

國立政治大學商學院經營管理碩士學程
文科資創組碩士論文

3D 列印產業的發展與未來—
探討台灣發展策略

指導教授：尚孝純博士

研究生：曾政德 撰
中華民國一〇五年七月

誌謝

在口試後，告一段落，EMBA 的學校生活也接近尾聲。回顧過去這兩年的學生生活，經過所有曾經教授過我的師長們諄諄教誨下，在專業知識的增長，改變了我的思考模式，因此在這誌謝中，我要先向每一位指導過我的教授，致上個人最大的感謝之意。

求學當中，最想感謝的是我的指導教授：尚孝純老師。尚老師主要研究創新議題，個人過去的工作經驗，是製造為主，對新創模式的發想與解構，可說是甚為薄弱，老師的啟蒙，重塑了我的思考邏輯，讓我受益良多，更讓我學習到研究背後所隱含的嚴謹處事態度，因此我想再一次的表達最誠摯的感謝。

在政大兩年的時間裡，從許多大師級教授身上，學習到許多寶貴知識及理論，拓展了我的視野，也結交了許多各行各業的菁英好友，在知識上的切磋，獲益良多。

在準備論文撰寫期間，指導教授尚孝純老師，不斷的教導組織架構及論述重點，讓我的論文內容能更清楚表達論述。同時，同學間的共勉與鼓勵，也是推動我向前的動力，包括毛穎倫及曹莉玲同學。尤其是毛穎倫同學的適時建議，讓我在撰寫時，能注意小細節，不會失去焦點。

更感謝在口試中，口試委員李延平教授、陳明德教授和尚孝純教授以豐富的學識涵養，悉心指導，使本論文能更臻充實完備。

最後感謝內人的關懷與體諒，使我安心學習，願將完成此論文的喜悅與所有關心和協助我的師長及伙伴們分享。

學生 曾政德 謹識

國立政治大學 高階管理碩士學位班(EMBA)

中華民國一〇五年七月

摘要

從個人電腦時代，到網際網路出現，接著是部落格，乃至社群媒體當道。而目前與未來最明顯的浪潮，則是數位革命已延燒到了製造業。伴隨著數位和網路的發展，3D 列印潮流來襲，行政院長江宜樺曾拍板 2018 年讓 3D 列印產業鏈國產化，科技部也表示台灣將專攻生醫、汽車等利基市場而不亂槍打鳥。

科技部表示，我國將在設備、零組件、材料及應用服務全力進攻，科技部將投入十億元，預計 107 年掌握全球 30% 的 3D 列印機產能，培養百萬名應用與文創人才大軍。3D 列印將朝高值化發展，最具發展指標領域包括飛機的航太、牙齒矯正的醫材及文創等三大發展領域，可望帶動友嘉、台化、上銀、研能科技、金寶集團、揚明光學等上中下游產業鏈快速發展，投入業者已百家爭鳴。

在現今社會的重視多樣少量、強調客製化的時代裡，3D 列印更能靈活彈性生產。逐層堆疊的製造方式，也逐漸被用於一些產品的直接製造。這種依數位設計列印之製造方式，儼然已衝擊到傳統工業產品的生產與設計方式。

本研究目的在探討全球 3D 列印狀況，並研究台灣發展 3D 列印可能的機會做一論述。在研究方法上除以文獻探討及專家訪談外，輔以 SWOT 進行分析，交叉映證。期望能在國外發展 3D 的軌跡中，找出台灣產業升級可能的方向。

目錄

誌謝.....	I
摘要.....	II
目錄.....	III
表目錄.....	IV
圖目錄.....	V
第一章 緒論	1
第一節 研究動機.....	1
第二節 研究背景.....	2
第三節 研究問題與研究目的.....	5
第四節 論文架構.....	6
第二章 相關文獻及資料分析	8
第一節 3D 列印技術的演進與原理.....	9
第二節 3D 列印發展現況及應用.....	15
第三節 3D 列印發展趨勢及產業優勢.....	30
第四節 3D 列印的商業模式與產業影響.....	35
第三章 研究方法	41
第一節 研究方法之選取.....	41
第二節 專家訪談法.....	42
第三節 SWOT 分析法.....	43
第四章 研究結果與討論	45
第一節 專家訪談結果.....	45
第二節 SWOT 分析.....	54
第五章 結論與建議	57
第一節 台灣發展 3D 列印的策略與建議.....	57
第二節 後續研究與建議.....	59
參考文獻	60

表目錄

表 2-1：3D 列印的列印技術和使用材料.....	11
表 2-2：目前 3D 列印的材料和使用狀況.....	29



圖目錄

圖 2-1：3D 列印示意圖	11
圖 2-2：解析 3D 房子模型的 STL	14
圖 2-3：3D 列印車和空中巴士的 3D 列印	17
圖 2-4：3D 生物列印成品	18
圖 2-5：3D 牙齒列印成品及列印機	18
圖 2-6：3D 列印出的建築與齒輪模形	19
圖 2-7：3D 文創與飾品列印	19



第一章 緒論

第一節 研究動機

自從 2011 年 2 月，英國『經濟學人』(The Economist) 雜誌，發表題為「3D 列印如何改變世界」(Print me a Stradivarius, How a new manufacturing technology will change the world) 的封面文章，描述 3D 列印技術，未來將使任何產品製造，幾乎和大規模生產的產品一樣便宜，其影響力可與當年工業革命的出現相提並論。該雜誌於 2012 年 4 月又刊登封面文章「第三次工業革命」(The third industrial revolution)，再次強調了 3D 列印技術的重要性。同一時期紐約時報 (New York Times)、「連線」(Wired) 等諸多西方主流媒體，都開始鼓吹 3D 列印技術的影響。

Wired 雜誌主編的克里斯·安德森 (Chris Anderson) 發表的新書「自造者—新工業革命」(Maker: The New Industrial Revolution)¹，書中對這種製造模式大力宣傳，看好 3D 列印的影響，可能對未來製造方式進行顛覆生產方式的重大變革。美國總統歐巴馬在 2013 年 3 月於國情咨文中提出：將投資 10 億美元，建立 15 家製造業創新研究所 (manufacturing innovation institute)，以帶動製造業增長，要「確保製造業留在美國」。美國希望能重新提振其製造業之地位，以提昇其經濟產值與競爭能力。

創新元素是存在於原子 (Atoms)²或是創新存在於位元 (Bits) 的世界中，比較兩者的異同。

- 原子：波音 747 於 1969 年首飛，它是承載人們跨越大洋的主要噴氣機。汽車仍然旅行 70 英里每小時在我們的高速公路。現在的進步是使用更少的燃料，更安全，但改善的速度沒有像它是 100 年前。

¹ Chris Anderson, Maker: The New Industrial Revolution Publisher: Crown Business; First edition (October 2, 2012), ISBN-10: 9780307720955

² Atoms Versus Bits: Where To Find

Innovationhttp://www.forbes.com/sites/richkarlgaard/2013/01/23/atoms-versus-bits-where-to-find-innovation/#6bf80986767b

• 位元：手機是一塊磚頭大小 30 年前。現在輕得多，但仍主要是手機。但是，它可以上網購物、閱讀、聽音樂、看電視、玩 Game 等活動，將所有音樂及影像均數位化。

也因此創新最肥沃的地區是位元，也就是數位化。

經濟部 2020 年產業發展策略³曾明白表示，台灣產業發展的結構問題面對東亞區域整合之競爭條件、產業附加價值創造能力低等關注議題，需要透過產業升級、新興產業加速推動等因應措施，以優化產業結構，達成佈局全球等願景。在我國工業生產中，模具產業、工具機、金屬製造、汽機車零件、塑膠產業等，均為我國重要的外銷項目。台灣在全球高科技產業分工體系中，從事製造代工角色，建置龐大的設備支出，但附加價值卻最低。反觀美國過去 10 年來，FB、Google、Netflix、Uber 等新創公司，均將所有活動數位化，引領了創新活動，在價值鏈上，享受最高的果實。我國產業急需提升產值，建立價值，以製造業而言，台灣對 3D 相關產業之技術、設備、與材料之研究發展，著力不深，是否能由新政府在布局台灣產業規劃中，迅速的應變與因應，並確立未來發展的方向，以順應此波工業革命之浪潮。

第二節 研究背景

工業革命，使人類的生活形式發生了深刻的轉變，工業化的重要過程，主導了社會文明的地位。第一次工業革命：1769 年，英國人瓦特改良蒸汽機之後，生產所需動力依靠人力和畜力，伴隨蒸汽機的發明和改進，其中生產方式與技術，透過動力機器的協助，製造工廠的動力由機器取代，機器的發明及運用成為了這個時代的標誌，因此歷史學家稱這個時代為「機器時代」(the Age of Machines)。

³ http://www.moea.gov.tw/AD/Ad01/content/ContentDetail.aspx?menu_id=3571

第二次工業革命：也稱第二次科技革命，是指 1870 年至 1914 年的工業革命。其中西歐（包括英國、德國、法國、荷蘭和丹麥）和美國以及 1870 年後的日本，工業得到飛速發展。「第二次工業革命」：整個世界由「蒸汽時代」進入「電氣時代」。由於發電機、電動機相繼發明，及內燃機的出現，創造了為汽車和飛機工業的發展可能性。

「第三次工業革命」的概念，始於 2012 年享譽全球的未來學大師、知名的經濟學家及社會評論家傑瑞米·里夫金（Jeremy Rifkin 目前為歐盟執委會與歐洲議會的顧問），發表一本著作：「第三次工業革命」⁴，書中所稱：世界經濟即將被顛覆，新能源與商務、政治、教育的全面革命。他自稱從上世紀九十年代開始關注和研究這一課題，他認為：再生能源和網際網路技術結合起來，一般人可以在自己的家中、辦公室裡地生產出綠色能源，並在「能源網路」上共用，就像現在在網際網路上發佈和分享訊息一樣。同時，3D 列印（3D Printing）技術的發展，人們只要在電腦上設計，就可用 3D 印表機印製出物件；新的能源搭配上新的製造模式，分散式生產（distributed manufacturing）將盛行，大幅改變人們生活方式、做生意的模式及教育的方式。

與第二次工業革命的大規模生產方式相比，第三次工業革命的生產方式主要是超越大規模定製的個性化製造範式。標準化的形成促進了大規模生產的發展和效率的提升。通過標準化活動，零件、產品的規格、種類及式樣大大減少，如此可以獲得大規模生產的規模經濟性，還可以促進零件之間的通用化和互換性，使其獲得在相關產品生產上的範圍經濟性。隨著生產相對過剩，人們的差異化、個性化需求逐漸增強，效率的提升逐漸轉變為能夠高效率且低成本地滿足人們不斷變化和同時出現的個性化需求。隨著物聯網、智能機器人、3D 印製技術等的逐漸出現，大量人力需求的減

⁴作者：傑瑞米·里夫金，第三次工業革命：世界經濟即將被顛覆，新能源與商務、政治、教育的全面革命，出版社：經濟新潮社，出版日期：2013/05/02

少，讓工廠逐漸走出大批量製造，走向依市場需求製造的時代。建立在數位製造基礎的加法製造技術(Additive Manufacturing)已開始用於產品的個性化生產，即 3D 列印技術。

過去傳統製造模式是“減法製造(Subtracted Manufacturing)”，一般是在原材料基礎上，使用切割、磨削、腐蝕、熔融等辦法，去除多餘部分，得到零件，再以組裝、焊接等方法組合成最終產品。在生產過程中，產生了大量的原材料浪費。相對的，3D 列印技術直接根據電腦圖形檔案把產品逐層逐步的“列印”出來，用堆疊的方式，形成產品，縮短研發周期，提高效率、降低成本。智能化製造則幫助人們從簡單的腦力勞動中解放出來，去從事更具創新的腦力活動。

「工業 4.0」一詞，泛指第四次工業革命，由德國人提出的。德國人認為，工業 4.0 則將資訊技術與工業技術在製造領域更高度融合，造成資源、資訊、物品和人相互關聯的「虛擬網路—實體物理系統」(Cyber-Physical System，簡稱 CPS)。同時，美國通用電氣(奇異;General Electric Company，簡稱 GE)公司提出「工業網際網路」與此類似，即將智慧設備、人和數據連接起來，並以智慧的方式利用這些交換的數據。通用藉此與 AT&T、Cisco、IBM 和 Intel 在波士頓成立工業網際網路聯盟(International Institute of Communications，簡稱 IIC)，以打破技術壁壘，促使物理世界進行數位化的融合。

日本長期耕耘機器人技術，讓機器人、無人搬運機、無人工廠等技術廣泛運用到了工業生產中。2014 年日本經濟產業省 (Ministry of Economy, Trade and Industry，簡稱 METI) 更實施名為「以 3D 造型技術為核心的產品製造革命」的大規模研究開發計畫。日本政府透過該計畫主導機器人工業和 3D 列印，進行高端「虛實結合」。簡單的說，工業 4.0 可說是「使工業資訊化」，讓工業插上資訊化的翅膀。

目前台灣真正投入 3D 列印產業的廠商不多，主要以列印機為主，具代

表性的廠商如成立於 2013 年的三緯國際立體列印 (XYZprinting)，目標是開發出「每個人都能輕鬆享有的 3D 列印機」。XYZprinting 在今年初推出採用立體光固化技術的 3D 列印機——Nobel 1.0，獲得 2015 年 CES 國際消費電子大展的編輯首選大獎 (Review.com EDITOR'S CHOICE AWARDS)。相較一般 FDM 技術的 3D 列印機，Nobel 1.0 列印精細度可達 4 倍之多，高精密度的列印質感是其特色，更適合用於製作珠寶飾品等精緻的創作，因為 3D 列印精緻度的提升，可輕易完成傳統工藝無法實現的設計概念，目前國內已有珠寶設計師開始利用 3D 列印進行打樣，未來 3D 列印在工藝設計上的應用會越來越常見。

根據工研院資料，近幾年工研院已經運用金屬 3D 列印技術協助國內廠商開發 LED 燈具、光學鏡片與汽車零件模具，在醫材方面則協助廠商設計製作手術器械、手術導板，並與院內生醫所、國內教學醫院合作具仿生結構之 3D 列印骨釘，正進行動物試驗中。但與國外其它 3D 列印產業相比，台灣在 3D 列印這方面發展其實有一個很大的問題，就是一直困在「小規模」的產量而無法邁向產業化。目前產業界大多數是購買小型桌上型 3D 列印機因應客製化要求小量生產。

雖然工研院除了硬體之外，也同步開發鈦合金、鋁合金、模具鋼粉末，預計將來關鍵技術技轉廠商後，產業可從關鍵材料、設備技術到生產試製服務，打造價格千萬元有找的一條龍生產平台，協助國內廠商切入金屬 3D 列印商機，如果要大量生產就必需要再謹慎規劃整條生產線路。

第三節 研究問題與研究目的

3D 列印是否會成為一個產業。有人認為 3D 列印會漸漸取代傳統大量生產，也有人認為是不可能的，不管是何種論點，需要知道的是，產品不一定全部要大量製造，市場需求的多樣化的。3D 列印存在的價值，在滿足

