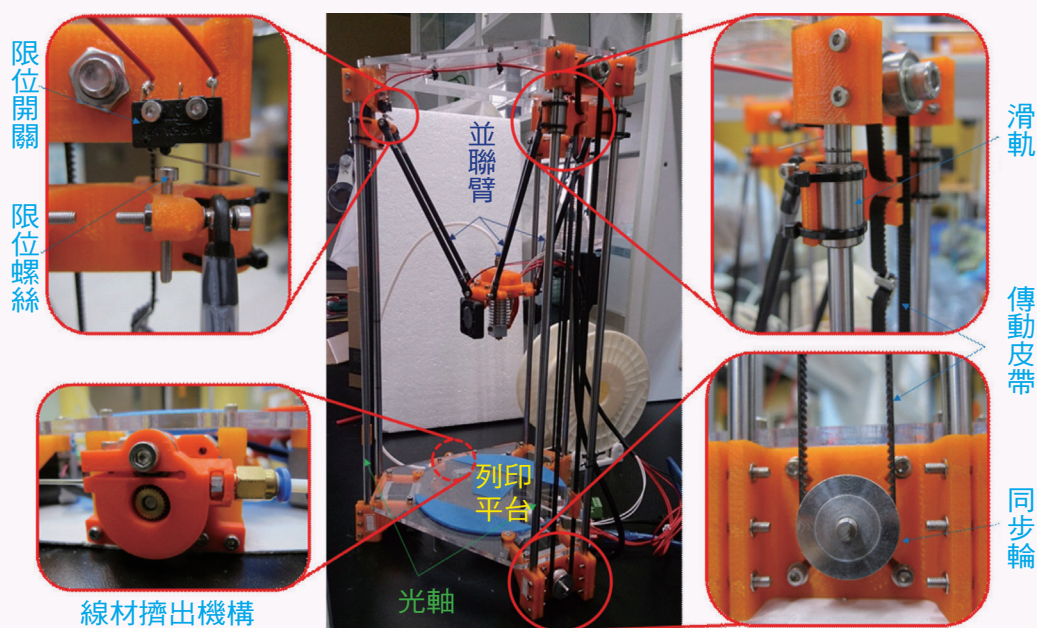
3D 列印的一體成形陶瓷引擎內加熱噴嘴陣列。下圖的剖面顯露複雜的內流道結構，是減法製程以及傳統的成形技術無法製造的。

專利保護，喜歡創造新的名詞，以在市場上建立差異。但若細究技術內容，大抵不脫上述這幾大項。

造成風潮的原因

3D 列印發展了三十多年，為什麼突然之間熱門起來，儼然成為各國爭相掌握的顯學？儘管這些年來在機台設備技術以及新材料開發上都持續有進展，但光靠這些進展似乎不足以引起全球風潮。

近年來風行的創客運動以及自造、共造社群的推動，對於 3D 列印技術的普及居功甚偉。創客精神追求思想創新，並且以自己動手做來實踐創造性的思維。在動手實作時，3D 列印這種由數位模型直接轉為



創客帶動了 3D 列印機台的普及。圖中是筆者實驗室的學生在網路上購得零件，自行組裝成的熱熔融沉積機器，價格比一台陽春電腦還便宜。

製造程序的技術，恰好給了創客無窮的發揮空間，這稱為數位製造。

或許更重要的是，隨著許多 3D 列印的專利過期，坊間開始出現物美價廉的仿製機台，原本專屬於國防工業與大型公司的 3D 列印技術進入了尋常百姓家。各家製造商摩拳擦掌，在機構上往往添加自己的修改創意，配合開源軟體提供的功能來建立數位模型、切層解構形狀、控制機台，人人都能很快地開始自造計畫。

另外一個不容忽視的推手，是學術界、產業界、工程界、創客社群、教育界、醫療

界等不斷開發 3D 列印的新應用，媒體也常爭相報導，大大提升了 3D 列印的知名度。

例如，美國航空暨太空總署考慮把 3D 列印機送上太空，協助太空人在零件毀損或工具遺失的情況下立即列印出替代品完成任務；土木營造商計畫以大型的 3D 列印機來建築房屋、橋梁；醫師以 3D 列印技術客製化骨骼、氣管、下巴、顱骨來救治傷患；藝術家使用 3D 列印自造藝術作品；廠商開發食品的 3D 列印機；科學家以 3D 列印打造醫療用微型機器人；創客社群自行設計義肢並提供需要者免費下載模型自造等。

過多的媒體報導，甚至對 3D 列印技術的能力一味吹捧，難免有炒作之嫌。事實上，3D 列印目前仍有許多技術上的挑戰。

層出不窮的創新應用不僅吸引更多人參與開發，也帶來了許多商機。

挑戰與契機

過多的媒體報導，甚至對 3D 列印技術的能力一味吹捧，難免有炒作之嫌。事實上，3D 列印目前仍有許多技術上的挑戰。

3D 列印的材料技術可能是目前最大的挑戰。3D 列印在發展初期，產業的主要應用局限在快速打樣設計的雛形，做為設計驗證與修改的參考。主要原因在於材料的選擇少，且大多是低強度的高分子塑料。做出來的原型只能提供產品的形貌外觀，無法展現最終產品的性能。

3D 列印若要在產業上發揮優勢，需要增加金屬、合金、陶瓷、複合材料的使用。目前對於高分子塑料之外的材料使用，以雷射燒結技術為主，主要原因在於金屬與陶瓷材料的熔點動輒攝氏數百度至上千度。除了材料的開發外，3D 列印製造也需要針對不同材料的性質調整製程，尤其金屬材料的氧化問題、層與層之間材料鍵結強度的問題，都需要在製程的優化上投入研究。

其次，3D 列印在製造上的精準度與速度都尚未完全符合產業的期待。產品的精準度、精緻度與列印時所需的時間是相關的，因此需要在製造時做取捨，找到合適的平衡點。未來的趨勢在於整合加法與減法製造的技術，使兩方的優勢都能發揮，可以在維持形狀自由度的前提下，大幅提升產品精準度及表面品質，同時減少加工時間。

再次，前面曾提到 3D 列印幾乎沒有做不出來的形狀，其實不完全正確。對於高

角度的側壁或完全懸空的構造，在製造上往往需要支撐結構來避免製造過程中材料的崩塌。坊間的軟體往往已在自動化切層的同時，提供建立支撐結構的選項。試想，如果 3D 列印的製造方向不是單一地由下往上，而是能夠依循物件的形狀自由選擇最佳的製造方向及積層策略，支撐結構的使用或許就能避免。還有許多在 3D 列印中可以善用自動調整參數來優化製程的改善方案，需要切層與前端控制機台的軟體在功能上能夠整合。

最後，3D 列印在工業上的應用關鍵在於是否能大量製造。若是以加法的製造原則，積層製造勢必需要長時間的製程。然而，若能利用 3D 列印在複雜成形上的優勢，結合傳統製造（如射出成形）快速量產的能力，以 3D 列印製造大量生產所用的模具，是一個充滿潛力的方向。

3D 列印歷經了三十多年的發展與演化，現在因工業大國亟思工業革命之際被視為未來製造方式的顯學。政府的推動、學術界的投入、產業界的投資、社會大眾的期待，3D 列印的技術應用似乎蓄勢待發。

這項技術神奇嗎？就由讀者來評斷了！

劉浩志

成功大學材料科學與工程學系
