跨領域科技管理國際人才培訓計畫(後續擴充第3期)

102 年海外培訓成果發表會

3D 列印的機會與挑戰—
台灣的發展方向與策略探討

指導教授：溫肇東（政治大學科技管理與智慧財產研究所教授）

組　　長：陳明興（台灣積體電路公司）

組　　員：王培智（核能研究所）

曾政德（廣達電腦公司）

宋佳欣（泰藝電子公司）

王瑞德（台灣積體電路公司）

李宜霖（和碩電腦公司）

論文撰寫分工說明

章節	作者
一、序論	陳明興、曾政德、王培智
二、3D 列印技術與現況	曾政德、宋佳欣
三、3D 列印之發展與機會	宋佳欣、李宜霖
四、3D 列印之挑戰	王瑞德、陳明興
伍、台灣發展 3D 列印的機會與建議	李宜霖、宋佳欣、陳明興
六、結論	陳明興、李宜霖、宋佳欣、 曾政德、王瑞德、王培智
附錄（含訪談記錄）	陳明興、曾政德、李宜霖、 宋佳欣、王瑞德、王培智

3D 列印的機會與挑戰—台灣的發展方向與策略探討

陳明興、王培智、曾政德、宋佳欣、王瑞德、李宜霖

摘　要

隨著數位與網路之發展，一種利用逐層堆疊與累積方式的製造方法，正逐漸被用於一些產品的直接製造。此種列印之製造方式，能在短時間內，依照數位設計，直接製作出三維模型或工業成品，3D 列印儼然已衝擊到傳統工業產品的生產與設計方式。

本研究、旨在探討 3D 列印緣起，和現有技術的應用發展，對現有產品製造、生產方式、與供應鏈之影響，並研究相關的技術限制與對智慧產權的影響、和可能對社會規範造成的挑戰與因應之道。在台灣暨有相關技術的基礎上，分析台灣發展 3D 列印產業的優勢和機會，並提出台灣發展 3D 列印技術時，在產、官、學、研上可進行的發展策略與努力方向。

關鍵字：3D 列印，工業革命，自造者，SWOT 分析。

Opportunities and Challenges – Exploring Development Direction and Strategy for 3D Printing in Taiwan

Thomas Chen, P.J. Wang, Arthur Tseng, Justine Song, James Wang, Austin Lee

Abstract

A process of "growing" objects layer by layer, together with the development of software and internet, is increasingly used for the direct manufacturing of some products. 3D printing, alias additive manufacturing (AM) or direct digital manufacturing (DDM), makes it possible to create an object by creating a digital file and printing it at home or by sending it to one of a growing number of online 3D print services. For some, 3D printing marks a new age of mass personalization that promises to boost innovation, foster more efficient use of resources and transform the way things are produced. 3D printing is already starting to impact traditional design and manufacturing methods.

This study aimed to explore impacts that 3D printing might bring to existing manufacturing and production methods by studying the technology, application and development of 3D printing technology in United States, Europe and Japan. By such study and analysis, this study will serve as a reference for the development of 3D printing in Taiwan as well as provide suggestions to the direction and strategy of 3D printing development in Taiwan.

Keywords：3D printing, Industrial revolution, Maker, SWOT

目　　錄

第一章、序論 1

一、研究背景 1

二、研究動機 4

三、研究方法 6

四、論文內容 7

第二章、3D 列印技術與現況 8

一、3D 列印技術的演進 8

二、3D 列印原理 9

三、3D 列印之軟體與韌體 12

四、3D 列印之產業發展標準 14

五、3D 列印發展現況 15

六、3D 列印的限制與發展 31

第三章、3D 列印之發展機會 35

一、3D 列印的產業優勢 35

二、3D 列印的發展趨勢 43

三、3D 列印的商業模式與新創機會 45

第四章、3D 列印之挑戰 51
一、智慧財產權法律的挑戰 52
二、產品責任與安全性 60
三、對產業的影響與挑戰 62
第伍章、台灣發展 3D 列印的機會與建議 65
一、台灣 3D 列印的現況 65
二、台灣 3D 列印的 SWOT 分析 71
三、台灣 3D 列印的發展機會 74
四、台灣發展 3D 列印的策略與建議 76
第六章、結論 87
參考文獻 89
誌謝 101
附錄 102
附錄 1：【工業革命的要件與比較研究】議題 102
附錄 2：【3D 列印推廣單位對 3D 列印的觀點】議題 104
附錄 3：【機械專業領域的學界，對於 3D 列印的觀點】議題 106
附錄 4：【文創產業之咖啡館的 3D 列印觀點】議題 108
附錄 5：【創意設計策展人對 3D 列印觀點】議題 109

附錄 6：【3D 列印機代理商的 3D 列印觀點】議題..... 111

附錄 7：【3D Printing 相關機會與挑戰討論】議題..... 112

附錄 8：【3D 列印可能涉及侵權法/產品責任】議題..... 113

附錄 9：【3D 列印的智慧財產權】議題..... 114

附錄 10：【3D 列印發展的挑戰與金屬列印之前景】議題..... 115

附錄 11：【3D 列印對台灣工具機產業之影響】議題..... 119

附錄 12：【材料專業領域的學界，對於 3D 列印的觀點】議題..... 121

附 圖 目 錄

圖 2.1 3D 列印示意圖 10

圖 2.2 解析 3D 房子模型的 STL 13

圖 2.3 方程式賽車和波音飛機零件的 3D 列印 16

圖 2.4 3D 生物細胞列表機 17

圖 2.5 3D 生物列印成品 18

圖 2.6 3D 牙齒列印機與列印成品 18

圖 2.7 3D 列印出的建築與齒輪模形 19

圖 2.8 3D 文創與飾品列印 20

圖 2.9 Makerhaus 經營的 3D 列印公司 23

圖 2.10 美國華盛頓大學的 3D 列印社團 23

圖 2.11 以積層式製作的概念車「Sintesi」和賽車「Areion」 25

圖 2.12 日本 3D 金屬列印產品 27

圖 2.13 工研院發展中的 3D 金屬列印 31

圖 3.1 3D 列印產業矩陣 46

圖 3.2 3D 列印產業概念圖 47

圖 4.1 3D 列印改變產品供應鏈 63

圖 5.1 3D 列印的產業優勢圖 74

圖 5.2 具有一體成型優勢的 3D 金屬列印 82

附 表 目 錄

表 2.1 3D 列印的列印技術和使用材料 10

表 2.2 目前 3D 列印的材料和使用狀況 34

表 4.1 3D 列印領域之智慧財產權表 53

表 4.2 我國 3D 專利索引結果 54

表 5.1 台灣 3D 列印的產業狀態 67

表 5.2 台灣 2013 年 3D 列印的活動紀錄 69

第一章、序論

人類進化的主要因素，是緣由於運用智慧、利用材料，並發明工具使人類適應環境，俾便延長了生命。回顧歷史，人類是藉由勞動而創造文明，勞動又是從製造工具開始，由於勞動工具的出現，關係到人類知識和經驗的增長過程。從最原始期直接獲取的自然資源方式，用於滿足最簡單的生存需要，隨著分工程度的深化，人類在自然界中，開始利用原始材料進行加工，以促成文明的進展。此後，關聯性的社會關係演進，新的方法與途徑隨著生產工具的改變，技術發展成為人類文明與演進的重要因素。工具的製造與材料的改變，使人類創造了一次又一次的文明。人類如果沒有具備利用材料和工具技術的知識，人類便會停留在原始階段，而無法進化。是以，生產方式與工具製造始終與人類文明之間，息息相關。

一、研究背景

自從十八世紀中葉開始，歐洲產業工業化的速度有了極大的變化，這種變化對於近代人類文明的影響，遠比任何政治性革命都來的巨大與深遠。目前，一般學者所稱的工業（industry；或稱產業）指一個經濟體中，有效運用資金與勞力，從事生產經濟物品（不論是物品還是服務）的各種行業。在經濟學上，慣常把產業分門別類。一般而言，產業可分為三或四類[1]。工業革命，使人類的生活形式發生了深刻的轉變，不僅根本上改變了生產技術與經濟組織，更以工業化的重要過程，主導了社會文明的地位，史稱為工業革命。而革命（Revolution）一詞，在政治學概念，經常相對概念是「改革」。前者指對現行體制的推翻或取代，而後者則是體制內的稍大規模修改，通常是系統性的計畫是「改革」。另社會學以及日常口語概念：通常表示一種極端的、

[1] 【維基百科】在四級產業分類法中，第一產業（又稱初級產業）泛指一切從事原材料開採的行業。例如採礦業、農業、漁業等等。第二產業（又稱次級產業）是進行加工的行業。第二產業對第一產業生產出來的原料或其他第二產業生產的半製成品進行加工。例子包括工業、建造業、印刷行業等等。第三產業泛指一切提供服務的行業，例如法律專業、醫療專業、批發業等等。第四產業是以提供智慧型服務為特徵的產業領域。一般認為，與資訊技術、科學研究、教育、資訊產業屬於第四產業。亦有人認為有第五產業，指提供非牟利為目的之公共產業，包括國防、司法、治安、消防等政府公共服務、基礎設施建設、福利事業等等，但亦有人認為這類行業屬第四產業。

常常帶有暴力的、對現存政治和交際關係的社會性變革（顛覆）。它由創新者組織的團體發動，並且能夠得到大多數人的支持。其革命性的影響更遠及社會、政治與文化。（第一次）工業革命：又稱產業革命，工業革命在 1759 年左右已經開始，1769 年，英國人瓦特改良蒸汽機之後，由一系列技術革命，引起了從手工勞動向動力機器生產轉變的重大飛躍，自英格蘭擴散到整個歐洲大陸，19 世紀傳播到北美地區。在瓦特改良蒸汽機之前，整個生產所需動力依靠人力和畜力，伴隨蒸汽機的發明和改進，工廠不再依河或溪流而建，很多以前依賴人力與手工完成的工作，自蒸汽機發明後被機械化生產取代。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，以大規模工廠化生產取代個體工廠，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)[2]。一般認為，蒸汽機、煤、鐵和鋼，是促成（第一次）工業革命技術加速發展的四項主要因素[2]。工業革命是一般政治革命不可比擬的巨大變革，其影響涉及人類社會生活的各個方面，使人類社會發生了巨大的變革，對人類的現代化進程推動，起到不可替代的作用，把人類推向了嶄新的蒸汽時代。

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。當時，科學技術的突出發展主要表現在三個方面，即電力的廣泛應用、內燃機和新交通工具的創新、新通訊手段的發明。「第二次工業革命」：世界由「蒸汽時代」進入「電氣時代」。在這一時期裡，一些發達資本主義國家的工業總產值超過了農業總產值；工業重心由輕紡工業轉為重工業，出現了電氣、化學、石油等新興工業部門。由於 19 世紀 70 年代以後發電機、電動機相繼發明，遠距離輸電技術的出現，電氣工業迅速發展起來，電力在生產和生活中得到廣泛的應用。內燃機的出現及 90 年代以後的廣泛應用，為汽車和飛機工業的發展提供了可能，也推動了石油工業的發展。化學工業是這一時期新出現的工業部門，從 80 年代起，人們開始從煤炭中提煉氨、苯、人造燃料等化學產品，塑料、絕緣物質、人造纖維、無煙火藥也相繼發明並

[2] 【維基百科】-工業革命：
http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%B7%A5%E6%A5%AD%E9%9D%A9%E5%91%BD

投入了生產和使用。原有的工業部門如冶金、造船、機器製造以及交通運輸、電訊等部門的技術革新加速進行[3]。

「第三次工業革命」的概念，始於 2007 年的歐盟議會，當時這項提議並未獲歐盟一致的共識，而僅淪為口號與宣誓而已。隨後受到世界金融海嘯、歐債風暴、美國的公共債務危機，因而導致全球性的產業衰頹不振，各國失業率全面攀升，致使世界各國為振興經濟，因而極力倡議工業製造與產業之提昇，因此，這項五年前的提議，才又成為經濟學家的焦聚重點。雖然之前亦有社會學者認為：1960 年代核能電廠、雷射、與之後的電腦發明，視為第三次產業革命，但是僅是少數人的認知罷了。2012 年 5 月 29 日，歐盟執行委員會（European Commission）正式以「歐洲帶動第三次工業革命」作為領袖高峰會議的唯一主題，進行官方的研討，研商歐洲未來的長程發展方向與經濟策略，並宣稱就以高峰會議舉行當日，作為全歐洲第三次工業革命的啟動之日[4]。冀望能有效面對 2013 年以後的全球經濟復甦新局。歐洲第三次新工業革命的基本內涵，可謂是一次歐洲能源應用科技產業革命，也就是歐洲領袖共同認為，推動能源政策與公共行動策略抉擇，是各國面對後危機挑戰，以及促進知識經濟社會發展的首要急務。歐洲啟動的第三次工業革命，比起前兩次工業革命，最大的不同，在於推動經濟社會進步所依賴的基礎動能不同：第一次工業革命在於依賴「機械力取代人力」作為基礎動能，第二次工業革命在於依賴「機動力與實體網絡聯結」作為基礎動能，而這次歐洲第三次工業革命，則所強調依賴的是以「綠色經濟力與人力資本、知識力」作為基礎動能。此次由歐洲發起的所稱「第三次工業革命」，並未得到歐盟以外國家的認同，其間當然涉及主導性的認知不同調，另外，僅以能源為改變的本質，是否會引發整體之產業革命，學者亦有不同之看法。

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

[3]Third Industrial Revolution - European Commission，
http://ec.europa.eu/enterprise/policies/innovation/files/mg-speech-rifkin_en.pdf

[4]
http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/management/docs/Commission%20Opinion%20adopted%20EN%20C-2012-3392.pdf

革命」[5]，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：人類即將步入一個「後碳」時代。人類能否永續發展，能否避免災難性的氣候變遷，第三次工業革命將是未來的希望；曾經支撐工業化生活方式的化石能源（石油、煤、天然氣）正日漸枯竭；採用再生能源（renewable energy, 太陽能、風力、水力、地熱能、生質能源等），才能確保一個可永續發展的未來。未來社會生活的關鍵是通訊和能源，所以 Jeremy Rifkin 認為第三次工業革命強大的基礎是：「網路技術」和「再生能源」結合起來，將會改變世界。在這書中，傑瑞米・里夫金認為：新的經濟革命是發生在人類發展歷程中，面臨新型的通訊技術與能源體系交匯之際。現今世界正面臨：網路、材料和能源三者變動與發展的融合時代，即第三次工業革命即將來臨。可再生能源的轉變、分布式生產、存儲、通過能源網路進行分配，以及零排放的交通方式構成了新經濟模式的五個支柱。即新技術和新能源新材料，推動人類向一個全新的能源體制和工業模式快速過渡，這將極大的改變全球的生產方式和生活方式。

二、研究動機

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，文章認為 3D 列印技術，將使單品製造，幾乎和大規模生產的產品一樣便宜，對於世界之影響力，甚至可與當年產業工廠化的出現相提並論。2012 年 4 月，該雜誌又刊登封面文章「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「福布斯」（Forbes）、紐約時報（New York Times）、「連線」（Wired）等諸多西方主流媒體，都先後在期刊的首頁，鼓吹 3D 列技術與影響，擔任 Wired 雜誌主編的克里斯·安德森（Chris Anderson），亦選擇辭職，親自創業投身於 3D 列印領域，創辦了一家名叫 3D Robotics 的公司，在網路社群 DIY Drones 的發展。隨後，他發表的新書「自造者－新工業革命」（Maker: The New Industrial

[5] Jeremy Rifkin,The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World, Publisher: Palgrave Macmillan (January 8, 2013), ISBN-10: 0230341977

Revolution）[6]，對此新的製造模式進行大力宣傳，並極其看好 3D 列印，可能對未來製造方式，並可能顛覆生產方式的重大變革。Anderson 認為：上一次工業革命帶領製造業走向量產、規格化，3D 列印確反向而行，可藉適當的技術與設備，實現少量、多樣、與客製化的需求。這個需求將主導未來主要市場，其產品利潤足以支持產業的發展。由於 3D 列印無須開模，在有訂單才生產的優勢下，免除了庫存、廢料的成本（唯一庫存只有數位化的 3D 設計圖）。

極為特別的，除媒體的瘋狂與熱潮式的報導外，美國政府亦嚴肅地加入這場變革；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」，雖然製造業的增值指數較低[7]，但是其相對風險亦較低，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。2013 年 8 月，美國政府宣布第一個研究所將在俄亥俄州建立，主要研發 3D 列印技術，首期投資 3000 萬美元。在政府的推動下，更多的自造者（maker）的發展空間也受到極大的鼓勵。2013 年初，美國政府計劃在未來 4 年，在美國 1000 所學校，建立自造者的發展環境，以 3D 印表機和雷射切割機等數位製造工具，培養下一代的生產創新者和系統設計師。高盛集團於 2013 年 8 月 8 日在 zerohedge 網站上公布了他們認為具有顛覆潛力的 8 項技術[8]，3D 列印為其中之一。這一種利用逐層堆疊與累積方式的製造方法，可依照數位設計圖，直接製作（或稱：列印）出三維模型或工業成品，造成產品的產出與供應方式，均不同於既往，儼然已衝擊到傳統工業產品的生產與設計。從而必將對規模經濟產生削弱效果。

---

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

[7]宏碁集團創辦人施振榮，在 1992 年提出「微笑曲線」（Smiling Curve）理論。
http://wiki.mbalib.com/zh-tw/%E5%BE%AE%E7%AC%91%E6%9B%B2%E7%BA%BF%E7%90%86%E8%AE%BA

[8]高盛認為：「在我們看來，顛覆性的創造力主要由產品或商業模型創新來驅動—通常始於科技（發展）」。顛覆性技術是指：「這些會為消費者帶來擁有更高價值的服務，這體現在更好的表現、更大的便利，或更低的花費。這些附加價值就是經濟利益的來源，它會首先流向創新者，然後隨著時間流向它們的消費者和競爭者。這些新的產品或商業模型常常會成為新的商業典範，直到被下一項新的創新威脅到它的支配地位。」

雖然近年來，我國產業結構已有重大變化，工業產值已降至 28.97%（其它為服務業 69.16%、農業 1.87%）[9]。在工業生產中，尤其是我國之模具產業（為全球之重鎮[10]）、金屬製造[11]、汽機車零件[12]、塑膠產業等，均為我國重要的外銷項目。近年來，這些產業受到中國大陸製造技術之崛起，競爭優勢也逐漸受到挑戰，可預期未來必然受此技術與風潮之影響。由於我國之前並無與 3D 相關產業之技術、設備、與材料之研究發展，相關產業如何在短時間因應與調整，是為極為迫切與重要的事，是否能在此技術萌芽之初，即能迅速的應變與因應，並確立未來發展的方向，無論國內產、官、學、研，均能夠進行即時的應變與調整，以順應此波工業革命之浪潮。

三、 研究方法

本研究旨在探討 3D 列印對現有製造與生產方式之影響與衝擊，藉由美國、日本的 3D 列印之技術、應用與發展方向，作為台灣發展 3D 列印之參考。報告成員於論文寫作期間，除閱讀大量文獻外（包含期刊論著、網際網路資料、學位論文、相關書籍等），並訪問國內模具、塑膠、軟體、與 3D 列印機的製造商與代理商；另外，亦請教致力於金屬材質列印的工研院南分院，經濟部、金屬工業發展中心等機構；在學界，請益台灣大學、台灣科技大學以及清華大學等，計十餘個單位與公司。在國外期間，研究成員，除拜訪華府知名律師事務所 Finnegan、西雅圖華盛頓大學（UW）商學院、法學院與 UW 機械系；並走訪西雅圖波音（Boiling）公司、MakerHaus 公司與 UW maker 社團，實際訪問這些單位與教授，請益 3D 列印在美國之技術、發展方法、智慧產權管理、法律規範與商業經營模式等，擬由美國的 3D 列印現況分析，著手探索在美國各界，對 3D 列印發展為新工業革命的展望，未來產業與社會可能面臨的風險與挑戰，以及相關的因應措施；並寄望作為台灣廠商切入此趨勢的參考。報告寫作期間，成員

---

[9] 主計總處統計資料；http://www.cepd.gov.tw/m1.aspx?sNo=0018957

[10] 1998 年台灣模具產值首度突破新台幣 600 億元，為 604.1 億元新台幣，僅次於日本、美國、德國，居世界第四位；模具相關廠商數 2012 高達 3,400 餘家，從業人員共計 41,000 多人。

[11] 金屬製品業實為我國重要基礎骨幹產業，廠商數與從業員工數的排名分別高居我國各產業別第 1 位與第 2 位。。根據政府的統計數字，我國金屬製品業僱用之從業員工高達 23.7 萬名，廠商總數近 1 萬 5 千餘家，對國民就業率與社會安定影響甚鉅。2011 年台灣金屬製品業產值達新台幣 7,543 億元，進口值為新台幣 4,266 億元，出口值為新台幣 5,296 億元。

[12] 汽機車零配件向來為我國主要出口產業，在 2012 年達到新台幣 2,263 億元，創下歷年新高（http://www.nownews.com/2013/05/29/320-2944485.htm#ixzz2X9diTWhB

多次參加研討會議，包含台北珠寶 3D 列印研討會（2013.06.09）、迎接自造者時代趨勢論壇-3D 列印大商機（2013.07.14）、新聚能 3D 研討會（2013.07.03）、3D Printing–引爆客製化時代科技論壇（2013.05.30），以做為國內推動 3D 列印之參考，並寄望對台灣發展 3D 列印的策略與方向提出建議。

另外，研究成員採用 SWOT 分析，深入探討台灣的相關機構與企業的目前發展情況及需求，提出對於強化台灣 3D 列印產業競爭力的建議，希冀台灣能在此趨勢掌握先機，並取得優勢，以提昇未來國內經濟產能與發展方向。

四、論文內容

本報告第一章：闡述工具、材料與生產方式的變革，所可能引發第三次工業革命的背景，並敘明研究 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，對於此一論題之研究過程和方法，也做了詳細說明。第二章：探討 3D 列印技術的歷史發展、現況、技術、以及相關的限制和未來可能的技術走向。第三章：探討 3D 列印之產業優勢和未來發展趨勢　、可能引發的新的商業模式，以及相關產業發展的機會。第四章：闡述 3D 列印可能面臨到在智財法律、產品安全性與可靠度等，以及對現有產業之挑戰與影響。第五章：面對 3D 列印產業革命，研究團隊將對國內產業界面臨的機會，提出 SWOT 分析與相關的建議，冀望這些建議，可提供國內產官學研等單位與有識之士之參考，對國內產業永續發展，盡拋磚引玉之棉薄心意。

第二章、3D 列印技術與現況

縱觀科學技術與工藝之演進，實與人類需求相關，尤需經由眾多科學家與工程師之長期努力。以第一次產業革命為例，瓦特發明了蒸汽機，確實拉開了革命的序幕。但實際上，瓦特只是改進了蒸汽機的設計，在他之前，其他的工程師和科學家都曾製作出各種工業蒸汽機[13]。然而蒸汽機對於產業革命的貢獻，實非機器創新之本身，而是在於開啟人類應用機械動力，顛覆主流的社會中，產品生產和供應的結構與手段，使人類從開發地表資源為主的農業社會，跨越到工業社會。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 列印發展的歷史和原理；目前的列印技術、材料、優勢與限制，並預測未來需精進和解決的問題。

一、3D 列印技術的演進

堆疊式列印的方式，目前仍為 3D 列印技術的主流，唯堆疊式的概念，並非全新的創意和發明，實可朔及黏土雕塑（sculpture）和地貌成形（Topography）技術，甚至與遠古時代的房舍構建技術相仿。然而，目前一般認為 3D 列印技術之技術的發軔，可追溯到 1976 年所發明的噴墨印表機[14]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[15]。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，但均以多層的疊加方式，輔以固化程序，來產生列印實體。

---

[13] http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%92%B8%E6%B1%BD%E6%9C%BA

[14]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

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

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，標誌著快速成型技術即開始進入實用階段[16]，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[17]，SLS[18]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[19])被授予了專利[20]。這種以累積材料方式的快速成型方法，於 2009 年由美國材料協會（ASTM）[21]，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 Bredt 和 Tim Anderson[22]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；以「3D 列印機」(或印表機)」，已變成快速成型機的代表名稱。

二、 3D 列印原理

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。

---

[16] http://en.wikipedia.org/wiki/Chuck_Hull

[17] http://rpworld.net/cms/index.php/additive-manufacturing/rp-rapid-prototyping/fdm-fused-deposition-modeling-.html

[18]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 Sation.