市場的少量多樣性需求。

而隨著數位化製造、3D 列印、物聯網、雲計算等技術的逐漸成熟，部分大規模訂製的生產方式有轉變為個性化製造的趨勢。生產系統可以進一步解決產品多樣性、產能、生產成本和生產週期等目標之間的衝突，因而能夠適應消費者在快速變動的環境中，滿足變化多端需求。消費者不再被動接受企業給的產品清單中選擇產品，而是相對的主動參與產品的設計過程，並直接成為產品生產者。

過去十幾年來，全球歐美成熟國家製造的重鎮都往新興國家移動，中國最具代表性，主要是製造的人工成本低廉。美國為了讓“美國製造”發揮效益，使用較少人力，有更多的產出，3D 列印便扮演一定的角色，讓製造尋找便宜人力的因子消除。目前 3D 列印的零件及物件必須經過後置的處理，如拋光、切割等程序才能完成。但隨著技術的精進及智能機器人的進步，一切都將翻轉傳統製造的流程。

3D 列印帶來的改變不僅是列印機的製造與被列印物的產出，它的影響是產業鏈的衝擊和洗牌，包括設計、生產、銷售、服務等，甚至是我們的生態與生活習性的改變。本研究、先從探討 3D 列印緣起，世界各國現有技術的應用發展，比較傳統產品製造、生產方式、與供應鏈之影響。再從台灣現有產業中，尋求台灣產業鏈中，在 3D 浪潮中，利用台灣暨有相關技術的基礎，尋找出可能的機會，發展出自我價值的提升。

第四節 論文架構

本報告第一章：闡述工具、材料與生產方式的變革，所引發工業革命的背景，並說明研究 3D 列印此一論題的動機與目的，及對我國未來產業發展的重要及必要性，對於此一問題之研究過程和方法，作一說明。

第二章：探討 3D 列印技術的歷史軌跡、技術發展、比較國外 3D 列印

發展趨勢。

第三章：研究方法採用訪談方式，訪問台灣業界的看法與建議，佐以 SWOT 分析。

第四章：採用的方法執行後的發現探討。

第五章：回到台灣，社會的變遷，包括社群網路的盛行，無線通訊的普及，面對 3D 列印產業革命，在 SoLoMo 的概念下，如何進行催化 3D 列印未來的可能性，冀望這些建議，提醒國內產業盡早布局，永續發展。



第二章 相關文獻及資料分析

「3D 列印」會在最近這幾年迅速崛起，其中一個因素與主要專利到期有著相當密切的關係。而另一個直接有關的重大因素則是英國巴斯大學教師 Adrian Bowyer (數學家與工程師) 在 2004 年所發起的 RepRap⁵ 開源專案計畫 — 這項開源專案首先運用「熔融沉積成型」技術設計了多款主要以塑料成型的「桌上型 3D 列印機」並將所有無論是軟體、硬體、韌體等等有關技術，全部都在網路上，以自由開源軟體授權方式於網站上公開發佈。

RepRap 開源專案以開放社群方式在網站上供成員集體共同創新研發。事實上，無論是個人，還是不論規模大小的任何企業或團體，只要能依循專案網站所發佈的相關技術文件 (包括硬體結構件設計圖稿、電子元件線路圖、韌體與軟體原始程式碼) 均得以複製出一種以上的「桌上型 3D 列印機」。甚至還能更進一步的改良其原始設計，更符合理想中所需求的實用功能機種。

個人消費者早晚也終將一個個搖身一變成為「自造者」。如此「消費者」也可以是「製造生產者」，也許就合稱為「產消者」。於是「製造業」將不再由少數規模經濟壟斷；由此便不難想見接下來的「自造者運動」很可能會以一種壓倒性攻勢，擄獲佔據越來越多人自小喜愛自創、自造的真誠。

與其說是「革命」，這其實是一場「運動」，一場人人都能有機會自主地自創、自造可符合個人客製化需求商品的「自造者運動」。3D 列印技術是否能在現今的產品之生產與供應中，改變甚麼？本章將詳述 3D 列印發展的歷史、原理、列印技術、材料、優勢與限制，並加以探討預測。

⁵ <http://www.opentech.tw/pages/documents/?/intro/C3-3.html>

第一節 3D 列印技術的演進與原理

目前一般認為 3D 列印技術之起源，可追溯到 1976 年所發明的噴墨印表機⁶或是 1980 年代的快速成型技術(Rapid prototyping, RP)之研究開始。這項 RP 技術到 1980 年代末才逐漸出現了成熟的製造裝置⁷。美國 3M 公司的 Alan J. Herbert (1982 年)、日本名古屋市工業研究所的小玉秀男 (1980 年)、美國 UVP 公司的 Charles W. Hull (1984 年)、日本大阪工業技術研究所的丸谷洋二 (1984 年)，各自獨立地提出了快速成型的技術設想，雖然在列印材料和列印方式有所差異，但都是以多層的疊加方式，加以固化程序，來產生列印實體。

其中，Charles W. Hull 在光固化(SLA)獲得專利的技術後，他創立了 3D system，並開發了第一個商用 3D 印表機，標榜著快速成型技術即將開始進入實用階段⁸，在設計領域及汽車工業上有廣泛應用。而後 RP 轉變為快速製造 (rapid manufacturing, RM) 技術。這種 RM 的技術，著眼於直接成型的快速製造，漸成為產品化趨勢，其中熱溶解積壓成形(Fused Deposition Modeling, FDM)技術由 S. Scott Crump 開發成功，並在 1990 年代商業化⁹，SLS¹⁰亦被在美國德州大學奧斯汀分校的 Deckard 博士開發出來並獲得專利。1987 年，Chuck Hull 發明的 Stereolithography(SLA, SL; 立體光刻技術¹¹) 被授予了專利¹²。這種以累積材料方式的快速成型方法，於 2009 年由美國

⁶ 噴墨印表機之噴墨原理，可以分為熱泡式 (Thermal Bubble) 及壓電式 (Piezoelectric) 噴墨兩種技術，然而均是堆疊式的應用

⁷ Chee Kai Chua, etc, Rapid Prototyping: Principles and Applications, John Wiley and Sons, Inc., , ISBN: 0471190047 (1998)

⁸ http://en.wikipedia.org/wiki/Chuck_Hull

⁹ <http://rpworld.net/cms/index.php/additive-manufacturing/rp-rapid-prototyping/fdm-fused-deposition-modeling-.html>

¹⁰ 選擇性雷射燒結(簡稱 SLS)技術最初是由美國德克薩斯大學奧斯汀分校的 Carl Deckard 於 1989 年在其碩士論文中提出的。後美國 DTM 公司於 1992 年推出了該技術的商業化生產設備 Sinter Station.

¹¹ Stereolithography (也被稱為光學製造，光凝固，固體自由形式製造和固體成像術，亦為添加劑製造技術)，用於生產模型，原型，圖案，生產零部件。

¹² U.S. Patent 4,575,330 ("Apparatus for Production of Three-Dimensional Objects by

材料協會 (ASTM)¹³，正式訂名為積層式製造 (或稱為加法式製造；Additive manufacturing；簡稱 AM)。1995 年在麻省理工學院畢業生 Jim Brecht 和 Tim Anderson¹⁴修改了噴墨印表機的噴頭設計，以擠壓方式控制溶劑黏著粉末床中的粉末，以取代墨水擠壓在紙張上的方法，因而創造了「3D 列印」名詞。目前一般所謂 3D 列印，已不拘限於是否印出成品，只要是加法製造 (不限使用任何 AM) 方式，均統稱為 3D 列印。

目前 3D 列印機，是以軟體設計圖或是三維掃描儀產生的三維數位圖形資料，依據這些數位圖面 (將 3D 立體圖形切成二維的平面圖) 資訊，以印刷方式一層一層的黏著材料，來完成立體物件。其黏著的方法與技術，依材料不同而有所差異。有關技術與材料之分類，如表 2.1 所示。

累積 (列印) 技術	基本材料
選擇性雷射燒結 (selective laser sintering, SLS)	熱塑性塑料、金屬粉末、陶瓷粉末
直接金屬雷射燒結 (Direct metal laser sintering, DMLS)	幾乎任何合金
熔融沉積成型 (fused deposition modeling, FDM)	熱塑性塑料, 共晶系統 金屬、可食用材料
立體平版印刷 (stereolithography, SLA)	光硬化樹脂 (photopolymer)
數位光處理 (DLP)	液態樹脂
熔絲製造 (Fused Filament Fabrication, FFF)	聚乳酸 (PLA)、ABS 樹脂
融化壓模 (Melted and Extrusion Modeling, MEM)	金屬線、塑料線
分層實體製造 (laminated object manufacturing, LOM)	紙、金屬膜、塑料薄膜
電子束熔化成型 (Electron beam melting, EBM)	鈦合金
選擇性熱燒結 (Selective heat sintering, SHS)	Thermoplastic powder

Stereolithography”)

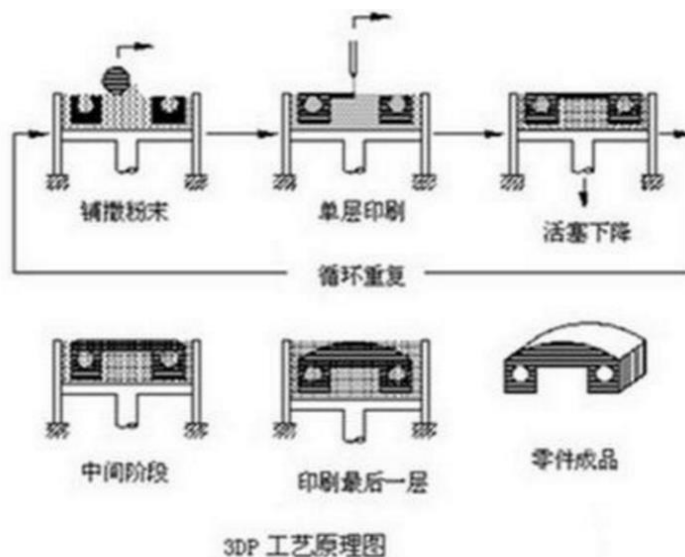
¹³ American Society for Testing and Materials (ASTM)

¹⁴ Brecht 和 Anderson 隨後創立了 3D 列印 Z 公司和 ExOne 公司，Z 公司在 1995 年，從麻省理工學院獲得獨家授權使用該技術，並開始發展基於 3DP technology 的 3D 列印機。

粉末層噴頭 3D 列印 (Powder bed and inkjet head 3d printing, PP)	金屬氧化粉末
--	--------

表 2-1：3D 列印的列印技術和使用材料

其列印原理，如圖 2-1 所示。



圖片來源：<http://www.mongcz.com/archives/1049>

圖 2-1：3D 列印示意圖

技術原理可分為下述幾個步驟：

(一) 3D 設計與數位資訊產生

基本上，3D 列印是先透過電腦輔助設計建模軟體建模，將 3D 模型「分割」成一層一層的截面，再下指令給印表機逐層列印。設計軟體和印表機之間溝通的介面標準檔案格式是 STL¹⁵ 檔案格式，再加上控制碼 G-code¹⁶ 協同控制指令完成。PLY 是一種透過掃描產生的 3D 檔案，其生成的 VRML 或者 WRL 檔案經常被用作全彩列印的輸入檔案。

(二) 列印過程與成型

¹⁵ STL (Standard Tessellation Language; 標準嵌鑲語言) 的略稱。STL 原本是 3D Systems 公司為了 CAD 而開發的檔案格式，由於支援許多軟體，被廣泛應用在快速成型技術與電腦輔助製造上。STL 只記錄物體的 3D 形狀，不記錄色彩、質地、以及一般的 CAD 模型屬性。

¹⁶ <http://reprap.org/wiki/G-code>

列印機透過讀取檔案中的橫截面訊息，將液體狀、粉狀或片狀的材料於這些截面逐層地列印出來，後將各層截面粘合起來從而製造出一個實體。列印機打出的截面的厚度（即 Z 方向）以及平面方向即 X-Y 方向的解析度是以 dpi¹⁷（像素每英寸）或者微米來計算的。一般而言，傳統方法製造出一個模型，通常需要數天的時間，根據模型的尺寸以及複雜程度而定。但以 3D 列印的技術，可以將時間縮短為數個小時，當然其是由印表機的效能以及模型的尺寸和複雜程度而定的。

（三）產品完成與加工

目前 3D 列印機的解析度，對大多數應用來說已經足夠，要獲得更高解析度的平滑物品可以透過如下方法：先用 3D 列印機印出稍大一點的物體，再稍微經過表面磨光，則可得到表面光滑的物品。因為目前的物體，有些技術在列印的過程中，需要運用到支撐物，例如在列印出一些有倒掛狀的物體時，就用到一些易於除去的東西作為支撐物，這時就需有軟體去計算與構思，產出物的支撐點為何，才不會漏失列印物。

3D 列印不只是硬體與材料的結合，軟體與韌體¹⁸扮演了判斷及指揮的極重要的角色。軟體工具控制了一連串的二維活動；由電腦輔助設計圖¹⁹(CAD)→切片(Slice)→控制主機(Host)→韌體指令(Firmware)。3D 印列的軟體工具鏈開始用 CAD 創建 3D 模型。其相關程序說明如下：

電腦輔助設計 (CAD)：

大多數商業和開放原始碼(open source)的電腦輔助設計軟體(CAD)，均可用於創建 3D 模型。三維的 CAD 設計圖，直接影響到 3D 列印品

¹⁷ 用於點陣數位影像，意思是指每一英寸長度中，取樣或可顯示或輸出點的數目。印表機所設定之解析度的 DPI 值越高，印出的圖像會越精細
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%AF%8F%E8%8B%B1%E5%AF%B8%E7%82%B9%E6%95%B0>

¹⁸ 韌體 (firmware)，是一種嵌入在硬體裝置中的可直接執行的軟體程式

¹⁹ 電腦輔助設計 (Computer Aided Design, CAD) 是指運用電腦軟體製作並模擬實物設計，展現新開發商品的外型、結構、色彩、質感等特色的過程。

質，輸入的圖檔需要精確的參數才能提高成品精度，這也是為什麼需要更專業的三維 CAD 軟件設計出前端圖檔。相較於二維平面軟件，三維 CAD 技術的可視性更強，在設計階段即能發現問題，3D 列印也基於此架構上，減少產品出錯率，提昇設計效能。三維 CAD 設計軟體先進行產品建模，形成具有參數的三維 CAD 模型，再轉換為 STL 格式，輸入到 3D 列印機進行列印。對於 CAD 設計圖的重要要求是，軟體需有能力作為一個三維 STL 文件儲存或產出設計。由於開放軟體利於推廣使用，一些非商用的開放跨平台軟體包括：OpenSCAD、Autodesk 123D、Sketchup、Blender，目前已盛行於業餘的 3D 列印的玩家中。

切片 (Slice)：

切片工作是 3D 模型到 3D 物件的重要過程，在 3D 列印的軟體組件中，「切片」是將 CAD 設計的圖形，轉化為加工軟體 (CAM)²⁰ 重要過程。它的工作是將 3D 模型轉化為 STL 檔案，列印機的控制器被解釋成 G 代碼。切片的三維模型轉換成二維層，每層被擠出疊層的高度，移動的方向、溫度控制等。然後，根據擠出直徑，計算每一層的刀具路徑、填充圖案和其他因素，擠出機構的動作定位了 XY 噴嘴的動作。圖 2-2 顯示的是一個房子的 STL 文件的示意模型。

²⁰ CAM 是指應用電腦於製造有關之各項機具與製造規劃，將設計過程的資訊轉換為製造過程的軟體

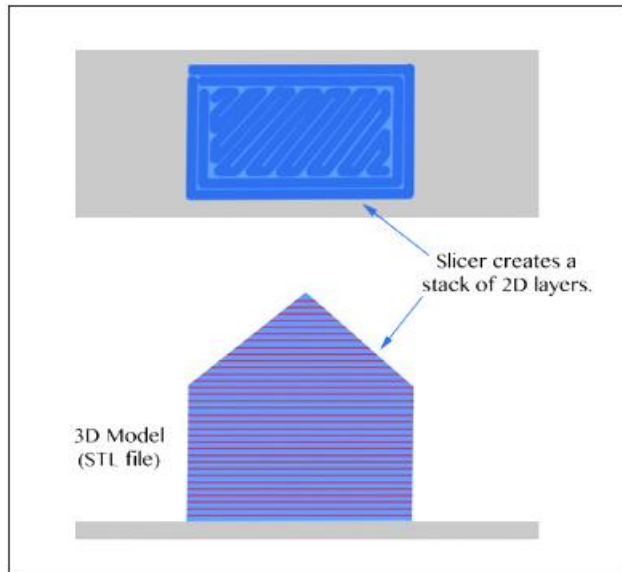


圖 2-2：解析 3D 房子模型的 STL

每一層的 Z 高度是被切成固定多層式的層疊路徑，當一個層完成時，將被提升到下一層，重複該過程，堆疊一個新的層級，3D 物體將以二維方式，一層一層堆疊。在這種方式中，切片可以插入控制代碼，來設置熱源、加熱平台之溫度、助熔設備（如雷射、電子束等），或開啟和關閉降溫系統。切片實際上是一個複雜的過程，控制的參數很多，列印噴嘴的直徑、塑料材料熔融溫度，噴嘴移動速度，和材料擠壓速度等。

控制主機 (Host)：

常見的三維列印機控制器是 Arduino。這類控制器是以 Arduino IDE 開發的硬體，韌體的作用是負責翻譯切片機實際上是電子信號 G 代碼文件，移動的 X，Y 和 Z 軸，擠出機，熱端的開啟和關閉，並搭建平台加熱器，或打開和關閉風扇相關降溫設備。

韌體 (Firmware)：

在 3D 列印中，已有一些公認的韌體²¹，除了解析 G 代碼外，韌體還嵌

²¹ 如：Sprinter；Marlin；Repetier；Sailfish 等

入了所有的列印機特定的校準細節。不同的 Arduino 韌體實際編譯，配置到韌體代碼本身的。例如，運動控制校準確定，然後在韌體中設置翻譯所需的移動距離，該距離移動至所需的步進電機的脈衝數。透過數據交換格式的訂定將大幅增加技術在市場的流通性。

當 3D 產業百花齊放時，產業必須有所規範，才能讓資料與訊息交換。新的 ASTM(American Society for Testing and Materials)國際標準，對 3D 列印機和 AM 製造設備，將允許納入 CAD 設計程序、掃描器和 3D 圖形編輯器等。該標準將符合一個標準的交換文件格式的功能，如顏色，質地，材料，結構及其他編造的目標對象的屬性，將更有效的促進 3D 產業界內的交流與成長需求。新開發的標準 F2915(由 Additive Manufacturing File Format；AMF 小組委員會制定)，F42.04 設計標準，亦由 ASTM 國際委員會製訂完成(為 F42 標準之一)。有關從單一材料、同質形狀的到全彩功能生產方式；異質材料和微觀的幾何形狀的標準的交換文件格式，並以 XML 為基礎的 F2915 標準²²，提供工程師，建築師，藝術家和對參與 3D 列印有興趣的大眾，建立了無縫轉換的標準。F2915 的標準適用於從設計到實體印刷對象，讓特定的軟體或 3D 印表機硬體能獨立運轉，大大提升其靈活度與交換性。不論使用者使用的作業系統和列印機為何，均允許使用者進行查看和列印物件。這是 3D 設計者、軟體供應商和 3D 列印機製造商最大的希望。對參與 3D 產業、軟硬體技術的設計者、甚至消費者及愛好者，都將受益於使用新的標準。有了這樣的標準制定，對 3D 列印產業發展，將有極大的助益。

第二節 3D 列印發展現況及應用

3D 列印的幾項重要的積層式列印的專利，很多已過屆滿保護，致使各

²² http://en.wikipedia.org/wiki/Additive_Manufacturing_File_Format

國無不積極準備進入此一新的領域，3D 列印已呈雨後春筍般的茁壯。

3D 列印是從基於模型，設計為具有三維計算機輔助設計(CAD)軟體，透過印表機，將耐用塑料和金屬製成的材料層熔合成為物件。材料包括液體，粉末和線材。有了這項技術，只要有模型，和 3D 印表機，就可以創造任何東西的設計或打印三維模型。在考慮生產非以千萬計的標準產品時，特別是考慮成本效益下，對於特殊需求、設備複雜、小量多樣化或一次性的需求，如：更換零件等。3D 列印目前已應用在各種領域中，包括，航太、汽車、建築、醫療和消費產品。該技術最終可能影響著我們每一個人的食、衣、住、行各項生活所需方面。這些應用，可概分為下列所述，分別如下：

(一) 以產業發展分類

(1) 工業應用：

- ＞模具產業：以積層製作方式，完成特殊結構模具，加速製造。
- ＞汽機車零件產業：大部分汽車零組件，包含引擎、車身等
- ＞塑膠產業：模型、雛型及玩具等。

不同的 3D 工業生產技術，不同之處在於使用的材料不同，並以不同的列印方式，逐層建構元件或是成品。例如：選擇性雷射燒結 (selective laser sintering, SLS) 和混合沉積建模 (fused deposition modeling, FDM)。工業上最終的目標是期待直接列印金屬的 3D 列印為方向。一般而言，要在產業上應用的考量，以成本和生產速度為主要。因此成本和生產速度因素將大大影響 3D 列印的普及與影響。有許多人會好奇 3D 列印產品的硬度及耐久性，日前 3D 列印的汽車:Local Motors²³，已實際在道路上奔馳的汽車(如圖 2-3)，到 2015 年 9 月份，該模型已經完成。敞篷車沒有設計以適應市場的所有需求。但它是一個起點。此外，該公司認為，3D 打印可以把汽車行業發揮得淋漓盡致。在發生事故或車禍的情況下，受損的部分可以打印和快速更換，目前，汽車零部件的大約 75% 都是 3D 打印，

²³ <http://www.forbes.com/sites/eshachhabra/2015/12/30/the-3d-printed-car-that-could-transform-the-auto-industry-on-sale-in-2016/#4c47adab502c>

他們希望做出 90% 以上。所使用的材料是 80% 的 ABS 塑料和 20% 的碳纖維。車身由 50 個獨立零件所組成，遠低於傳統的車輛（其與約 30000 個部件）。同樣的，空中巴士也用來製造飛機架構。



圖 2-3：3D 列印車和空中巴士的 3D 列印

(2) 服務展示：模型展示、人機介面、建築空間展示、工程模擬等。結合數位圖形的設計，強化了以現實和虛擬結合的實現能力與技術，將視覺與 3D 列印實物模型結合，讓客戶實際參與直覺化的體驗。現行的虛擬實境(VR) 是透過視覺來感受實境，唯有透過實物模型，工程師與設計師能有更深的觸覺與使用者討論，更能提高設計能力，優化技術與流程。

(3) 生醫產業

客製化醫材：牙齒、骨骼、人工關節、義肢等

生物服務：細胞培養、器官列印、修補受損的耳、鼻及膝蓋之軟骨組織等 3D 列印器官要正常運作，有其限制與困難。利用患者的細胞做成「生物墨水」，印表機還得用「水凝膠」(hydrogel) 等材質，做出器官的結構，讓細胞附著在周圍生長。內臟構造複雜精細，是一有機體，非一般物件。血管功能需要正常運作。

不久的未來，未來或許將可徹底解決目前醫療中器官難尋的局面，改進目前的醫療服務方式，並減少感染與不適症的發生，亦可讓人工義肢、骨骼與牙齒（如圖 2-4 及 2-5 所示）更符合個人化所需，節省醫療成本的支出。



圖 2-4：3D 生物列印成品



圖 2-5：3D 牙齒列印成品及列印機

(4) 教育應用領域

- 3D 列印為教師提供了 3 維視覺輔助工具，他們可以在協助說明概念很難理解的地方
- 相較於圖形表示，3D 印表很容易讓老師抓住對象學生的興趣。
- 提高動手學習精神。使用這種成型技術，學生將能夠產生逼真的三維微型模型。特別是工程，建築和多媒體藝術的學生。
- 它提供了交互式課堂活動空間。在生物學中，教師可以創建人類心臟的三維模型、頭部、骨骼等關於人體的學生。學生可以從製作過程中得到啟發，提高對於抽象的理論的學習。²⁴(如圖 2-6)

²⁴ <http://m.gn3d.com/3d2101521360.html>

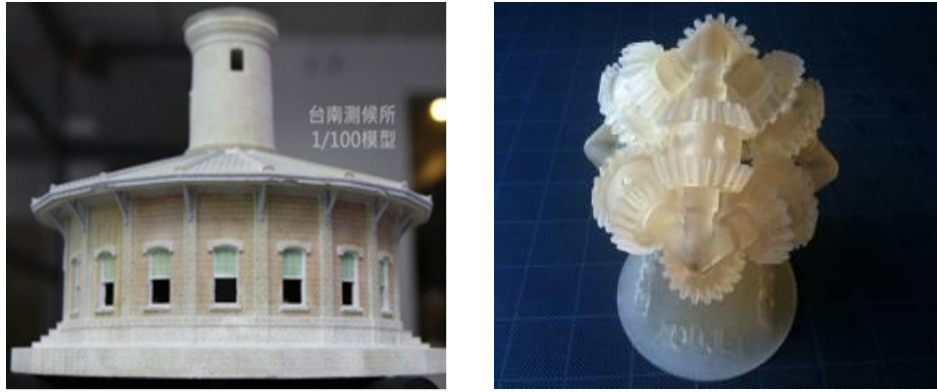


圖 2-6：3D 列印出的建築與齒輪模型²⁵

(二) 個人化應用

- (1) 文創商品—古玩新製、文化特色商品。(如圖 2-7)
- (2) 文具家飾—客製家居飾品、個性文具。
- (3) 飾品配件—珠寶、流行飾品、鐘錶設計。
- (4) 玩具模型—公仔、益智遊戲、積木、組合模型。
- (5) 食品食物—客製化巧克力製造、糕點裝飾。



圖 2-7：3D 文創與飾品列印

依據美國調查公司 Wohlers Associates 預測²⁶，3D 列印的全球市場規模到 2021 年將達到 108 億美元。以航空、汽車、醫療領域為中心，企業的引進意願比較強烈。

目前各國發展狀況：

²⁵ <http://replicatorinc.com/blog/2009/10/3d-printers-art-of-the-sample-part/>

²⁶ <http://wohlersassociates.com/state-of-the-industry-reports.html>

(一) 美國：

美國總統歐巴馬於 2012 年，將 3D 列印列為 11 項重要技術之一。建立國家增材製造研究所 (NAMII)²⁷ 開始。美國增材製造創新研究院 (NAMII) 的目的在促進美國製造業的 3D 列印的合作夥伴關係²⁸，其最終努力目標是，希望幫助美國生產更多「美國製造」的產品。該機構是由美國國防部、能源部、美國國家航空和航太局、美國國家科學基金會、商務部等 5 家政府部門，以及俄亥俄州、賓夕法尼亞州和西弗吉尼亞州的企業、學校和非營利性組織組成的聯合團體共同出資建立，技術願景是加快積層製造與技術創新，冀望能重振美國製造業之榮景，藉著網際網路的便利性和工業實力，能夠讓 3D 列印技術迎頭趕上歐洲。NAMII 目前主要研究三項技術主題：

(1) 技術資格鑒定和認證測試

積層製造的關鍵在於積層製造產品的測試、鑒定和認證方法。重點領域包括鑒定和認證的創新技術、建模和仿真。目的在提高可靠性、優化流程、供應商認證，和簡化的產品認證方法程序等。

(2) 列印材料特性和效能的研究收集

關鍵材料的性質和特點，是確保積層製造技術，能夠被大規模採用的關鍵。包括開發材料資料庫，廣泛的收集測試結果；設計材料性能；數據共用平臺；管理材料變化的方法等。加速材料及材料系統的轉換，為積層製造從材料需求到過程加工建立無縫路徑，適時反應市場需求。

(3) 加工能力和程式控制提升

了解並制定工藝參數之間的關係，藉以推動積層製造技術，強化製造的穩定度。重點包括：提高零件品質等控制系統、工藝產量的提高和可重複性的準確、開發輸出模型的預測演算法。

美國航空業巨頭波音 (Boeing) 公司，已經使超過 22,000 的飛機零件，通過了安全測試，證明了 3D 列印的零件，可用於民用和軍用

²⁷ 國家添加劑製造業創新研究所 (National Additive Manufacturing Innovation Institute) 的重點是加快添加劑製造技術，以提高美國製造業的競爭力
(http://www.manufacturing.gov/nami_pilot_institute.html)

²⁸ <http://news.yahoo.com/why-3d-printing-matters-made-usa-182639478.html>

飛機上。波音公司思考如何將航空元件利用積層製造來加值，佈局超過 10 篇專利²⁹。主因就是航空零件多用模具生產，複雜結構與良率偏低，是製造的重大瓶頸，希望透過積層製造，大幅減少生產時間與成本。其他例如 GE 航空集團於 2012 年 11 月，收購在俄亥俄州利用 3D 列印技術製造零件的先驅：Morris technology 和 Rapid Quality Manufacturing 兩家公司³⁰。

GE 航空集團是利用 3D 列印功能，製作 LEAP 噴氣發動機上的噴嘴³¹。全球 3D 設計、工程及娛樂軟體領導廠商歐特克公司(Autodesk, Inc.) 在 2015 年 4 月 9 日宣布，將自 Spark Investment Fund 提撥 1,000 萬美元投資 Carbon3D。歐特克總裁暨執行長 Carl Bass 表示：「我們成立 Spark Investment Fund 來推動 3D 列印產業的進展，而 Carbon3D 具備的創新能力正是改變現有產品製造方式所需要的關鍵。CLIP 技術的優異速度比傳統快 100 倍的 3D 列印技術，能使 3D 列印更接近真實的製造，3D 列印將不再只像是現階段用來製作原型與一次性用途產品而已。像美國如此積極創新，可預見在未來的實用性與應用性將更為寬廣。

在整個醫療行業中，在美國已有利用 3D 列印的髖關節和膝關節植入物，可精確的安裝到病人身上，不僅病人可迅速復元，更可避免許多的醫療糾紛；牙科和齒科矯正，以在 3D 應用中拔得頭籌，對於隱形牙套的 3D 訂製印刷，不但精確又兼顧透明與美觀，適合牙醫和齒科矯正醫生，使治療過程完美。

(二) 歐洲：

歐洲 3D 發展重點是生產事業上，其中以金屬粉末，直接列印產品，歐洲目前是居於技術領先的地位。2007 年歐盟科研架構計畫(FP6)，推動 Custom-IMD 專案，整合積層製造與醫療，共同發展新醫材即時維護病患生命安全，更可節省 20% 醫療浪費。2011 年歐盟科研架構