[19] 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。

[20] U.S. Patent 4,575,330 (“Apparatus for Production of Three-Dimensional Objects by Stereolithography”)

[21] American Society for Testing and Materials (ASTM)

[22] Bredt 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。

表 2.1　3D 列印的列印技術和使用材料

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

其列印原理，如圖 2.1 所示。

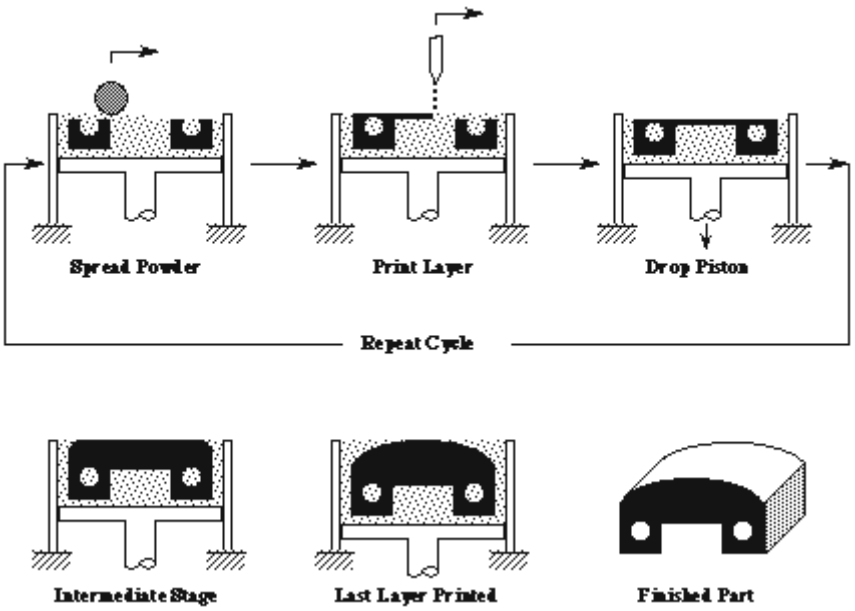


圖 2.1 3D 列印示意圖

可分為下述幾個步驟：

（一）3D 設計與數位資訊產生

3D 列印的基本原理是：先透過電腦輔助設計或電腦動畫建模軟體建模，再將建成的 3D 模型「分割」成逐層的截面，在下指令給印表機逐層列印。設計軟體和印表機之間溝通的標準檔案格式是 STL[23]檔案格式。STL 檔案使用三角面來模擬類比物體的表面。三角面越小，其生成的表面解析度越高。PLY 是一種透過掃描產生的 3D 檔案的掃描器，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

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。因此，技術的特點在於其幾乎可以製造出任何形狀的物品。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 dpi[24]（像素每英寸）或者微米來計算的。一般的厚度為 100 微米，即 0.1 毫米，也有部分印表機可以列印出 16 微米薄的一層。平面方向，則可以列印出跟雷射印表機相近的解析度。列印出來的「墨水滴」的直徑通常為 50 到 100 個微米。 使用傳統方法製造出一個模型通常需要數小時到數天，根據模型的尺寸以及複雜程度而定。以 3D 列印的技術，則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。傳統的製造技術如注塑法，可以以較低的成本大量製造聚合物產品，3D 列印技術則可以以更快，更有彈性以及更低成本的辦法，生產數量相對較少的產品。

---

[23] 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。

[24] 用於點陣數位影像，意思是指每一英吋長度中，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

（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：先用當前的 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，還會用到支撐物，比如在列印出一些有倒掛狀的物體時，就需要用到一些易於除去的東西作為支撐物，這時就需要軟體去構思，產出物的支撐點為何。

三、3D 列印之軟體與韌體

3D 列印不只是硬體與材料的結合，軟體與韌體[25]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列印活動；由電腦輔助設計圖[26]（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：

（1） 電腦輔助設計（CAD）：

大多數商業和開放碼（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 列印也植基於此基礎上，減少樣品的製作成本，並減少產品出錯率，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 圖紙，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、OpenSCAD，目前已盛行於業餘的 3D 列印的玩家中。

---

[25]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

[26] 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。

（2） 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）[27]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。從概念上講，切片機切片的三維模型轉換成二維層，每層被擠出的長絲（疊層）的高度。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。

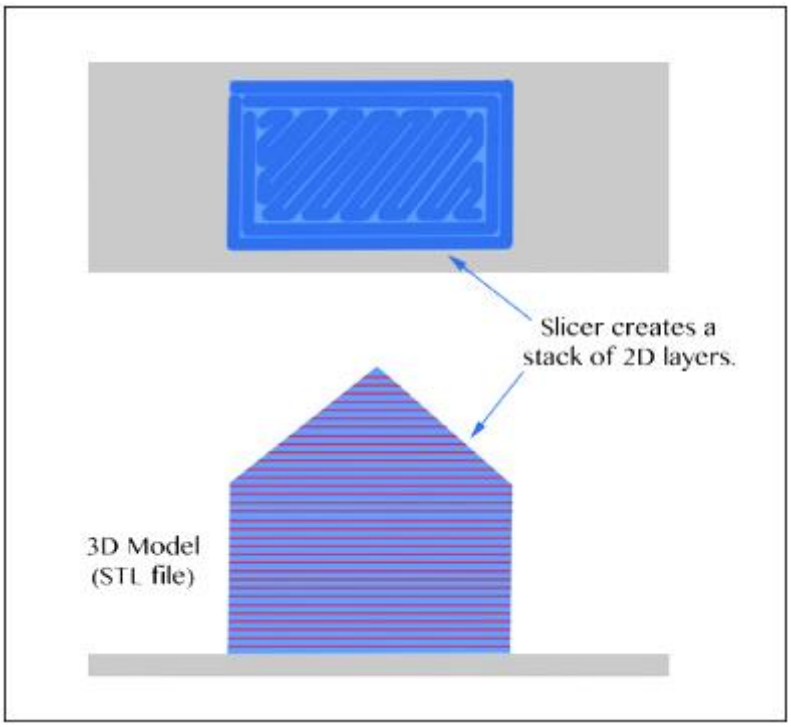


圖 2.2 解析 3D 房子模型的 STL

每一層的 Z 高度（或稱為縱高）是被切成固定多層式的層疊路徑，當一個層完成時，Z 將被提升到下一層，並重複該過程，在前層的頂部，堆疊一個新的層級，3D 物體將以二維方式層層搭建。在這種方式中，切片（機）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

[27] 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

直徑、塑料材料熔融溫度，噴嘴移動速度，和材料擠壓速度等。該類軟體[28]目前正迅速發展中。

（3） 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，或打開和關閉相關降溫設備（如風扇等）。

（4） 韌體（Firmware）：

在 3D 列印中，已有一些公認的韌體[29]，除了解析 G 代碼外，韌體還嵌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（除 Repetier 其中有一個可選的 EEPROM 模式進行一些設置）。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。

四、3D 列印之產業發展標準

在可預期的未來，積層式的製造產業，或許將大大受益於新的 ASTM 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 產業界內的交流與程與成長需求。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）。另外，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（具有擴展功能的）的 F2915 標準[30]，對將提供工程師，建築師，藝術家和任何參與 3D 列印的大眾，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，

[28] 此類軟體有 Slic3r、KISSlicer (plus the commercial Pro version)、Cura、Skeinforge
[29] 如：Sprinter； Marlin；Repetier；Sailfish 等
[30] http://en.wikipedia.org/wiki/Additive_Manufacturing_File_Format

大幅提高其活用度。這種類似於可攜式文件格式（如 PDF 文件），不論使用者使用的顯示器和列印機為何，均允許使用者進行查看和列印的任何物件。其實這是 3D 設計者、軟體供應商和 3D 列印機製造商的最大期許，它們也將是 F2915 的主要用戶。對參與 3D 產業、AM 軟硬體技術的設計者、甚至消費者、業餘愛好者，都將受益於使用新的標準。有了這樣的標準制定，對疊層列印的產業發展，是極為有利和有助益的。

目前 3D 列印的國際標準，正由 ASTM[31]制定中，其制定標準之精神為：3F（Form、Fit、Function），這個標準也正好符合「自造者」的開放精神，亦可營造此波工業革命的氛圍。

五、3D 列印發展現況

3D 列印的發展受到 2011 年 2 月和 2012 年 4 月兩次『經濟學人』（The Economist）雜誌的報導，在加上幾項重要的積層式列印的專利，即將屆滿保護，致使各國無不積極準備進入此一新的領域，再加上 2013 年美國總統歐巴馬的國情咨文，3D 列印已呈雨後春筍般的發芽、茁壯。

3D 印刷的力量來自於它的專有能力，並不是考量生產數以千萬計的標準產品，也不是要取代工廠的生產線的價值。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、個別病人的手術等。3D 列印目前已應用在各種領域中，包括建築，醫療，汽車，教育和消費產品。3D 列印中加法(AM)製造的特性，幾乎可以把任何一台電腦的設計，通過特別的材料與技術，實現生產產品的功能。該技術可能最終影響著每一個主要行業：航太、國防、醫藥、交通、食品、時裝等。這些應用，可概分為 3 類，分述如下：

（一）以產業發展分類

（1）工業應用：

- ◆ 模具產業：以傳統工件製作基礎外形，以 AM 完成特殊結構之製作（預計可節省 50%以上時間）
- ◆ 汽機車零件產業：幾近汽車全部之零組件，包含引擎、車身等

[31] ASTM： International develops international standards for materials, products, systems and services used in construction, manufacturing and transportation.

◆ 塑膠產業：射出機構、模型等。

現在存在著許多不同的 3D 工業生產技術，它們的不同之處在於使用的材料不同，並以不同的列印（加工）方式，逐層建構元件或是成品。有些技術利用熔化或軟化的可塑性材料，以加熱方法來製造列印的「墨水」，例如：選擇性雷射燒結（selective laser sintering，SLS）和混合沉積建模（fused deposition modeling，FDM），還有一些技術是用液體材料作為列印的「墨水」的，例如：立體平板印刷（stereolithography，SLA）、分層實體製造（laminated object manufacturing，LOM）。每種技術都有各自的優缺點，有時需要多種材料，做為異質性材料列印。另外，可以直接列印金屬的 3D 列印，可能是工業上最終的目標，因為它可直接運用在工業生產上；當然，亦可先使用普通的 3D 印表機來製作模具[32]，然後用這些模具製作金屬部件。一般來說，產業上應用的考量，還是以品質、成本和生產速度為主要考慮因素。這三個因素彼此之間，都具備關聯性的影響。

有很多人懷疑 3D 列印耐久性和可達成性，其實 3D 列印的賽車，以實際在賽車場上奔馳[33]（如圖 2.3）。畢竟波音（Boeing）公司和賓利汽車（Bentley），以用來製造飛機與汽車零件了。

圖 2.3 方程式賽車和波音飛機零件的 3D 列印 [34],[35]

[32] 「砂模」即為重要的應用，目前以砂做成的模具，主要是將溶解的金屬注入在砂模內來固定成形，為量產鑄造(casting)零件所必須的模具。除汽車之外，鑄造零件也使用於營建機器、發電設備的零組件上。
[33]16 個學生從比利時的魯汶工程聯合大學的工程師喧騰“Areion 酒店” - 世界第一方程式賽車幾乎完全是由 3D 列印件。另 2012 年 Areion 酒店設計和建造賽車，在一級方程式最惡劣的霍根海姆賽道上，大約花了 4 秒，從 0 到 100 公里/小時的加速，並最終達到 141 公里/小時的最高時速。

（2）生醫產業

- 客製化醫材：骨骼、牙齒、人工關節等
- 生物服務：細胞培養、器官、食品列印等

3D 生物列印是 3D 列印中，可能具有最大潛力的發展方向，生物列印機不同於其它列印設備，它是使用一層層的生物構造塊，去製造真正的活體組織。3D 生物列印機工作原理，類似於在工業中用於製造零件和功能模型的快速成型機。對於 3D 生物列印機的出現，醫療界對此非常的期待。就如同之前出現的「達芬奇」（da Vinci S HD Surgical System）三維模擬手術機器人[36]一樣，它也必將給醫療界帶來一場革命，給所有等待合適器官的病人們帶來希望。另外客製化的身體需求，3D 列印表機可協助醫生去研究、掃描和複製、訂製病人所需要的器官，用這種列印機製造出人體組織[37]（如圖 2.4；2.5 所示），未來將可徹底解決目前醫療中器官難尋的局面，有效改進目前的醫療服務方式，並減少感染與不適症的發生，亦可讓人工關節、骨骼與牙齒（如圖 2.6 所示）更符合個人化所需，也節省醫療成本的支出。

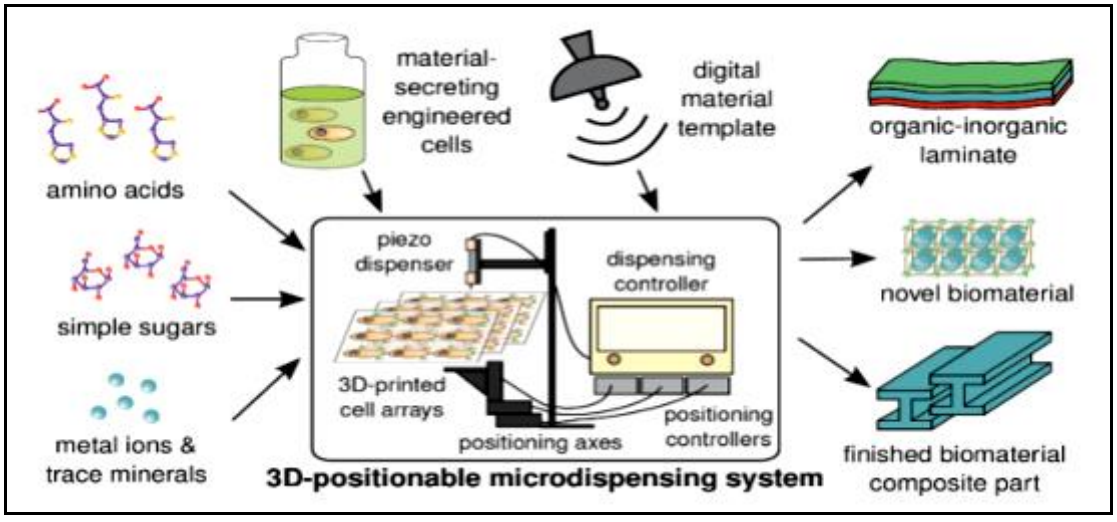


圖 2.4 3D 生物細胞列表機

[34] http://3dprintingindustry.com/2012/08/31/worlds-first-3d-printed-formula-race-car-tested-in-hockenheim/
[35] http://printready.co/wp-content/uploads/2012/07/boeing-787-dreamliner.jpg
[36]美國加州的直覺外科公司 (Intuitive Surgical Inc.) 的達文西 (Vinci™S) 高解析度外科手術機器人，有效降低外科手術過程中之操作風險 http://www.etmc.org/NewsDetail.aspx?id=5609
[37] http://www.3ders.org/articles/20130729-nasa-awards-to-initial-analysis-of-3d-printing-of-biomaterials.html

圖 2.5 3D 生物列印成品

圖 2.6 3D 牙齒列印機與列印成品[38]，[39]

（3）服務展示：模型展示、科技－互動設計、人機介面、建築空間展示、工程模擬等。

3D 列印的重要特色是傳真與完整。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展現技術，可將模擬幻景與 3D 列印實物模型結合，為

38 http://2.bp.blogspot.com/-lRCnj4tv338/UcJk3_iHKsI/AAAAAAAAG1Y/2ttHE1WKz_Q/s1600/img_20110809_094754.jpeg

39 http://3.bp.blogspot.com/-W-5Tm3SHbfQ/UcJclcWUAMI/AAAAAAAAG04/27r73hpglPU/s1600/263379_521219721261263_1111455156_n.jpg

客戶提供一體化全系列的體驗。透過模型，研究人員更能提高設計能力，優化技術與流程，亦能讓客戶（使用者）更能保證未來商品的品質、外觀與感官的集成效應。

（4）教育應用領域

創意教學、技術傳承、互動學習等。

目前在很多國家已開始利用 3D 列印系統，來教育學生或是進行技術交流與互動學習。3D 列印成型的能力，在教育過程中，具有莫大的潛力，它可使激發學生的創意與能力，進而接觸積層製造(AM)技術。從科學、技術、工程、數學、物理、設計、藝術、法律、倫理、心理學、人類學以及其他領域等，3D 列印皆可製作出，用於教學的立體模型。學生可以從製作 3D 模型的過程中得到啟發，可提高對於抽象的理論的學習。（如圖 2.7）

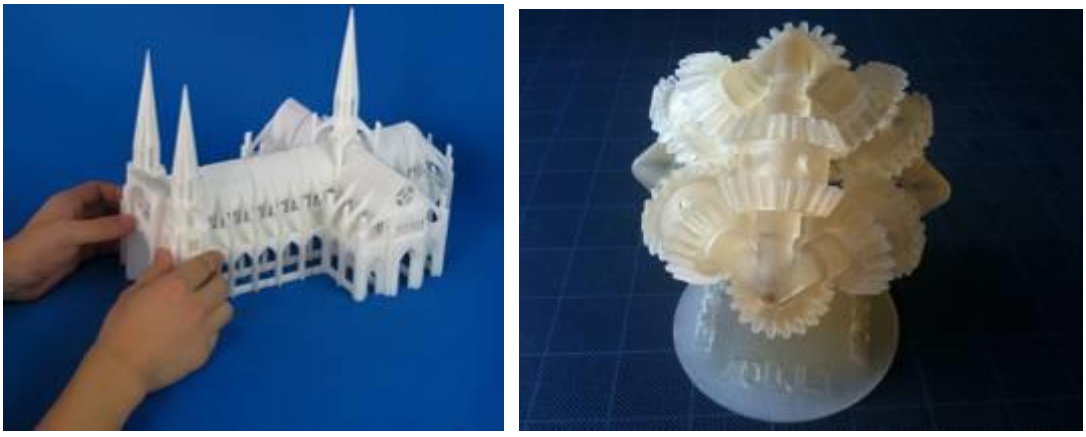


圖 2.7 3D 列印出的建築與齒輪模形[40]

（二）個人化應用

（1）文創商品－古玩新製、在地文化特色商品。（如圖 2.8）

（2）玩具模型－益智遊戲、組合模型、公仔、Automata。

（3）飾品配件－貴珠寶、流行飾品、鐘錶設計。

（4）文具家飾－個性文具、客製家居家飾。

（5）食品食物－蛋糕糕點裝飾、客製化巧克力生產製造。

[40] http://replicatorinc.com/blog/2009/10/3d-printers-art-of-the-sample-part/

圖 2.8 3D 文創與飾品列印[41,42]

目前世界普遍看好 3D 列印的行業前景，據美國調查公司 Wohlers Associates 預測[43]，3D 列印的全球市場規模到 2021 年將達到 108 億美元，是 2012 年的 5 倍。而 2012 年 3D 列印機的市場規模同比增長 29%。以航空、汽車、醫療領域為中心，企業的引進意願比較強烈，增長率也高於過去 3 年的平均值（27%）。3D 列印機的產量以及銷量自 2000 年起，得到了極大的成長，其價格也正逐年下降。2011 年 Wohlers 報告中指出[44]，北美地區佔有全球總裝機量上的 43%，其次是 30%在歐洲，23%在亞太地區。由 3D 列印機的銷售情形，即可知：北美地區 3D 列印發展的狀況。在工業上的應用，以 3D 列印機設置台數，截至 2013 年 6 月為止，按國家進行統計的話，美國占 38%，位居第一，其次是日本，占 9.7%。第三位德國占 9.4%，第四位中國占 8.7%。

以下略微說明目前各國發展狀況：

（一）美國:

全球熱炒「3D 列印」概念，是從 2012 年美國總統歐巴馬，將 3D 列印列為 11 項重要技術之一，並建立國家增材製造研究所（NAMII）[45]開始。美國增材製造創新研

41 http://www.makerbot.com/blog/2013/03/08/makerbot-digitizer-scan-to-print-in-no-time/
42 http://jianyouli.files.wordpress.com/2012/12/ti-rings.jpg?w=869
43 http://wohlersassociates.com/state-of-the-industry-reports.html
44 http://wohlersassociates.com/2011report.htm
45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/nnmi_pilot_institute.html）

究院（NAMII），旨在促進美國製造業的 3D 列印的合作夥伴關係[46]，該研究所以建模型和原型測試方式，來測試新產品設計，已歷經了 20 年的時間，其最終努力目標是，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，是美國提出「國家製造業創新網路」戰略以後建立的第一所製造業創新研究所，技術願景是加快積層製造技術創新，彌補基礎研究和成熟開發之間的差距，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。截至 2013 年 1 月 4 日，NAMII 共有 66 家成員機構，分為領導成員、正式成員和贊助成員三類。領導成員為美國 3D Systems 公司和美國軍工設備製造商—諾斯羅普格魯門公司，正式成員包括美國製造技術協會、ExOne 公司、Wohlers Associates 諮詢公司、揚斯敦州立大學等 17 家機構，其餘 47 家為贊助單位。NAMII 目前主要研究三項技術主題：

（1）列印材料特性和效能的研究

了解材料的性質和特點，是確保積層製造技術，能夠被大規模採用的關鍵。具體的重點領域：包括開發材料數據庫，獲取更廣泛的測試結果；設計材料性能；數據訪問和共用平臺；管理材料變化的方法等。這部分工作的聚焦點，是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。

（2）資格鑒定和認證測試

快速部署積層製造產品的測試、鑒定和認證方法及系統，是積層製造應用的關鍵。具體的重點領域包括快速鑒定和認證的方法、鑒定和認證的創新技術、建模和倣真、過程可變性的量化；用以提高可靠性、優化流程、和簡化的識別能力、供應商認證等，以簡潔的產品認證方法，消除產品驗證障礙，並加快上市時間。

[46] http://news.yahoo.com/why-3d-printing-matters-made-usa-182639478.html

（3）加工能力和過程式控制

全面了解工藝參數之間的關係，並藉以推動積層製造工藝。具體的重點領域包括：工藝的可重複性和產量的提高、開發輸出模型的預測演算法、提高零件品質等控制系統。這一主題的努力方向是通過積層製造加工過程的改進提高其普及性。

另外，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，可用於民用和軍用飛機上。波音公司亟思如何將航空元件利用積層製造來加值，佈局超過 10 篇專利[47]。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。其餘的美國航空業正試圖趕上，例如 GE 航空集團，自 2008 年前起，就開始推動 3D 列印技術研究，更於 2012 年 11 月，收購在俄亥俄州利用 3D 列印技術製造零部件的先驅：Morris technology 和 Rapid Quality Manufacturing 兩家公司[48]。GE 航空集團是利用其新收購的 3D 列印功能，製作 LEAP 噴氣發動機上的噴嘴[49]。

同樣，3D 列印有望撼動整個醫療行業，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。

位於美國 Seattle 的一家 Makerhaus[50] 公司（如圖 2.9），是社群應用 3D 列印發展後，一種新商業模式的代表，像這種創客（Maker Space）的公司，目前在美國已有近百家類似的經營模式，由於技術成熟與成本的降低，促使 3D 列印成為這些熱愛手作的人們，聚集創作。除滿足美國國民 DIY 的文化特性，更提昇自造者的 DIY 能力，也優化了成品的品質。另外，在教育體系中，由於 3D 列印的發展，學校中亦興起了 3D 列印社團，除滿足學生設計學習與列印興趣外，更積極在研究列印技術與材料特性，圖 2.10 為美國華盛頓大學的 3D 列印社團[51]。

---

[47] http://www.teema.org.tw/industry-information-detail.aspx?infoid=8249

[48] http://bbs.creaders.net/military/bbsviewer.php?trd_id=856572&language=big5, 這兩家公司在當地雇佣約 130 名 AM 製造的專業人員

[49] 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，也就意味著 GE 公司需要在 3 年內每年制造 25000 個發動機噴嘴

[50] http://www.makerhaus.com/about.php，研究團隊訪美期間曾赴該公司訪問。

[51] 該社團為機械系學生創立，目前發展熱塑類的 3D 列印技術；研究團隊訪美期間曾赴該社團訪問。

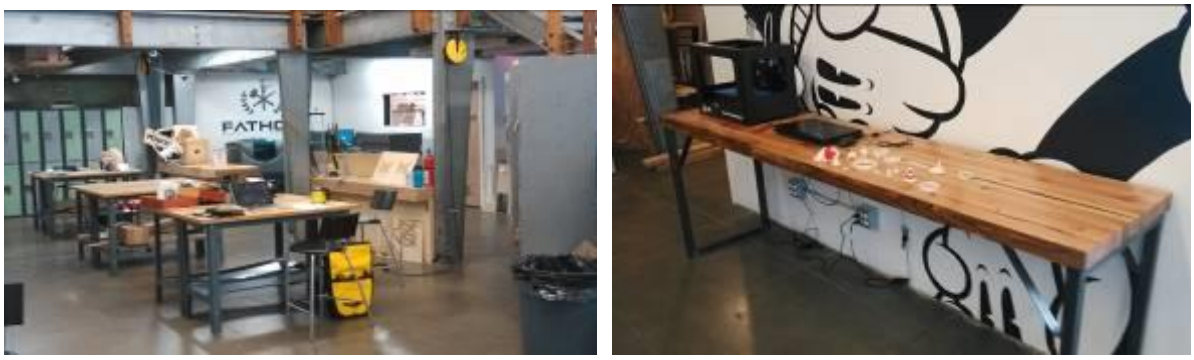


圖 2.9 Makerhaus 經營的 3D 列印公司

圖 2.10 美國華盛頓大學的 3D 列印社團

（二）歐洲:

歐洲發展 3D 列印技術，始於 1980 年，由於歐洲受工業革命影響較深，歷來重視製造技術的革新，對於未來技術自然較為重視。目前歐洲 3D 發展重點是聚焦於產業生產上，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，減少航空運輸對環境的衝擊，20 年內達成 24,300 架客／貨機應用，可節省浪費達 12.8 億歐元。

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 Universitaet Leuven，是直接金屬 3D 列印的全球領導者。英國拉夫堡大學(Loughborough University)，在直接金屬粉末列印上，其專業技術也獲得肯定。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。德國的聯邦教育部（BMBF）和工業研究則是從一個連續和長期發展的角度來考慮 3D 列印技術，目前核心技術仍專注於利用雷射熔結方式，產生模具原型或單件產品的快速生產。在過去的 10 年中已經從一種實驗技術發展成為工業小量的生產，或可說是 3D 列印技術是傳統生產方式的互補工具。德國在面向個人用戶中，業餘「自造者」的發展，亦如同美國一樣。

德國 EOS 公司的雷射燒結技術，是利用激光對粉末材料進行高溫熔融固化，並層層堆積在一起，最終製造出實體產品。Nanoscribe（原屬卡斯魯理工學院 Karlsruhe Institute of Technology），開發了桌上型 3D 微列印機，能以比現有科技快 100 倍的速度印出微觀結構，Nanoscribe 已經開始準備將產品推向市場。相較之下微 3D 列印能印出醫療產品與電子裝置，包括心臟支架、無痛注射所用的微型針頭、培養細胞與肌肉組織的腳架等，同時對電子產業而言，描繪奈米等級的晶片功能也將不再需要速度緩慢又昂貴的舊技術。支援 3D 微列印的技術是雙光子聚合，讓極小而短的近紅外線射在易感光的材料上，材料會聚合並固定在目標上。因此，要讓 3D 微列印速度更快，Nanoscribe 在機器上加入了一個能移動的鏡面，將雷射光以不同角度反射，如此一來就不用遷就固定的機器，而必須移動感光材料，成功加快整個列印過程。

瑞典公司 Arcam 是世界領先的電子束熔化成型技術公司，由於這種技術具有較高的能源效率和列印速度，所以在金屬零件市場中，越來越受歡迎。Arcam 公司主要專注於高價值市場，尤其是鈦合金在醫療和航太上的用途。荷蘭 Shapeways 公司（已於最近搬遷到紐約），該公司運用網路服務，建立零件直接送到消費者的獨特經營模式；在一定的尺寸和材料的限制下，客戶設計後的圖檔，可在公司列印完成製造後，直接運送到顧客手中。

目前 3D 列印在英國的發展，則較偏重流行應用，如 3D 列印玩具、手機殼、珠寶、眼鏡等[52]，但實際能帶來的技術影響並不大，由 Makerbot Replicator 3D 列印機製成。另外，英國與蘇格蘭 6 位科學家使用一種控制閥式細胞列印機(valve-based cell printer)，在其中裝放入生物墨水製造幹細胞，有助於醫療使用。生物墨水從只有 0.002 英吋（約 0.005 公分）的噴嘴噴出，打造出來的細胞有 70% 到 90% 可以存活 72 小時。經過三天後，科學家發現它仍在生長且維持多功能性[53]。更引起爭議的是英國「星期日郵報」記者西蒙墨菲(Simon Murphy)，在 2013 年 4 月，以網路下載 3D 印手槍設計圖後，利用從網路上購得的 3D 列印機，列印出一把塑膠手槍，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，把手槍偷帶上車，暴露了跨國安全的漏洞，引發有關恐怖襲擊的擔憂[54]。

在歐洲其它各國方面，遠在 2008 年第 78 屆日內瓦國際車展時，義大利車商即利用加法製造技術，打造生產未來概念車「Pininfarina Sintesi」。全球第一部 3D Printing 跑車是 Formula Group T 所比賽的『Areion』，在 2012 年 7 月 31 日的 Hockenheim 競賽，從零開始啟動到每小時 100 公里僅要 4 秒，最高速可以達到每小時 141 公里。這部環保賽車具有跨時代科技，如電動驅動系統、生物合成材料（bio-composite materials），且不同以往的製造方式，Materalise 乃運用 Additive Manufacturing 製程技術，使用 3D 模型數據一層層加入材料（如圖 2.11）。

圖 2.11 以積層式製作的概念車「Sintesi」和賽車「Areion」

[52] http://www.3dzu.net/2013/04/11/384；
[53] http://www.ettoday.net/news/20130510/205008.htm#ixzz2YRKw9Kfh
[54] http://www.ettoday.net/news/20130513/206507.htm

（三）日本：

日本雖對精密加工技術的研究相對美、英來說起步較晚，卻是當今世界上超精密加工技術發展最快的國家，尤其在聲學、光學、影像、辦公設備中的電子和光學零件的超精密加工技術方面，日本具有的優勢，甚至超過了美國。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，日本鑄造品每年出貨超過 1 兆日圓，與模具、鍛造等都屬於政府強調的製造業基礎產業。但因大陸廠的廉價鑄造品搶市，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，計畫攜手產官學界，研發次世代 3D 印表機，能廉價快速製造模具，讓日本鑄造業、特別是中小型鑄造業恢復生機。日本經濟產業省支援開發費用，由日本 3D 印表機廠商 CMET、以及 IHI、日產汽車(Nissan)、Komatsu 等大型企業和早稻田大學等名校來參與 3D 印表機的研發企劃，目標為在 5 年內研發出可生產「砂模」[55]的次世代 3D 印表機產品。目前在現行的 3D 印表機中，「積層製造」也可製作砂模，惟其造形速度及精度仍不佳，價格亦高。

由於目前美國和歐洲公司在 3D 印刷市場中，以塑料印刷材料為主導地位，日本卻認為 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，日本經濟、貿易和工業部，進行可直接列印金屬產品的 3D 列印機（如圖 2.12 例[56]）。希望通過與產業和大學（如名古屋大學、京都大學）的合作，把下一代的 3D 列印機實際使用於產業生產上。近日（2012.8.26 朝日新聞），日本經濟產業省確定了 2014 年度預算的概算要求政策框架，為促進 3D 列印機的研發，日本政府將新增 45 億日元財政預算，其發展重心即為 3D 金屬列印機。

[55]鑄造就是將溶解的金屬或塑膠倒入做好的模具中冷卻成型，是主要金屬與塑膠品加工方法之一。「砂模」為用砂做成的模具，主要是將溶解的金屬注入在砂模內來固定成形，為量產鑄造(casting)零件所必須的模具。除汽車之外，鑄造零件也使用於營建機器、發電設備的零組件上。在重工業領域，砂模因製作快速簡易，常用於原型製作或鑄造少量多樣化產品的模具，進入大量生產階段便常改用金屬模具。

[56] http://www.fangpian3.com/html/xw/act&other/2013/0826/Japan_metal_3dp.html

圖 2.12 日本 3D 金屬列印產品

另外，為增進目前 3D 金屬列印產品的精度問題，日本松浦機械（Matsuura）公司[57]，已開發完成大型機台 LUMEX Advance-25 金屬列印機，該列印機將金屬積層燒結和 CNC（數位控制工具機；Computer numerical control 的簡稱）切削加工，整合於一身的自動化設備。目前是最具實用的 3D 成形機[58]，因為它是在金屬燒結成形的步驟中，插入了高速、奈米級的 CNC 切削程序，也就是每燒結十層就以 CNC 切削一次,可大幅提高 3D 金屬列印成品的精度(精密度可達±5μm)，對於複雜的一體成形工件，完工時就是一具毫無瑕疵的成品。