²⁹ <http://www.teema.org.tw/industry-information-detail.aspx?inford=8249>

³⁰ http://bbs.creaders.net/military/bbsviewer.php?trd_id=856572&language=big5。這兩家公司在當地僱傭約 130 名 AM 製造的專業人員

³¹ 每台 LEAP 發動機將使用 10~20 個噴嘴，這些發動機將在 2015~2016 年安裝在飛機上，代表著 GE 公司需要在 3 年內每年製造 25000 個發動機噴嘴

計畫 (FP7)，推動 MERLIN 專案，由 Rolls Royce Plc 主導，透過積層製造發展新型飛機引擎元件，節省浪費達 12.8 億歐元。

英國拉夫堡大學(Loughborough University)，在直接金屬粉末列印上，其專業技術表現亮麗。德國的弗勞恩霍夫研究所(Fraunhofer Institute)是雷射技術的領導者，在以雷射為基礎的 3D 列印技術上，有重大研究成果。比利時的 Katholieke Universiteit Leuven，是直接金屬 3D 列印的全球領導者。目前「德國光子學研究」(optical technologies/photonics)，已有與 3D 列印技術有關之計畫，即選擇性的雷射熔結技術，該研究的目的是進一步推動 3D 列印技術，使它更易於在日常工業生產中應用。

目前限制因素之一是 3D 打印機本身的尺寸：對象需要適合機器內部被建立起來一層一層。現在一些 3D 打印系統是移動。這樣，他們可以擴大和用於建築行業打印的建築物和其他結構。一個荷蘭新創公司³²MX3D 啟動計劃打印的橋樑。MX3D 公司是由家具製造商分拆出來的公司，將用它開發了一個外部的 3D 打印系統打印天橋橫跨運河在阿姆斯特丹，一旦城市當局已經確定一個合適的地點，並給予必要的施工許可證。橋（以上示出）將有高達 15 米（49 英尺）的跨度和鋼一起被印刷，而不是從零部件組裝而成。

在生物醫療領域上，在 3D 生物列印醫學世博會³³的第 4 屆將在 MECC 馬斯特里赫特，荷蘭舉辦，時間從 2017 年 1 月 31 日至 2 月 1 日，3D 生物列印醫學世博會是一個專業的科研平台，在歐洲和全球的公司從與客戶，最終用戶，開發者和研究者整個 3D 醫療供應鏈匯集獨一無二的。可見 3D 生物列印的技術已在歐洲獲得重視。

另外，英國「星期日郵報」記者西蒙墨菲(Simon Murphy)，在 2013 年 4 月，以網路下載 3D 手槍設計圖後，利用從網路上購得的 3D 列印機，列印出一把塑膠手槍³⁴，並在交通尖峰時段，成功通過來往英法兩國海峽的「歐洲之星」火車的安檢，暴露了安全的漏洞。

³²<http://www.economist.com/news/technology-quarterly/21662647-civil-engineering-3d-printing-technologies-are-being-adapted-use>

³³ <http://www.3dmedicalexp.com/> 3D 生物列印醫學世博會

³⁴ <http://www.ettoday.net/news/20130513/206507.htm>

(三) 日本：

日本是當今世界上超精密加工技術發展最快的國家，特別是在聲學、影像和光學零件等的超精密加工技術，日本在全球具有絕對的優勢。由於鑄造品廣泛用於日本產業核心的船舶、車輛大小零件製作，鑄造相關產業在日本從大廠到小廠，構成相當廣泛的產業鏈，與模具、鍛造等都是政府強調的製造業基礎產業。近來因大陸廠的紅色供應鏈興起，日本業者面臨強大的競爭壓力，因此經產省希望藉由次世代 3D 列印技術，研發次世代 3D 印表機，能快速製造模具，讓日本鑄造業、恢復生機。在第 25 屆設計製造解決方案展³⁵上，CMET（總部：東京）展出了作為國家計畫正在推進開發的砂模 3D 印表機（砂模沉積成型裝置製作的砂模。項目的開發主體“TRAFAM（新一代 3D 沉積成型技術綜合開發機構）”中除 CMET 之外，還有日本產業技術綜合研究所、群榮化學工業、KOIWAI、木村鑄造所、日產汽車、Komatsu Castex、IHI 等與砂模 3D 印表機有關的成員參與。

日本認為 3D 列印的產業化應用，可為日本的製造業帶來新的機會，所以聚焦在印刷金屬上。從 2014 年開始，進行可直接列印金屬產品的 3D 列印機。希望通過與產業和大學的合作，將下一代的 3D 列印機使用於產業生產上。

松浦機械製作所 2002 年 11 月研發的金屬光造型複合加工機³⁶，現已發展到了第 4 代，被命名為「LUMEX Avance-25」。該設備用雷射鋪在加工臺上的金屬粉末燒結，層層累積形成立體物件造型，同時還可對其表面進行高速研磨銑削作業。由此，模具製造精度得以大幅提高。使用 LUMEX，可以在模具內部自由設置冷卻水管，因此倒入模具的樹脂的冷卻效果也大幅提升，提高了零件的生產效率。產品強度也不錯，甚至可能作為最終成品。這是世界上第 1 臺可以同時「複合」進行「造型」和「銑削」兩項操作的機械設備。這樣一來，此前大概需要花費 2 週到約 1 個月時間的設計和加工過程，時間就能夠縮短到原來的 3

³⁵ <http://big5.nikkeibp.com.cn/news/mech/71610.html> 【日經 BP 社報導】日本砂模 3D 印表機開發項目

³⁶ <http://www.nippon.com/hk/features/c00620/>松浦機械製作所：支撐「世界產品製造」的金屬 3D 印表機廠商

分之1，成本最大也能削減一半。如果採取全自動無人操作運行的話，還能壓縮人事費用。

日本模具製造設備開發商榎本工業與藝術和文化的靜岡大學和軟件開發商C&G系統合作，打造日本第一個5軸混合型3D印表機³⁷。印表機能夠連續進行利用現有工業的5軸控制技術，3D打印的操作以及銑削。傳統的擠出三維打印機已經限定為3個軸中，X，Y和Z，這限制了在不使用載體材料是可能的幾何結構。5軸的製造設備不是新的技術，並且已經預先結合金屬三維印刷技術。然而，一個計算機控制5軸的工業加工和模具系統的精度與基於擠壓的三維印刷技術相結合將創建，這將減少材料成本和製造時間，在工業3D印表機發展的重要的一步。

創客工廠風潮也蔓延到鄰近的日本³⁸，日本創客以較嚴謹的態度思考商業模式，「不只抱著好玩心態，更用企業經營的角度思考，」。東京已出現3D列印服務「Inter Culture」，銷售3D印表機成型的各種商品，基本形狀由服務商提供，文字部分由用戶訂製。文創、生醫也紛紛投入，甚至可以超音波掃描，3D列印製作出懷孕中的胎兒形狀。

日本京都大學醫學研究科等小組宣布³⁹，已通過可以製作立體構造的3D列印技術製成了適合不同患者的人工骨，給4名頸椎間盤突出患者進行移植，研究小組使用3D列印裝置，以患者頸部的計算機斷層掃描（CT）數據為基礎，逐層疊加由鈦粉燒制的薄層，製作出完全適合患者頸椎的人工骨。

（四）中國：

中國大陸於2012年成立「中國3D列印技術產業聯盟」，世界3D列印技術產業協會CEO、中國3D列印技術產業聯盟執行理事長羅軍2016

³⁷ 5軸3D打印機銑床由日本研究人員開發

<https://3dprint.com/132475/5-axis-3d-printer-japan/>

³⁸ <http://www.synnex.com.tw/asp/modelpage/ArticleDetail.aspx?ClassifyData=02863&ArticleCode=33&ArticleNo=21842>

³⁹ <http://www.coccad.com/subject/about/2863.html> 日本成功使用3D列印製作人工骨實施移植

年6月1日於「第四屆世界3D列印技術產業大會」表示⁴⁰，未來三到五年，大陸3D列印將進入一個產業化的爆發期。羅軍指出，目前大陸3D列印產業發展緩慢，主要受到商業模式單一、人才短缺、比較優勢不明顯、設備和材料成本太高，以及技術本身仍處於成熟過程的影響所致；隨著大陸國家政策的重視和推進，未來三到五年，大陸3D列印會進入一個產業化的爆發期，工業(金屬)3D列印和生物醫學3D列印領域可能是最終的發展方向，但這需要更多的市場化手段來推動研發和產業化。大陸工信部於2015年初即制定了《國家增材製造產業發展推進計畫(2015-2016年)》，並已全面啟動增材製造(3D列印)標準化制定工作。從概念普及到示範應用是一個長期的過程，3D列印技術最終會從輔助生產手段變成重要的生產工具，但這其中的關鍵是找出比較優勢，而非一味想著顛覆，3D列印可因應個性化和定製化需求，這恰好也契合工業4.0。

目前大陸A股中，已有公司投入生物醫學領域的3D列印。藍光發展(600466.SH)旗下子公司藍光英諾首席科學家康裕建表示，藍光英諾運用個性化的幹細胞生物墨汁，透過3D列印技術形成心肌細胞，已在猴子身上獲得較好的實驗效果，期望透過3D生物列印技術實現器官、組織移植和修復，推動健康產業發展。涉足醫學3D列印領域的A股公司還有光韻達(300227.SZ)，該公司於2015年9月上線了大陸全國首家醫學3D列印雲平台，建立「醫學+3D列印+雲服務」三位一體的工作模式，並與上海交通大學王成燾教授團隊合作成立了上海光韻達數字醫療科技公司。

除此之外，3D列印在工業和建築上的應用也不可小覷。亞廈股份近期表示，其3D列印建築商業化取得突破，參股公司盈創科技為杜拜打造了世界上首座3D列印辦公大樓，大陸的101米列印建築正在蘇州工業園區走流程報批中。海源機械也表示，其3D大型建築印表機已儲備大量相關技術。

⁴⁰陸政策重視和推進，3D列印3~5年迎產業化爆發期

<http://blog.moneydj.com/news/2016/06/04/%E9%99%B8%E6%94%BF%E7%AD%96%E9%87%8D%E8%A6%96%E5%92%8C%E6%8E%A8%E9%80%B2%EF%BC%8C3d%E5%88%97%E5%8D%B035%E5%B9%B4%E8%BF%8E%E7%94%A2%E6%A5%AD%E5%8C%96%E7%88%86%E7%99%BC%E6%9C%9F/>

總體上仍處於早期階段。部分技術達到世界先進水平，主要是雷射直接金屬加工技術發展較快⁴¹。大陸 3D 列印產業主要形成北京（依託北航、清華、中航 625 所）、湖北（依託華中科技大學）、陝西（依託西安交大）和江蘇（南京高新技術開發區）4 個產業區域。政策層面：

(1) 2013 年國家 863 計劃中首次將 3D 列印選入。

(2) 2014 年 3 月，北京市科委公布〈促進北京市增材製造（3D 列印）科技創新與產業培育的工作意見〉，提出設置 3D 列印科技重大專項，全方位支持 3D 列印全產業鏈技術創新，持續推動 3D 列印產業發展。

(3) 2015 年 2 月，工信部、發改委、財政部聯合發布《國家增材製造產業發展推進計劃（2015-2016 年）》。其中，明確提出「到 2016 年，初步建立較為完善的增材製造領域產業體系，整體技術水平保持與國際同步，在航空等直接製造領域達到國際先進水平，在國際市場上占有較大的市場份額。製造產業銷售收入實現快速增長，年均增長速度 30%以上。」

(4) 2015 年 8 月，國務院討論加快發展先進製造與 3D 列印問題，並邀請 3D 列印領域唯一的院士盧秉恆院士在國務院給李克強、張高麗、劉延東以及各部委領導講授 3D 列印。

(5) 根據國家 3D 產業發展規劃，指明了未來產業發展的方向：在產業化方面，3D 列印產業銷售收入要實現年均增速 30%以上的快速增長，形成 2-3 家具有較強國際競爭力的 3D 列印企業。在行業應用上，3D 列印要成為航空等高端裝備製造及修復領域的重要技術手段，初步成為產品研發設計、創新創意及個性化產品實現手段以及新藥研發、臨床診斷與治療的工具，在全國形成一批應用示範中心或基地。在政策措施方面，要加強統籌協調、加大財稅支持力度、拓寬投融資渠道、加強人才培養和引進，以及擴大國際交流合作等五項措施。以材料研發作為突破口，鼓勵優勢材料企業從事 3D 列印專用材料研發和生產，針對航空航天、汽車、文化創意、生物醫療等領域的重大需求，突破一批 3D 列印專用材料。

⁴¹ 中國 3D 列印政策 <https://read01.com/EBkaQ6.html>

到 2016 年，基本實現鈦合金、高強鋼、部分耐高溫高強度工程塑料等專用材料的自主生產，滿足產業發展和應用的需求。

這波 3D 列印風潮中，有很多城市都希望能夠在新興的 3D 列印市場中獲得發展，例如廣東省珠海市日前宣布計劃成立 3D 列印創新中心和技術產業園。同時，青島、武漢和成都等城市也都提出了類似的發展計劃。中國希望能通過這項技術的創新與應用，來提升各省製造業的生產能力。

在生物列印的研究上，杭州電子科技大學與杭州先臨三維旗下控股子公司杭州捷諾飛 Regenovo 生物印表機⁴²有三種模式：精簡版，Pro 和 WS，並能夠設計和列印用於醫學研究和藥物測試的複雜的三維支架和生物組織模型，包括肝模型，腫瘤模型，代謝綜合症模型，以及列印骨，肝，血管的組織工程。2015 年 10 月，捷諾飛在杭州鑑定並發布國內首個商品化 3D 列印肝單元「Regenovo 3D Liver」和下一代生物 3D 列印工作站。

由於 3D 列印潛在的應用領域非常廣闊，航太、汽車零件、重大設備、文化創新和生物醫藥等領域都對這項技術進行了重大投資。中國大陸的相關研究機構，也為 3D 列印業提供技術與資金支持，除了工業和信息部外，科學技術部也將 3D 列印，列入到了國家高技術研究發展計劃中。

（五）其他國家：

澳洲透過積層製造，以強化澳洲航空、汽車與製造業的應用。澳洲的研究人員發布了世界首個 3D 列印的噴氣式飛機引擎。這項製造技術的突破可能帶來更經濟、更輕便、更省油的噴氣式飛機。環球科技據英國路透社報導，蒙納許大學及其商業部門的工程師們正為波音、空中巴士、雷神公司和賽峰集團製造絕密的引擎原型，這項技術進展有望拯救澳大利亞步履蹣跚的製造業部門。“這可以使航空企業壓縮開發周期，因為製造這些引擎原型的速度比正常的生產速度快三到四倍，” Amaero Engineering 首席執行官 Simon Marriott 說道。Amaero

⁴² 中國生物列印 Regenovo 3D Bio-Printer, <https://read01.com/xDG6JK.html>

Engineering 是蒙納許大學成立來對該產品進行商業化運作的私營公司。Marriott 表示，Amaero 計劃讓 3D 列印引擎部件在未來的 12 個月內進入飛行測試階段，並在二到三年內投入商業使用。整體而言，澳洲目標在降低材料成本與提升製造效率；長期規劃，開發複合技術，發展輕質零件與複合零件，強化工業體質。

由上述各國積極投入 3D 產業的情況，可推論其在工業及消費性市場的影響，相較於傳統生產方式，3D 列印技術所帶來的影響與衝擊，確實值得注意。歸納於下列幾個重大變化：

(1) 少量化與多樣性的生產：傳統製造生產最具優勢的就是大量生產才能大幅降低生產成本，讓更多的人享受到產業革命的成果。部分無法一致化且少量化的客製化產品，生產成本自然大增。對於生產者與消費者都是極為不利的。3D 列印正好具有異質化與多樣化的生產特性，滿足少量化與多樣性的需求。

(2) 產品供應鏈改變：傳統供應方式：“工廠生產零件→組裝產品→運輸→經銷商→消費者”的供應鏈形態。在 3D 列印時代，消費者不需要經過傳統生產方式、也不需要經過習慣性的交易過程，可直接「生產」最終商品，獲得所需要的物品。

(3) 產品個性化與異質化：傳統的商品是經由工廠統一製作與生產，消費者只能在產品中選擇。在 3D 列印時代，可以選擇自己希望的商品，或自行設計所需要的產品。

(4) 醫療產品客製化：各國政府已發現 3D 列印對醫療產品可能的貢獻，投入相對的資源。主要是利於個人化醫療實現與加速醫療器材產品開發效率。將來有利於醫療實施的安全性及治療成效，解決未滿足的醫療需求。

3D 列印技術，的確實已對產業造成重大的影響，3D 列印方式的產品，以目前的技術而言，仍存有相對的優劣勢。就目前技術來看，3D 列印的發展，仍取決於材料與加工精度，舉凡溫度、良率以及數量，都沒有傳統加工那麼穩定。

若 3D 列印繼續有效的進展，需解決如下問題：

- (1) 機器限制：3D 列印機器要成為一個產業價值，其複雜性不低，包含軟硬體、光學等技術。至於列印精密度問題，3D 列印的精密度，若能夠接近奈米等級，或許將來的拓展應用範圍，有無限想像空間，並帶來革命性的突破。還有尺寸限制，目前幾乎被列印物都是在有限的機器空間下進行。新型態的列印方式，將突破此限制。
- (2) 材料限制：在一般消費市場上，3D 列印產品的應用在，在飾品、模具模型、個性化家居產品上，使用的材料主要是樹脂、塑料、石膏粉末等。若要在產業的發展應用上，複合材料的研發，必須突破性能。例如合金材料、異質材料、高分子複合材料等，這樣 3D 列印技術才能真正進入航太、汽車、複雜機械和生物醫療領域。目前有關 3D 列印材料的發展，如表 2-2 所示。

Ordinary Materials	Maturity	Not-so-Ordinary Materials (*)	Research Institute(s)
Plastics	Prototyping Services	Bone-line material	MIT, Washing State Univ.
Metals	Industrial Prototyping	Organic compounds	University of Glasgow
Ceramics	Institute Research	Inorganic clusters	University of Glasgow
Food	Institute Research (With NASA Sponsorship)	Thin film Transistors	Cambridge University
Glass	Under Study	Carbomorph - Conductive plastic, Functioning electronic device	University of Warwick
Wood	Under Study	Hybrid Inks	Univ. of North Carolina
		Graphene for printing computers, solar panels, electronics, cars and airplanes in the future	American Graphite Technologies
		Chipelets	Xerox PARC
		Voxels With promise for increasing the speed of metal printing	Wipro Infrastructure Engineering (India)

表 2-2：目前 3D 列印的材料和使用狀況

- (3) 熔結的挑戰：3D 所使用的固化方式，主要以熱源和黏著劑方法，對於金屬或是陶瓷粉末則以雷射或電子束為主。在加工大尺寸、熔點較高的金屬製品時生產效率尚待提高。

(4) 生物列印的挑戰：畢竟生物器官是活體組織，牽涉生命安全。很難界定 3D 列印在生物上的發展，是否在道德上會遇到的問題。如果有人列印出生物器官或者活體組織，會不會產生排斥或傷害身體，責任歸屬會如何。

第三節 3D 列印發展趨勢及產業優勢

3D 列印機的技術，經過發展與改良後，隨著材料的進步，在這個世紀的市場上發光發亮。在 3D 列印時，軟體通過電腦輔助設計技術（CAD）完成一系列數位切片，並將這些切片的訊息，傳送到 3D 列印機上，將連續的薄型層面堆疊起來，直到固態物體的成型。

本節將以列印機發展趨勢、技術發展趨勢兩方面來探討 3D 列印未來的發展。

（一）列印機發展趨勢：

- （1）一般 3D 列印機：消費性列印機，無需生產出複雜性和準確性產品，由於需求者眾，價格將繼續下降。
- （2）工業 3D 列印機：工業用列印機器精度需求提高，其列印品質與速度，將持續精進與技術創新，亦須更準確控制的列印精度，以滿足產業直接生產所需；但由於需求數量較低，價格將維持昂貴。

（二）列印技術發展趨勢：

由於產業的生產需求，預測未來列印技術的發展，將專注於生產高價值的零件及產品，以及使用傳統的製造技術不易完成、內部幾何形狀複雜的產品。或許工業機械將繼續改善，產生更多種類的材料、零件，最終將達到生產整個產品，所需要的速度和精度要求。亦即，工業用機器的发展，將依靠列印過程改善、品質控制及新材料的開發來推進。

可預測相關的技術發展趨勢為：

- （1）列印速度精進：雖然 3D 列印的不是以大量生產為目的，但是提高列印速度，亦是降低生產成本的方法之一。速度與

列印精度存有權衡，必須一定的配合。提高精度與速度可由後製處理方向著手；提高列印速度的要求下，列印精細度可藉其他工具加以提高（例如 CNC 車床、雷射切割）。

(2) 技術標準建立：技術標準將包含有：滿足不同列印設備的軟硬體標準、列印材料的多樣化標準、產品安全性與可靠度的標準、生物列印的規範與應用範圍，如此才能滿足產業化發展的需要和社會的安全。

(3) 當更多應用的發生時，自然會有更多的材料運用於 3D 製造中。從各國的發展中可知，3D 的列印材料與產業發展，將擴及到新的聚合物和更多生物應用上，例如仿生 (bionics)、自我列印與組裝 (self-assembly) 和奈米列印 (nano-printing) 技術，將被用於 3D 列印過程。

3D 列印目前應用領域為：藝品、工具、汽車零件、以及消費類產品，若是 3D 列印製造在充分開發和擴展後，並達到一定的經濟規模，大規模的客製化需求和相關設計已達普及化，消費形式與產品供應鏈，將會在產品供應之商業模式上，發生重大的變化，影響經濟和社會層面的一些新的可能效益。3D 列印技術有機會改變製造業，捨棄專用工具在大型工廠批量生產的模式，朝向成為大規模客製和分散式的製造世界。3D 列印可以在產品生命週期中，任何的時間點被有效運用。從生產前原型產品的製造，到完整的規模化生產，以及模具的應用程序或後期製作修復。3D 列印過程刺激到新的商業模式和供應鏈架構之產生。例如，使用 3D 列印，可減輕昂貴工具的需求，從而釋出供應鏈內、各個供應點所需的營運資金，並加速讓新產品在幾天內推向市場，進而降低創新產品上市的時間商業風險。

從產品設計、個人化、多樣性、製造生產的影響性其特性如下：

(一) 設計自由化：

相較於傳統製造工藝，3D 列印能製造出高度複雜形狀，和幾何限制極少的產品。這種高自由度的設計技術，因此可被用

於優化產品設計，使產品的功能與外觀，更具彈性與較佳的可塑性。另外，在航空和汽車的設計上，依物理特性可大幅提升性能、和節省燃料的消耗。

3D 列印消除了所有的以往的製造方法所施加的設計約束，增加了所謂「設計自由度」上。讓設計師和工程師，為創造新產品及專為其產品組件所需的形式，提供了極大的調整和功能設計能力與空間。從製造性設計 (Design for Manufacturing) 的約束中釋放出。在傳統製造方法下，每一個功能都會增加時間和成本，但在 3D 列印下，產品或零件可以在不增加時間與成本的狀況下，增加更多的功能。另外，受限於傳統限制的重量比，在 3D 設計時，可以設計一個內部擁有晶格結構的固體物件，這是過去無法一體成形的。

(二) 多樣化產品：

3D 列印能促進良好的設計，創造更好的產品，更佳的设计美學和人體工程學。無論哪種方式，這將轉化為增加的銷售量。設計領域是使用 3D 列印的主要驅動力與媒介，它提供了無限的幾何形狀複雜零件生產的能力。傳統模式的製造成本與幾何形狀的複雜性成正比。3D 列印不但不受複雜性的限制，而且能夠生產各種形狀。降低成本並結合設計自由度將受惠於製造商和客戶，達到更高的客戶滿意度。

(三) 個人化產品：

3D 列印基本上是滿足個人化需求，使個人化產品的生產，實現美夢成真。在生物列印上，從用 CT 和 MRI 掃描數據，生產醫療用品、人體器官，使用加法製造最重要的部分之一是專門的醫療組件，除了口腔矯正和助聽器，製造商也運用生產客製化的義肢零件，甚至拋棄型的醫療用具，使用環保材質，友善地球。個人風格的衣服、鞋、珠寶和家居用品等消費品的製造，在生產成本上是可行的。當客製化零件變得更容易生產時，相關的費用便具有下降的潛力。透過 3D 列印能力，

通過設計專門的醫療組件，均有助於提供更好的客製化的醫療品質。

(四) 生產成本低：

在生產的工廠中，生產過程是由固定的製程排序而控制順序，每一道程序都是時間和加工材料成本的累積。因為 3D 列印將成品視為一個零件，所以所有的製造程序只有一個步驟，沒有組裝問題，縮短流程，產量和工作效率自然較傳統為高，生產成本自然降低。以完成品而言，經由 3D 列印，產量和效率增加，3D 列印將要組裝的部件的數量減少，換言之，它能夠將部分製造零件一體成形，如此成本就能下降。

(五) 平行化製造：

對於傳統的產品直線式供應形式，3D 列印有更優異的方式，大幅壓縮了產品供應鏈，例如同時在多個更接近消費者的地點，進行平行式製造，這對於消費者、當地經濟和環境，均有明顯的助益。平行化的生產模式，已打破了供應需求的產業生產模式，工廠無需庫存與閒置性產能，生產端無須顧慮生產過剩，對於成本的控管有很大的助益。任何一家公司的生產過程，產品運輸是很大的成本支出，透過 3D 列印，需要運輸未完成組裝產品，已達最小化，讓生產更接近市場，縮短產品到客戶端的運輸工作。

3D 列印可以幫助解決目前分散生產，縮短供應鏈製造的環境，解決產品的運輸、包裝和送貨過程的資源浪費，也更節省產品上市的時間達到 Time to Market 的目的。

(六) 產品網路化：

因網路技術的進步，隨著互聯網的快速發展，電子商務模式除了原有的 B2B，B2C，C2C 商業模式之外，近來一種新型的消費模式 O2O 已快速在市場上發展起來，讓交易過程網路化。在產品的發想前，消費者可集合眾人智慧(crowd wisdom)對產品需求作定義，尋求眾籌資金(crowd funding)，再利用現

有的 3D 列印的數位技術，讓消費者直接參與在設計過程中，實現真正的個性化與個人化。

總體而言，3D 列印的潛在優勢，包括精簡的流程及簡化的供應鏈，降低零件生產成本及生命週期成本，加速創新和新產品推出，減少材料浪費和能源的使用。消除可製造性的約束，也將設計組裝性帶到一個新的水平。3D 列印以單一完整的模式建造。消除了裝配時間、費用和錯誤，同時大大降低了製造成本和零件庫存。

目前來看，3D 列印的應用產業共同的特徵：多樣化、產品數量有限、價格高、幾何圖形複雜，應用的產業主要如下。

(1) 航太工業：

3D 印刷讓原型可用於甚至在數小時而不是在過去需要幾週的事項中最具挑戰性的幾何形狀來開發。快速更改設計可以在一個簡單的動作，一個計算機文件和新的零件進行與 3D 列印快速測試。在設計過程中省去了昂貴的工具的需求，設計師專注於打造重量更輕的結構，提高效率，減少排放，以及其他重要因素。波音公司、GE 等飛機製造商和他們的供應商，早就在使用此技術，製造幾何形狀複雜的飛機元件，在可靠度的前提下，飛機零件數量龐大⁴³，3D 列印可大幅削減生產成本和重量。此外，有助於優化供應鏈，縮短交貨時間和對環境的影響，從而增加行業的商業價值，3D 列印有望開創嶄新的紀錄。

(2) 汽車產業：

被認為是“下一個億美元的產業，” 3D 打印已經採取強攻汽車行業。從印刷汽車零部件及配件從頭開始創建新的概念，3D 打印的可能性是無窮無盡的。隨著這項技術的發展，汽車企業也開始尋找到 3D 列印的可能性。如果到現在為止， 3D

⁴³ 從生產組裝來看，要組裝一架 747 飛機，所有的零件高達 450 萬個零件(Parts)，有 75,000 張工程設計圖，每具發動機零件也是都有零件製造圖，每張零件圖上標明尺寸、材料及熱處理狀態、與表面處理等要求(Requirements)，當設計完成後，由下游製造承包商製造，當承包商收到零件圖後，分成材料採購含標準件(如鉚釘、螺栓、與螺帽等)，及零件圖交由工程部門編寫製造程序單，極為繁複。

技術被用來只打印某些汽車零部件，現在可以在 44 個小時從從頭開始打印的整車⁴⁴。汽車行業目前運用此技術的優勢，生產塑料，金屬，複合材料部件和客製化產品，減少傳統的製造工藝上所需的時間和工具，加快創新設計和產品開發流程。汽車行業在許多產業中，是應用創新技術的先驅。

(3) 醫學界需求：

過去 3D 列印因為個人需求不同，主要包括牙科應用，義肢，植入等技術。現在的印刷技術，進步到保持在印刷組織內的細胞功能和生長活細胞結構的過程。雖然這一過程仍然是一個非常新的應用，需要幾年的時間，研究人員希望未來用它來打印 3D 替代器官，與重建手術幫助。

(4) 其他：

當我們等待家用 3D 列印機變得更加聰明時，大眾已經越來越容易獲得 3D 列印服務。同樣，也有很多網上的物品及服務也相對成長。這些服務被用來打印的 3D 對象，其中包括首飾、小工具、家居裝飾、玩具、眼鏡架，備件可能例如印刷更換真空吸塵器吸嘴。同樣，消費者可以利用這項技術來替代相對簡單的醫療設備，如鞋矯形器。陸陸續續的，這些已漸漸顯示了可能的應用空間。

第四節 3D 列印的商業模式與產業影響

一、新創機會

台灣是一個以製造代工製造輸出為經濟發展項目。以台灣的強項，伴隨 3D 列印的發展與技術成熟，3D 列印目前的產業分工模式，有下述的發展。

⁴⁴ The Future of Making Cars: How 3D Printing Will Revolutionize the Auto Industry, <https://3dprint.com/111644/3d-printing-revolutionize-auto/>