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。另外文創、生醫也紛紛投入，甚至可以超音波掃描，以 3D 列印製作出懷孕中的胎兒形狀。京都大學醫學研究科已通過 3D 列印技術，將鈦金屬列印成適合各不同患者的人工骨頭，並已為 4 名頸椎間盤突出病人進行移植[59]。人工骨的表面會進行化學處理及加熱，更易與患者的骨頭貼合。依據日本產經新聞本（2013）年 6 月 22 日報導，改變未來製造業的「3 次元（3D）印表 機」頗受注目，大型製造業與醫療等機關相繼採用，

[57]松浦機械隸屬於日本松下集團，同時掌握 CNC 及雷射積層設備，而台灣積層製造公司，即是松浦與台灣的神基科技共同合資成立的。
[58]工研院南分院積層製造與雷射應用中心總監曾文鵬接受本研究校組訪問稿（如附錄 10 ）
[59]研究小組使用 3D 列印裝置，以患者頸部的電腦斷層掃描（CT）數據為基礎，逐層疊加由鈦粉燒製的薄層，製作出完全適合患者頸椎的人工骨。

日本緊追領先發展之美國品牌。安倍晉三總理經濟政策「安倍經濟學」的成長策略中亦提及對 3D 印刷技術投資 之支援，似已加速形成官民一體共襄盛舉。

計測器大廠 KEYENCE JAPAN，從兩年前開始製造可以產生超高精細密度 3D 印表機，販賣給汽車業者等。在日本，商品週期短的家電以及生產設備製造等來自各業種之商機急速增加。光造型技術系統 CMET 廠（横濱市），開發出高透明度樹脂，可供使用在汽車引擎試作模型之造型。創投企業 ASPECT 公司（東京都稻城市）也開發出使用金屬粉末製造造型的「LaFaEl」系列。為使 3D 印表機在日本普及，關鍵乃在軟體開發與設計數據的 3 次元化。在成長策略方面，日本為支援擬投資 3D 印表機先進設備企業之決策，正檢討提供支援措施[60]。

（四）中國：

中國大陸的 3D 立體列印技術之研究，比美國約晚了十五年（在美國解密其 3D 雷射列印研發計劃之後三年），但進步非常顯著，在某些領域的確超越了美國。中國大陸於 2012 年成立「中國 3D 列印技術產業聯盟」，2013 年啟動中國 3D 列印的創新中心，建置於十個工業城市，預計三年左右，產值可達到百億元人民幣。除此之外，中國政府將其列入戰略性新興產業，中國科技部公布「國家高技術研究發展計畫、國家科技支撐計畫製造領域 2014 年度備選項目徵集指南」，目的是要突破 3D 列印的核心關鍵技術。其中就是大尺度的鈦合金和高強度鋼構件的立體列印技術，目前中國大陸能完成長度在 4m、平面面積 $12m^2$ 的鈦合金零件的 3D 列印，這個尺寸正好是新型戰鬥機主承力構架的尺度，從設計到列印成型，實現了流程化作業，大大縮短了研製生產週期，減少了焊接拼裝程序，尤其避免了傳統製程中，鈦金屬焊接點易於腐蝕的缺點，在加工精密度和材料的強韌度、抗疲勞性能上，也符合設計要求，並節省了鈦合金材料。

自 1992 年以來，中國大陸在 3D 列印和添加劑製造的研究和開發的方面，一直投資不斷。2013 年 5 月，中國承辦了世界上第一次 3D 列印會議-- 2013 年世界 3D 列印技術產業大會。另外，中國汽車製造商和航太公司已經採用 3D 列印，來進行零組件的生產；中國大連理工大學宣布開發世界上最大的 3D 列印機，目前

[60] http://www.teema.org.tw/industry-information-detail.aspx?infoid=7932

中國以超過 3260 萬美元的政府投資，建立了 10 個 3D 列印創新中心網絡。中國大陸也積極推動 3D 列印的產學合作計畫，其中北京清華大學、西安交通大學，華中科技大學，南中國科技大學，以及一些高等職業學校提供課程添加劑製造，已列入相關研究。

在這一波中國大陸 3D 列印熱潮中，中國有很多城市都希望能夠在新興的 3D 列印市場中獲得發展，預計未來 3 年中可增長到 100 億元人民幣（16.3 億美元）。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。與此同時，青島、武漢和成都等城市也都提出了類似的發展計劃。主要是因為，中國受世界影響，希望能通過這項技術的創新與應用，來振興各省製造業的生產能力。另外，3D 列印，在某些少量化的生產上，確實能夠大量降低生產成本[61]。

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，科學技術部也在今年將 3D 列印，列入到了國家高技術研究發展計劃（863 計劃）中。列印技術產業聯盟秘書長羅軍預計，中國 3D 列印業的產值將在三年內達到 100 億元，相當於 2012 年全球 3D 列印實現的產值，而 2012 年中國 3D 列印業的產值還只有 3 億元。這在一定程度上得益於各級政府的大力支持和企業的投資。

中國大陸不僅專注於大型 3D 列印的航太需求，更有越來越多的中國設計人才精通設計適合 3D 列印商用物件，目前中國大陸上海和北京，已有 3D 列印服務公司的成立，接受客製化的塑膠產品列印服務[62]。另外，在 3D 生物列印上，中國大陸已有具體成績。中國大陸已成功的列印出動物的外耳再造手術，預計未來 4 到 5 年就能應用於臨床。杭州先臨三維科技股份有限公司，已列印出人造脊柱的植入體，應用於骨科手術的治療上。由於這塊鈦合金骨骼被植入人體後，無需取出，非但不會有任何排斥反應，人體的組織與細胞還會滲透過這些孔洞逐漸生長，從而使這塊 3D 列印骨骼成為我們身體的一個部分。中國科學家最近自主

[61]舉例來說，用 3D 列印技術為中國 C9 商務飛機生產一個擋風玻璃框的成本是 120 萬元人民幣，而如果用傳統製造技術生產，僅磨具的成本就達 1300 萬元人民幣。
[62]上拓科技已在中國大陸成立 3D 列印商務平台，設計師在這個平台上推出自己設計的 3D 作品，消費者在平台上看到自己喜歡的設計後下單，公司將負責列印和配送。

研發出一台生物材料 3D 列印機，該 3D 列印機使用生物醫用高分子材料、無機材料、水凝膠材料或活細胞，目前已成功列印出較小比例的人類耳朵軟骨組織、肝臟單元等。這台生物材料 3D 列印機具有列印生物材料種類多、對細胞損傷率低、列印精度較高和操作方便等特點。在生物材料兼容性、細胞列印特性等參數上，並支持活細胞列印，列印的細胞有著高達 90%的存活率。中國大陸確實在同類產品中，處於國際領先的地位[63]。

（五）其他國家：

澳洲 2011 年規劃積層製造策略藍圖，透過豐富礦產結合積層製造，以強化澳洲航空、汽車與製造業的應用。中期規劃，開發新材料與改善製程，目標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。

南非 2011 年 Aeroswift 研究計畫，引進高功率光纖雷射，目標自主高性能金屬零件積層製造系統。期望未來三年內，Aerosud 公司成為全球航空結構材料製造領導者，2015 年實現供應小批量、高附加值、複雜的鈦金屬零件。

（六）台灣：

台灣積層製造產業尚在萌芽階段，國內相關廠商多數為軟體、設備代理（如實威、大塚、通業、馬路、數可與德芮達等），代理的 3D 印表機均以塑膠列印機為主，另一部分為材料設備發展（如研能、揚明光、國精化與偉盟等）。工研院目前正進行金屬加工列印之研究[64]（如圖 2.13），目前國內尚無國家型基本研究計畫，產業界目前仍處於觀望中。相關細節於第五章中詳述。

[63]這台名為「Regenovo」的 3D 列印機，不僅實現了無菌條件下的生物材料和細 3D 列印，並具有新型的溫控元件和列印噴頭設計，能夠從-5℃到 260℃熔融的多種生物材料列印
http://oabbs.zol.com.cn/1/3_848.html

[64] http://technews.tw/2013/06/03/3d-printing-2013-taiwan-talking/#more-7441

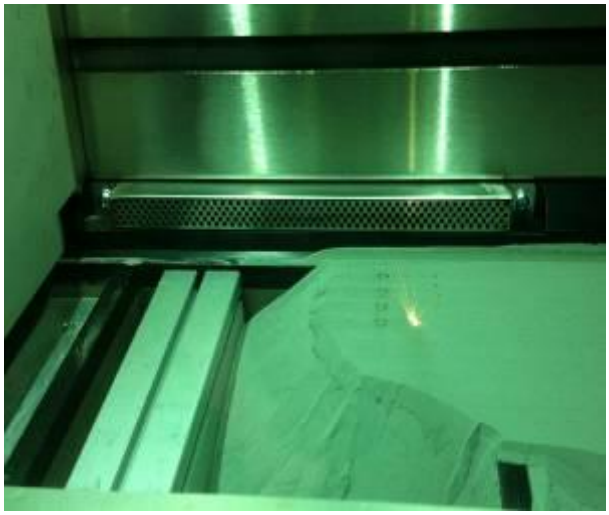


圖 2.13 工研院發展中的 3D 金屬列印

六、3D 列印的限制與發展

相較於傳統生產方式，3D 列印技術的確是重大的變革，這些重大的變革。綜合言之，可歸納於下列幾個重大變化：

（1） **產品供應鏈改變：**顛覆傳統由工廠生產零件→組裝產品→經銷商鋪貨→消費者、的供應鏈形態。在 3D 列印時代，消費者可直接「生產」最終商品，商品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來獲得。

（2） **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，也就是說：工廠生產甚麼，消費者只能在產品中選擇，縱使生產者事前也做過市場調查，但畢竟它不見得 100%的讓你滿意。在 3D 列印時代，你可以選擇你所希望的商品，你可以自行設計你所需要的產品，這樣的產品是你真正需要的，你可以在電腦上設計個人化的產品，這個產品是完全滿足你個人所需。

（3） **商品設計實體化：**傳統的商品或工業元件，在設計過程，常需不斷的進行修改與優化，這些雛型系統可在費用極小的情況下，輕易地由 3D 列印機完成，大大縮短了商品開發與優化的過程和時間，對工業生產有極大的助益。

（4） **少量化與多樣化的生產特質：**傳統工業生產最具優勢的就是「一致化」與「大量化」，這也就是產業革命的重要特徵，藉由前述兩個生產特質，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。但是，對於部分無法一致化且少量化的產品，生產成本自然大增，生產過程也自然繁複。對於生產者與消費者都是極為不便的。但是，3D列印正好具有異質化與多樣化的處理能力，對於少量化與多樣化的需求極易完成。

（5） **輕易實現研發創意：**研發創意已是現代化工藝之圭臬，在產品競爭激烈的市場中，除須控制降低生產成本外，尚需區隔化產品特色。創新與創意為提昇國家與產業競爭力之主要關鍵因素。創新不只是新觀念的激發，更是如何運用創新知識、創新科技或是創新技術，整體包裝為客戶所需的新產品或服務，進而轉化為商業利益。因此，創新不只是「發明」，而是「發明」與「商品化」的成功結合。透過3D列印的可迅速實現建構產品之創意價值，至終可提昇產品之價值，以迎戰全球競爭的重大挑戰。

3D列印技術，的確實已對產業造成重大的影響，然而以3D列印方式的產品，以目前的技術而言，其列印產品仍存有相對的優劣勢。雖然，它具有個性化、多樣化、雛型系統快速化成型、低成本的耗材等優點。但是，仍存有一些缺點，雖然部分缺點在未來隨著技術與材料的發展，或許有解決方案。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，依舊存有不少限制。

其限制（或可說為缺點）可概述為：

（1） 必須自行解決列印問題：舉凡個人使用的列印設備、軟體、數位圖形等個人化問題，均需要個人自行解決。是以，對較純消費者而言，進入此領域之知識門檻相對較高。

（2） 產品品質需自行控制：任何列印產品，所涉及的材料、溫度控制、黏著劑等問題，均與列印之成品相關，甚至與產品的複雜度相關。是以，相關參數需要不斷的調整與測試，才能達到良好的成品。

（3） 產品品質可靠度：產品品質項目包含：精度、可靠度、耐用性、非單一材料的列印安全性等，是否能夠經得起用戶的滿意與時間的挑戰？這也是目前非常值得深思與考量！

（4） 產品列印時間：由於3D產品之列印品質與列印時間相關，列印產品的時間，亦需要考量，當列印產品的數量過高時，所需時間的成本亦會提高。

（5） 工業應用仍有期待：產業界，目前雖然3D列印，目前可能還沒有推動第三次工業革命的本事，可能也不會是傳統製造業的終結者。因為3D列印不同於大量生產，自然也不會取代傳統產業的生產，但它可能是現代化生產的幫手。傳統生產方式做不出來的產品，或是傳統雖然可以生產，但太耗時、耗材料，就可以透過3D列印來解決。

每一種新技術誕生初期都會面臨著這些類似的障礙，但相信找到合理的解決方案，3D列印技術的發展將會更加迅速。3D列印若能繼續有效的進展，尚需解決如下問題：

（1）列印的材料限制：目前可以廣泛應用的3D列印產品，集中在飾品、模具模型、個性化家居產品以及汽車飛機的小尺寸零件上，使用的材料無非是樹脂、塑料、普通金屬粉末等。若要在產業的發展應用上，必須突破性能。如合金材料、異質材料、高分子複合材料等，所涉及的材料種類達幾百種甚至更多，這樣3D列印技術才能進入航太、人工智慧、大型複雜機械和生物醫療領域。目前有關3D列印材料的發展，研究團隊整理如表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
		Chiplets	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

（2）機器的限制：3D 列印要成為產值認可的主流技術，它對機器的要求也是不低的，其複雜性也可想而知。目前的 3D 列印技術在重建物體的幾何形狀和功能上已經獲得了一定的水準，對於量產產品來講，列印成本仍受機具的限制。另一是列印精密度問題，3D 列印的精度，若能夠接近奈米級（目前大約是 0.1 毫米級），將可極大的拓展應用範圍，並能帶來革命性的突破。另外列印大型精密構件的立體列印機，還顯得過於笨重，對列印機器還有很大的優化空間。

（3）熔結技術的挑戰：目前 3D 所使用的固化結合方式，以熱源和黏著劑方法為之，對於金屬或是陶瓷粉末則以雷射或電子束為方法。但其生產效率尚待提高，尤其是在加工大尺寸、熔點較高的金屬製品時更是如此。

（4）道德的挑戰與限制：我們是很難界定 3D 列印在生物上的發展，未來在道德上可能會遇到的問題。如果有人列印出生物器官或者活體組織，是否有違道德?我們又改如何處理?如此具有爭議的論斷，或許將成為 3D 在生物列印上發展的限制。

第三章、3D列印之發展機會

3D 列印可說是數位資訊、智慧製造與材料科學的結合。不同於傳統工藝，以削切多餘的材料以完成產品。3D 列印利用 XYZ 三軸立體噴出物件、或聚合材料，層層堆砌的列印（完成）產品，由於這種「加法製造」有別於傳統製造法，當然就有其獨特的性質與優勢，此一特性恰與「減法」生產方式迥異，善用此一生產方式，對產業發展或有助益、抑或開創新局。

儘管以目前的 3D 列印技術，也許並不會引起全面性的第三次產業革命，但它是對現代傳統製造業的衝擊與互補特性，將帶動產業現狀的改變。目前全球 3D 列印的市場與需求，正逐漸擴大中，2010 年全球基層之製造與銷售（包含材料和服務）的產值約 12 億元美元，3D 列印雖占少數，但卻是增長迅速的行業。

一、3D列印的產業優勢

3D 列印目前應用領域為：醫療植入物、工具、航空、以及消費類產品，但是若是 3D 列印與積層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，將可能發生重大的變化，也將帶來了經濟和社會層面的一些新的可能效益。

3D 列印技術有潛力改變製造業，遠離用高成本，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 列印過程可激發創新的組件設計，已不能用零件的傳統製造方法來比擬，同樣的也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，或讓新產品在幾天而不是幾個月內推向市場，當然降低了創新產品的商業風險。

其特性如下：

（一）產品設計自由化：

層層堆疊的 3D 列印性質，相較於傳統製造工藝，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。例如，在航空和汽車的設計上，可大幅降低車輛的重量、和節省燃料的消耗。

3D列印最大的潛在機會，應是在「設計自由度」上，3D列印消除了所有的以往的製造方法所施加的設計約束。它提供前所未有的自由度給設計師和工程師，為創造新產品及專為其產品組件所需的形式，自由度提供了極大化的調整和功能設計能力。間接打破了複雜性和成本之間的關聯性；創新和先進的設計，從可製造性設計（DFM）的約束中釋放出。現在，任何腦中可以構想的設計，都能在經濟實惠的狀況產出。

憑藉堆疊式概念和層層施工方法，設計師可暫時忘記模具、機械加工、鑄造和製造的各種限制，3D列印提供了前所未有的設計自由。咬邊、變壁厚和深厚的渠道的施工限制，已不再影響設計構想、製造能力與製造成本。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。例如，具有一千個0.05英寸的孔的零件與相同的無孔零件製造，並無製造時間與成本的差異。

零件也可以承擔以前不可想像的形式，在設計上形式可以流動、扭曲，甚致可以超乎想像的自由，或借用自然界中超乎想像的有機形狀，3D列印均可輕易達成。允許無限的複雜性設計，是3D列印的強項，設計者可藉想像，盡量發揮並設計出零件的幾何形狀，以強化其強度。另外，受限於傳統限制的重量比，在3D設計時，你可以完全不用考慮，例如果你可設計一個內部擁有晶格結構的固體物件。除了少數例外，任何在3D CAD上設計出的產品，你都可以3D列印製造出。

另外，設計的自由度也減少了從設計到製造所需的時間。由於沒有模具或機械加工需求，也無需投資時間，去修改或設計能用來製造或生產的必要的工具、夾具和刀具，更不必考量製作程序與方式。

（二）催生多樣化產品：

設計自由度讓產品及其零件的可以擁有最適合的形式。產品可以擁有複雜和豐富的功能，以達到其目的。切斷複雜性和成本直接關係、以及排除DFM規則的限制，3D列印能促進良好的設計，創造更好的產品。下一代的產品，

甚至可以運用在自然界中發現的結構來改善。雞蛋兩端的凸型，具有很大的拉伸強度。在設計自由度下雞蛋的外部結構，可以與內部晶格結合起來，產出高度經度和緯度強度的產品。同樣的，蜂窩型的強度可以被設計到包含在固體邊界的表面內。隨著設計的自由度，部分產品將有更好的表現，有的則將有更佳的設計美學和人體工程學。無論哪種方式，這將轉化為增加的銷售量。對於真正的創新，設計自由度將釋放出新的產品和新的想法，突破在傳統的製造工藝限制，約束下被視為不可能或不切實際的思維。

設計領域是使用3D列印的主要驅動力，因為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。

目前，考慮到所有的生產步驟（製造裝配，維修，處置...），設計師要能非常熟悉設計約束和幾何可行性，這就是所謂的製造和裝配的設計（DFMA）。DFMA成為設計師開始設計前的一個步驟，先將生產要求和約束提供給設計人員，這樣他才能設計一個可在現有生產限制下產出的產品。但在AM的幫助下，唯一的限制只剩下設計師的想像力和設計工具。因此，使用AM能讓設計師真正發展其創意。AM對DFMA對的影響是如此之廣，因為它不需要模具，例如注塑模具，從而將消除許多設計障礙，如壁厚的限制，避免尖角，需要頂銷。此外，透過3D列印可創造出傳統作法下無法產出或需高成本的模具才可產出的複雜性產品。這些功能包括盲孔和咬邊等。

（三）敏捷化的製造：

敏捷製造的概念，是著眼於縮短交貨時間。在敏捷製造的概念下，產品生產系統，要能快速反應需求的變化，無論是在數量上或是產品本身的變化上。實施3D列印，是可以協助達成敏捷製造的目的。如果敏捷的產品供應鏈，正面臨著一個需求的變化（在產品和功能的調整變化），它可能需要一個可立即配合的重建系統來適應新形勢，否則就會因為客戶滿意度降低，而失去客戶。3D列印極適合迎合產品的多樣化需求。因為，這些變化只需調整製造前的三維數據模型，對於此階段的修改是極為簡單的。換句話說，它並不需要改變夾

具、工作程序與機器設置等，這些都是傳統方法中，必需不得不因應：因為產品改變，所有的工作與設備都必須改變和考慮的，對3D列印來說這些都不構成問題。

如果敏捷供應鏈，臨著需求量的變化時，藉著3D列印仍可維持短交貨期。通常情況下，3D列印具有分散式的製造環境，在他處複製生產環境，是非常方便的。只要準備列印機、列印材料，這樣的生產環境立刻完成，這有助於轉向生產，使產品更接近顧客，進而縮短交貨時間。其實，市場的需求式時常變化的，由於傳統生產方式，沒有彈性的作法，將影響到公司的資源損失（需要未雨綢繆備料、閒置設備等支出），但是3D列印的製造方法，可迅速產出無預期的訂單。然而，前提是：目前3D列印還不夠有效，也不足以運用在大批量的生產上。在一般情況下，更少的浪費，更佳的靈活性，重新配置能力，快速客製的兼容性，降低存貨水平和在製品，使3DP製造系統能夠提供精敏供應鏈。如上面所討論的3DP，能同時兼容精實和敏捷這兩個概念。

在某些行業（專門的產品，如車身件產品）客戶訂單收到時，會觸發生產。這是一個拉式系統，並應用於公司在生產的第一階段就須包含客戶的行業，這通常是零件設計。拉式系統通常有助於產生實際需求量（瘦），如果市場需求是不穩定的，那麼就要有一個靈活的生產系統能迅速採取行動順序生產各種產品（敏捷）。考慮到上述所有事實，3DP對於精益，敏捷和精敏的生產鏈具有深遠的影響和兼容性。但我們應該記住，如果每個客製產品的產量高，它仍然不是一個有效的系統。

（四）個人化產品：

通過結合幾何自由度與無工具製造，3D列印也可有效降低生產成本，使個人化產品的生產，實現美夢成真。實際上，從用CT和MRI掃描數據，來生產醫療植入物，到個人風格的鞋、珠寶和家居用品等消費品的製造，在生產成本上是絕對可行的。積層製造也影響除了生物印刷之外的醫療保健產業。如前所述，企業使用AM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，製造商也運用創新AM生產客製化的義肢零件。當專門的客製化零件變得更容易生產產生時，相關的醫療保健費用便具有下降的潛力。儘管3DP對於

醫療保健經濟上的影響，尚不明朗，這項技術有可能改變醫療體系上一個重大變化：為病人提供更多客製化的護理服務與產品。3D 列印能力，無論是通過設計專門的醫療組件或列印病人所需器官，均有助於提供更加客製化的醫療保健。

敏捷供應鏈中有相當的問題是大規模客製。大規模客製也是敏捷製造概念中的一環，主要因其需求起伏大，需求產品差異大、多樣化，或言之：產品較專業化、個性化，或是說根據客戶要求的客製化。客戶的需求力量，迫使企業更加注重以客戶滿意度，讓每位客戶訂購產品，都能符合其需求。3D 列印能有效滿足客製化的需求，愈客製化、量越少的市場，3D 列印更能發揮。因此，3DP 在大規模客製化的市場上具有優勢。

（五）資源節省：

以層層堆疊的 3D 列印生產方法，也減少了所使用的材料，降低自然資源和環境負擔。如果供應鏈中的主導要求是精實生產，那麼就意味著：該系統的目標是減少材料的浪費，以最少的資源來完成生產。透過 3D 列印系統可以達到資源的最少浪費，因為它是以層層堆疊的方法，而不是減法是的生產，當然減少了生產時，生產材料的浪費。因此，「最少的浪費」可以幫助 3D 列印，達到精實益生產的供應鏈要求。然而，減式生產不僅僅只是浪費材料而已，更重要的是，材料的生產亦需要能源，相對的 3D 列印技術，能較傳統的生產方法，使用更少的能源。

不應該被低估的是，精實生產中最大的要求，是要減少廢物的產生，除非能增加收益，應盡可能降低廢料的產生，因為產生廢料愈多，產品成本增加愈大。在隱藏在精益生產下的即時生產（JIT）的概念上，3D 列印可以產生效益，因為 3D 列印是一個能夠快速，小批量的生產得很好的方法，這是 JIT 的關鍵。從製造的第一階段開始，3D 列印就能即時生產，減少庫存和減少 WIP，因為材料和三維數據模型是 3D 列印製造唯一需要的資源。

（六）生產成本降低：

在生產的工廠，生產過程是由製程排序而控制順序，每一步驟都是成本的累積（時間和臨時狀況，都會增加成本）。由於 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，也無二次加工需要，產量和工作效率自然較傳統為高，生產成本自然降低。由於沒有產品生產完的下游加工流程，3D列印機可以每天24小時運行，唯一的受到限制的因素，只是印表機的列印速度而已。

當設計上消除了二次加工需要、抑或與其他零件的整合，製造流程整體將變得精簡，也使得它更易於被管理，效率更高。經由3D列印，產量和效率增加，生產成本下降。3D列印將要組裝的部件的數量減少，也改善了「為生產方便而設計」（Design for Assembly）的限制。換句話說，它能夠將所有的製造部分合併為一。

另外，使用3D列印可減少生產鏈中的單元數，因為是透過一個三維模型的輸入，直接從電腦設計的模型產生零件。某些3D列印，可能有一些外加物質的支撐和後處理程序，但仍較傳統方式，減少了不同的製造階段中，涉及的生產場地和生產設備。傳統的生產方法需要為每個製造步驟設置時間和定位，這是運用3D列印最能減少時間之處，這種不需增加調校時間的成本價值，正是3D列印的特長所在。在其他方面，3D列印超越傳統生產的部分，是減少了人力需求，雖然它仍需專家建立CAD模型設計，但在此之後就沒有在製造上的勞力的需求。事實上，製造階段並不需要具備專門知識的專業人員參與，即可生產成功。

（七）平行化製造：

3D列印亦有能力大幅壓縮了產品供應鏈，顛覆傳統產品垂直式的供應形式，允許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，均有明顯的利益。對於平行化的生產模式，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，讓需求者自行生產自己所需要的產品，這些產品一旦印出（產生）後，就已完成了需求端的滿足，生產端無須顧慮生產過剩，對於成本的控制亦有很大的助益。在任何一家公司非增加收益的生產過程，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，以達最小化，公司可讓產品盡量顧客的，讓生產更接近市場，以縮短產品到客戶的運輸工作。

3DP 可以幫助分散生產，並可建立完成一種分佈式製造的環境，具有這種製造環境，將導致產品的運輸、包裝和送貨過程的資源浪費，也更節省顧客獲得產品的時間。

（八）產品網路化：

3D 列印為數位技術，也正逐漸與網路整合，讓消費者直接參與在設計過程中，讓消費實現真正的個性化與個人化。最近推出的家庭用的 3D 列印機，已讓消費者繞過許多傳統的製造業和零售業的鏈結，使用（或購買）或網路上共享的數位數據資料，自行從事產品的製造。需求方也可以透過網路提供需求，並由供應方（網站業者或是賣家)、抑或者免費下載圖檔，自行列印所需的產品。當然，你也可透過網路，表達你的設計理念與創意，使用分享或是買賣你的創意，讓更多人可以實現：自己製造商品的成就感。如果沒有印表機，你亦可委託網路上 3D 列印服務業者，將圖檔委託他人印出，並在網上進行交易。

3D 列印的潛在優勢，包括新的產品設計功能（讓你無法使用任何其他方式生產的)，由於精簡的流程及簡化的供應鏈，降低零件生產成本（考慮總生命週期成本)，降低創新和新產品推出的時間，支持精益/敏捷製造，可輕易生產汰舊系統的更換零件，減少材料浪費和能源的使用，並支持環境的可持續性。消除可製造性的約束，也將設計組裝性帶到一個新的水平。不再局限於製造過程，3D 列印允許完整的組件，靜態和動態，以一個單一完整的模式建造。這種整合消除了裝配時間，費用和錯誤，同時大大降低了製造成本和零件庫存。

3D 列印並非無所不能，但是確有最適合、適用的產業，這些產業應該有共同的特徵：多樣化、產品數量有限、零組件多、價格不斐。

（1）航太工業

航太工業是應用 3D 列印 AM 技術的先驅，居於工業應用上的排頭。波音公司，EADS（歐洲航空)，GE 等飛機製造商和他們的供應商，早就在使用 AM 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