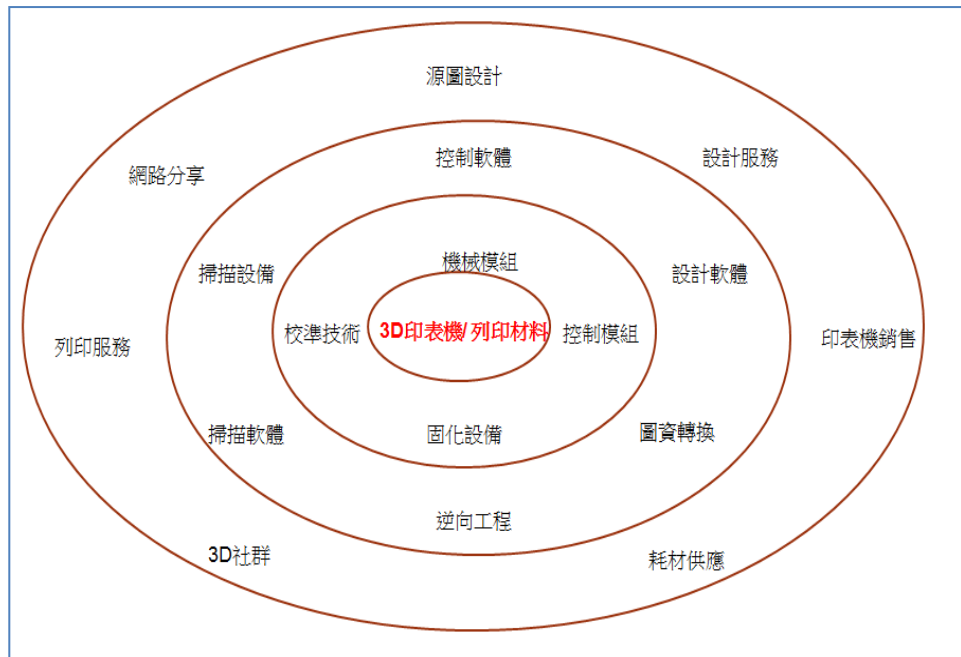


圖 2-8：3D 列印產業分工概念圖

- (一) 軟硬體技術服務：因應 3D 技術發展，機械、控制模組和固化設備等相關，為滿足多樣化與不同材質的列印，3D 列印的軟硬體服務公司，將會興起。軟體開發公司，會配合 3D 列印的需求，開發更多的軟體與應用，滿足不同客群。3D 列印的材料選擇成為顯學，影響列印產品的品質。3D 列印即使擁有列印設備，仍需要相關的知識與操作經驗，對相關的參數，做適當的調校。因此技術服務與諮詢公司，將會興起。掃描技術與掃描器的進步，將配合 3D 列印機，讓物件的重建更為容易與精準。
- (二) 3D 產業服務：各產業對所需列印的材料、大小、顏色等需求不同，再加上地點的差異。協助產業界維持產品後續保修零件的即時提供，相關業者可以在不同的區域設立，提高產品供應效率。廠商可以選擇性投資 3D 列印機，在內部利用 3D 列印來縮短設計，生產所需基本零件，減少訂貨及庫存量，及時調整製程到市場的時間。。
- (三) 3D 設計服務：獨立的 3D 設計與製作公司，將漸漸成型。創新服務產業界，提供 3D 列印產品、或者以自行設計的產品，

提供產業生產，在生產上的變化，設計服務公司，密切關注 3D 列印設計的需求變化，並利用網路交易平台來提供服務。大型產業公司，在公司內部產品設計部門，成立 3D 列印部門，以提高產品設計效能與多樣化需求。

(四) 提昇產業價值：配合工業 4.0 的崛起，3D 列印的運用上，讓一些製造業更具競爭力，尤其在對於高價值產品行業，因為產品的快速創新，比產品成本更具競爭優勢，結合 3D 列印和先進的機器人，讓企業更快速接近藍海市場。產品價值鏈將重新洗牌，產品設計（產品的價值），將比在哪生產（生產價值）更為重要。

(五) 兼具工程與設計：3D 列印將改變了設計與生產的關係，3D 列印去除了目前製造工藝上的諸多限制，代表被想到的物件能透過數位化的模型，都有可能立即實現。工程師必需兼具設計理念，才能真正使用該技術充分發揮其潛力。

(六) 網路社群力量：台灣網路的普及化，數位化隨著 3D 列印機的進步及普及，在相關服務模式方面，群眾募資（如 Kickstarter）與社群製造（如 Shapeways）等等創新能量，將是推動 3D 自造的最大助力。網路上對使用者提供一個平台，讓個人分享他們的想法，並分享尖端的 3D 列印軟體和列印技術，用最小的成本，在最快的速度與技術上實現。

二、產業影響

數位化製造技術，在成為普及產業之前，還有很多疑慮需要克服的地方，如材料成本、輸出品質、尺寸限制以及列印精密度之技術障礙、以及成本的高昂等等。預期 3D 列印技術成熟與發展後，並分析 3D 列印的優勢，提出可能的影響，如下說明。當然，影響與衝擊的大小或是範圍，端視 3D 列印後續的發展。

(1) 3D 列印機可能改變供應鏈的進行方式。

減少批量庫存減少

3D 列印技術可用於轉化的供應鏈的更明顯的方式是通過降低製造批量，也就是通過使較小甚至離散製造運行。這可以讓公司通過能夠更好地匹配供需，以減少庫存持有量。這可能不適用於所有的公司和所有物品的適當的解決方案。甜蜜點代表著數量與成本的關係，必須考量其中體積小和製造的複雜性的水平是符合成本的，例如，其中有各種定制的，小批量成品等的醫療器械。

需求的初步評估可能考慮這項技術的適用性。在權衡了這種方法的價值，這將是值得權衡小批量生產的總庫存儲蓄，包括降低運營資本和過時的風險相較於 3D 列印功能的成本。

更短的交貨時間提高效率

3D 列印改變供應鏈的另一種方式是通過挑戰分佈的傳統觀點的網絡，特別是由被用來分散製造。作為三維打印機能夠提供，以產生一個更高效率的各種最終產品，比傳統生產線較少的開銷所需的靈活性，開發的 3D 列印能力貼近客戶，公司可能能夠降低對傳統的資本密集型的依賴生產線集中的位置。

這對國家或地區顯著潛力的地方，增加了傳統應自備的需求，有一個儲備充足在每一個主要城市。用 3D 列印，不僅會在製造交貨時間可以減少，分配前置時間還可以配合客戶的需求，與運輸積蓄的附加益處。

(2) 銷售供應改變：

直接製造可能會徹底顛覆商業模式⁴⁵，因為它使企業能夠對生產流程進行全面的重組。直接製造會對價值定位產生影響，因為其可改進產品供應和服務供應。而且，採用 3D 印表機製造產品可以實現完全定製化，進而也會出現新的定價模式。直接製造的一個關鍵是實現較大規模的定製化生產。因此，所有參與企業製作流程，進行共同創造的消費者，都將成為企業價值網絡的組成部分。消費者與企業間的這種共創流程可能會使最終產品的價值，顯著高於規模生

⁴⁵ <https://read01.com/57PANz.html>

產的產品。最近流行的 C2M (Consumer to Manufactory) 結合虛擬實境 (VR)、應用軟體 (App)，使消費者可以主動搜尋製造商，進行客製化的生產，也是可行的商業模式。

直接製造還創造新分銷管道，顯著提高價值交付。例如，配件製造企業，除了批量生產產品，還可以採用某種在線上 3D 列印服務將產品直接銷售給消費者。在這種情況下，消費者未決定購買產品前，不會進行任何的運輸或儲存活動，只有在消費者決定購買時，才會利用 3D 印表機列印產品並運送給消費者。藉電子化網路訂購 3D 列印的產品，零售商在販售的角色上，將遭受到巨大衝擊。取而代之的是物流業，電子商務更加興盛，商品的供需方式，將重大改變。如圖 4.1⁴⁶所示。

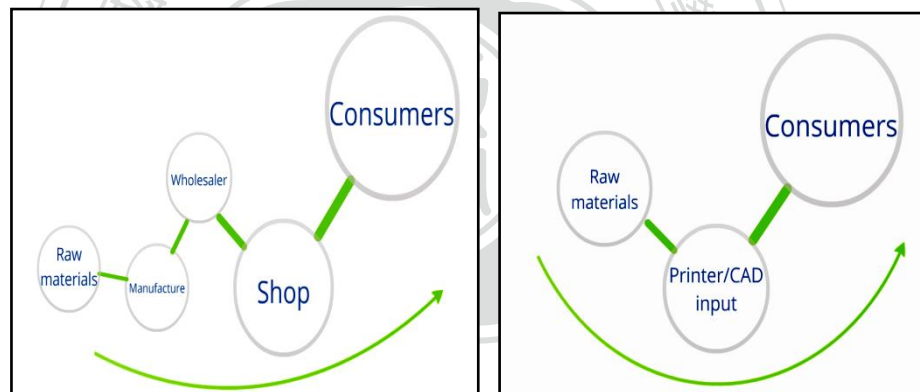


圖 2.9：3D 列印改變產品供應鏈

(3) 列印材料的需求：

隨著 3D 列印需求的日益增加，可用的材料種類逐漸增多，從最初的樹脂、塑料拓展到金屬、陶瓷等。目前，可供 3D 列印使用的材料主要有 3 大類⁴⁷：一類是金屬材料，如鈦合金、銅鋁合金、鎳鉻合金等，應用於航空、醫藥等高端領域；一類是高分子材料，如 ABS、PLA、PC、尼龍粉、石膏粉、光敏樹脂、PVC 等；還有一類是無機非金屬，

⁴⁶ <http://madameeureka.wordpress.com/the-economic-impacts-of-3d-printing/>

⁴⁷ <https://read01.com/6moE58.html>

如陶瓷。3D 列印材料種類的增加直接帶動了下游應用領域的拓展，如鈦合金和不鏽鋼材料在 3D 列印領域的使用，促使波音公司嘗試使用 3D 列印技術來生產飛機機翼。

隨著 3D 列印技術的成熟和市場開拓力度的加大，3D 列印的需求不斷增加，市場價值逐漸提升。區別於傳統材料，3D 列印技術對材料的性能和適用性提出了更高要求，最基本的要求是材料必須可以液化、絲化、粉末化，在程序控制下列印後還要能重新結合起來。除此之外，3D 列印材料還必須性能穩定，滿足 3D 列印連續生產的需要。

儘管 3D 列印減少了切削、成型等方面的製造成本，卻增加了材料、軟體、設計等環節的成本，其中對材料成本的影響較大。由於適用於 3D 列印技術的材料有限，並且現階段的 3D 列印更多是為了滿足個性化生產需求，材料的專用性較強，無法實現規模化生產，這也致使 3D 列印材料成本居高不下。

(4) 文創產業的衝擊：

人人皆可藉由複製取得物品以後，將會降低在商業上投資研發與設計動機，這也可能是另智慧財產權利人擔憂的事情，對現在線上遊戲從虛擬到角色扮演(COSPLAY)，所需的等比例物件製造，將會比以前更容易實現。可以預期到的 3D 列印對文創產業，必然造成重大的影響。

(5) 產品週期化衝擊：

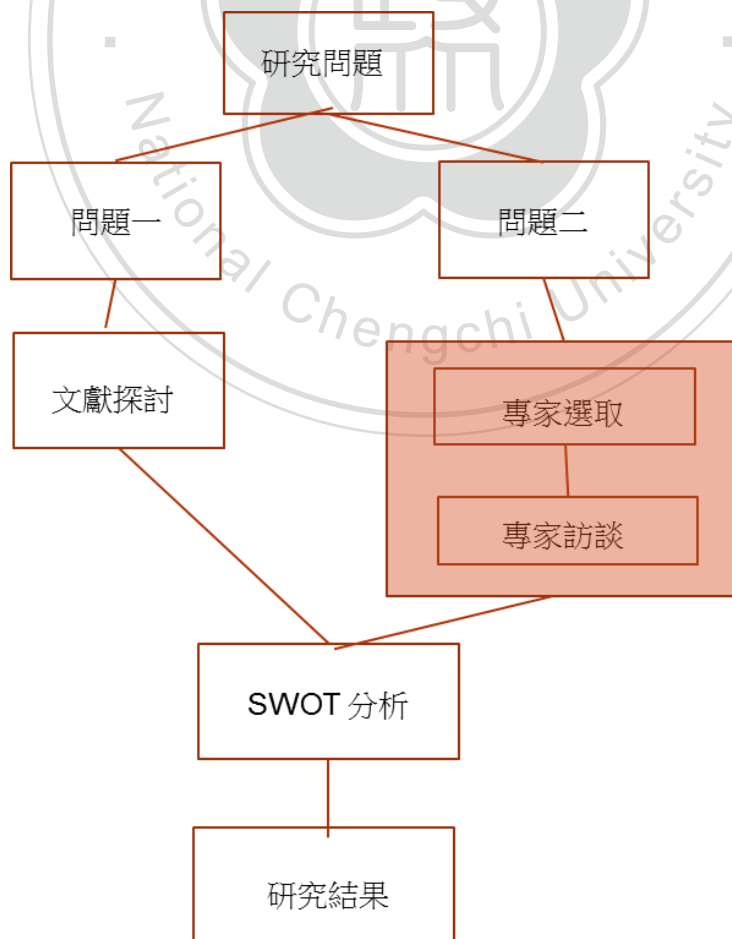
由於 3D 列印的興起，對商品的使用與銷售，將造成重大的影響。流行商品（如 3C 產品、服飾等），因 3D 具多樣化特性，產品生產時間縮短，相對產品生命週期也同樣縮短，對獲利與經營，帶來更嚴苛的挑戰。另外，有些商品受損零件，因 3D 列印出的零件，將可有效的延長使用期限。

第三章 研究方法

第一節 研究方法之選取

在探討 3D 列印過去累積了 30 年的歷史，目前是處在一個進行式，對未來是往上成長的。它的影響不只是對內的快速製造，對外的影響涵蓋各產業的生態，對製造與生產方式之影響與衝擊。學生在構思論文寫作期中，閱讀大量相關資料，並擬採專家訪談方式，應證相關業者的看法，訪問國內模具、軟體、與 3D 列印機的代理商等，涵蓋產、官、研單位，並以 SWOT 分析法，對 3D 列印發展的優劣勢及可能的機會與威脅，做一個探討，廠商可藉此省視自我的相對優劣，尋求最佳機會。

研究規劃如下。



第二節 專家訪談法

在本次訪談對象的選擇有下列幾項。

- (1) 服務單位有從事 3D 列印專責單位。
- (2) 受訪者相關經驗達 3 年以上。
- (3) 研究單位及情報中心需有對外提出研究方向及產業資訊。
- (4) 產業界需有對外產品銷售及服務

一、資料收集

項目	訪談單位及對象	對象相關經驗	訪談目的	相關經驗年資(年)	訪談時間
1	資策會/ 吳先生	負責收集 3D 列印產業情報	產業情報對 3D 列印趨勢分析	4	3 小時
2	佳世達設計中心/ 陳小姐	3D 列印設計策展人/3D 設計師	創意設計策展人對 3D 列印觀點	8	4 小時
3	亞世特公司/ 楊總經理	3D 列印材料商	對 3D 列印材料的應用發展	3	3 小時
4	宏威錡科技公司/ 林先生	3D 列印機製造商	對 3D 列印機自製的發展	3	2 小時
5	常廣公司/ 洪總經理	使用 3D 列印機，做模型	3D 列印在醫材上的運用	5	3 小時
6	數可科技/ 溫協理	3D 列印服務商	EOS 3D 列印機代理商的 3D 列印觀點	10	3 小時
7	工研院南分院/ 蔡小姐	積層製造列印機研究	研究單位對發展 3D 列印產業之觀點	4	3 小時
8	東台精機/ 曾先生	台灣工具機製造商	台灣工具機業目前對 3D 列印的發展現況	4	2 小時

二、資料分析

訪談的目的是要映證資料的正確性，佐證觀察，對未來的趨勢能有

更精準的預測，如此的資料分析將提供廠商參考與採行對應策略。

這次訪談人選將以產業、官方及研究單位為主要對象。分析重點如下。

- 1、台灣發展 3D 列印優勢。
- 2、在台灣發展 3D 列印問題與瓶頸。
- 3、世界各國 3D 列印產業帶給台灣的威脅，包含對傳統製造業生產的影響。例如 製程、供應鏈、
- 4、台灣發展列印機的機會。例如 材料、印表機、3D 掃描器、軟體；
- 5、對生產與銷售間的價值鏈影響 例如 社群平台；
- 6、改變其他產業。例如醫材、文創、模具業

第三節 SWOT 分析法

SWOT 分析方法在於了解自我內在條件及外在環境，即優勢(Strengths)、劣勢(Weakness)、機會(Opportunities)和威脅(Threats)分析，台灣屬中小企業居多，且以外銷為主，企業應隨時評估自身的實力，對比競爭對手，並分析企業外部環境變化影響可能對企業帶來的機會與企業面臨的挑戰，進而制定企業最佳戰略的方法。

一、機會與威脅分析 (environmental opportunities and threats)

環境發展趨勢分為兩大類：一類表示環境威脅，另一類表示環境機會。環境威脅指的是環境中一種不利的發展趨勢所形成的挑戰，如果不採取果斷的戰略行為，這種不利趨勢將導致公司的競爭地位受到削弱。環境機會就是對公司行為富有吸引力的領域，在這一領域中，該公司將擁有競爭優勢。

二、優勢與劣勢分析 (Strengths and Weaknesses)

了解環境中的機會是一回事，擁有在機會中成功所必需的競爭能力是

另一回事。每個企業都要定期檢查自己的優勢與劣勢，隨時警覺。

3D 列印技術目前也許並不會引起全面性的產業革命，但對現代傳統製造業的衝擊，有其一定的影響，其互補特性，將帶動產業現狀的改變。採用 SWOT 分析，能讓產業界更清楚世界的變化，提早採取應對，才能免除被淘汰的可能。



第四章 研究結果與討論

針對運用專家訪談及 SWOT 分析後，發現產官學研及台灣廠商的看法與可能的努力方向。相對的，新科技的來臨也代表著新的機會與產業影響。以下針對研究發現做一個整理並逐一探討。

第一節 專家訪談結果

一、資料收集

世界各國及各產業都積極的往 3D 列印技術及應用前進，台灣廠商對 3D 列印的態度也相對重要。為了更實際探訪業界的看法，直接以訪談方式，了解其想法。其整理如下。

【產業情報對 3D 列印分析】議題

背景說明：資策會產業情報研究所 (Market Intelligence & Consulting Institute, MIC) 成立於 1987 年。專業於資通訊 (ICT) 產業各領域的技術、產品、市場及趨勢研究。

訪談地點：資策會

訪談人：吳先生

訪談摘要：

(1) 3D 列印自 2012 年蔚為風潮以來，在 2015 年發展稍歇，但是各種機種、技術、應用仍陸續在媒體曝光。

(2) 3D 列印雖然蓬勃發展，但實際上還有一些瓶頸尚待突破。首先，3D 建模困難，影響消費市場普及速度，列印材料有限且成品過於粗糙，最後則是生產效率差，不僅成本變高，生產速度也難以趕上量產需求。列印材料與印表機需要搭配，台灣對基礎科學的投入沒有國外深，因此只能先行代工加工材料，或被原廠認可授權。

(3) 目前廠商還是朝兩個方向努力，一是提供 3D 模型資料庫，一是提供 3D 建模輔助工具，如 3D 掃描器等。廠商希望藉由這些輔助工具可以協助消費者跨越 3D 列印門檻，以開拓更廣大的家用市場。

(4) 目前 3D 列印的材質主要以塑膠、金屬、石膏、砂為主，金屬和砂主要用在商用市場，其餘同時用於商用及家用市場。雖然目前列印材料已經有不少材質可供選擇，但仍無法滿足不同環境下的需求，因此這些年來廠商仍持續不斷開發各種特性新材料。

(5) 3D 列印最令人詬病的缺點就是列印速度太慢，所以除了持續專注利基應用市場之外，有些廠商則是尋求新技術或新設計以提升列印速度。例如：有些 3D 列印廠商導入生產流程概念，希望藉由更多 3D 列印機組成的列印平台，加速產品生產速度。

(6) 3D 列印與目前主流量產技術的關係是互補而非取代。相較於消費市場，3D 列印在商業應用市場的發展較為成熟，且預期將成為製造業重要生產工具。儘管有瓶頸待解，在廠商努力找尋解決方案之下，3D 列印未來發展前景相信會讓人有所期待。

【創意設計策展人對 3D 列印觀點】議題

背景說明：未來正在成型－3D 列印設計展策展人

訪談地點：佳世達設計中心

訪談人：陳小姐

訪談摘要：

(1) 台灣從 2013 到 2015 年間，民間投入低階印表機市場很多，主要是門檻低，使用 FDM 技術，進入容易，到了 2016 開始，似乎有飽和跡象。缺少高階 3D 印表機研發能力及應用。

(2) 目前因應世界潮流，工業 4.0 的興起，講究快速有彈性，透過 3D 列印能隨客戶需求調整，提供好的服務。但台灣廠商必須要技術提升，跟進世界潮流，否則只能無止盡的低價策略。

(3) 台灣廠商除了對印表機技術的提升外，對 3D 列印的服務也能有所著墨，例如顧問專業服務，一般人只知列印，無法判知所需材料、設計限制與後製如何處理加工。

(4) 在應用方面，因產品不同，所需列印的機台及材料也不同，例如 SLS 運用雷射方式，最後列印機幾乎是成品，SLA 使用液態樹脂，質地佳，但在空氣中容易變質，可作為珠寶飾品的模型，因此在使用印表機，必須具備相關知識。

(5) 在應用上，3D 列印的文創商品都是在網路社群中銷售，主要原因是成本過高。以個人化需求而言，醫材是台灣利用 3D 列印可行的方向，例如 助聽器，列印人工器官，作為手術前的模擬。

(6) 為提升 3D 列印的普及，在教育上，可參考 LEGO 的機器人課程，讓小學生主動學習，引發興趣，進而動手做，從過程中學習相關 3D 列印相關知識。

【對 3D 列印材料的應用發展】議題

背景說明：亞世特公司成立於民國 91 年，於 2012 年導入研發 3D 列印線材，目前多項研發產品註冊多國專利中，開發不同顏色、材質、功能，主要以 FDM 熱熔列印技術，讓 3D 印表機利用高溫加熱的方式，溶解耗材，再一層一層堆疊成型。<http://www.extek.com.tw/>

訪談地點：亞世特公司

訪談人：楊總經理

訪談摘要：

- (1) 從 2013 到 2016 年間，在材料的研究上，一直有增加的廠商進入，只是媒體沒報導，現在不僅僅是小廠具研發能力，大集團如 奇美旗下的 奇誠科技(MODEX)具有專業用的 PLA、ABS、TPE 材料研發與提供，新光化纖也開始在 TPE 軟材料上有所耕耘，遠東集團旗下也布局 PLA 及 PETG 材質，台灣大廠已漸漸嗅到 3D 列印的機會，才會進入市場。
- (2) 目前塑料材質往高速列印線材努力，但也需要 3D 列印機的配合，才能達到預期的效益。
- (3) 3D 列印雖可以加速製作成品，但多數物品都需要後製處理，如拋光及覆蓋層(coating)，才真正完成。

- (4) 現在多所學校提供 3D 列印相關課程，例如 機械系、建築系、工業工程系等。
- (5) 作為一個材料廠商，最關心的是應用面。當一輛超保的後視鏡損壞時，需要原廠提供零件時，所需的金額就是好幾萬，3D 列印此時就能滿足發揮高單價的少量的需求。又如電影星際大戰的頭罩、電影道具等，能以 1:1 的真實比例透過 3D 列印來完成，由 3D 列印來完成，遠比過去傳統客製化的時間及金錢少許很多。

【對 3D 列印機自製的發展】議題

背景說明：宏威錡科技公司主要營業項目為生產自創品牌 Kraftmaker 工業及 3D 印表機，3D 列印耗材配件及推廣 3D 列印技術教學服務。

<http://www.hong-weichi.com/>

訪談地點：世貿電子展

訪談人：林先生

訪談摘要：

- (1) 目前民間廠商投入的 3D 印表機約分兩類，個人用基本款使用 PLA 材料的價格是 10 萬元以下。基本工業級使用塑料的價格約 20~50 萬間。再高階一點可能需百萬到千萬以上。
- (2) 以製程來看，使用 FDM 技術完成 prototype 的是前端。若使用到 SLA 技術的，其精度強，屬於中端。到了塑鋼、金屬材質的，可做模具者，已屬後端。
- (3) 台灣廠商投入消費型列印機，已經不少，主要是低階便宜。
- (4) 現在的消費型列印機，已可以使用雙噴頭及雙材料，同時列印，品質及可看性佳。
- (5) 3D 列印最終會回歸製造業，但不一定要扮演大量製造，或許不可能取代開模大量製造。
- (6) 未來設計圖被使用的價值與機會將增加，也就是不必要的屯積與庫存將減少。

(7) 台灣具領先全球的資通訊產業，無論是在資訊、通訊、半導體及光電產品等領域，均已有極佳之發展經驗與基礎，加上國內充沛的設計與系統整合人力，非常適合發展 3D 列印數位製造產業。

【3D 列印在醫材上的運用】議題

背景說明：常廣有限公司是一家醫療設備開發公司成立於 2004 年，專門從事醫材設計及專利於醫療器械的腹腔鏡和內鏡手術市場。獲得 2016 年國際躍進獎，致力於台灣製造自有品牌微創手術器材之國際推廣。<http://www.lagis.com.tw>

訪談地點：常廣有限公司

訪談人：洪總經理

訪談摘要：

- (1) 本公司於 2010 年就開始使用 3D 印表機，主要目的是在研發微創外科手術時，所需要的器具模型。由模型中，與客戶討論相關需求，並藉以修正改善。運用 3D 列印機，大幅縮短研發時間，進而加速產品上市。
- (2) 醫材與一般使用的物件不同，它牽涉到人體健康，需要經過認證，且時間長，因此單價高。而且，很多醫材都是一次性使用，造成需求大。醫療技術的精進配合科技的進步，醫材也日新月異，3D 列印提供了客製化的便利性，讓設計隨需求，能快速調整。
- (3) 3D 列印機的列印速度及列印材料，目前無法達到成品輸出的要求，主要是 CP 值不夠理想。未來經過技術的演進，可望做小量的輸出。
- (4) 未來對 3D 列印醫材的期待是，建構 3D 解剖構造模型、虛擬手術規劃、醫材設計及 3D 列印製造等。客製化 3D 列印醫材能完全符合患者構造，能達到預期效果，也可以幫助醫生評估風險。
- (5) 在可見的未來，面臨的是法規的規範限制，及材料應用限制等。台灣在推動 3D 列印於醫材上，必須有所因應。

【EOS 3D 列印機代理商的 3D 列印觀點】議題

背景說明：數可科技為國內專業的積層製造(Additive Manufacture)服務商，主要服務項目為 3D 列印(3D Printing)或 RP 快速成型(Rapid Prototype)，並為德國 EOS 代理商。3D 列印(Rapid Prototype Service)可對應各式產業，例如航太科學，醫療應用，異形水路模具，工業製造 4.0，建築與空間設計，汽車與交通工具，流行時尚設計等，提供設計者，打樣，模型確認及模型製作做一完整服務。

<http://www.digital-can.com/>

訪談地點：數可科技公司

訪談人：溫協理

訪談摘要：

- (1) 公司目前產品以 SLA 及 SLS 技術的金屬積層製造服務為主，價位約 1000 萬到 3000 萬之間，屬於高階產品，能直接印成品，非模型。短期目標是通過 ISO13485 的醫材要求，長期為通過 AS 9100 的航太標準。
- (2) 國內生產高階金屬印表機的機會是有的，但現在技術的成熟度，目前仍落後國外 5 年以上，包含材料及技術的專利均為國外把持。建議國內廠商先以技術顧問服務及代工列印服務進入 3D 列印產業。
- (3) 歐美國家及中國都將 3D 列印納入政府的發展政策，台灣政府及民間用力不夠，又或許是代工產業的思維，造成無法嘗試新科技的好處。大陸自從開放以來，對外來訊息接受度高，相關文創設計師利用 3D 列印進行產出日益頻繁。
- (4) 使用 3D 列印機是需要專業知識的，EOS 將客戶的需求分類為航太科技、醫療應用、異形水路模具、工業 4.0、建築空間設計、汽車與交通工具、流行時尚設計。依需要建議使用的機型，如此才能更精準達到所需。
- (5) 數可公司也在網站 <http://www.dcforslife.com/about/index> 介紹及銷售設計師利用 3D 列印的產品，希望能帶動更多設計師開創不同的創意。

【研究單位對發展 3D 列印產業之觀點】議題

背景說明：

工研院位於台南六甲「南部雷射光谷育成暨試量產工場」的 3D 列印試製平台，提供國內廠商全方位 3D 列印技術開發及服務，包括製程、模組及設備軟硬體開發、專用粉末開發與驗證、3D 列印特色產品開發、試製、試量產等，最終希望能扮演協助廠商進行系統整合的角色，協助台灣廠商在 3D 列印產業中站穩腳步、搶得先機。

訪談地點：遠距通訊訪談。

訪談人：工研院南分院--蔡小姐

訪談摘要記錄：

(1) 在金屬 3D 列印方面，工研院擁有最完整的分析、設計、製造、和後處理能力，建立金屬 3D 列印製程、材料及設備開發技術。其中又可以分為「雷射金屬粉床熔融成型(PBF) 3D 列印」和「雷射金屬直接沉積(LMD) 3D 列印」二大技術領域。

(2) 工研院是台灣最早投入雷射金屬 3D 列印技術的單位，2013 年起陸續投入相關技術開發，並成功完成台灣自製雷射金屬 3D 列印設備，可製作 10 公分及 25 公分立方之物件，2015 年起，開發可搭載台灣自主研發的 500W 光纖雷射源的設備，2016 年更成功研發搭載四個雷射頭製作體積 50 公分立方的設備。在 PBF 技術，工研院開發出「3D 列印材料晶控光引擎」技術，可依照產品需求調控工件不同部位所需的強度、硬度、韌性等機械性質

(3) 工研院雷射中心開發低溫生物列印多噴頭技術，亦可應用於人工皮膚結構化列印上，進行膠原蛋白及皮膚表皮細胞複合列印，透過膠原蛋白與細胞 3D 疊層列印組合，堆疊成具正確組織結構與屏障功能的仿生表皮組織，下階段將往全皮層列印技術進行技術布局。