[65]，3D 列印可大幅削減生產成本和重量。此外，AM 顯著有助於優化供應鏈，縮短交貨時間和對環境的影響，從而增加行業的商業價值。

這些發展證明了、3D 列印正在航太工業逐步抬頭。尤其是在現有趨勢：輕質結構和增加穩定設計的要求下，3D 列印有望開創嶄新的紀錄。也預期 3DP 在航太工業有著變革的影響[66]。

（2）汽車產業：

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。其主要目的是為了降低成本，減少傳統的製造工藝上所需的時間和工具，並加快創新和產品開發流程。為了面對這些挑戰，汽車行業在許多情況下，是應用創新技術的先驅。在 AM-技術也是如此。在 2011 年，汽車行業貢獻了 19.5%的總 AM 市場交易量，相當於$ 334 百萬。汽車行業一直是一個高度技術和創新驅動的產業，其要求為：以客戶的要求設計，安全性和環保性能，是動力、變異性、舒適性，資訊性和成本效益的集合體。在賽車界，AM 一直是多年的設計和測試的關鍵。逐漸的，AM 也被應用在需要高度性能要求賽車的零件製造上。

（3）醫學界需求

3D 列印亦極適合醫學所需，包括牙科應用，義肢，植入等技術。因為個人需求不同（多樣化）、產品需求有限、不同需求多等因素。

（4） 其他：

如車用裝備、電子產業、工具和模具製造行業、消費品工業（例如體育，紡織，家具，玩具，珠寶首飾行業等）。 AM 主要是用於複雜，個人化和功能集成部分。在大多數應用領域，AM 是用來塑造幾何形狀複雜的零件，比如設計師在珠寶行業的燈或吊墜。於其他行業，AM 能達到功能集成，如空氣調節器中，所

---

[65] 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。

[66] Prof. Dr. –Ing. Jurgen Gausemeier; Thinking ahead the Future of Additive Manufacturing – Innovation Roadmapping of Required Advancements, Direct Manufacturing Research Center, Heinz Nixdorf Institute, University of Paderbom, Product Engineering, Page 22

使用的雙層壁結構來隔離電纜。在紡織，食品等行業，目前正在探討可能的應用。在這些領先的研究中，如「列印太空食品」和生產無縫服裝，已經顯示了未來可能的應用[67]。然而，目前在這些行業中 AM 的使用仍是有限的。

在 2011 年，全球電子行業的收入達 3 萬億美元，年平均增長率（CAGR）約 10％。至於 AM 在電子行業的使用，由於可加工材料的出現，如新的聚合物，金屬和油墨種等，市場正在增長。特別是，生產製造和工具設備能從 AM 的運用上得到好處。在這裡，特別是 3DP 已具有將電路置入工件的能力。迄今為止，已有各式的電子零件已經透過 AM 實現：

- 固體金屬物體內嵌入無線電頻率識別（RFID）設備
- MEMS 聚合物的三維微機電系統
- VG KUNSTSTOFFTECHNIK 的 連接器外殼和電磁機構
- 紙製作的微波電路基板
- 通用電氣的超聲換能器
- 由 Stratasys 公司製造的多種自動化生產系統內的夾子。
- Stratasys 公司和 Optomec 完成了聯合開發創建了一個「聰明的翅膀」，這是印刷電子與印刷翼的結合。此機翼是第一款完全印刷的混合結構。
- 高科技電子元件的備件，越來越多運用 AM 生產。

在電子行業中，AM 的市場滲透率不斷提高的成功因素，包含表面質量、工藝可靠性和零件重現、與新材料的要求等[68]。

二、3D 列印的發展趨勢

3D 列印機是上個世紀的技術，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，後者會將連續的薄型層面堆疊起

67
Prof. Dr. –Ing. Jurgen Gausemeier; Thinking ahead the Future of Additive Manufacturing – Innovation Roadmapping of Required Advancements, Direct Manufacturing Research Center, Heinz Nixdorf Institute, University of Paderbom, Product Engineering, Page 26

68 Prof. Dr. –Ing. Jurgen Gausemeier; Thinking ahead the Future of Additive Manufacturing – Innovation Roadmapping of Required Advancements, Direct Manufacturing Research Center, Heinz Nixdorf Institute, University of Paderbom, Product Engineering, Page 28

來，直到固態物體的成型。3D 列印機與傳統列印機最大的區別在於它使用的「墨水」是原材料。

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：

- 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。
- 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，工業用機器的發展，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：

- 多樣化的印製過程：未來的 3D 列印機，將混合運用更多不同的技術，結合不同類型的積層製造技術和混合減式製造方法[69]，以互補方式完成高品質、成本低的成品。列印趨勢將從積層堆疊方式的列印，轉朝向基本體積式的列印，也許一種模組式的先進的填充外殼，成為列印前的準備，而不是再用一層層慢慢印出。
- 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，通常是維持一定的妥協。提高精度與速度可由兩個方向著手：在提高列印速度的要求下，列印精細度可藉其他輔助方式與以提高（如 CNC 車床再加工）；在精細度的品質考量下，列印速度可藉分段製作來增加效率（如粗胚製造後再列印）。

[69] 我們可稱這種技術為混合式列印機（Hybrid-3D printer），似乎很多工藝技術之發展方向均為如此。

- 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。
- 更多應用的崛起：當創新的材料發展，自然會容許更多的材料運用於 3D 製造中，可預期的是：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）、自組裝（self-assembly）和奈米列印（nano-printing）技術，將被用於 3D 列印過程[70]。

三、3D 列印的商業模式與新創機會

前述這些 3D 列印的特質，自然引發新的商業交易方式，引發新的商業經營模式。或許對於特定的既有生產行業，有特定性的衝擊，不諱言也創造了新的商機，產生了新的行業（如圖 3.1[71]）。

[70] Stephanie S. Shipp, Nayanee Gupta, Bhavya Lal, Justin A. Scott, Christopher L. Weber, Michael S. Finnin, Meredith Blake, Sherrica Newsome, Samuel Thomas; Emerging Global Trends in Advance Manufacturing, Institute for Defense Analyses, March 2012, Page 39-42

[71] http://www.makepartsfast.com/2012/08/4137/making-sense-of-the-3d-printing-additive-manufacturing-industry/

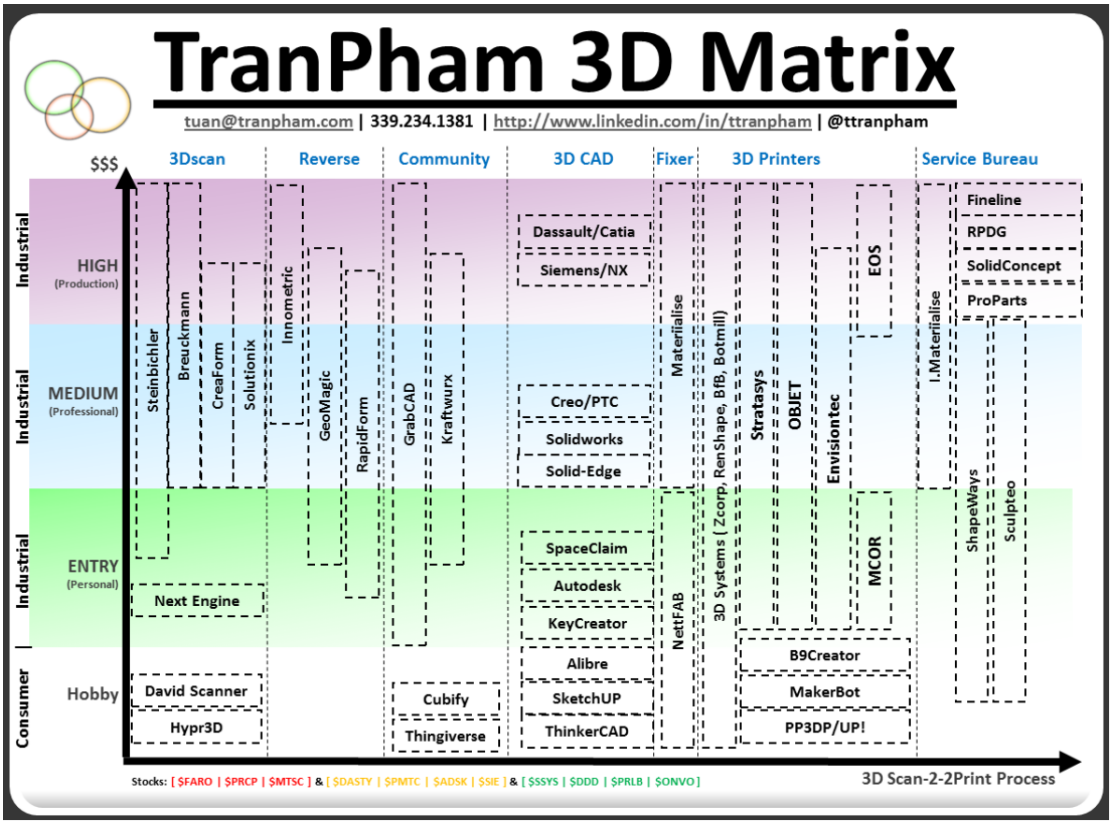


圖 3.1 3D 列印產業矩陣

由於 3D 列印產業，是以環繞著硬體的 3D 列印機台（亦可說列印材料）為中心的產業發展，其中外圍則是用來設計及列印 3D 產品的工具軟體及掃瞄工具，適用於 3D 列印的材料，以及延伸出的 3D 列印社群，此社群包含開源設計，3D 列印服務，網路設計分享與銷售等。(如圖 3.1 所示[72])。

[72] http://solidsmack.com/cad/the-3d-scan-to-print-matrix-of-the-century/#!

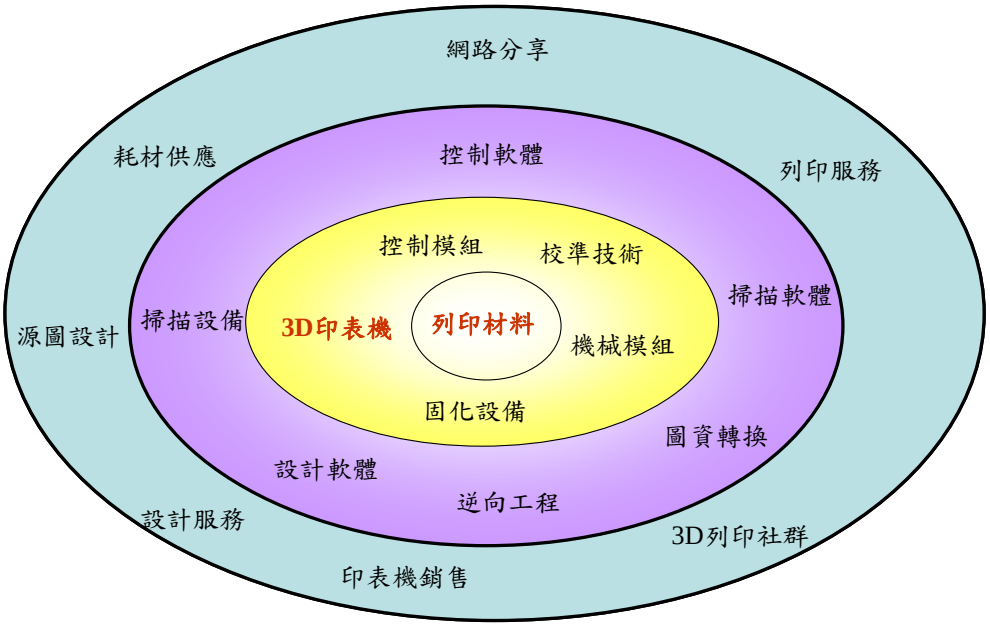


圖 3.2 3D 列印產業概念圖

雖然個人電腦目前已成為執行 3D 列印普及化的推手（經濟實惠、使用方便和訊息共享），儘管 3D 列印成本將逐步降低，進入障礙也逐步下降，但是 Wolhers Associates 公司[73]，認為未來 3D 列印系統，並不會像個人電腦一樣，成為一個家喻戶曉的產品。主要是由於製造家居產品所用材料的種類繁多，要個人（甚至於一般公司）購買昂貴的列印機，是不切實際的，另一般用戶也缺乏必要的技能，以有效地使用這些設備。

伴隨 3D 列印的發展與技術成熟，3D 列印的未來商業供應模式，將會有下述的發展：

（一）網路社群、玩家服務：簡易 3D 列印機，成為普及化，無論有價或免費的 3D 列印圖，將蓬勃發展與流通，因應設群發展，將會有 3D 列印服務公司成立，接受圖檔或代為設計 3D 列印成品，若干零售商（如亞馬遜等）亦可能直接參與生產他們銷售的產品。在相關服務模式方面，群眾募資（如 Kickstarter 與 Indiegogo）與社群製造（如 Shapeways 與 Quirky）活絡積層製造的創新能量，開放式創新社群、軟體與硬體等，將是讓全球自造普遍與盛行的最大助力。網路上對使用者提供一個平台，

[73] 特裏‧沃勒斯公司（Wohlers Associates Inc.）是位於科羅拉多州的諮詢公司，Terry Wohlers 為公司總裁，也是技術專家，該公司為科技產業提供諮詢服務達二十餘載。http://wohlersassociates.com/

讓個人使用者能分享他們的想法，並提供了使用者尖端的 3D 列印軟體和列印技術，讓個人使用者的概念與想法，有機會用最小的成本，在最快的速度與最新技術上實現。目前 Shapeways 號稱（2012 年 8 月為止），已有 7000 家商店和超過 16，000 名成員，列印過上萬件產品。

（二）3D 設計服務：3D 設計與製作公司，將創新服務產業界，或者應客戶需求，提供 3D 列印雛形產品、或者以自行設計的雛型產品，提供產業生產；大型產業公司，將在公司產品設計部門內，成立 3D 列印部門，以提高產品設計效能與多樣化需求。在生產上的變化，設計服務公司，將密切關注 3D 列印設計的知識產權，並利用網路交易平台來提供服務。不同產業間，或許會有產業服務之區隔，例如一般列印（塑膠類）、金屬類等，設計服務公司之出現。

（三）產業 3D 服務：為因應產品多樣化與個人化，直接 3D 列印商品公司將成立，承接產業界的客製化商品，並協助產業界維持產品後續保修零件的列印工作。這些公司可能是跨越國際的，在不同的地區或國家中設立，以提高產品供應效能。產業可以投資 3D 列印機，廉價地生產所需零件，而不是從供應商批量訂貨和保持庫存，或者是要求客戶購買新的設備。在產業內部，這些廠商應該利用 3D 列印來縮短設計到市場的時間，但更應密切注意 3D 列印技術，直到它成為經濟可行的生產方法。

（四）軟硬體技術服務：因應 3D 技術發展，為滿足多樣化與不同材質的 3D 列印，3D 列印的軟硬體服務公司，將會興起。軟體開發公司，亦會配合 3D 列印的興起，開發更多的軟體[74]，以滿足不同客群所需[75]。由於 3D 列印不同於家用印表機，包含許多高端技術與經驗，縱使獲得列印設備，仍將有相關的操作經驗與技術，這些軟硬體的技術能力，非設計者或列印者可以輕易解決，所以相關的技術服務與諮詢公司，將會獲得發展機會。

（五）教育與訓練服務：人才是技術生成的重要指標，隨著 3D 列印的需求擴大，3D 列印的設計與技術，將需求孔急。這些人才的訓練與技術熟稔，將導致 3D 教育與訓練服務發展。

---

[74]應用軟體，如 Autodesk123D，也讓一般個人使用者可以在家用電腦上設計和創作他們的個人化產品。(http://www.wipo.int/wipo_magazine/en/2013/02/article_0004.html)

[75] RepRap（replicating rapid prototyper）專案， 能夠列印製造大多數自身塑料零組件的低成本的 3D 列印機系統，這套列印機從軟體到硬體各種資料都是免費和開放源碼的。http：//zh.wikipedia.org/wiki/RepRap

（六）物流服務：企業的存在就是為了滿足顧客某方面的需要，為顧客提供產品和服務，物流服務是保證企業能有效提供優質服務的基礎[76]。由於 3D 列印產業具有從屬性（客戶需要）、移動性和分散性（分佈廣泛、不固定的客戶）、需求波動性（數量與顧客多元）的特質，未來 3D 列印產業將促使物流服務增強，這種形式的「聚焦物流」的觀念，即：在正確的地方，正確的時間，將對供應鏈和物流業終有重大影響[77]。

（七）新創公司興起：新興產品設計師和創業者可以利用 3D 列印技術，快速接觸到一定量的客群，乃至於全球客戶。3D 列印設備製造商和服務提供商，無論是通過建立一個消費性品牌的 3D 列印機，建造一個 3D 設計市場平台，或者建立一家 3D 列印服務店（無論是在網上或實體店面）。將促使在 3D 列印的生態系統中，新創公司找到最有利成長位置。

（八）產業價值提昇：3D 列印的使用實際上，可以使一些製造業更具競爭力，尤其在對於高價值的尖端產品行業，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，可以使企業更接近藍海市場，並可大幅提昇熟練人才的產業價值。未來，產品設計在哪（產品的價值），將比在哪生產（生產成本）更為重要。這可能會引導出更多在地化生產的商品，促進當地經濟繁榮；也讓設計者獲得更大利益。

（九）工程與設計兼備：未來 3D 列印將改變了設計與生產的特殊關係，設計師及工程師都將重新思考：設計物件的幾何形狀與功能。3D 列印去除了目前製造工藝上的諸多限制，這意味著任何可以在電腦上被設計出來的「圖」，將都有可能實現。工程師需兼備設計理念，想像出全新的產品，才能真正使用該技術充分發揮其潛力。設計師並需要了解工程師的構想，才能讓產品的設計，發揮極致。

前述這些 3D 列印特質，所引發的商業模式改變與新創機會等，或許對於特定的既有生產行業，有特定性的衝擊，不諱言也創造了新的商機，產生了新的行業。然而

---

[76] http://wiki.mbalib.com/zh-tw/%E7%89%A9%E6%B5%81%E6%9C%8D%E5%8A%A1
[77] By Connor M. McNulty, Neyla Arnas, and Thomas A. Campbell, Toward the Printed World: Additive Manufacturing and Implications for National Security,
INSS Defense Horizon, National Defense University, Sept 2012

我們必須承認，3D 列印不是萬能、也無法解決所有的製造問題，但在 3D 列印優勢的催化下，一種新的商業契機，隱然將改變固有產業的生態，確是不爭的事實。

第四章、3D 列印之挑戰

近期湧現的 3D 列印熱潮，不僅對傳統大量製造業可能帶來影響，另在法律與智慧財產權領域中，有關 3D 列印所可能引發的問題，同樣令人重視與憂慮。如同十多年前網際網路(internet)和數位技術的普及化，改變了圖書、音樂和電影版權發行一樣，此時許多人開始擔心，隨著 3D 列印技術的產業化推廣，在傳統製造過程中，受到智慧財產權保護的各類工業或民生用品和創意設計產品，將無可避免地受到消費者端，大規模智慧財產權侵權行為的挑戰。如何：把這項技術引向它美好的一面，用各種限制束縛住它黑暗的另一面，即是討論 3D 列印技術之法律面的最佳寫詞。如果人人都可以在自家裡生產，如 Tiffany 飾品或 Adidas 慢跑鞋，甚至以 3D 列印方式製作一台「3D 印表機」，將大大衝擊現有智慧財產權的規範。在美國唱片協會（Recording Industry Association of America, RIAA）的控訴下，2001 年被迫淡出市場的 Napster 檔案交換網站（第一個被廣泛應用的點對點 P2P 音樂共享服務網站），即為分享創作致侵害智慧財產權的顯著之例[78]。

除了 3D 列印引發的智財議題，相關的民事侵權問題，如自造者的產品責任，是否應和一般製造商一樣，3D 列印產品檢驗標準的制訂以及產品承保人責任問題，對於產業發展亦將是一大挑戰課題。日前美國已有可射擊的 3D 列印槍枝案例，3D 列印若更為普及或成熟，是否可能造成人人都能開兵工廠的可怕後果，如何在不威脅國家社會安全前提下發展該技術，在法制面取得平衡，確是當前需做預防思考的重要議題。

另外，若以 3D 列印的產品，運用於大眾運輸、公共建築、或涉及安全性與可靠度的產品，其品質與安全性，究竟是設計者的責任、列印者的責任、材料問題、製造者的技術、列印機具的問題，似乎已超出目前法律所律定的範疇，其責任歸屬到底是何，目前各國均無特定法律規範或是判例，這也是在進入 3D 列印時代中，不能不未雨綢繆及早需要因應、與研究的課題。

---

[78] http://en.wikipedia.org/wiki/Napster

在產業生產上，3D 列印同樣的引起不同的看法與疑慮，包含大量人工需求降低導致工人的失業問題、創新投資意願降低、3D 列印產業被虛名與誇大化、3D 列印不可能取代工廠生產，更不可能影響產業等。市調機構 Gartner Japan 「Gartner Symposium/ITxpo 2013」研討會中，其研究副總裁兼最高級分析師唐娜·斯科特（Donna Scott）發表了題為「Gartner Forecast 2014：IT 部門十大展望」中[79]，預測 2016 年之前，人類細胞組織和臟器的 3D 列印（生物列印）很可能引發全世界對於限制、禁止該技術應用於人類及其他生物倫理的論戰（其中包括實現臟器複製在內）；另外，有關智慧財產保護的法律法規，預測到 2018 年時，利用 3D 列印進行仿製和偽造，估計將給全球造成每年 1000 億美元的智慧財產損失，目前僅在美國，智慧財產盜竊造成的經濟損失就高達每年 3000 億美元以上。3D 列印不僅複製範圍廣泛，而且成本低、使用方便。玩具企業和汽車部件企業使用 3D 印表機仿製產品時，要如何證明自己的產品是正品？企業必須要有應對措施。到 2015 年，擁有著作權的歐美商品的仿冒品將在亞洲激增。製造業、零售業的 CEO（首席執行官）和 CIO（首席資訊官）必須齊心協力，提供能讓消費者有效分辨商品真偽的手段。然而，不論從經濟上、生產方式上、和產品供應型態上，3D 列印在發展過程，必定會遭遇一定的挑戰，本章將對前述論題，提出客觀討論與研究。

一、智慧財產權法律的挑戰

為掌握該新技術所面臨的智財法律挑戰與風險，以下就 3D 列印產業和自造者(Maker)兩個面向，並以我國法和美國法兩大主軸分析討論之。

（一）智財法律層面的挑戰與未來議題

3D 列印產業包含硬體和軟體涉及所有智慧財產權，據悉目前其主要列印技術已有專利保護抑或部分專利失效（或即將失效）。在取得智慧財產權之前，企業已投入相當大的研發、人力或投資併購成本，若未適當加以規畫或利用所獲得之智慧財產，其所投諸的成本將付諸流水；許多台灣企業擁有世界一流的製造技術，但卻長年忽略智慧財產權的重要性，以至於在保護智慧財產權意識高漲的今日，屢受法律訴訟的威脅，且必須付出更大的成本以換取市場機會，錯失市場機

[79] http://big5.nikkeibp.com.cn/news/digi/68122-20131018.html

會，即為忽略智慧財產活用的重要性，雖空有智慧財產權數量，卻無法為企業創造獲利。

以下就 3D 列印產業所涵蓋之智慧財產權以及可能侵權議題進行探討，進一步為我國發展 3D 列印企業提供該技術之智慧財產權概況：

（1）3D 列印產業的智慧財產權概況與侵權議題

任何具影響性的技術若能在市場上永續穩定發展，必須注意該技術智慧財產權的狀況，3D 列印技術當然也不例外，我國的技術研究開發者或相關產業經營者，除了須瞭解取得何種權利以保護創新成果外，也必須知悉可能涉及的智慧財產權侵害的風險。研究團隊於撰寫報告期間，參酌有關相關 3D 列印技術之智財相關研究，對於：依 3D 列印過程中，所涉及到的主要領域部分為切入點，再以我國法為準據，以「得以申請/取得的智財權」及「可能侵害的智財權」的角度，分析 3D 列印牽涉的智慧財產權[80]，為研究方向。

研究團隊亦嘗試綜合洪律師所列之表格與研究團隊多方蒐集資料，表列 3D 列印領域之智慧財產權如下:

表 4.1　3D 列印領域之智慧財產權表

3D 列印領域探討對象		得以申請/取得的智慧財產權	可能侵害的智慧財產權
硬體	列印系統、耗材、零組件	專利權、營業秘密	專利權、營業秘密
軟體	電腦輔助設計 3D 圖庫 網路平台	著作權 專利權營業秘密	著作權 專利權 營業秘密

（2）全球主要 3D 列印技術掌握者與專利概況

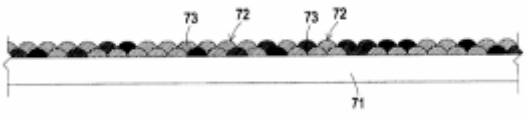
透過網路資訊所得主要國家專利資料庫檢索資訊，可以知道 3D 列印關鍵技術主要掌握在美國、日本及歐洲國家，且特別集中於 3D 列印產業中之重要企業的趨勢。根據調查結果顯示，在全球 3D 模型製造技術的專利實力榜單上，美國

[80] 洪振豪律師，3D 列印技術之 IP 相關議題，普華智慧財產權專論，（2013.8）

3D Systems 公司、日本松下公司和德國 EOS 公司都是主要公司。實際上，3D 印表機的技術早於 1980 年代就已出現，許多主要的專利，如熔融沉積成型(Fused Deposition Modeling, FDM)早已掌握在 Stratasys、3D Systems 或 EOS 等大廠中，直到近幾年一些專利即將陸續到期即失效，主要具市場競爭性的專利(關於雷射燒結 laser sintering 技術)將於 2014 年 2 月失效。

從美國專利商標局(USPTO)專利資料庫[81]以 「3D Printing」 搜尋，共有 351 個相關專利(至 2013 年 8 月 6 號)；以 「additive manufacturing」 搜尋，共有 277 個相關專利(至 2013 年 8 月 6 號)，數量皆不在少數。在我國的智慧財產局專利資料庫中[82]，以「3D 列印」檢索中，僅有 1 個結果（如表 4.2 ）之專利申請人為我國公司，其最新狀態為「再審審查中」，顯示我國公司目前對於 3D 列印仍處急待發展階段。

表 4.2　我國 3D 專利索引結果

專利編號	201208890
公告/公開日	20120301
申請號	099127352
專利名稱	適用於立體成型機構之噴印模組 PRINTING MODULE USED FOR A THREE DIMENSIONAL PROTOTYPING APPARATUS
申請人	研能科技股份有限公司 MICROJET TECHNOLOGY CO., LTD 新竹市科學工業園區研發二路 28 號 TW
簡圖	

[81] USPTO 專利資料庫：http://patft.uspto.gov/netahtml/PTO/search-bool.html

[82]我國專利資料庫：http://twpat.tipo.gov.tw/tipotwoc/tipotwkm

常拿來與台灣做比較的韓國，在 3D 列印智慧財產保護上亦急起直追， 2012 年 5 月韓國智慧財產局（KIPO）於官網發布訊息表示，以 3D 圖檔申請設計專利之案件量，每年倍數成長。自 2010 年起，KIPO 允許申請人以 3D 圖檔申請設計專利，為全球首例，亦建立了新的申請制度。經過三年的實施，此一制度的利用率每年倍增，成長率顯著。此一設計專利申請制度，允許申請人提交利用電腦繪圖技術設計的 3D 圖檔（產業界使用電腦繪圖技術，設計 3D 圖樣產品的情形非常普遍），取代以往的 2D 平面圖。此一制度的實施，即是配合產業界的需求現況。申請人可提交 3D 電腦檔案，毋須再從 3D 圖檔產製多種圖式，以有效節省製作時間和成本[83]。

值得注意的是，在 2012 年 10 月 9 日核發 Intellectual Ventures of Bellevue, Washington 的美國專利(US patent 8286236)，給予 3D 印表機得以檢視即將列印的電腦設計檔案，是否有可以複印的授權碼的能力，藉此保護原始作品的著作權及專利權。

（3）台灣廠商的競爭利基

世界重要的工具機重鎮之一的台灣，工具機產業面對其他國家的競爭，尤其是中國與韓國，未來必須透過產業升級才能維持競爭之優勢，而3D列印產業對台灣也許是一大契機，台灣本就擁有相當的硬實力，面對這波3D列印技術風潮，是否能搶得市場地位，其中最重要的關鍵即是該技術的智慧財產權，擁有具關鍵性的智慧財產權搭上宏觀的產業策略，才能讓台灣廠商在3D列印全球市場上占一席之地。

前述關於 3D 技術專利已失效或即將失效的消息，對於 3D 技術的後進者而言，尤其對於台灣的廠商，能透過失效型專利策略等的搭配來搶得下一波的先機，再搭配新材料的發現，發明可專利性(patentability)，據以市場之有利地位，並運用專利迴避設計(design around)，再繞過既有專利佈局的前提下，期待開創更多列印技術與商機。