(4) 國外雷射積層製造公司持續成長。部分廠商開始降低 3D 列印產業投入比重，此時正是政府協助廠商投入研發的時機。

(5) 據統計，航太、骨科植入物、汽車產業的應用漸漸成形，3D 列印未來技術發展和應用將會更多元，但在應用上對於特定領域內，會面臨的法規挑戰，如醫療、藥物衛生管理法等等。

(6) 在應用服務上，台灣應朝高值化新產品開發，運用專用軟體，提升創新服務。在材料上，需要材料自主化，專用材料認證。在製程設備上，發展專用設備，開發複合系統整合。

【台灣工具機業目前對 3D 列印的發展現況】議題

背景說明：東台精機成立於 1969 年，以生產專用機起家，台灣最大的專用機製造商。1980 年代，隨著台灣經濟起飛外，近年來，已設立近 80 個直銷或代理的銷售服務據點，將產品銷往國外，更於 2003 年在中國吳江設立製造工廠，結合當地資源取得價格優勢，並更貼近中國的市場。除了在工具機領域深耕之外，於 1988 年起投入 PCB 產業設備製造，目前東台的 PCB 鑽孔機市佔率為全球前三名。客戶遍及全球，涵蓋汽機車產業、航太產業、電子產業、醫療產業、家電產業、模具產業、加工機具產業、一般零件加工以及脆硬材料加工，如藍寶石、硬化模具鋼、陶瓷、玻璃等面板產業。

訪談地點：通訊訪談

訪談人：曾先生

訪談摘要：

(1) 本公司目前的重點是，工業用金屬 3D 列印設備台灣第一台自行設計與製造的工業級 3D 列印設備就誕生在高雄路竹科學園區內，這台機器利用金屬粉末與雷射可印出飛機零件，目標是航太、生醫、汽車等工業領域的高端產品。

(2) 台灣發展 3D 列印沒太多優勢，但 3D 列印是數位製造趨勢，需急起直追。

(3) 在台灣發展 3D 列印問題與瓶頸，主要是產業鏈不完整，終端需求欠缺。筆電與工具機有數十年的累積，聚落完整。3D 列印需要創意需求的刺激，才能引發產業的動能。

(4) 世界各國 3D 列印產業帶給台灣的威脅主要在製造業的效能提升，

未來的最佳化製造是如何善用加法製造與傳統減法製造，加法製造會成為製造的選項，供應鏈的一環

(5)台灣發展列印機的機會。目前消費型 3D 列印有短期泡沫現象，但工業應用正一步步實現在製造業中，工業用的 3D 列印軟體/材料/設備/產業應用都值得發展

(6)對生產與銷售間的價值鏈影響區分為，工業用還是 B2B，消費用 B2C/C2B 模式還需時間建立

(7)從其他產業影響性來看，航太，醫材是目前全世界 3D 列印走最前面的應用

(8)台灣自行開發的 3D 列印設備跟過去則大大不同，同時把 3D 列印與傳統加工設備整合在同一機台，能同時一層一層疊出產品，又同時能進行切削的工法，而且施作的產品具有高強度，不是普通的低階產品，達到所謂的軟硬兼施、加減法並存的功用。

二、綜合整理

(1)生產方式及供應鏈的改變：



圖 4-3：3D 列印對產品生產方式與供應鏈的影響

(2)發展列印機的機會

台灣擁有很強電子代工研發能力，但是需有軟體、材料等相關配合。若要進入高階印表機，專利與認證保護與研發能力是必要的，需要靠研究單位的協助。3D 掃描器的研發，可加速複製列印的效益。

(3) 對生產與銷售間的價值鏈影響

工業產品最終要靠相關銷售供應完成，零售商在供貨與販售的角色上，可能受到巨大衝擊，消費者跳開大盤商、經銷商等，直接列印物件或請人代印，商品的供需方式，隨之引起重大改變

(4) 其他產業的影響

對設計師而言，造型及模型給與實物的感覺更深刻，只要有設計圖，可立即做修改與設計，隨時印，及時拿。

對模具業而言，或許 3D 列印有很多好處，但以 CP 值而言，廠商目前仍採觀望態度。

對醫材業而言，齒模、義肢及輔具等，都是可行的方向。

第二節 SWOT 分析

一、 歸納分析

台灣在發展 3D 列印時，有其優勢與劣勢，透過下列分析，列出台灣目前的現狀：

(一) 優勢 (Strengths)：

(1) 完整的產業鏈：台灣過去累積在代工製造產業的實力，包含塑膠產業、工具機、模具、汽車零組件等供應鏈上，具有完整的模式。

對 3D 列印在工業的發展上，具有相對的優勢。

(2) 製造技術優勢：硬體開發設計、積體電路等，是台灣過去的強項。台灣廠商的靈活性是世界有目共睹的。透過 3D 列印的加值，更能滿足客製化的需求與彈性。

(3) 研究單位為助力：目前工業技術研究院南分院的積層製造與雷射應用中心，佈局 3D 積層製造產業之應用技術，朝向雷射材料加工應用、關鍵模組、雷射設備發展進行技術佈局。

(二) 劣勢 (Weaknesses)：

(1) 缺乏基礎科學：台灣過去的經驗主要是應用面與生產面。基礎科學如材料科學等，無法與歐美相提並論。新的概念技術如 3D 列印技術，與國外相比還存在一定差距。產業亦在觀望期發展中。目前產業對於 3D 列印技術的開發與應用，目前僅限於製作消費性 3D 印表機之銷售。

(2) 文化差異：歐美國家的教育是培養自己獨立動手的習慣。普遍而言，台灣民眾對於自己設計樣式，和生產製成品並無強烈的動機。

(3) 市場較小：相對其他國家，台灣的市場規模小，不具規模經濟。且台灣以中小企業為主，在內需不夠的情況下，台灣廠商無法投入獨立的資源在 3D 列印相關技術上。

(4) 缺乏產業應用：3D 列印是多樣性的，產業的應用才能主導未來台灣發展 3D 列印的方向，畢竟台灣資源有限，政府的產業政策究竟要集中往哪方面研究，是國防、汽車、航太、醫材業。

(三) 機會 (Opportunities) :

(1) 專利到期：技術的專利保護讓普及性無法發揮。「雷射燒結(laser sintering)」技術專利權在 2014 年的 2 月到期。如同熔融沉積法 (Fused Deposition Modeling, FDM) 的專利到期後，FDM 印表機呈現爆炸性的成長，預期未來有更多的專利到期後，應用技術的相關設備也會同步的成長。

(2) 因應工業 4.0 的興起：國外積極布局工業 4.0，未來不管是物聯網、大數據等對工業生產的改變，都離不開實體物件的製造，如何讓 3D 列印改變流程及生態，都是台灣抓住世界變化的機會。

(3) 媒體積極傳播：台灣對國外訊息的接收快速。國外媒體的報導與介紹，引起了大眾與政府的重視，台灣目前 3D 列印技術，在產官學研各單位的關注下，對台灣整體發展氛圍亦有助益。

(4) 新的應用模式：電影道具、仿真物品、醫材、模型等。

(四) 威脅 (Threats) :

(1) 先進國家專利佈局：目前歐美與日本等國家之專利佈局，台灣很難與之競爭，台灣對於發展 3D 列印較慢，相關技術與專利佈局少。未來發展 3D 列印時，只能盡量避開侵權行為，這也是台灣發展 3D 列印產業之阻力。

(2) 競爭者眾多：全球不管是成熟國家或新興國家，都對 3D 列印投以關愛的眼神。中國大陸目前積極發展 3D 列印技術，與亞洲的韓國或日本相比晚了些，但積極度不容小看。這些周圍國家的未來競爭發展，更可能威脅到台灣 3D 列印的發展。

(3) 模具產業受挑戰：台灣模具產業佔世界一席之地，模具為零組件製作的關鍵工具，也是 3D 列印的直接影響者。近年來受先進歐美國家積極運用積層製造技術，會讓傳統製作模具的廠商受到衝擊。

二、分析策略

		外部分析	
		O 機會	T 威脅
內部分析	S 優勢	<ul style="list-style-type: none"> · 重要3D列印專利陸續到期 · 工業4.0興起 · 外國網路媒體的關注，提高公眾興趣 · 新的商業應用模式湧現 	<ul style="list-style-type: none"> · 專利組合已經被其他國家建立 · 世界各地的許多競爭對手均已存在 · 加法製造漸漸蠶食模具產業
	W 劣勢	<ol style="list-style-type: none"> 1. 利用台灣硬體優勢，配合到期專利，製作高階列印機 2. 配合工業4.0，透過3D列印補強傳統製造 3. 研究單位的產出，配合媒體的傳播，擴散產業應用 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 研究單位建立自己的專利組合，技轉民間 2. 對短時間內技術無法追上，爭取授權 3. 鼓勵模具業利用研究單位成果，運用3D列印製作模具
		<ol style="list-style-type: none"> 1. 材料科學等非強項，可先行材料代工 2. 媒體的關注與報導，強化DIY教育的重要性 3. 配合工業4.0的需求，提供3D列印服務、設計輸出 4. 引進國外的商業模式，提升應用層級 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 引進授權技術，避開智財侵權 2. 模具業利用3D列印做毛胚，經CNC及打磨後，加速模具製造。當技術成熟，應直接印模具。 3. 小學教育強化DIY精神，高等教育創新及專利權知識的提升 4. 透過網路社群的集資與共創，應對其他競爭

第五章 結論與建議

第一節 台灣發展 3D 列印的策略與建議

每一個網路發展階段所發展出來的創新名詞，都有它的精神與定義。Web 1.0 網際網路時代強調內容服務與創造，Web 2.0 則是重視群體創作、交流共享 (Blog)。Social 社群時代重視人與人的社交互動。演變至今，SoLoMo 時代重新定義了商業模式，進而打造虛實整合與商務結合。清楚每個時代所要表現的目的，才能掌握趨勢的發展與脈動。



過去所有的社團族群，都因網路技術的成熟，加以虛擬化，增加了移動性。跳脫商業的交易行為，SoLoMo 概念所賦予的精神加諸於實體製造端，數位行銷後面的數位製造。

經過了收集、訪談後，聚焦在台灣可能的發展機會如下。

(一)與傳統互補: 台灣的經濟靠 OEM、ODM 代工製造及完整的供應鏈在全球可說是獨一無二，在整體設計製造鏈中，3D 列印非取代傳統的開模大量製造，是要與它互補與共存。舉例而言，手機殼在設計階段需要有少量樣品的試產，可能需要 100 個樣品，發包給供應商製作，因需開模作業，時間要四週，且 MOQ(Minimum Order Quantity)是 2000 件，費用 60 萬。透過 3D 技術讓設計的樣品直接列

印成型，依據需要的量製作，免除外包的動作，達到量產在地化 (Location)，在大量生產前，可以縮短時間及減少成本的浪費，與傳統量產程序互補。

(二)研究單位的支持: 高階產業型 3D 列印機是未來的方向，在整個工業 4.0 製造中，3D 列印不可或缺。技術能量上，工研院可用金屬 3D 列印技術配合傳統 CNC 等自動化工具，協助國內廠商開發 LED 燈具、光學鏡片與汽車零件模具，進而授權關鍵技術給列印機製造商，提升廠商技術，並防止國外專利組合，避免侵權事件發生。隨時關切國外研究單位及產業發展狀況，以利國內追上國際腳步。

(三)精進應用材料:材料屬基礎科學，配合印表機的進步，台灣列印材料也應提升其品質。3D 列印材料市場的驅動力主要來自消費產品、航太業、醫療業、國防、汽車及電子產業。在材料選擇上，大致可分成塑料、金屬及其他列印材料三大類，會因應用領域而有所不同，塑膠成品部分主要運用於產品打樣，而金屬成品則使用於航太、機械、汽車工業中的零件設計。消費型 3D 列印技術最常使用 ABS 或 PLA 塑料，各種採用 FDM 技術的 3D 列印機在專利到期後紛紛上市，台灣利用材料公會的力量，互相交流，精進技術，進而開發各種新的列印材料，避免被國外把持。希望 3D 列印的運用進一步導入新的領域。

(四)運用媒體力量與強化教育:媒體與教育是主掌 3D 列印產業的觸媒。媒體的報導與宣傳，會引起一般民眾的興趣，進一步想了解與認知，產生興趣。同時也會讓教育的市場有所共鳴，引發創新的構思。在教育上，透過創新思考課程與 3D 列印的實務操作，啟發學生的創意發想，落實工藝的創作。如此讓台灣在創意與設計引導下，提升知識價值能量。

(五)網路社群的助力:3D 列印在台灣還是小眾市場，廠商願意投入的

意願不高下，資金難取得，群眾募資（Crowd Funding）是一個好的方式，讓有創意的人，透過此方式，讓創意得以實現。另外，在網路社群中，透過眾人智慧(Crowd Wisdom)、自造者社群、雲端製造工廠，將本身發想的創意產品，付諸實現。

在整個技術環境的進步及人類生活習性的改變，3D 列印必然是一個趨勢，台灣不可能離群索居，如何在大洪流中找到自己的價值，是我們共同努力的方向。台灣廠商也應儘早卡位，藉此獲取商機。

第二節 後續研究與建議

科技日新月異，建議後續對 3D 列印產業有興趣的學者專家，可以針對「3D 列印與智慧機器人協同作業應用領域」有更深入的研究與探討。

參考文獻

英文

1. Cochrane(EDT)/ Hurst, Nathan (EDT)Laura. (2014). Make: 3d Printing.
HornickJohn. (2015). 3D PRINTING WILL ROCK THE WORLD.
South Carolina: CreateSpace Independent Publishing Platform.
2. NickolaisenNiel. (2016). 3D printing strategy a litmus test for CIO
leadership.
3. howard_smith (2013)You Must Make the New Machines, 3D Printing
News and Trends ,
<http://3dprintingreviews.blogspot.tw/2013/04/you-must-make-new-machines.html>
4. 3D Printing and the Future of Manufacturing ,
<http://www.csc.com/innovation/insights/92142-3d-printing-and-the-future-of-manufacturing>
5. David H. Freedman 2011,“Layer by Layer With 3-D printing, manufacturers
can make existing products more efficiently—and create ones that weren’t
possible before. “<https://www.technologyreview.com/s/426391/layer-by-layer/>

中文

1. 田中浩也. (2013). FabLife. 台北: 泰電電業.
2. 克里斯·安德森. (2013). 自造者時代: 啟動人人製造的第三次工業革命.
3. 吳懷宇. (2015). 決戰 3D 列印: 「智造」時代來臨, 顛覆你的既定「印」象. 有意思.
4. 霍德·利普森, 梅爾芭·柯曼(2014) 印出新世界: 3D 列印將如何改變我們的未來
5. 傑瑞米·里夫金(2013), 第三次工業革命: 世界經濟即將被顛覆, 新能源與商務、政治、教育的全面革命, 經濟新潮社
6. 陳明興、李宜霖、宋佳欣、王瑞德、王培智、曾政德(2013) 3D 列印的機會與挑戰—台灣的發展方向與策略探討, 跨領域科技管理國際人才培訓計畫
7. 足立昌彥, 稻田雅彥, 大口諒, PALABOLA, 和田拓朗 3D 列印的提案、建模和行銷: 數位創作新革命, 提供您實用的 3D 列印知識與訣竅(2016), 瑞昇出版