[83] http://www.tipo.gov.tw/ct.asp?xItem=318744&ctNode=7124&mp=1

目前國內關於 3D 列印廠商大多是國外大廠的代理商，無自有研發能力與技術，但若能運用這波列印熱潮開發列印平台，也是一大商機，國內專門代理德國 EOS 3D 列印系統的廠商德芮達科技，即提供整合式 3D 列印服務平台[84]，從想法到成品產出皆在此平台完成，這平台更可以孕育更多創意家和設計師，目前正在進行小量製作階段，該平台似乎具有經濟效益。

研究團隊於撰寫報告期間，國內著名科技集團金寶集團 102 年近日宣布以自有品牌推出平價 3D 列印印表機，預計年底開始量產，瞄準一般消費市場，售價只要 1.5 萬元，是全球同級機種最低價，金寶過去就有豐富代工印表機的經驗，據報導開發時間只花了 7-8 個月時間而已，並已解決 3D 列印相關專利問題，因此對於未來銷售已降低法律上風險，未來消費者在家中就能列印許多所需要的產品，預計將帶動台灣相關產業改變與升級。

（4）從我國法與美國法討論侵犯智慧財產權議題

傳統的專利侵權訴訟，或許無法影響到個人在自家中以 3D 列印專利品，供個人使用；尤其是：證明專利侵權遠比證明著作權侵權複雜得多。因為著作權侵權，可以僅從下載檔案，將檔案存於硬碟中的事實，即有著作權侵權的可能性，然而為了證明確有專利侵權事實，專利權人需找出在真實世界中有可能侵權者「實施」該專利品，這聽起來確實非常不切實際，因為專利權人，需要耗費龐大時間與金錢一個一個找出侵權者再進行專利侵權訴訟。有鑒於此，專利權人有可能以間接侵權(indirect infringement)理論，轉向於使這些侵權者，如使他人實施專利品的 3D 列印機製造商、或其他相關產品服務提供者，主張專利權。畢竟相較於針對每一個末端使用侵權者訴訟，與製造商的訴訟比較可以帶來較大的訴訟效益，因為針對一個侵權人提出的侵權訴訟所得損害賠償，可能無法支付訴訟的相關費用與成本。這也是我國廠商發展 3D 列印系統，應注意的專利訴訟趨勢。

我國專利法沒有間接侵權的問題，但可視情形：得以民法侵權行為之共同侵權行為、即幫助行為處理[85]；而美國專利法則有間接侵權的定義與規定，專利

---

[84] www.printcool.me

[85] 我國民法§185: 數人共同不法侵害他人之權利者，連帶負損害賠償責任；不能知其中孰為加害人者，亦

權人可以依美國專利法第 271 條規定[86]的三種侵權態樣，主張被告行為侵害其專利權，依其行為的內涵所應負擔專利侵權行為責任，其中包括:第 271(a)條直接侵權(direct infringement)，第 271(b)條誘導侵權(inducement infringement)，第 271(c)條輔助侵權(contributory infringement)。誘導侵權與輔助侵權，統稱為間接侵權(indirect infringement)，然而 3D 列印機製造商、或其他相關產品服務提供者是否構成間接專利侵權，仍有待進一步的訴訟判例判斷。

（二）自造者 (Maker)可能面臨智慧財產的侵權爭議

相較於企業及其研發人員，一旦有新發明，就積極的運用智慧財產權法律保護其智慧資產，「自造者」反而更多了些分享創作精神，以避免法律框架與法定排他權的介入。的確，這樣的「自造者」思維與主流商業模式是相牴觸的。近日著重於文化軟實力發展的我國，文化創意人亦可轉化成自造者，藉由 3D 列印將其創意實體化進而行銷全世界，為我國經濟注入創意效益，當然文化創意實體化的過程，不僅要尊重他人的智慧財產權，也要懂得保護自己的權利。

假設一間甲公司其產品被各種智慧財產權如著作權、專利權和商標權等所保護，其客戶乙擁有甲公司的各類產品，乙發現甲客戶產品中的零件價格特別昂貴，對於 3D 列印非常有興趣的乙，開始自己畫出這些零件的 3D 藍圖然後用自己買的 3D 列印機印出零件，同時，他也將自己的 3D 製圖以電腦輔助設計 CAD 檔案，上傳至分享網站或線上，供人下載，網友丙即從該網站下載乙的製圖且自行 3D 列印出零件，在此案例中，甲公司得向乙和丙甚至該分享網站或線上列印平台，主張其智慧財產權，因此，3D 列印「自造者」，的確不能忽視智慧財產權的重要性與法律風險。研究團隊乃依據各智慧財產權的特性，分析自造者所將面臨的智慧財產侵權問題：

同。 造意人及幫助人，視為共同行為人。

[86] 35USC§271: (a) Except as otherwise provided in this title, whoever without authority makes, uses, offers to sell, or sells any patented invention, within the United States or imports into the Un the term of the patent therefor, infringes the patent.
(b) Whoever actively induces infringement of a patent shall be liable as an infringer.
(c) Whoever offers to sell or sells within the United States or imports into the United States a component of a patented machine, manufacture, combination or composition, or a material or apparatus for use in practicing a patented process, constituting a material part of the invention, knowing the same to be especially made or especially adapted for use in an infringement of such patent, and not a staple article or commodity of commerce suitable for substantial noninfringing use, shall be liable as a contributory infringer.

（1）商標權 (trademark)

商標是識別性區別產品的符號，識別性有兩個要件：辨認與區別。如同我國商標法第五條第一項所定：「商標所用之文字、圖形、記號或其聯合式，應足以使一般商品購買人，認識其為表彰商品之標識，並得藉以與他人商品相區別」；在美國，連聲音、嗅覺、顏色、味道、容器外形、商品表徵(trade dress)，非傳統性，無功能性，不會影響進步者，都可以作為商標，但基本上在我國只承認傳統的視覺，圖形或文字符號的商標標章。目前台灣商標法已引進立體商標，例如 101 大樓的立體設計即被註冊為商標，如 3D 列印他人註冊之立體商標，須避免作為商品辨識來源之用，以免觸法[87]。

如果 3D 列印一個物件，物件上包含一個商標，自造者即有侵犯商標權之虞。因此，自造者如果特別喜歡該特定物件，應避免印出商標，通常沒有商標的物件較不會侵犯商標權。至於將平面商標圖轉換成 3D 的商品，例如將「凱蒂貓」、「迪士尼卡通人物」、「史努比」等商標圖案以 3D 列印製成物體，也可能構成商標侵害。

（2）專利權 (patent)

專利權和著作權有很多相異之處，專利權並非像著作權即創作發明之後法律自動賦予該權利，專利權是需向行政機關申請和一連串行政上審查程序才可取得的權利；而且專利權是排他權，一旦取得權利其後任何有相同發明，即使後續發明者證明自己獨立開發，仍就視為專利侵權，不像著作權，對於恰巧相同的創作如可證明獨立創作，仍受著作權的保護，專利法上也沒有合理使用(fair use)的抗辯；而專利保護期間比著作權保護期間要短的多。自造者印製物品時，若有不慎，非常可能侵害他人專利權。

「設計」如果沒有純功能性的造型，在我國專利法屬發明或新型專利的範圍，或沒有純藝術創作或美術工藝品，是對物品的全部或部分的形狀、花紋、色彩或其結合，透過視覺訴求之創作，或是應用於物品的電腦圖像，或是圖形化使用者介面，依據我國法皆得申請設計專利；而美國專利法也有設計專利(design

[87] 陳佑寰律師，3D 列印的美麗新世界及智財保護，會計研究月刊第 332 號，第 48 頁

patent)之規定[88]。3D 列印使人們侵犯專利的可能性大大提高，尤其是設計專利，然而在真實世界裡專利，並非包含絕大多數的實體物，複製物件致侵犯他人專利權的可能性卻相對低。

但是在法律訴訟上，面對其他擁有該項技術的專利權人，自造者如果沒有足以抗衡的專利予以反擊，就必須藉由法院將這些威脅性專利予以無效。我國的「舉發」程序是藉由第三人協助專利專責機關，就公告的專利案再予以審查，使專利之核准準確度提升之公眾輔助審查制度；在美國，則是採取再審(reexamination)程序，而此程序的基本概念就是：盡量去搜尋到在系爭專利申請日前，就已經公開的文獻資料，藉已限縮或是取消系爭專利的權利範圍，使產品不致侵害系爭專利。

Electronic Frontier Foundation (EFF)為協助「自造者」免於陷入相關專利侵權風暴，與 Cyberlaw Clinic at Harvard's Berkman Center for Internet and Society 合作找出六件可能阻礙、3D 列印領域創新的專利[89]，並號召自造者全面進行前案檢索(crowdsourced prior art)，依據新修定的 America Invents Act (AIA)，準備提出再審，以化解「自造者」的法律侵權危機[90]。

（3）著作權 (copyright)

3D 列印以藍圖設計開始，設計的各階段草稿和完稿作品，皆有可能受到著作權之保護，藍圖通常在電腦裡以電腦輔助設計(CAD)軟體繪製，也可以用 3D 掃描後存取 CAD 檔案，再以 3D 影印機印出成品，在這過程除著作權保護的獨立創作(independent creation)者[91]外，非常可能侵犯他人的著作權。因此，自造者的獨立創作之相關證明的事先記錄與整裡，甚為重要，畢竟著作權屬私權，權利人須自行舉證其存在[92]。

---

[88] 35 U.S.C. §171

[89] https://www.eff.org/deeplinks/2013/04/eff-partners-challenge

[90] http://www.theverge.com/2013/4/16/4229822/eff-hopes-to-invalidate-3d-printing-patent-applications

[91] 最高法院 81 年台上字第 3063 號判決：「按著作權所保護者，為著作人獨立創作之作品，兩作品只其均來自獨立之表達而無抄襲之處，縱相雷同，亦僅巧合而已，仍均受著作權法之保護。不得僅以客觀上之雷同類似，即認定主觀上有抄襲情事…苟非抄襲或複製他人之著作，縱二作者各自獨立完成相同或極相似之著作，因二者均屬創作，皆應受著作權法之保護。」

[92]最高法院 97 年度台上字第 1671 號民事判決：「著作權人之舉證責任，在訴訟上至少必須證明下列事項：(一)著作人身分，藉以證明該著作確係主張權利人所創作，此涉及著作人是否有創作能力、是否有充裕或

（4）營業秘密 (trade secret)

不論就設計的藍圖與創意內容，是否具有上述的智慧財產權保護，只要妥善保密，且符合營業秘密的要件，即可享有營業秘密的法律保護。「自造者」對於自己的創意內容在未實體化之前應妥善保密，僅揭露與必須知悉之人(need to know basis)。

二、產品責任與安全性

（1）自造者之產品責任 (product liability)

3D 列印盛行將使人人都可成為「製造者」，原身為供應鏈裡的消費者，因可自行 3D 列印產品如玩具、零組件或工具而成為自造者，自造者使用該印製產品甚至販售，販售產品予其他消費者，然而該產品並未按照原有的標準生產也未有任何安全標示，自造者是否該負與製造者相同標準的責任，值得討論；隨著列印新技術與列印材料的演進，產品的潛在缺陷無法提前預知，也許會有更多問題將在多年或是十年後凸顯。也許無法要求自造者在其列印產品上，貼上警示或安全標示，但使自造者負擔嚴格責任(strict liability)或許是可行的，另也有爭論：認為這些自家生產的產品責任，應該以過失(negligence)標準論之即可，相關侵權責任爭議仍有待觀察相關判例發展。然而在這產品責任議題中，影響最大的將可能是產品責任承保人，由於對列印材料和技術的認知不足以及難以預見的 3D 列印產品缺陷，將使產品責任承保人面臨巨大風險，因此產品責任承保人對於 3D 列印產品應執行更嚴謹的調查研究分析。

另外，某甲上傳了一個 3D CAD 圖，到供人下載列印的 3D 列印網站平台上，某乙下載該圖所印製出的產品，使使用者受到損害，某甲是否應承擔設計瑕疵的責任呢？該網站也是否應承擔任何責任呢？皆是法院未來將針對整個 3D 列印供應鏈所需思考的侵權責任歸屬問題，值得大家觀察探討。

合理而足以完成該著作之時間及支援人力、是否能提出創作過程文件等。(二)著作完成時間，以著作之起始點，決定法律適用準據，確定是否受著作權法保護。(三)係獨立創作，非抄襲，藉以審認著作人為創作時，未接觸參考他人先前之著作。」

（2）社會安全的威脅

3D 列印技術的發展對於生活帶來更多便利，然而可預見的這是一把雙刃劍，在更為普及與技術成熟的發展下，或可能造成人人都能自行製作武器，威脅到社會安全可怕後果。日前美國嚴重的校園槍擊事件頻傳，使得美國社會對 3D 列印被用來生產槍枝的可能性產生疑慮。英國《星期日郵報》記者，列印塑膠手槍的例子，已造成安全的隱憂集為其例。在澳洲，3D 列印成為 ATM 犯罪的工具，用以製造盜刷工具[93]。上述只是目前已經浮上檯面的案例，隨著 3D 列印技術更普及，未來這項技術勢必會引發更多目前還想像不到的問題。

雖然由於材料、技術等條件限制，目前即便是高階專業型 3D 列印機，要製造出槍枝零組件，都還有相當困難，但隨著科技進步日新月異，未來 3D 列印設備功能勢必會越來越強大，屆時、類似槍枝這類危險管制品，會不會因此而氾濫，就成了現在必須未雨綢繆考量的問題。3D 列印機製造商 MakerBot 宣布，該公司經營的 3D 列印之「Thingverse」禁止張貼任何與槍枝零件有關的設計方案，並要求使用者遵守其使用規範[94]。

從法律的角度而言，當然並非所有物品皆可被 3D 印製，首先是法律明文禁制製造的物品。依據我國刑法第一百八十六條及第一百八十七條之規定[95]及槍砲彈藥刀械管制條例第七條[96]之規定，嚴格禁止製造、販賣或運輸火砲、肩射武器、機關槍、衝鋒槍、卡柄槍、自動步槍、普通步槍、馬槍、手槍或各類砲彈、炸彈、爆裂物等。

未來各國立法者及業者必須做出明快行動，防範民眾利用 3D 列印技術製造武器，否則阻礙正常 3D 列印產業發展，更衍生嚴重的社會問題。

---

[93] http://www.3dmaker.com.tw/2/post/2013/08/3d38.html

[94] Thingverse's terms of service: You agree not to use the Site or Services to collect, upload, transmit, display, or distribute any User Content (i) that...physical harm of any kind against any group or individual, promotes illegal activities or contributes to the creation of weapons.

[95]我國刑法§186: 未受允准，而製造、販賣、運輸或持有炸藥、棉花藥、雷汞或其他相類之爆裂物或軍用槍砲、子彈而無正當理由者，處二年以下有期徒刑、拘役或五百元以下罰金。我國刑法§187: 意圖供自己或他人犯罪之用，而製造、販賣、運輸或持有炸藥、棉花藥、雷汞或其他相類之爆裂物或軍用槍砲、子彈者，處五年以下有期徒刑。

[96]槍砲彈藥刀械管制條例第七條第一項：未經許可，製造、販賣或運輸火砲、肩射武器、機關槍、衝鋒槍、卡柄槍、自動步槍、普通步槍、馬槍、手槍或各類砲彈、炸彈、爆裂物者，處無期徒刑或七年以上有期徒刑，併科新臺幣三千萬元以下罰金。

三、對產業的影響與挑戰

被「經濟學人」稱為將帶來「第三次工業革命」的數位化製造技術，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，對目前產業的衝擊與挑戰，研究團隊訪問國內外相關產業，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）生產方式改變：產業化導入 3D 列印生產的最大考量是：規模經濟是否可能？由於產品數量與成本，存有一定關係，縱使 3D 列印並非以大量化生產為主要優勢。因為，無論是生產一件產品還是多件產品，啟動 3D 列印機器的成本都是一樣的，但在製造的速度上，可能不及大規模製造，生產成本自然難以降低，這就是未來 3D 技術需要面臨與克服的挑戰。這波 3D 列印風潮，國內機殼大廠可成也一直在密切關注中。據報導，可成以往也曾經採用 3D 列印技術，但大多用於開模，要實際採用 3D 列印量產產品，可成認為仍有很長的路要走。3D 列印的產品，目前仍有材料限制，且成本很高，因材料受限，產品的強度、製造精度仍有明顯差距，並非如目前外界所談論：可以快速量產各式各樣的東西。以目前 3D 技術，要做到量產成品，距離仍很遙遠，甚至鴻海董事長郭台銘先生，也認為 3D 列印乃「噱頭」而已[97]。另，國內工具機製造龍頭友嘉集團 CNC 執行長李進成先生亦認為[98]：從性價比（Price/performance ratio）[99]的觀點而言，3D 列印不易取代目前產業之生產方法，距離產業實用期仍然漫長，除非有突破性的技術產生，對產業的影響雖有期待，但仍遙遠。目前在日本[100]或是台灣的製造業界，對於 3D 列印的看法，仍處於注意、觀望與等待期，他們都認為：3D 列印的技術是機械、控制、光學、資訊和電子的組合應用，以目前這些生產設備的公司，所擁有的技術能力，應該很快的可以導入與銜接，至於列印材料與列印技術，目前仍需等待與觀察後續技術的發展。對於這些生產大量產品的工廠而言，某些生命期較短（如耐用度較短、流行性

---

[97] http://www.ettoday.net/news/20130624/229627.htm
[98] 研究團隊對李執行長的訪問內容，見附錄 10
[99] 所謂性能價格比(性價比=性能/價格)，是一個性能與價格之間的比例關係，可用來權衡商品在客觀的可買性上所做的量化，並反映了付出單位成本與所購得的商品性能之間的對價關係
[100] 研究團隊在日本參訪日立公司時，該公司社長亦對 3D 列印提出日本產業界的看法。

商品等）的產品，在產品後續服務與零件更換上，3D 列印將會發揮最大的優勢：廠商無需備料與生產更多的零件，也無需為了企業的品牌與形象，被迫保留少數生產線，製作備用零件，對於公司的營運與成本控制，將有重大利益，這應該是產業所樂見於期望的。

（2）銷售供應改變：工業產品最終要靠相關銷售供應為之，如果最終的消費者，是藉電子化網路訂購 3D 列印的產品，零售商在供貨與販售的角色上，可能受到巨大衝擊，取而代之的是：物流業蓬勃發展（負責送貨）、電子商務更加興盛（負責展示與接受訂單），商品的供需方式，隨之引起重大改變；抑或是下載產品 3D 圖，使用者不必出門，在自家列印出產品，不必再需要工廠生產。如圖 4.1[101]所示。

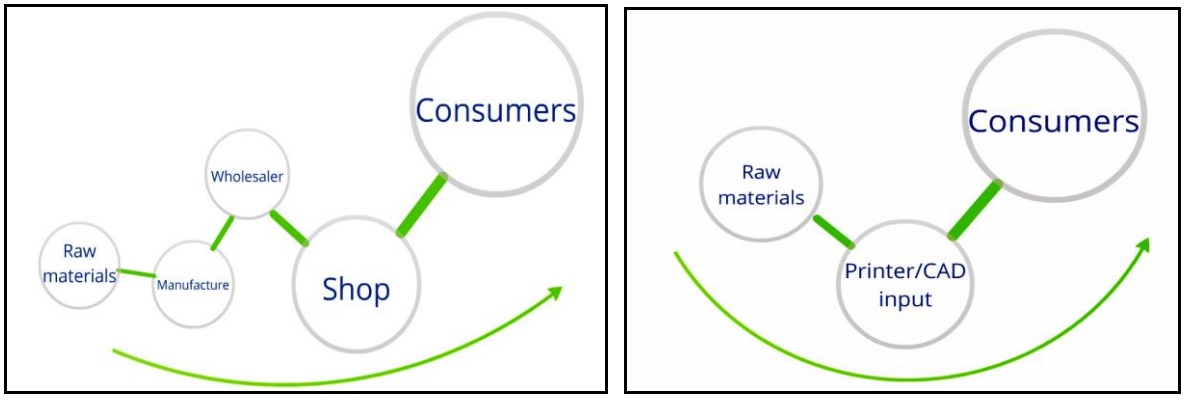


圖 4.1 3D 列印改變產品供應鏈

（3）相關製造業的衝擊：由於 3D 列印對於產品供需的改變，將對目前相關產業帶來影響；例如：以逆向工程複製（或改進）他人產品的公司，因為無法及時拿到對方的零件（因為 3D 列印零件變少或是全無），而無法仿製；零件供應商不能再提供制式化的零件，供應市場，工廠也無需備份零件；不再需要齒模代工製做牙齒；軍事行動無需武器零件準備；商品損壞無需整體更換；再也不必擔心食品添加物問題（自行可列印食品）等等，這些相關的行業，將受到嚴重影響，甚至消失。

[101] http://madameeureka.wordpress.com/the-economic-impacts-of-3d-printing/

（4）列印材料的需求：由於大部分的工業產品，都需不同的材料來製造，單一化的材料所製作出來的商品，僅限縮為小量而已。列印材料在未來 3D 列印需求上，將可為 3D 列印帶來新的商機，亦可能是最大的獲利所在。沒有適當的列印材料發展，3D 列印永遠只是玩家的桌上設備，可能無法造成所謂的影響，也無產業革命可言。列印材料的種類、列印特性、列印機的搭配、和列印的技術，在 3D 產業本身的發展上，將受到重大的挑戰。

（5）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，尤其對文創產業而言，複製盛行的思維反而阻礙文創產業的發展。如果自己能夠創造文創產品，為何還要購買？3D 列印對文創產業，是否真的是利益（鼓勵大家文創）？或是噩夢（自己變成文創家）？目前可能尚難定論！但是，可以預期到：3D 列印對文創產業，是必造成重大的挑戰與衝擊。

（6）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。部分流行商品（如 3C 產品、服飾等），由於 3D 具多樣化的產出特性，產品從雛形與生產時間驟縮，相對產品生命週期將更短暫，精益求精的產品，也會在短時間上市與下架，對此類行業的獲利與經營，帶來新的挑戰。另外，有些商品使用後，受限於部分受損零件無法獲得，而不得不更換，未來 3D 列印出的零件，將可有效的延長這類商品的使用期限。前述的趨勢，將造成商品生命週期的兩極化的發展，對產品的基本生產概念與生產方法，將造成重大的挑戰。

第伍章、台灣發展 3D 列印的機會與建議

台灣經濟從 1970 年代之後開始快速發展，近四十年來，台灣曾經創造的高度成長的經濟體系，無論是生產製造、工作機具、模具設計、積體電路等在世界上皆佔有一席之地；然而同時期，亞洲各國經濟也快速發展，近十年來台灣的經濟，速度不僅在亞洲四小龍中敬陪末座，甚至比起東協許多國家遜色不已。近年來，更面臨到韓國與中國大陸的強烈競爭，台灣似乎已經碰到瓶頸，景氣低迷也造成社會氣氛憤怒與抱怨；有人說這是台灣經濟「沈鬱的十年」，因為台灣經濟雖勉強維持正成長，但是整體就業環境普遍降低，人民生活水準反而倒退，令政府、學界與產業界等均引以為憂。為台灣的產業找到新出路，目前已成為政府最重要的施政目標。

面對可能為新的一波產業革命的 3D 列印風潮中，3D 產業是否能為台灣產業，帶來甚麼樣的機會？還是被此 3D 列印浪潮，再度降低台灣目前部分產業的競爭能力？這都是值得我們深思的!本章將對 3D 列印在台灣發展的機會，在經過 SWOT 分析後，對國內產官學研的發展提出相關建議。

一、台灣 3D 列印的現況

3D 列印對於台灣而言是一個相當新的產業，國內雖然有深厚的電機電子產業基礎，國內的模具製造業也在國內外享有盛名。但是在以積層製造技術的 3D 列印，在以前並沒有發展經驗，也沒有相關的產業環境，因此對台灣來說，3D 列印可算是一個全新的產業。國內，自 2012 年起亦開始有關 3D 列印的工業生產、以及社群（個人製造者 Maker)的應用，本節將概述其相關軌跡與國外發展的關聯。

近兩年來在歐美日等新進國家，非常重視：3D 列印在相關工業的關鍵能力開發，甚至提升到國家戰略層次的地位(如美國總統歐巴馬擴大投資成立三個製造研究中心藉以強化鞏固「Made in USA」的戰略能力[102]；歐盟太空研究組織透過 Amaze 計畫結合 28

---

102 http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2013/05/09/obama-administration-launches-competition-three-new-manufacturing-innova

個跨國組織將 3D 列印帶入金屬製造的時代[103]；日本政府集合產官學力量投入預算要在五年之內增進工業 3D 列印機的列印速度達十倍以上[104])。在國內的工業生產發展方面，最吸引大家目光焦點的新聞就是鴻海精密郭董事長公開發表並不看好 3D 列印在工業發展上的運用。但是國內另一位電子產業資深業者金寶許董事長卻看好此種趨勢，經由金寶、泰金寶公司合資 6 億元，成立三緯國際科技發展低價個人用 3D 列印機並希望達到 3 年內銷售百萬台的目標[105]。此外，環顧國內的工業 3D 列印發展，目前是以工業技術研究院南分院為推動的主要力量。國內「科學人」雜誌，於今年（2013 年）六月報導訪談南分院執行長徐紹中先生，談到相關的發展方針以及為何要透過形成「雷射積層製造產業群聚」推動 3D 列印的原因[106] – 「...面臨產業外移，低價競爭，高階材料與製造設備長期仰賴國外等問題。透過金屬積層製造技術，預計能幫忙模具商在開發 3D 流道與複雜曲面加工上的需求...」。另，曾文鵬先生（工業技術研究院南分院積層製造與雷射應用中心總監）接受本研究團隊訪問時（如附錄 10）亦表示：3D 列印發展過程，積層製造中心自從民國 99 年開始進行相關評估，初期因為在地醫療的需求，先進行 3D 列印醫材市場的調查，接著基於國內產業與產值影響的考量，於民國 101 年初由向德國 EOS 公司購買國內第一台金屬 3D 列印機，開始專注在金屬 3D 列印的研發，而後，國內廠商與學界，陸續與南分院進行相關合作研究，探討各類材料特性與相關材料、關鍵零組件與應用發展。經過一年多的合作投入，也在今（2013）年七月配合經濟部的「雷射光谷計畫」，正式啟用工研院的「南部雷射光谷育成中心暨試量產工廠」，其中的金屬雷射積層製造技術之實量產工廠，即是用以推動 3D 列印相關的雷射應用計畫。前述「雷射光谷計畫」，期望將台灣雷射產業規模，從目前四十億擴大到兩百億，並冀望育成十家新創公司，目前已經有七家公司進駐園區（截至 2013 年 9 月為止），其中包括台灣積層製造公司(TAMC)[107]（日本松浦和台灣神基新創公司）。除了協助國內廠商的發展，與為了下一代的技術競爭力，工研院在經濟部的協助之下，也於今年六月底與荷蘭

[103] http://www.bbc.co.uk/news/science-environment-24528306
[104] http://big5.nikkeibp.com.cn/news/mech/66620-20130627.html
[105] http://www.appledaily.com.tw/appledaily/article/finance/20130827/35250914/
[106] 科學人, 「多元、複合的加法製造」, pp.46, 2013.06.
[107] http://news.msn.com.tw/news3089821.aspx

TNO[108]共同組成 3D 列印國際聯盟計畫（PENROSE），共同研究發展新一代的 3D 列印技術(多重材料電子機械學的技術與設計)[109]。王本耀主任（工研院技轉中心）亦表示：在新竹工研院院區的材料所、機械所等單位，目前也開始進行相關的技術研究、專利分析以及日後的技術佈局等。

除了先前提到的金寶公司自行投入印表機研發，國內也有許多公司代理國外專業的 3D 列印機，供國內外廠商評估使用，例如實威科技代理美國的 3D Systems， 並以布局大中國地區為主要營運目標。震旦行亦取得 Stratasys（美國第二大的 3D 列印機公司）的中國大陸獨家代理權，並同時發展自有品牌的列印機[110]；另外，國內德芮達公司與數可公司也代理銷售德國 EOS 的 3D 列印機[111]。

除了印表機發展之外，國內也分別有公司投入列印耗材、模擬與曲面軟體、3D 掃描製造與服務，各種積層製造服務與終端產品使用。目前台灣的 3D 列印的產業狀態，如表 5.1(本研究團隊整理)所示。

表 5.1 台灣 3D 列印的產業狀態

設備/零組件/印表機	列印耗材	模擬與曲面軟體	3D 掃描製造與服務	各種積層製造服務	終端產品使用
德國 EOS	光洋	科盛	馬路	數可	堤維西
日本 Matsuura	應材	皮托	通業	馬路	聯合骨科
東台精機	鑫科	大塚		通業	捷安司
東捷科技	材料	上奇		普立得	神基科技
均豪精密	國精			德芮達	
實威	化			台灣積層製	
三緯科技(金寶)	偉盟			造(TAMC)	
震旦行	方礎			震旦行	
辛耘	光電			東捷科技	
茂太					
上奇					
天空科技					

[108] http://belgium.nsc.gov.tw/ct.asp?xItem=19341&ctNode=210，該機構已投入 3D 列印研究 15 餘年。
[109] https://www.itri.org.tw/chi/news/detail.asp?RootNodeId=060&NodeId=061&NewsID=758
[110] http://tw.stock.yahoo.com/news_content/url/d/a/131017/3/42b9g.html
[111] http://news.msn.com.tw/news3089821.aspx, 3D Systems、Stratasys 與 EOS 這三家公司，目前掌握了 3D 列印的主要專利，其生產之 3D 列印機囊括了全球九成市占率

在社群與個人製造者(Maker)的方面，受限於前幾年印表機成本昂貴(初推出之列印機約 17 萬 5000 美金[112])、以及不夠完整的技術服務體系，並未能跨出學術與工業研究的領域。近年來業餘愛好者以及創業家不斷努力研發，3Dsystem 以及 Makerbot 公司終於研發出訂價不到 2000 美元，以塑膠為材料、快速製作的 3D 列印機，因而促成個人製造者和網路社群的迅速成長。此一風潮，肇始於 MIT 的 MediaLab 的個人 DIY 工作坊，其後 Fablab 或是 Maker house 也如雨後春筍般的，在美國（甚至全世界）開始蓬勃發展。有關個人 3D 列印與相關服務的商業模式之成功故事，陸續為媒體報導，更推升了此一領域的發展，《Maker》一書（Chris Anderson 著）即是最廣為人知的例子。

在個人與社群發展 3D 列印風潮中，研究團隊認為有兩個「自造者」的活動，可作為重要的觀察指標；即是「Maker Faire」的活動舉辦、以及《MAKE》季刊雜誌的發行（創刊於 2005 年 2 月）。前述這兩項活動，對於促進各國的個人及社群之 3D 列印發展，具有關鍵性的推升效益。台灣的第一次「Maker Faire」活動於今（2013）年五月，在台北市華山文創園區舉辦[113]。另《MAKE》季刊雜誌的國際中文版，亦於 2011 年 5 月出版。雖然《MAKE》季刊雜誌於 2011 年開始發行，台灣到去年(2012 年)為止，3D 列印活動風潮並未顯著發生，報章媒體亦沒有看到相關的新聞報導；C2C 拍賣平台上，也沒有見到相關的 3D 列印查詢與銷售活動，可歸咎於國內並沒有適當的機會舉辦相關活動。

2012 年 12 月 19 日，由威盛電子公司電子行銷部副總 Richard Brown 的策劃，由威盛電子公司、玉山創投與 Baustein Central 創新培育計畫單位，舉辦了國內第一次 3D 列印主題聚會開始，國內的個人化 3D 列印活動，始萌生契機。而後，2013 年元月「3D Printing Jam」[114]的技術分享活動，國內 3D 列印的相關活動於是陸續展開。研究團整理了今（2013）年以來的逐月活動，可客觀顯示 3D 列印在國內社群中熱烈發展的程度：

---

[112] http://sa.ylib.com/MagCont.aspx?PageIdx=1&Unit=featurearticles&Cate=&id=2177&year=
[113] http://www.huashan1914.com/exhibition/playing_detail.php?cate=&id=948
[114] http://www.accupass.com/go/3dprintingjam, 陳人鳳小姐以及台科大鄭正元教授等專家推動與策畫之技術分享活動

表 5.2 台灣 2013 年 3D 列印的活動紀錄

月份	3D 列印相關活動
一	– 3D Printing Jam 研討會
二	– 遠見雜誌報導「3D Printing，台灣的機會在哪裡？」 – 3DMaker 全台首創 3D 列印網成立[115]
三	- 匈牙利物理學家 Gregely 在台北成立 Taipei Hackerspace，建立 Facebook 族群[116] – 陳人鳳設計師籌畫之「未來正在成型 3D Print」設計展示活動規劃，並成立 Facebook 社團 - Maker 社團「Fablab」，及 Facebook 社團--3DP Clubs 成立，10 月底截止超過 1200 位成員，提供 DIY 工作環境與自製 3D Printer 實作計畫[117] – 實威國際舉辦 3D 列印與 3D 掃描研討會 - 逆向掃描到快速成型的成功捷徑[118]
四	- 零組件雜誌報導「3D 列印，你太瘋狂了！」 - 數位時代雜誌報導「3D 列印」專題 - 今周刊雜誌報導「3D 列印」專題 - 台北綠色 DIY 工作坊--開始招商(主要客群目標為創業家、藝術家、工作室，或是學生)。提供 3D Printer，木工工具，電腦及繪圖板，還有熱烘槍、電鑽、電鋸等工具等工作場地與設施。
五	– 台灣的第一次「Maker Faire」，於華山文創園區舉辦 – 光琮金工藝術館舉辦光琮金工場 3D 列印研討會[119] – 資策會與零組件舉辦「3D Printing–引爆客製化時代」科技論壇[120]
六	- 天下雜誌報導「3D 列印 印出你的夢幻產品」專題 - 科學人雜誌報導「3D 列印」專題 - 台北市銀樓業職業工會舉辦「珠寶 3D 列印研討會」研討會[121] - 經濟部技術處舉辦「 Doit - Why you need a 3D Printer」研討會[122] - 勞委會職訓局開辦「積層製造技術(3D 列印)應用與訓練發展研討會」(3 天)[123] -光電科技工業協進會、工業設計協會、台灣 3D 列印產業聯誼會舉辦「3D 列印技術論壇—迎接個人製造時代的來臨」研討會[124]

[115] http://www.3dmaker.com.tw/
[116] https://www.facebook.com/TaipeiHackerspace
[117] https://www.facebook.com/groups/fablabtaipei/
[118] http://www.swtc.com/edm/2013/rpre/
[119] http://www.slideshare.net/cookpy/3-d-21829541
[120] http://www.ctimes.com.tw/cf/ShowCF-tw.asp?O=HJX5U5CWL6ECFA0RNF
[121] http://www.tw-qingteng.com/3Design/3design_news_54.html
[122] http://www.taiwan-doit.com/event5.asp
[123] http://web.tnvtc.gov.tw/modules/tadnews/index.php?nsn=2740
[124] http://www.pida.org.tw/exhibitionseminar

七	- 新聚能科技、CTimes 零組件、韓國 WIPS 公司在台舉辦「3D 列印時代之產品智財權佈局策略」研討會[125] - 台灣電子設備協會舉辦「3D 列印技術與市場趨勢」研討會[126] - 天下雜誌舉辦「迎接自造者時代趨勢論壇-3D 列印大商機」研討會[127]
八	- 零組件雜誌、台灣區電機電子工業同業公會，工研院舉辦「迎接開放硬體運動」社群論壇[128] - 經濟部工業局、台灣創意設計中心、數可科技股份有限公司籌展「未來正在成型- 3D 列印設計展」
九	- 工研院產業經濟與趨勢研究中心(IEK)舉辦「3D 列印商機探索」研討會
十	- 工研院產業學院開設「3D 列印系列課程」[129] - 馬路科技公司舉辦「關鍵時刻」整合 3D 掃描 3D 列印 用戶研討會 - 台灣大學機械系舉辦「3D Printing」演講 - 交通大學生醫工程研究所舉辦「3D Printer 生醫應用」演講 - 醒吾科技大學舉辦「3D 列印趨勢與產學合作」研討會 - 萬能科技大學舉辦「3D 列印你的夢想」研討會
十一	- 今周刊邀請前 Wired 雜誌總主編 Chris Anderson 來台演講「3D 列印大未來」 - 台北城市科技大學開設「3D 列印創業班」

由以上的活動紀錄，本研究團隊發現國內 3D 列印在社群應用上已逐漸發展。在一次訪問中，Fablab Taipei 創始者洪堯泰先生說明他的創立理念: 「Fablab 是個提供數位製造工具以促進創新發明的國際性非營利組織。對我來說當初想要做這件事情的初衷，是因為我認同 Fablab 開放、分享、和教育的理念；我希望經由 Fablab Taipei 的成立讓台灣人有個可以發揮自己創造力的場所；也希望台灣的創作能量，能夠因為懂得使用數位工具而有更好的發揮...」[130]。目前 Fablab 定期會舉辦演講以及義務教學，成員彼此分享如何使用免費 3D CAD/Modeling 軟體的使用，以及如何運用網路公開的相關軟硬體資源，自製個人的 3D 列印機。

在開放式列印硬體（Open Hardware）方面，台灣過去長期發展電機電子產業，擁有許多人才，以及全球最完善最具效益的迅速生產體系。加上台灣近年來，在文創

[125] http://synergytek.com.tw/blog/2013/05/28/seminar_20130703/
[126] http://www.materialsnet.com.tw/VisitDisView.aspx?DisID=1256
[127] http://www.bookzone.com.tw/event/cb500/edm/edm.html
[128] http://www.ctimes.com.tw/cf/rb2/index-tw.asp?o=HJX7D5K1SECCFA0RBB
[129] http://college.itri.org.tw/edm/D2/009/02/index.html
[130] http://www.urstaipei.net/archives/11040

產業的持續投注，不斷培育各個設計領域的人才，已逐漸在相關領域中凝聚力量開花成果。在本（2013）年八月份所舉辦的《迎接開放硬體運動》社群論壇中，來自各界的開放硬體社群朋友、研發工作者、DIY 玩家與創業家們共聚一堂，彼此交流，更加速台灣的開放硬體發展動能。

受 3D 社群矚目與考量的：新創列印產業的資金籌措，台灣目前也學習歐美國家中，新興募款「群眾募資(Crowd-funding)」機制[131]。在台灣第一個群眾集資平台是在 2012 年初開始發展，第一波開設的群眾集資平台有：嘖嘖 zeczec、flyingv.cc、We-Report、We-project(已停止服務)。隨後陸續成軍的有 HereO、Limitstyle、Opusgogo、Fuudai、975 募資銀行、104 夢想搖籃等平台。目前 flyingV 是台灣同時也是亞洲最大的募資平台。flyingV 已於 2013 年 8 月 19 日起與金管會櫃買中心簽訂合作合約，成為全世界第一個與主管單位簽訂合作的群眾集資平台。

以上為台灣目前產、官、學、研以及個人（社群）自製者相關的 3D 列印這兩年的發展情形。下文中，研究團隊將進一步分析：台灣在發展 3D 列印的強弱與優劣勢。

二、台灣 3D 列印的 SWOT 分析

SWOT 分析即強、弱、機、危綜合分析法[132]，是一種企業競爭態勢與市場營銷的基礎分析的重要方法。通過 SWOT 可評價產業的優勢（Strengths）、劣勢（Weaknesses）、競爭市場上的機會（Opportunities）和相對的威脅（Threats）。台灣是否能在 3D 產業的浪潮下，獲得成功，就必須加深本身的優勢，並彌補相對於先進國家了劣勢，並善用台灣內部的資源及能力，在既有的技術與能力上，善用此一趨勢的商機，並對競爭者及外部環境的挑戰提出因應與解決之道，以「策略適配」（strategic fit）方式，制定台灣產業發展 3D 列印之競爭戰略。

台灣在發展 3D 列印時，有其優勢與劣勢，以下透過 SWOT 分析列出台灣目前的現狀：

---

[131]根據維基百科（http://zh.wikipedia.org/）記載：此新興的募資活動緣起於 1997 年的英國樂團，成功的透過群眾募集到 6 萬美金完成他們巡迴美國演奏的理想。自此之後，類似的透過網站進行群眾集資的活動在逐漸發展起來。

[132]此方法是由 Albert Humphrey 所提出，http://zh.wikipedia.org/

（一）優勢（Strengths）：

（**i**）**相關技術優勢**：台灣在硬體開發設計、積體電路、軟體開發等，皆在世界上已有很大的經驗與優勢[133]。未來可配合 3D 列印，客製化的需求與特性，在兼顧品質和價格下，迅速滿足並達到客戶的需求。

（ii）**產業鏈需求完整**：台灣在工作機具、模具設計、汽車零件、塑膠產業等產業供需鏈上，具有完整的運作模式，產業市場依存度高， 3D 列印在工業上的發展，具有應用之優勢。

（iii）**產業推手啟動**：目前工業技術研究院南分院，已成立了積層製造與雷射應用中心，積極佈局 3D 積層製造產業之應用技術發展，並結合產學界資源，朝向雷射材料加工應用、雷射關鍵模組、雷射設備發展進行技術佈局[134]。

（二）劣勢（Weaknesses）：

（1）**市場規模較小**：台灣的市場規模不大，在產業與用戶端等內需不夠的情況下，實無足夠的資源投入 3D 列印相關技術的開發。

（2）**教育文化差異**：台灣目前教育的方式，並不像歐美國家一樣從小培養 DIY（Do It Yourself）的習慣，民眾對於自己設計樣式，和自己生產製造成品並沒有強烈的動機與興趣。

（3）**缺乏基礎性研究**：台灣 3D 列印技術起步較晚，與國外相比還存在一定差距，目前仍只是個概念，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，目前僅限於小量代理 3D 印表機之銷售，國內僅有中光電進行 3D 印表機全系統的技術開發[135]。

（4）**缺乏產業應用策略**：3D 列印技術除了硬體部分，還需要軟體整合與產業應用策略，未來台灣發展 3D 列印的方向，台灣究竟要集中資源往哪方面研究，是生物領域、金屬成型、汽車、航太、醫材、珠寶、藝術及民生等產業？目前仍欠缺具體方向。

---

133 http://www.mottimes.com/cht/article_detail.php?type=1&serial=489
134 http://itri.org.tw/chi/is/p4.asp?RootNodeId=070&NavRootNodeId=071&NodeId=07122&ArticleNBR=2171
135 中光電系統工程公司製做的 3D 印表機 MiiCraft，解析度為 450ppi、精細度為 0.05mm，列印速度為每小時 2-3 公分。

（三）機會（Opportunities）：

（1）**重要專利即將到期：**3D 列印當中的「雷射燒結(laser sintering)」技術，其專利權預定會在 2014 年的 2 月到期。就像以往熔融沉積法(Fused Deposition Modeling，FDM)的專利到期後，具備開放源碼科技(Open Source)的 FDM 印表機呈出現爆炸性的成長，預期雷射燒結技術專利到期後，因為成本大幅降低，應用此技術的設備也會出現爆炸性的成長[136]。

（2）**媒體傳播風潮**：由於國外媒體大肆報導，台灣目前 3D 列印技術，極度引起了大眾與政府的重視[137]，對台灣整體 3D 列印發展氛圍亦有實質的助益。

（四）威脅（Threats）

（1）先進國家領先佈局：由於台灣發展 3D 列印較慢，相關技術與專利甚少，缺乏競爭力。未來發展 3D 列印時，很難避開歐美與日本等國家之專利佈局，這也威脅到台灣發展 3D 列印產業之阻力。

（2）競爭者眾多：台灣產業的競爭對手中國大陸，目前已成立「中國 3D 列印技術產業聯盟」[138]，將建立 10 座創新發展中心，積極發展 3D 列印技術。另中國大陸亦在生物 3D 列印方面[139]，與韓國與日本相比晚了約 10 年，這些未來的競爭發展，更可能威脅到台灣 3D 列印的發展，是否能快速切入仍有落後之虞。

（3）產業已受挑戰：模具為零組件製作的關鍵工具（應用於汽機車零組件、3C 殼件、工具複雜本體與複雜結構體），也是 3D 列印的直接影響者。近年來台灣模具產業，受先進歐美國家將積層製造技術，使得以往利用傳統

---

[136] http://blog.sina.com.tw/nhks0/article.php?entryid=627457&

[137] 除工研院南分院外，台南職訓局亦加入相關職業訓練計畫；台北市亦於 2013.8.10~10.13 舉辦「未來正在成型-3D 列印設計展」
http://cloud.culture.tw/frontsite/inquiry/contentListAction.do?method=doFindContent&id=52028bd6e44d648aa88fd6cc&subMenuId=401&siteId=101

[138]「中國 3D 列印技術產業聯盟」，將建立 10 座創新發展中心，每座成本預估二千萬人民幣（約 330 萬美元），總投入為約 3,300 萬美元，布局產業的技術創新與差異化調整，作為「戰略轉型計畫」的重要依據

[139]上海大學快速製造中心已在世界 3D 列印技術產業大會上發表：「生物 3D 列印可實現組織完美型態修復」的研發成果 。http://tech.qq.com/a/20130531/011662.htm

除料式減法加工製作模具的模具廠受到衝擊[140]；另外也面臨中國大陸模具製造業的低價競爭，使得目前模具產業逐漸下滑。

三、台灣 3D 列印的發展機會

當在工業上的運用提到 3D 列印的時候，大部分第一個想到的就是快速原型製造（Rapid Prototyping），強調原型的原因，就是因為表面精細度不夠高，就算做了表面加工，在內部或是夾縫中的表面，依然會有精細度不夠問題。這樣的成品，目前的確讓產業界，對 3D 列印的未來抱著悲觀的態度。然而 3D 列印的產業優勢（如圖 5.1[141]所示），目前台灣廠商仍有疑慮，如何發揮高價值、低成本的產品，是台灣產業界需深思的課題。

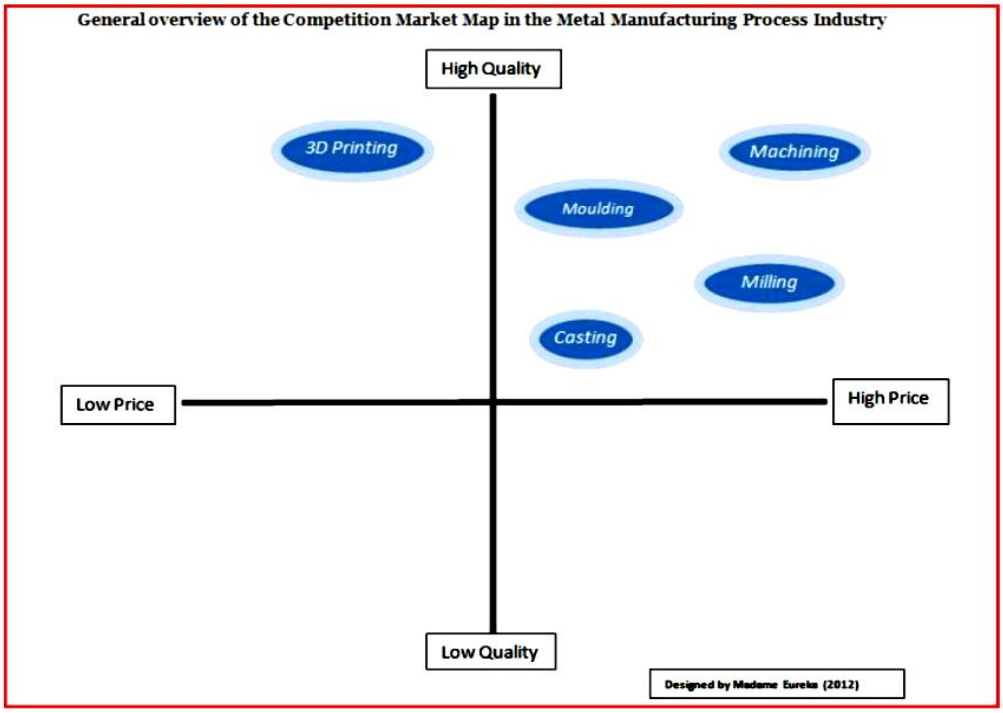


圖 5.1 3D 列印的產業優勢圖

3D 列印技術，就像準備好的食材，只欠缺一個殺手級的應用端上檯面。工研院南分院積層製造與雷射應用中心總監曾文鵬，在多次談話中強調：「直接製造才是 3D

[140] 機械工業雜誌 359 期 2013 年 2 月號，雷射應用與積層製造技術專輯，第 128 頁
[141] http://madameeureka.wordpress.com/

成形的殺手級應用。」[142]。在工研院「南部雷射光谷育成暨試量產工場」啟用儀式當中，展示了所引進來自松浦機械（Matsuura）生產的設備：LUMEX Advance-25[143]。這台機器是將積層金屬燒結和 CNC 切削加工整合於一身的自動化設備，能做出極複雜的一體成形工件，完工時就是一具精度達±5μm 的成品，也就是加法和減法製造的理想結合。在這樣的技術下，3D 列印在工業上，不僅可以用在試產等級的原型，更可以生產量產等級的成品。在這樣的技術優勢前提下，我們建議台灣在工業上運用 3D 列印，可以有以下幾個方向：

（1）高附加價值產品的整體解決：

在產品設計和產品製造上，台灣具有豐富的電子電路人才，以及具有全球最完善且具成本效益的產業體系；在創意上，台灣的文創精神，近年來已在各個領域生根茁壯。目前台灣所欠缺的，其實是一個橫向的連結[144]，其中 3D 列印，恰好可以當做其中的橋樑。台灣應可藉 3D 列印，滿足來自全世界產品需求者所希望的產品規格與要求；在構造的複雜的產品中，台灣不僅進行產品外型的設計，更可在產品中加入所需的電子元件。舉例來說，如果奇異公司（GE）[145]需要製造一款構造複雜的汽油噴嘴，同時內部還需要加上溫度和壓力感測器。在以往可能需要找一組人負責外型設計，一組人負責應力分析，還要在找另一個團隊負責感測器的部分，現在，在台灣就可以透過 3D 的列印技術，更有效率的完成這些需求。

（2）3D 列印工業製程技術移轉產業：民間企業想發展工業等級的 3D 列印時，首先會遇到的障礙就是高昂的儀器設備費用（例如松浦機械的設備：LUMEX Advance-25 一台造價就需要 3,000 萬台幣），使得一般民間企業望之卻步，3D 列印的研發能量將受限於投資成本，企業畢竟將裹足不前。為了幫助企業突破此障礙，建議由政府的產業研發機構（如工研院等），將高端的 3D 工業列印製程與技術，技術移轉給民間企業，將可有效提昇產業應用能力。另外，亦可由這些研發

142 http://www.ctimes.com.tw/DispCols-tw.asp?O=HJX7PE7LISMSAAZA20&F=%E9%87%91%E5%B1%AC%E7%87%92%E7%B5%90

143 http://www.matsuura.co.jp/english/contents/products/lumex.html

144 http://www.ctimes.com.tw/DispCols/tw/Hackspace/Arduino/Raspberry-Pi/13050121342H.shtml

145 http://www.ge.com/

機構，針對不同產業需求，利用整合式的研發能力，以合作或共同開發方式，設計出更有效能與競爭性價格的工業型3D列印設備，技術轉移或授權給民間企業，以提昇國內工業能力與產值。

（3） 3D列印前置軟體發展：

目前的3D列印技術，可以將CAD軟體設計產生的圖檔，完整的轉化為實際的成品。但卻不能保證，生產出來的成品，是否有結構或是應力上的問題。產生3D列印圖檔後，在實際列印前，需要3D列印前置之分析軟體，來確認3D列印成品可靠度及其衍生的其它問題。目前各國3D列印的發展中，相關技術亟待建立，國內若可從此類軟體技術發展，或可建立3D產品可靠度之國際認證能力，對台灣3D產業的發展，將有實質與重大貢獻之效益。

（4）營造亞洲3D列印製造中心：

一個產品從無，到最後到消費者手中，主要經過三個流程：設計、製造、和運送。在3D列印當中，重要概念就是數位與材料的虛實整合。透過網際網路，在巴黎的設計可以同時在美國和台灣製造出來，這也就是說，3D列印可以降低物流的成本。台灣有受世界肯定的製造品質和絕佳的地理位置，透過網路和3D列印技術，可以實現世界的設計、台灣生產，台灣輸出的產業生產方式。

四、台灣發展3D列印的策略與建議

在安德森的「自造者時代」書中所提到：在未來的世界，每個人同時扮演著設計者、製造者、和消費者的角色，透過開放源碼硬體（Open Hardware Source）、自造者社群、大眾募資（Crowd Funding）、雲端製造工廠，可以將本身發想的創意產品，付諸實現。傳統上，台灣一直以代工產業為主，也就是所謂的量產市場，面對新時代的趨勢，長尾理論[146]下的利基市場，在新的遊戲規則下，我們該做好準備，迎接來自全世界競爭者的挑戰。以下是我們建議台灣、在新自造者時代下，所需要做的準備與策略：

---

[146] 長尾理論（The Long Tail 或稱長尾效應），最初由「wired 連線」的克里斯·安德森（Chris Anderson）於2004年發表於自家的雜誌中，用來描述諸如亞馬遜公司、Netflix 和 Real.com/Rhapsody 之類的網站之商業和經濟模式。是指那些原來不受到重視的銷量小但種類多的產品或服務由於總量巨大，累積起來的總收益超過主流產品的現象。

（一）培養下一代的自造者：

要從代工產業轉型成為長尾理論下的利基市場，首先可以從教育開始向下紮根，目前歐美的學校，已經開始積極建立應用 3D 列印的課程（K-12 education），以培養學生在各個不同的領域，搭配 3D Printer 完成交付的任務，以下目前已經在進行的課程：如（1）維吉尼亞州政府（Commonwealth of Virginia）、維吉尼亞大學（University of Virginia），以及夏洛特維爾市（City of Charlottesville）合作，在布福德中學建立聯邦工程設計研究院。目前課程正處於測試階段，尤其是針對 STEM（Science, Technology, Engineering and Mathematics）科學課程[147]。（2）為努力使城市學生，參與 STEM 在天文學的相關領域研究，明尼蘇達州（Minnesota）的非營利性機構 STARBASE 建立了一個以航空航太為主題的課程，學生可以在這裡策劃火星任務。這個專案最精彩的部分在於使用 3D 列印技術來創造一個具有工作性能的火箭，學生們打算在這個專案的最後一天進行發射[148]。（3）美國華盛頓格拉希爾山高中（Glacier Peak High School in Washington）的學生使用具有電腦輔助設計功能的 3D 印表機來快速進行原型設計，他們還因此獲得大學的學分。這一課程包括建模、設計、公差規格說明、二維繪圖以及模型組裝等[149]。（4）在英國的克裡文頓學校（Clevedon School），學生們參與了 STEM 挑戰。他們進行設計、3D 列印，並嘗試測試迷你型超音速汽車，並向來訪的 3D Systems 公司的工程師進行展示[150]。

這些在英美國教育發展的狀況，可做為台灣發展 3D 教育的經驗與方法，目前國內不少大學與技職學校，已初自開辦 3D 教育課程，但國內教育主管單位，尚未能計畫性與規模性的擴大此一領域之教育學程，英美國等國的做法，或可做為我們發展 3D 的借鏡與策略。

147 http://on3dprinting.com/2013/04/23/3d-printing-conference-7-k-12-education/
148 http://www.stratasys.com/resources/case-studies/education/starbase
149 http://glacierpeak.sno.wednet.edu/files/2713/3011/8743/Course_Description_Book_2012-2013_2-24.pdf
150 http://3dprintineducation.wordpress.com/2013/04/17/stem-challenge-day/

（二） 數位自造者訓練：

工欲善其事，必先利其器，自造者要靠雙手設計製造物品，除了創意外，懂得如何利用數位資源的各種工具，也是自造者必備的技能，數位自造者需要的技術知識[151]，可包含：

（1）電腦繪圖工具（CAD tools）：

數位設計都離不開電腦繪圖軟體，不論是從網路上下載設計檔，或是自行撰寫設計檔，通常都需要使用電腦編輯程式，才能在電腦裡進行設計。市面上有許多的 CAD tool，從免費入門等級的 Google SketchUp[152]和 Autodesk 123D[153]，到專業等級的 Adobe Illustrator[154]和 Solidworks[155]，建議自造者至少具備其中一種工具的繪圖設計能力。

（2）3D 印表機（3D Printers）

想像的出來，在以往，不一定能真的做出來，但透過 3D 印表機，就能製做得出來。以家用機而言，價格大多坐落在 1,000 到 3,000 美元之間，原理是將 ABS 塑料融化，一層一層的疊出立體的形狀，雖然可能有光滑度和接縫品質的問題，但對製作原型（Prototype）或擬圖已經足夠使用，主要的廠商為美國的 MakerBot[156]（目前已被 Stratasys Ltd.[157]合併），和台灣的中光電[158]。若是要製做最終成品時，可以借助 3D 印刷服務公司 Shapeways[159]，或是 Ponoko[160]的專業服務。

（3）3D 掃描器（3D Scanner）

實際繪製出立體圖檔，可能不是容易的事情，這個時候可以先將既有的物品掃描，再透過 CAD tool 編輯，可以省去不少麻煩。掃描的方式有很多種，

---

151 自造者時代
152 http://www.sketchup.com/3Dfor/engineering
153 http://www.123dapp.com/
154 http://www.adobe.com/tw/products/illustrator.html
155 http://www.solidworks.com/
156 http://www.makerbot.com/
157 http://www.stratasys.com/
158 http://www.miicraft.com/
159 http://www.shapeways.com/
160 https://www.ponoko.com/

像是可以用專業的相機，拍下物品的各種角度，透過 Autodesk 123D Catch[161]這套軟體，將照片上傳至雲端加以後處理，完成後，可以收到「點雲」圖（cloud of points），再進行相對應的修圖動作。如果是體積不大的物品，建議可以使用獨立式的 3D 掃描器，透過將光線投射在物品上，辨識明暗深淺來建立圖檔。此外，也可將物品寄給專業的 3D 掃描公司，像是 3D Scan Services, LLC[162]，由他們代勞。雖然捕捉影像不難，但要利用軟體修圖，依舊是需要學習專研的技術。另外雷射切割機（Laser cutting machine）、數控工具機（CNC）和電子零件課程，亦為重要的選習項目。

營造 3D 列印氛圍，是發展 3D 列印的重要策略，由於國人「動手自造」觀念不如歐美民族，如何啟動 3D 列印風氣，激發國人創意，以擴大商品價值，目前已是各國提振經濟產值的重要方法，要讓我國的產業價值提高，創意是提昇產品價值得重要手段。台灣自然資源有限、土地面積狹小，在有限的資源下，唯有激發創意，才能在未來競爭者眾的市場上，確保台灣的永續經營和發展，發展 3D 列印，確實是極為重要的產業發展策略。

（三）自造者社群的營造：

一個產品的基本組成，包含了硬體、軟體、和機構的部分，但要一位自造者同時顧及所有部分，並不是一件容易的事情，這時候，如果能集合志同道合的夥伴一起參與設計，讓術業有專攻的專家，來負責擅長的部分，對於產品本身會有莫大的助益。若能透過「自造者社群」，我們可以輕易的找到志同道合的專家，提供專業的意見。由於網路社群非營利機構，若能透過一些獎勵（賞）制度，以激勵社群的成員，較於外聘工程師研發成本相對低廉；更重要的是，社群本身就是位好的行銷管道，除了口碑與病毒式行銷外，也是提昇品牌產品的最佳管道。

相較於美國的自造者網路設群（如 Makerspace[163]、MakerBot[164]、Sparkfun[165]、Adafruit[166]），台灣在自造者社群（如 Hackerspace[167]、Fablab[168]）規模是相對不足。

---

161 http://www.123dapp.com/
162 http://3dscanservices.com/default.aspx
163 http://www.makerspace.org.nz/
164 http://www.makerbot.com/
165 https://www.sparkfun.com/index

3D 列印的社群發展，是營造與深耕 3D 技術的最佳平台，如能在有心人士（如產業協會等）的推動下，營造自造者設群，應是發展 3D 列印的重要策略。

（四）群眾集資機制（Crowdfunding）：

當自造者設計製造出來的產品想要擴大生產規模時，所需要面對的問題就是對外籌資，以往的管道大部分式和親友借錢、和銀行貸款、或是創投基金合作。這些做法都有相對應的風險，這些風險常會讓自造者創業家卻步。現在，還有另外一條路可是，也就是群眾集資，美國最有名的 Kickstarter 即為成功的例子[169]。這種群眾集資的方式，同時達到了三個目的：（1）營收可以提前入賬，而且是在創業初期最需要資金的時候拿到。（2）將顧客凝聚成社群，提高產品與顧客的參與度，口耳相傳下進而達到幾何式的行銷。（3）產品市場調查，能預先知道市場反應，適時調整產品功能策略，不僅降低產品失敗的風險，更能研發設計出符合大眾需求的產品。目前台灣也有類似的 crowdfunding 網站，像是「嘖嘖」[170]、或是金管會預計在 2013 年年底推出的「創櫃板」[171]。但目前的知名度，或是規模都不如 kickstarter。

以群眾集資的方式，是鼓勵創意者的可行性策略，要使非工業型 3D 列印（如文創）蔚然風氣，國內應可加速群眾集資舞台的營造，一則降低有志者之創業門檻，更有效推昇 3D 列印在相關產業之發展，這亦可做為國內發展文創 3D 列印之策略之一。未來，因應 3D 列印技術的發展，新創公司將可成為 3D 列印的推手。

（五）自造者產品平台：

當自造者將產品設計製造出來後，下一個要面對的問題，就是如何將產品銷售出去，在沒有品牌加持和能見度不高的情況下，很難獲得消費者的青睞。如能有借諸於「自造者產品平台」，即能解決這樣的問題，甚至，有些特別的機制能讓消費者給予產品建議，這樣的互動，不僅讓產品本身的功能更完善，也讓消費

---

166 http://www.adafruit.com/
167 https://www.facebook.com/TaipeiHackerspace/info
168 https://www.facebook.com/groups/fablabtaipei/
169 Kickstarter 網站規定，欲籌資的人，必須訂出籌款金額的最低門檻，如果能在公佈創業計畫後的 30 天內達到最低門檻，網站就會通知出資的網友刷信用卡，如果達不到，網友們不需支付任何費用，欲籌資的人只能另尋其他途徑籌資。
170 http://www.zeczec.com/
171 http://www.cna.com.tw/News/aFE/201302200103-1.aspx

者更願意購買此類產品。目前美國的 Quirky[172]、Shapeway[173]、Esty[174]即是成功的典範。目前國內亦有類似的營運網站，其中華人世界首創之 Printcool 印酷網[175]，是自造者及設計師線上 3D 列印平台，其營業模式是透過 3D 列印，將會員產品的構想，轉化為實際物品，再寄到指定的地方。另外，該平台也和專業的設計師合作，將設計師的作品放在網站上，供有興趣的消費者購買。

未來在消費型態與市場將會有巨大的改變，差異化與個人化的商品，或許將與主流化的產品並駕齊驅，由於 3D 列印產品的特質與差異化，將導致 3D 列印產品的生產與銷售習慣改變，3D 列印的商品的上架與銷售平台建立，將可催生 3D 列印產業的發展，應亦可列為我國 3D 產業發展的策略之一。

（六）發展混合式 3D 金屬列印技術：

對於 3D 列印技術興起，台灣首當其衝的產業，當屬模具、工具機、車用零件與塑膠產業，這些產業的產值，對台灣經濟（出口）有重大影響，面臨此一技術引入之時，需調整原生產方式與概念。在金屬材料列印上，由於積層式的 3D 列印技術，在複雜與精細結構的零件加工上，較傳統 CNC 車床有獨到的優勢與特長（如圖 5.2[176]所示），其金屬 3D 列印後的產品硬度可達 27~38，再經過熱處理，材料的強度可以增強到硬度 54~55，已符合工業生產的要求。

---

[172]Quirky 平台的營運模式，是讓每個人都能提出構想（繳交 10 美元的費用），之後讓社群成員投票給自己喜歡的構想，並提供意見，而人氣最高的產品構想會進入設計階段，由發明人和 Quirky 內部工程師提出各自的設計，最受歡迎者得勝。接下來會在進行另一次投票，選出行銷細節等。最後出線的設計圖，由 Quirky 工程人員負責把概念成真，並和工廠合作製造。http://www.quirky.com/shop

[173] Shapeway 主要的營業模式是透過 3D 列印，將會員產品的構想，轉化為實際物品，再寄到指定的地方。會員發想的產品，也可以放在網站上，讓有興趣的消費者購買。http://www.shapeways.com/

[174] Esty 是以銷售手工產品為主的平台，協助籌資或者製造事宜。目前正轉型為家庭手工業，成為新型微型創業經濟的引擎。http://www.etsy.com/

[175] http://printcool.com.tw/index.php

[176]取材自「未來正在成型」-3D 列印設計展（台北；2013-08-09~2013-10-13）

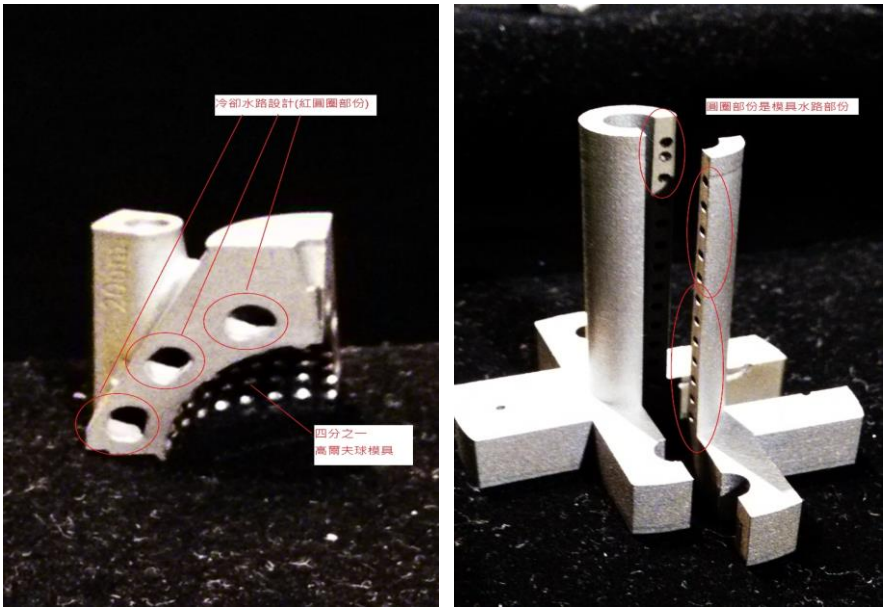


圖 5.2 具有一體成型優勢的 3D 金屬列印

唯以目前的技術精度與生產速度，3D 列印仍難取代減法式的傳統生產，但是以台灣工具機產業，在世界上舉足輕重的技術與規模，結合傳統 CNC 與 3D 列印的混合型工具機，應是可以進行的發展策略，對於台灣的模具生產與工具機產業上，可仿造日本的發展模式， 建議以 3D 列印（1）作為機械產業的互補性生產（2）以 3D 列印縮短雛形設計與產品市場因應時間（如 3C 消費型產業）(3）引入或發展金屬列印技術，加值相關模具製造精度，有效支援機械零組件之產業需求（如塑膠加工、車用零件等），以提高產品品質，擺脫低價競爭，並提高獲利。

（七）發展 3D 列印材料：

近期 3D 列印界的幾重要的新聞，就是兩大 3D 列印公司的併購競賽，包括了：美國 3D 列印機製造商 Stratasys ，在 2013 年 6 月收購紐約知名桌上型 3D 印表機製造商 MakerBot Industries LLC；另外，3D Systems 在 2013 年 7 月宣布，與法國金屬選擇性雷射燒結 3D 印表機供應商 Phenix Systems 的併購案。這股 3D 列印公司的併購風潮，除了各公司強化自身的技術外，另一個就是增加在各個 3D 列印領域設備之市占率。根據 Wohlers Associates 預估，今（2013）年全球 3D 印

表機的銷售額約可達 21 億美元，預期到了 2019 年營收有望大增至 64 億美元。細究其銷售額與消費性電子產品公司相比，相差甚遠。由此來看，這些公司主要的目的，並非在於銷售 3D 列印的設備儀器，而是營造市場占有率，企圖囊括 3D 列印機市場，更在於 3D 列印機所需的列印材料。

無論著眼於產業與社群，產品最終需要是產品的品質，是繫於顧客之需求，3D 列印機的技術實際上，就是要印出顧客需要的產品；也就是說要克服列印材料的特性，以最佳固化方法，實施加法式的 3D 列印。所以，列印材料的技術發展，將是 3D 列印的關鍵技術（如第三章圖 3.2 所示）。工研院南分院曾文鵬（積層製造與雷射應用中心總監）認為[177]：「國外的 3D 列印公司的營收來源，約有 40%來自於代客 3D 列印服務，35%來自於材料的銷售，剩下的 25%來自於販賣設備..」。除列印服務外，相較於設備，材料屬於消耗品，設備汰舊換新的頻率約為一到兩年，而材料，在高使用率下，可能一到兩個月就需要不斷的購買補充，這就像是目前市面上的紙張印表機，廠商主要的營收是來自於墨水，而非設備。以 3D Systems 公司為例，針對不同需求，提供一系列 Accura 材料。這給我們台灣一個發展 3D 列印的啟示：研發 3D 列印的材料和建立 3D 列印材料庫[178]。更準確的說，是針對市面上主流的 3D 列印設備，研發所對應的 3D 列印材料。就像消費者對使用原廠或副廠墨水的顧慮一樣，當使用 3D 列印的材料時，不論是工業界還是自造者，影響消費者的選擇因素主要有兩點：品質和價格。如果台灣研發的材料，可以以更低廉的價格得到同等級或是更好的品質，消費者當然願意選擇台灣研發生產的 3D 列印材料。

除此之外，研發 3D 列印材料還有以下幾個優點，(ⅰ) 材料是 3D 列印產業鏈的上游，隨著 3D 列印的蓬勃發展，對於材料的需求更是與日俱增，掌握 3D 列印材料的研發生產技術，就是從位元通往 3D 列印成品的核心價值。(ii) 因為材料是在台灣研發生產，對於在台灣本土的 3D 列印廠商，有材料交期和價格的優勢，這是台灣成為亞洲 3D 列印代工中心的另一項助益（iii）目前，3D 列印設備機台的關鍵專利，都掌握在國外的廠商手中，容易讓我們在研發 3D 列印設備時，

[177] 詳見附錄 10 訪問稿
[178] 詳見附錄 12 訪問稿

踏入國外廠商的專利範圍內。而材料研發的智財權保護，主要是透過營業秘密，透過獨立開發而完成的 3D 列印材料，縱使與他人之資訊雷同、或近似亦不構成侵害，雖然研發難度提高，但除了減少侵權的機率外，也提高了競爭者進入的門檻。

（八）發展醫材 3D 列印：

近年來，全球醫療需求持續湧現，先進歐美國家之醫療照護費用持續增加，無論是提高照護效率與降低醫療支出的解決方案，無不是各國亟待解決的問題。由於科技之進步與相關醫療設備的發展，高齡化的社會問題[179, 180]，已普遍成為國際上發酵的議題。不僅在歐美、日本等國，新興的國家如中國大陸、印度、印尼等地區的高齡人口總數也相當高，也將衍生出高齡生理衰退的相關商機，包含以骨科彌補物、牙科等植入物等，借以回復身體機能的需求大增，或是透過助聽器、行動輔具等醫材產品，來輔助身體運作功能。此一相關的醫材需求，亦大量的驅動相關醫材產業[181]的蓬勃發展。

根據 BMI 的統計，2012 年全球醫療器材市場規模為 3,046 億美元，預估 2015 年將達 3,684 億美元，2012~2015 年之年複合成長率為 6.5%[182]。依據 Espicom 的研究指出，2011 年全球醫療器材市場規模為 2,733 億美元，每人平均醫療器材支出約 49 美元，預估 2016 年將達 3,487 億美元。由於人類面臨疾病與老化的態度，逐漸改變由消極治療，轉變為積極的防範與監控，相關醫材的發展趨勢，也著重於改善、修復、恢復與預防功能的相關發展。

依據 2013 醫療器材年鑑指出：「醫療器材產業」一般概指：診斷、治療、減輕或直接預防人類疾病，或足以影響人類身體結構及機能之儀器、器械、用具及

---

[179]針對美國的整體市場環境進行分析，2012 年美國總人數近 3.13 億，較 2011 年增加了 100 萬人口，人口數僅次於中國大陸及印度。其中，2012 年美國 65 歲以上人口占全美 13%，人數亦超過 4,000 萬人，預估在 2030 年 65 歲以上人口比例將增加到 19%。

[180]西歐是人口高齡化程度最高的區域，全球 65 歲以上人口比例前十大國家中，西歐就占了 7 位，以義大利為首，高齡化程度為 20.9%，是全球人口老化程度第二高的國家，其他分別為德國(20.8%)、瑞典(19.0%)、希臘(18.8%)與葡萄牙(18.5%)等。

[181]全球醫療器材產業的定義並不一致，其產品範疇也不盡相同，一般仍只是泛指醫療照護上所使用之『非藥物』產品。（www.dois.moea.gov.tw/content/pdf/13-經濟部醫療器材產業鏈報告.pdf；工研院 IEK 生醫組(2005/12)）

[182] 2013 醫療器材產業年鑑，http://www2.itis.org.tw/pubreport/PubReport_Detail.aspx?rpno=55726083

其附件、配件、零件等。由於這些相關之產品，項目繁雜且具有客製化設計的特質，恰好符合 3D 列印的優勢，未來是必影響相關醫材產業，供應鏈的改變。雖然，目前我國的醫療器材產業結構與全球醫材產業結構不同（全球醫材產業結構以醫院用品為主，台灣則是以居家消費型產品為主），但以放眼世界的產業立場而言，除政府目前正加速國內醫材產業轉型與升級外，產業界亦可透過各項輔導與推動計畫，朝高附加價值之高階醫材發展[183]，如診斷試劑、人工關節、人工牙根等等。

鑑於各國高齡人口遽增，所導致的財政壓力，可預期：醫療器材產業下一個發展的重點，將是以低成本、低耗能、操作性簡易、高精確度、高可靠度的方向發展；而這恰好符合、3D 列印小量多樣與低成本的特性。對於台灣醫材產業，亦可藉 3D 列印發展之勢，將 3D 列印的醫材產業的技術列為重點發展項目。其中在肢體裝具、軀幹義肢、人工植牙、骨骼關節、輔助裝具等，恰可結合台灣既有之機電、控制技術，生產低價位之相關醫材，以降低以傳統昂貴之 CNC 加工成本（客製化之故）。透過目前醫用診斷數位儀具（如 CT、X 光、內視鏡等）、或發展新的醫用掃描設備，獲得的個人的相關資訊，繪製量身打造 CAD 圖面後，再可委託 3D 列印公司，或醫療列印服務院所，進行 3 D 列印。列印出對應的裝具，不僅符合精準的客制化需求，又能提供少量多樣化的生產方式，必可大幅提昇醫療服務品質，亦能降低醫療成本，嘉惠更多大眾，也減少了政府在醫療照護支出。

醫療器材的特質為範疇廣泛、產品多樣、法律規範複雜且市場規模極為龐大的產業。在製造方面，每一個品項，皆可認定為一項醫療器材其中包含儀器、器械、材料、裝置、植入物、體外試劑或其他物件。每一項零組件，並不限於單一使用或合併使用，因此造就了「少量多樣」的特性。故生產上若以成本降低或追求市場規模的思維，對於傳統製造業勢極為不利的；但以 3D 列印的經營策略，應對我國醫療器材廠商在發展上，具有極大的優勢與前景，進而使台灣醫材廠

[183]生技醫療器材產業趨勢與商機工研院 IEK 張慈映，http://www.instrument.org.tw/archive/101082401.pdf

商、擺脫製造 Class I[184]醫療器材或代工之主流，同時也是差異化利基商品策略的最佳體現。

[184] 依據中華民國衛生署規定，醫療器材依產品所具危險性高低，分為一等級（Class I，低危險性）、二等級（Class II， 中危險性）、三等級（Class III， 高危險性）共三等級，製造商品質系統則要求遵循醫療器材優良製造規範(Good Manufacturing Practice；GMP)之規定。

第六章、結論

一項工藝技術的發明，人類對其前景和突破現有技術的壟斷，充滿前程美好的想像。3D 列印自從經濟學人揭櫫以來，這項新的技術引發不同的討論聲浪。不諱言的 3D 列印是否如其所述，引發第三次工業革命其實並不重要，重要的是： 3D 列印這種加法式的生產方式，對於產業依存多年的傳統製造方法，確實將有不容忽視的重大影響。目前 3D 列印最適合的是個人化、多種類、產量少的產品生產，藉由數位傳播與分散生產的方式，的確顛覆傳統產業模式，當然引發產業觀望、焦慮、期待與想像的空間。

本文撰寫期間，除廣泛的拜訪國內發展 3D 金屬製程的工研院、學界、產業界與律師等專業人士外；小組成員參加 MMOT 赴美、日研習期間，並與多位美籍律師、大學教授等進行訪談、考查 3D 列印在美國的發展經驗，並參觀波音公司與「自造者」的公司，實際了解他國在 3D 列印之發展軌跡、現況與實際應用情形。對於報告撰寫，成員收集與閱讀大量報導與文獻資料，對於台灣面對 3D 列印時代來臨時，國內產業界、政府機構、學術單位、以及關心台灣產業發展的網民，建議應該具有的準備和努力方向，並對台灣未來發展 3D 產業的策略，提出策略與建議。

由於台灣資源有限，產業市場不及先進國家，發展 3D 列印必須考量到兩個原則：其一、3D 列印對台灣現有產業的影響與應對之策；其二、利用 3D 列印的發展，尋求新的產業發展機會。本文以此兩大主軸，做為最終之結論與建議。

面臨 3D 列印崛起，台灣相對因應的策略，我們提出建議：對於 3D 列印技術興起，台灣首當其衝的產業，當屬模具、工具機、車用零件與塑膠產業，這些產業的產值，對台灣經濟（出口）有重大影響，面臨此一技術引入之時，需調整原生產方式與概念，建議以 3D 列印（1）作為機械產業的互補性生產（2）以 3D 列印縮短雛形設計與產品市場因應時間（如 3C 消費型產業）(3）引入或發展金屬列印技術，加值相關模具製造精度，有效支援機械零組件之產業需求（如塑膠加工、車用零件等），以提高產品品質，擺脫低價競爭，並提高獲利。在利用 3D 列印的發展尋求新的產業發展機會而言，台灣可利用部分 3D 列印專利即將到期的契機，發展相關產業，

如（4）醫材3D列印機、金屬3D列印機等；及（5）以文創與服務業為切入點，並以3D列印之教育為加溫器，激發國人對3D列印之創意，蔚為3D列印之風潮；輔以「群眾集資」機制、架設「自造者」商業平台，催生與鼓勵創意產業之發展，讓創意價值得以發揮，增加工作機會、產業加值與經濟規模。

在基礎研究的學界，研究團隊建議：加速進行3D列印材料的基礎研究，由國科會（因應政府組織改造，未來為科技部）成立3D列印之國家型計畫，鼓勵國內各大學研究學者，專注於3D列印材料的研發，使得台灣成為3D列印材料的供應大國。

在負責國內工業推手的經濟部方面，除加強3D金屬列印的研究外，建議更可與台灣產業界（如產業協會等）、政府法人（如金屬中心、同步輻射等）合作開發產業界需要的3D金屬列印設備與技術。另營造3D列印風潮與共識，並培養下一代國民創意精神，教育部可推廣3D列印之比賽，鼓勵學校開設3D列印課程，積極培養創造人才。各縣市政府亦可配合文化創意活動，推動3D列印理念，深入大眾蔚為風氣之先河。以提昇產業競爭力，造福國人、繁榮社會。在衛生福利部方面，面對國內醫療品質提昇與老人化的社會發展，建議可於國家衛生研究院下，配合政府推動生醫產業之計畫，將3D醫材列印列入優先之研究計畫，俾便提昇國內3D醫材列印之技術發展。上述所言，將教育、消費產品、醫療器材、甚而加強金屬材料的引進，強化工業，快速追上歐美腳步，達到產品的進一步提升，以迎接3D列印時代的到來。

參考文獻

1. 「維基百科」對產業之分類說明

2. 「維基百科-工業革命：
http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%B7%A5%E6%A5%AD%E9%9D%A9%E5%91%BD

3. Third Industrial Revolution - European Commission，
http://ec.europa.eu/enterprise/policies/innovation/files/mg-speech-rifkin_en.pdf

4. http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/management/docs/Commission%20Opinion%20adopted%20EN%20C-2012-3392.pdf

5. Jeremy Rifkin,The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World, Publisher: Palgrave Macmillan (January 8, 2013), ISBN-10: 0230341977

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

7. 宏碁集團創辦人施振榮，在 1992 年提出「微笑曲線」（Smiling Curve）理論。
http://wiki.mbalib.com/zh-tw/%E5%BE%AE%E7%AC%91%E6%9B%B2%E7%BA%BF%E7%90%86%E8%AE%BA

8. 有關創新理論之詮釋

9. 主計總處統計資料；http://www.cepd.gov.tw/m1.aspx?sNo=0018957

10. 1998 年台灣模具產值首度突破新台幣 600 億元，為 604.1 億元新台幣，僅次於日本、美國、德國，居世界第四位；模具相關廠商數 2012 高達 3,400 餘家，從業人員共計 41,000 多人。

11. 金屬製品業之產業狀況說明

12. 汽機車產業相關資料
（http://www.nownews.com/2013/05/29/320-2944485.htm#ixzz2X9diTWhB

13. http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%92%B8%E6%B1%BD%E6%9C%BA

14. 噴墨印表機之噴墨原理說明

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

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

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

18. 選擇性雷射燒結之技術註解

19. Stereolithography、光學製造之註解

20. U.S. Patent 4,575,330 (“Apparatus for Production of Three-Dimensional Objects by Stereolithography”)

21. American Society for Testing and Materials (ASTM)

22. 3D 列印機緣起之註解

23. STL（Standard Tessellation Language；標準嵌鑲語言) 的註解

24. 用於點陣數位影像註解
http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%AF%8F%E8%8B%B1%E5%AF%B8%E7%82%B9%E6%95%B0

25. 韌體（firmware）之註解

26. 電腦輔助設計（Computer Aided Design, CAD）之註解

27. CAM 之註解

28. 列印控制軟體之種類

29. 列印控制韌體之種類

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

31. ASTM： International develops international standards for materials, products, systems and services used in construction, manufacturing and transportation.

32. 「砂模」之註解

33. 3D 列印之- 世界第一方程式賽車

34. http://3dprintingindustry.com/2012/08/31/worlds-first-3d-printed-formula-race-car-tested-in-hockenheim/

35. http://printready.co/wp-content/uploads/2012/07/boeing-787-dreamliner.jpg

36. 美國加州的直覺外科公司的外科手術機器人,有效降低外科手術過程中之操作風險 http://www.etmc.org/NewsDetail.aspx?id=5609

37. http://www.3ders.org/articles/20130729-nasa-awards-to-initial-analysis-of-3d-printing-of-biomaterials.html

38. http://2.bp.blogspot.com/-lRCnj4tv338/UcJk3_iHKsI/AAAAAAAAG1Y/2ttHE1WKz_Q/s1600/img_20110809_094754.jpeg

39. http://3.bp.blogspot.com/-W-5Tm3SHbfQ/UcJclcWUAMI/AAAAAAAAG04/27r73hpg

lPU/s1600/263379_521219721261263_1111455156_n.jpg

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

41. http://www.makerbot.com/blog/2013/03/08/makerbot-digitizer-scan-to-print-in-no-time/

42. http://jianyouli.files.wordpress.com/2012/12/ti-rings.jpg?w=869

43. http://wohlersassociates.com/state-of-the-industry-reports.html

44. http://wohlersassociates.com/2011report.htm

45. 國家添加劑製造業創新研究所（National Additive Manufacturing Innovation Institute）之說明 www.manufacturing.gov/nnmi_pilot_institute.html）

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

47. http://www.teema.org.tw/industry-information-detail.aspx?infoid=8249

48. http://bbs.creaders.net/military/bbsviewer.php?trd_id=856572&language=big5,

49. GE 之 LEAP 發動機註解

50. http://www.makerhaus.com/about.php，研究團隊訪美期間曾赴該公司訪問。

51. UW 機械系 3D 社團註解

52. http://www.3dzu.net/2013/04/11/384

53. http://www.ettoday.net/news/20130510/205008.htm#ixzz2YRKw9Kfh

54. http://www.ettoday.net/news/20130513/206507.htm

55. 鑄造技術註解說明

56. http://www.fangpian3.com/html/xw/act&other/2013/0826/Japan_metal_3dp.html

57. 松浦機械之 CNC 及雷射積層設備註解

58. 鈦粉燒製 3D 列印技術說明

59. http://www.teema.org.tw/industry-information-detail.aspx?infoid=7932

60. 3D 列印技術在中國航太工業上的成本註解

61. 中國大陸之 3D 列印商務平台註解

62. 中國大陸「Regenovo」的 3D 生物列印機 http://oabbs.zol.com.cn/1/3_848.html

63. http://technews.tw/2013/06/03/3d-printing-2013-taiwan-talking/#more-7441

64. 波音 747 飛機的傳統式零件生產註解

65. Prof. Dr. –Ing. Jurgen Gausemeier; Thinking ahead the Future of Additive Manufacturing – Innovation Roadmapping of Required Advancements, Direct Manufacturing Research Center, Heinz Nixdorf Institute, University of Paderbom, Product Engineering, Page 22

66. Prof. Dr. –Ing. Jurgen Gausemeier; Thinking ahead the Future of Additive Manufacturing – Innovation Roadmapping of Required Advancements, Direct Manufacturing Research Center, Heinz Nixdorf Institute, University of Paderbom, Product Engineering, Page 26

67. Prof. Dr. –Ing. Jurgen Gausemeier; Thinking ahead the Future of Additive Manufacturing – Innovation Roadmapping of Required Advancements, Direct Manufacturing Research Center, Heinz Nixdorf Institute, University of Paderbom, Product Engineering, Page 28

68. 混合式列印機（Hybrid-3D printer）註解

69. Stephanie S. Shipp, Nayanee Gupta, Bhavya Lal, Justin A. Scott, Christopher L. Weber, Michael S. Finnin, Meredith Blake, Sherrica Newsome, Samuel Thomas; Emerging Global Trends in Advance Manufacturing, Institute for Defense Analyses, March 2012,

Page 39-42

70. http://www.makepartsfast.com/2012/08/4137/making-sense-of-the-3d-printing-additive-manufacturing-industry/

71. http://solidsmack.com/cad/the-3d-scan-to-print-matrix-of-the-century/

72. 特裏•沃勒斯公司（Wohlers Associates Inc.）註解 http://wohlersassociates.com/

73. 3D 應用軟體註解(http://www.wipo.int/wipo_magazine/en/2013/02/article_0004.html)

74. RepRap（replicating rapid prototyper）專案註解 http：//zh.wikipedia.org/wiki/RepRap

75. http://wiki.mbalib.com/zh-tw/%E7%89%A9%E6%B5%81%E6%9C%8D%E5%8A%A1

76. By Connor M. McNulty, Neyla Arnas, and Thomas A. Campbell, Toward the Printed World: Additive Manufacturing and Implications for National Security, INSS Defense Horizon, National Defense University, Sept 2012

77. http://en.wikipedia.org/wiki/Napster

78. http://big5.nikkeibp.com.cn/news/digi/68122-20131018.html

79. 洪振豪律師，3D 列印技術之 IP 相關議題，普華智慧財產權專論，（2013.8）

80. USPTO 專利資料庫：http://patft.uspto.gov/netahtml/PTO/search-bool.html

81. 我國專利資料庫 http://twpat.tipo.gov.tw/tipotwoc/tipotwkm

82. http://www.tipo.gov.tw/ct.asp?xItem=318744&ctNode=7124&mp=1

83. http://www.printcool.me

84. 我國民法§185: 數人共同不法侵害他人之權利者，連帶負損害賠償責任； 不能知其

中孰為加害人者，亦同。 造意人及幫助人，視為共同行為人。

85. 美國專利法之註解

86. 陳佑寰律師，3D 列印的美麗新世界及智財保護，會計研究月刊第 332 號，第 48 頁

87. 美國專利之 35 U.S.C. §171

88. https://www.eff.org/deeplinks/2013/04/eff-partners-challenge

89. http://www.theverge.com/2013/4/16/4229822/eff-hopes-to-invalidate-3d-printing-patent-applications

90. 最高法院 81 年台上字第 3063 號判決註解

91. 最高法院 97 年度台上字第 1671 號民事判決註解

92. http://www.3dmaker.com.tw/2/post/2013/

93. 3D 列印公司「Thingverse」之規範註解

94. 我國刑法§186 之註解

95. 槍砲彈藥刀械管制條例第七條第一項之註解

96. http://www.ettoday.net/news/20130624/229627.htm

97. http://madameeureka.wordpress.com/the-economic-impacts-of-3d-printing/

98. http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2013/05/09/obama-administration-launches-competition-three-new-manufacturing-innova

99. http://www.bbc.co.uk/news/science-environment-24528306

100. http://big5.nikkeibp.com.cn/news/mech/66620-20130627.html

101. http://www.appledaily.com.tw/appledaily/article/finance/20130827/35250914/

102. 科學人, 「多元、複合的加法製造」,pp.46, 2013.06.

103. http://news.msn.com.tw/news3089821.aspx

104. http://belgium.nsc.gov.tw/ct.asp?xItem=19341&ctNode=210

105. https://www.itri.org.tw/chi/news/detail.asp?RootNodeId=060&NodeId=061&NewsID=758

106. http://tw.stock.yahoo.com/news_content/url/d/a/131017/3/42b9g.html

107. http://news.msn.com.tw/news3089821.aspx, 3D Systems、Stratasys 與 EOS 三家公司註解

108. http://sa.ylib.com/MagCont.aspx?PageIdx=1&Unit=featurearticles&Cate=&id=2177&year=

109. http://www.huashan1914.com/exhibition/playing_detail.php?cate=&id=948

110. http://www.accupass.com/go/3dprintingjam, 陳人鳳小姐以及台灣科大學鄭正元教授等專家推動與策畫之技術分享活動

111. http://www.3dmaker.com.tw/

112. https://www.facebook.com/TaipeiHackerspace

113. https://www.facebook.com/groups/fablabtaipei/

114. http://www.swtc.com/edm/2013/rpre/

115. http://www.slideshare.net/cookpy/3-d-21829541

116. http://www.ctimes.com.tw/cf/ShowCF-tw.asp?O=HJX5U5CWL6ECFA0RNF

117. http://www.tw-qingteng.com/3Design/3design_news_54.html

118. http://www.taiwan-doit.com/event5.asp

119. http://web.tnvtc.gov.tw/modules/tadnews/index.php?nsn=2740

120. http://www.pida.org.tw/exhibitionseminar

121. http://synergytek.com.tw/blog/2013/05/28/seminar_20130703/

122. http://www.materialsnet.com.tw/VisitDisView.aspx?DisID=1256

123. http://www.bookzone.com.tw/event/cb500/edm/edm.html

124. http://www.ctimes.com.tw/cf/rb2/index-tw.asp?o=HJX7D5K1SECCFA0RBB

125. http://college.itri.org.tw/edm/D2/009/02/index.html

126. http://www.urstaipei.net/archives/11040

127. 群眾募資(Crowd-funding)之註解 http://zh.wikipedia.org/

128. SWOT 方法註解，http://zh.wikipedia.org/

129. http://www.mottimes.com/cht/article_detail.php?type=1&serial=489

130. http://itri.org.tw/chi/is/p4.asp?RootNodeId=070&NavRootNodeId=071&NodeId=07122&ArticleNBR=2171

131. 中光電 3D 印表機 MiiCraft 註解

132. http://blog.sina.com.tw/nhks0/article.php?entryid=627457&

133. 除工研院南分院外，台南職訓局亦加入相關職業訓練計畫；台北市亦於 2013.8.10~10.13 舉辦「未來正在成型-3D 列印設計展」http://cloud.culture.tw/frontsite/inquiry/contentListAction.do?method=doFindContent&id=52028bd6e44d648aa88fd6cc&subMenuId=401&siteId=101

134. 「中國 3D 列印技術產業聯盟」註解

135. 上海大學快速製造中心之生物 3D 列印註解
http://tech.qq.com/a/20130531/011662.htm

136. 機械工業雜誌 359 期 2013 年 2 月號，雷射應用與積層製造技術專輯，第 128 頁

137. http://madameeureka.wordpress.com/

138. http://www.ctimes.com.tw/DispCols-tw.asp?O=HJX7PE7LISMSAAZA20&F=%E9%87%91%E5%B1%AC%E7%87%92%E7%B5%90

139. http://www.matsuura.co.jp/english/contents/products/lumex.html

140. http://www.ctimes.com.tw/DispCols/tw/Hackspace/Arduino/Raspberry-Pi/1305012 1342H.shtml

141. http://www.ge.com/

142. 長尾理論（The Long Tail）註解

143. http://on3dprinting.com/2013/04/23/3d-printing-conference-7-k-12-education/

144. http://www.stratasys.com/resources/case-studies/education/starbase

145. http://glacierpeak.sno.wednet.edu/files/2713/3011/8743/Course_Description_Book_2012-2013_2-24.pdf

146. http://3dprintineducation.wordpress.com/2013/04/17/stem-challenge-day/

147. 自造者時代（Maker）

148. http://www.sketchup.com/3Dfor/engineering

149. http://www.123dapp.com/

150. http://www.adobe.com/tw/products/illustrator.html

151. http://www.solidworks.com/

152. http://www.makerbot.com/

153. http://www.stratasys.com/

154. http://www.miicraft.com/

155. http://www.shapeways.com/

156. https://www.ponoko.com/

157. http://www.123dapp.com/

158. http://3dscanservices.com/default.aspx

159. http://www.makerspace.org.nz/

160. http://www.makerbot.com/

161. https://www.sparkfun.com/index

162. http://www.adafruit.com/

163. https://www.facebook.com/TaipeiHackerspace/info

164. https://www.facebook.com/groups/fablabtaipei/

165. Kickstarter 籌款註解

166. http://www.zeczec.com/

167. http://www.cna.com.tw/News/aFE/201302200103-1.aspx

168. Quirky 平台的營運模式註解。http://www.quirky.com/shop

169. Shapeway 主要的營業模式註解。http://www.shapeways.com/

170. Esty 公司的營運模式註解 http://www.etsy.com/

171. http://printcool.com.tw/index.php

172. 「未來正在成型」-3D 列印設計展資料

173. 附錄 10 訪問稿說明

174. 附錄 12 訪問稿說明

175. 世界人口年齡分佈註解

176. 歐洲人口高齡化註解

177. 全球醫療器材產業註解；(www.dois.moea.gov.tw/content/pdf/13-經濟部醫療器材產業鏈報告.pdf；工研院 IEK 生醫組(2005/12))

178. 2013 醫療器材產業年鑑，
http://www2.itis.org.tw/pubreport/PubReport_Detail.aspx?rpno=55726083

179. 生技醫療器材產業趨勢與商機工研院 IEK 張慈映，
http://www.instrument.org.tw/archive/101082401.pdf

180. 中華民國衛生署對醫療器材之規範註解

誌謝

能夠完成此論文，研究團隊最要感謝是：有幸能參加跨領域科技管理研究班（MMOT）的教育訓練課程，無論在國內的培訓內容（包括智慧財產、技術移轉與投資分析）的知識成長；國外的學習經驗（「IPR 保護與經營專題」、「技術授權技巧與實務」、「智慧財產評價與融資」、及豐富的參訪行程），研究團隊成員均受益良多與收獲豐盛。對於經濟部與磐安基金會的支持、劉江彬教授、沈泰民執行長、盧文祥教授的指導與協助，謹致上無限的謝意。

研究團隊於論文撰寫其間，拜訪多位國內外的大學學者、專家、產業經營者、律師、3D 列印社群、3D 列印推廣機構等，如果沒有他們的指導和意見分享，本論文不可能順利完成，研究團隊特別感謝論文附錄中接受訪問的各界專家給予研究團隊熱心的指導。研究團隊在論文討論的過程中，指導教授溫肇東老師，總是能夠提供豐富且有創意的建議，激發了研究團隊成員研究的想法和方向，促使本論文得以順利完成；在此，謹致上最大的謝意和敬意。對於論文的內容，MMOT 同學劉定國博士、林輝鴻博士、王筱婷博士與李毓軒先生給予熱心的協助與指導。在國內、國外等修課期間，承蒙磐安基金會、政治大學、美國華盛頓大學的助教們：姣鳳、韻倫、香君、品麗、弘鈺等人的協助，在此一併致上謝忱。

能夠有幸跟隨大師、教授與專家們學習，研究團隊成員均感萬分的榮幸與珍惜。也感謝國內外之任課教授們在課程期間傾囊相授、MMOT 同學們的相互砥礪與分享，更要感謝研究團隊所服務單位與長官的支持與支援，讓我們有機會在工作之餘，接受此一教育訓練，並順利完成此論文的撰寫。最後，要感謝每位研究成員的家人，在這段日子中的無限關懷、包容與鼓勵，讓我們沒有後顧之憂。在此謹以此小小成就與你們分享！

附錄

附錄 1：【工業革命的要件與比較研究】議題

- 「工/產業」：生產者結合各種生產要素，將【原料（素)】，利用相關【程序】轉換為【產品】，以提高資源價值、獲取利潤的行為。以下就各次工業革命在革命前後的影響，表列分析。

其中：

- 原料（素)：包含--自然材料（含物質與能源)、製造後之衍生物料、知識、需求等
- 程序：包含—製造工具、製造方法、製造技術、動力形式、生產程序、生產方式、商業模式、行銷方法等廣義項目。
- 產品：包含—有形（成品、物件）與無形（服務、權利）的產品。

（變化顯著●；部份改變○；無顯著變化或未涉及“　　”）

工業革命 / 要件		第一次	第二次	第三次（歐盟）	第三次（Jeremy Rifkin）	第三次（經濟人：3D printing
原料（素）	物質					
	能源	●	●	●	●	
	衍生物料	○	○			
	知識	●	○		○	○
	需求	●			○	○
程序	製造工具	●	●			○

	製造方法	●	●			○
	製造技術	●	●			○
	動力形式	●	●	●	●	
	生產程序	●	●		○	○
	生產方式	●	●		○	○
	生產關係	●			○	○
	商業模式	●			●	●
	工業結構	●			○	○
	行銷方法	●	●		●	●
產品	成品	●	○		○	○
	物件	●	○		○	○
	服務				○	○
	權利		○		●	●
其它	城市	●	●		○	○
	生活型態	●	●		○	○

附錄 2：【3D 列印推廣單位對 3D 列印的觀點】議題

- **背景說明：**「台北國際光電大展」首辦於 1984 年，是台灣光機電產業的年度最大盛會及產品外銷媒合平台。本年（2013）光電大展，整合半導體、電子、光通訊、雷射、光學、精密機械等關聯領域；並首次引進 3D 列印展覽，其主辦單位之一為：台北市電腦商業同業公會，研究團隊特拜訪該會董元雄顧問。
- **訪談地點/時間：**台北市電腦商業同業公會/2013 年 6 月 26 日
- **訪談人：**台北市電腦商業同業公會　董元雄顧問
- **訪談摘要：**

（1）3DP 主要會往兩個方向發展：工業和消費者市場

- 工業：工業設計會更加有效率、Rapid Prototyping、人形化機器人、航太、軍事國防上（因為在航太載具等軍事裝備內的系統組件極其精小，且置放的空間非常有限，甚至有些內部地方的零件或管線需要是不規則形狀的，透過 AM，可以客製化零件，符合功能和滿足空間的要求。）

（2）消費者市場：較難，要考慮實際的產出產品與消費者之間的必要性與多重性，否則將在使用成本與應用間達到平衡與市場吸引。

（3）建議可以參觀：George Town、MIT 和波音公司。波音的工廠和設計部門在西雅圖，可透過西雅圖代表處(國貿處)，或是藉由商業機會的理由去拜訪。

（4）3DP 應該不會引起工業革命，而是一個既有的技術創新運用。

（5）3DP 可以讓每個人都有客製化的標準。

（6）在醫療上，會是 10 年後的明星產業。

（7）中國大陸蘇州 10 月會有 3DP 的展覽，以推廣在產業應用與消費者的認知瞭解。

（8）和砂模製作的模子可以使用數千次比起來，3DP 製作的模子還不確定能用幾次。

（9）以往的光電展就已經有 3DP 的相關機台和產品了，但乏人問津，今年(2013)的光電展，3DP 的相關攤位擠滿了詢問的人潮。亦有業者推出視障者專用的 3DP 相機

（10）3DP 的技術上，德國的 EOS > USA > Japan

（11）大陸和台灣都有 3DP，大陸重視量、台灣重視質，大陸 cost down 的能力較強，所以台灣的機會會在搶第一波，至少要搶到第二波，第三波以後就是大陸 cost down 了。

附錄 3：【機械專業領域的學界，對於 3D 列印的觀點】議題

- **背景說明：**台大機械系廖運炫教授，為美國威斯康辛大學機械工程博士，其研究領域為切削原理、非傳統加工、工具機動態分析與控制、品質管制與可靠度等，目前廖教授為台灣大學終身特聘教授 （Distinguished Professor）
- **訪談地點/時間：**國立台灣大學工學院綜合大樓/2013 年 7 月 3 日
- **訪談人：**台大機械系 廖運炫教授
- **訪談摘要：**

（1）在工業設計上，以往可能需要有素描的能力，現在只要會 CAD 軟體，配合 3DP，就可以製造出模型，對產品的開發有很大的助益。這是 3DP 最初也是最直接的應用，實際上 3DP 在此方面也已經造成很大的衝擊。

（2） 3D printer 不像 2D printer，列印出來的資料有閱讀或備份的需求，能方便收納，3D printer 列印出來的東西是立體的，不一定是每個人都需要的，也不方便收納，所以 3D printer 是個很好的工具，可以做出過去無法製作的產品，在很多應用面會造成衝擊，但 3DP 有其本身的限制，無法製作出任何規格要求的產品，且至今為止，尚未找到殺手級的應用，造成爆炸性的成長。對工業界而言，全面性革命的講法有誇大其實之嫌。

（3）機械製造的方法有很多種，3DP 只是其中的一種，每種製造方式都有其特點與功用，3DP 的存在，會取代部分其他種製造方法不易加工出產品的場合，但因為 3DP 本身的特性與限制，並不能完全取代其他種製造方法，反之，其他製造方法也沒辦法完全取代 3DP。因此應有 3DP 只是機械製造方法之一的概念，把 3DP 當成比其它製造方法重要是錯誤的想法。

（4）在產品精密度上，目前傳統機械加工方法特別是切削加工的精度，遠高於 3DP。較好的做法應是利用個別製造方法的特點，譬如，在模具的製造上，可以切削加工的方式加工模仁的部分，做出想要的尺寸、形狀與表面粗糙度。模座部分用 3DP 製造，如此可以得到想要的精度，又可將過去模座上難以製造的複雜冷卻水道製造出來。

（5）金屬 3DP 為近年來發展迅速的方向，有很多應用，有些特定的應用領域如生醫零件的製造，不允許於機器上因不同的應用更換 3DP 的材料，以確保製造出之零件能通過嚴格的檢驗標準。但金屬 3DP 設備昂貴，非一般廠商能負擔，特別是在市場開發階段，添購金屬 3DP 設備是一大負擔，風險也大。因此針對有市場潛力的應用，建議中科院或工研院等單位利用國家的資源開發此種設備，以較低的價格將機台提供給廠商，讓廠商可以以較低的成本研發 3DP 的應用，並開發市場。

（6）3DP 列印的材料關係著 3DP 的應用深度與廣度，有些 3DP 列印的材料在整個產品生產成本中佔了很大的比例，以機械的角度衡量，3DP 的機器沒有很特別的技術，但列印材料的部分較為複雜，尚有很大的空間，台灣的廠商也可以在 3DP 材料的研發方面切入 3DP 的領域。

（7）3DP 未來在生醫領域有很大的應用與市場潛力，因為如脊髓矯正器等，多為客製化產品。

（8）用 SLS 的方式，因為堆疊粉末間可能有空隙，而且每層之間並沒有加壓，產品不夠密實，會有強度上尚無法達到一般粉末冶金製作產品的 concern。但從另一角度而言，存在著孔隙，是別的製造方法不易達成或控制的特點，也可以依據此種特點尋求適當的應用。

附錄 4：【文創產業之咖啡館的 3D 列印觀點】議題

- **背景說明**：2012 年，日本東京澀成立一特別的咖啡店「 FabCafe Tokyo」，該店不只賣咖啡，而是提供技術服務，不論是在牛仔褲上雷射雕花，到在海苔、馬卡龍上雷射切刻文字，或是搞怪的 3D 人像巧克力，店家統統都可以幫你做出來。日本實驗型人氣咖啡廳「FabCafe」來台開設海外第一家店，店內備有雷射切割機、3D 印表機，把這些「代工」方法變成「溝通」工具，整合數位創作、Cafe、event，打造一個設計師平台，搶攻台灣產業從 OEM 轉型為 ODM、品牌行銷所需設計服務商機，全新商業模式引起國內文創業關注。台灣 FabCafe 由日本 Loftwork 公司、港商黃駿賢與台灣 Gabee 咖啡館負責人林東源三方合資，於 2013 年 5 月於台北華山文創園區裡成立--「FabCafe Taipei」。其中 Fab 是 Fabrication（製造）或 Fabulous（極好的）的縮寫，FabCafe 就是店內將陸續提供某些工具(如雷射切割機、3D 列印機）和與製造相關的主題活動，讓有興趣製造/創作的人可以在這裡大顯身手，實驗、交流、跨界、相互激盪、彼此切磋。
- **訪談地點/時間**： 2013 年 7 月 3 日；華山文創園區
- **訪談人**：「FabCafe Taipei」黃駿賢先生
- **訪談摘要**：

（1）目前 3D 列印隨媒體瘋狂炒作，如同網路泡沫化，3D 列印將會有一次洗牌效應，但並不會影響 3D printing 的發展方向，反而會讓這產業的發展更健康。台灣的玩家多數仍然著眼于機器製造、代理國外機型銷售、協助 3d 列印 printing 而已，目前並沒有看到與國外 3D Printing 的「跨界應用」。

（2）3D Printing 只是新興技術、媒介中的一種，最終 Producer/Designer 會應用不同的技術/材質/表達方式去表現他們的創作/產品。

（3）目前台灣公司多是以代工製造為主，所以對 3D Printing 關注的是：概念的產出、列印機器的規格等，但我認為真正的機會是在思考 3D Printing 可如何被應用來發展新的商業模式，3D 列印是一個 enabling technology.

附錄 5：【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/時間：** 2013 年 7 月 5 日
- **訪談人：**陳人鳳小姐
- **訪談摘要：**

（1）於八年前開始使用實威科技代理之 Z corp （200 萬 3D 列印機），主要目的是做 prototype。此機器材質為石膏粉末，可列印出彩色表面，適合設計師快速檢討設計造型。

（2）目前國外廠商製作 3D 列印成品價格較國內低很多，尤其是金屬材質的成品價差大，應該是台灣目前市場小，數量少，所以製作價格高。朋友曾有一件外包案，shapeway 報價$900 TWD，運費$600 TWD，台灣某廠商報價$12,000 TWD。最後外包給 shapeway，6 天後拿到物品，使用相同儀器及材料。這點顯示，設計及製造已可全球分工。

（3）針對 3DP 的生態可分為原料、機器、設計、服務。排除地域限制，台灣可做服務及設計，台灣的 3DP 機器製造目前的能力在高階工業用領域有待加強。原料還是國外較強。

（4）國內外已經有許多使用 3DP 製作複雜模具，代表其強度的可信賴度。

（5）未來對 3D 技術的應用，應該在創意商品、自我實現、附加價值高的方向發展，目前可見的產業是文創及醫療（矯正牙套可從國外一次訂作 10 個有不同的矯正幅度）。

（6）3D printing 的使用需要有專業的 3D 建模能力，這能力一般需要醫定時間的訓練學習，一般人如果沒有具備 3D 建模能力則很難輕鬆使用 3D Printer，不過現在市面上開始有很容易上手的 3D 軟體讓一般大眾都能使用。目前微軟的 Microsoft 8.1 將 3DP 納入開發環境，可見其重要性。

（7）3DP 不是現在才有的技術，技術的成熟與應用，才發揮了影響性，並影響了我們的生活。

（8）在社群製造方面，國內亦有不少社群發展中，未來可正式成型並造成影響力。例如 8/9（2013 年）松山創意園區，將集合 30 位設計師及 1 家國內廠商，共同呈現 3DP 的應用，希望能創造新的創意經濟價值鏈。

附錄 6：【3D 列印機代理商的 3D 列印觀點】議題

- **背景說明：**實威國際成立於 1997 年，從 CAID、CAD、RP/RE、CAE、CAM、PDM、Consultant，提供業界完整的軟硬體及顧問服務解決方案。至今實威國際在台灣及大陸地區已經輔導超過 4,000 個企業與教育單位，成功導入 60,000 套以上的軟體，是唯一可提供跨兩岸服務的最大 CAD/CAM 系統整合顧問服務公司，亦為國內 3D 列印機的代理商。
- **訪談地點/時間：** 2013 年 7 月 8 日
- **訪談人：**實威國際公司彭聖介副總經理
- **訪談摘要：**

（1）目前實威代理的 3DP 印表機分三大類：個人型(personal):桌上型、個人用、公司專業型(professional):公司設計部門用(以產品原型製作與打樣為主)、產業型(Production): 提供特定產業使用，需使用特定原料及替定用途，尤其是精度高與大尺寸原型製作需求。如金屬材質做門把。目前台灣使用者，大部分將其視為奢侈材，以公司專業型為主。

（2）以前 2D 的 CAD 進步到 3DP 的主要優點是：設計者可直接感受並與客戶溝通時間縮短。技術服務所需元件仍依賴原廠。目前所使用的原料均由原廠提供，才能保證品質。副廠或其他廠商目前還未投入市場，主要是 3DP 市場未打開，不願投入。軟體是 3DP 最重要的部分，但軟體還是必須由原廠指定才能發揮最佳效果，原因是軟體仍是數位資料的產生者，也是切割積層資料與驅動硬體的主要媒介。

（3）目前所有 3DP 儀器均使用單一材質進行列印。國內廠商大部分是 OEM 硬體生產組裝為主。3DP 目前不符合大量製造的製造成本及時間要求。

（4）期望國內政策環境的配合，3DP 若要在台灣深根，必須向美國一樣從教育著手，列入標準課程，將 3DP 視為 Lego 一樣的玩具。刺激我們的創意及設計感，才能將台灣產業轉型。

附錄 7：【3D Printing 相關機會與挑戰討論】議題

- **背景說明：**研究成員相約與國內相關產業人員，上市公司董事長、資訊公司副總、退休外商資深秘書、牙醫師、數位內容創作設計師、IC 設計繪圖工程師等 8 人，研討 Quirky 的 3D 列印簡報資料，並交換 3D 列印之意見。
- **訪談地點/時間：**新竹市中正路仰哲大廈/2013 年 6 月 22 日
- **訪談摘要：**

（1）3D Printing 較適合個人化創作，或 Prototyping 應無法取代大量製造。

（2）不要期望太高，一般消費者有時連 2D 印表機都沒買(因為透過 FB 或相片網站直接傳數位照片)，列印需求低.會購買 3D 印表機人數會更少。

（3）新型 3D 網路列印服務應會發生，有可能 7-11 或郵局會切入(如 slide#9 當中 Quirky 的 3D 列印產銷服務)

（4）3D Printer 是兵家相爭之地，如同 Stratasys 買下 MakerBot 應該和 2D Printer 的主要 player(Epson,HP...)是不同族群。

（5）此技術國內軟硬體能力應該成熟，軟體技術應該已成熟不需要太多開發。或許有可能需要將數位 object 轉成 3DP 的 layer-by-layer data)，再加上 data 送到 3D 印表機的 driver 設計就夠了。

（6）如(5)所述應該不會需要大規模的產業投入。

（7）或許關鍵在 3D printer 所使用的材料(可能昂貴、不知道哪些廠家是供應商？）是否會像噴墨印表機的商業模式發展--硬體很便宜，但墨水(3D 為塑料粉末)很昂貴。

（8）Prototyping 模具業應會受一些衝擊，但需觀察是否很大，因為原本太小量的需求，也不會開模。

（9） 因為容易「自造」，也可能失敗成品數量劇增，是否會造成環境衝擊？說不定可以成立「回收服務」行業。

（10）目前就有限的資料判斷，3D Printing 都只能用單一材質(如塑料)，應該無法取代像目前較複雜商品(如汽車、槍械)。所以可能不會造成太大的改變(未必是工業革命)，但是對於小資本創作者，應該是幫助最大的一群受惠者。

附錄 8：【3D 列印可能涉及侵權法/產品責任】議題

- **背景說明**：Professor Calo 為 UW 法學院教授，其專長為侵權和隱私法，研究團隊於 UW 研習期間拜訪 Professor Calo 並討論 3D 列印可能涉及的侵權議題
- **訪談時間/地點**：2012 年 8 月 16 日；UW 法學院
- **訪談人**：Ryan Calo, Assistant Professor of Law,University of Washington
- **訪談摘要**：

（1）侵權責任中，原製造商的製造商嚴格責任(strict liability)，在自造者的責任將是侵權領域的一大議題，是否對自造者，亦嚴格要求其責任，尚待法院更進一步判例解釋。

（2）有關警示標誌責任，自造者是否需要敘明，目前仍有不確定性，究竟是產出者還是設計者的責任，目前還沒有判例出現，共識觀念仍未確認。

（3）依設計者設計圖用 3D 列印出來的瑕疵品，設計瑕疵或是材料選擇瑕疵?可能仍有認定的不確定性，也需要更進一步討論。

附錄 9：【3D 列印的智慧財產權】議題

- **背景說明**：研究團隊於出發美國之前，得知 Finnegan 律師事務所的律師 John Hornick 已在 3D 列印智財相關議題（Crowdsourcing Prior Art to Defeat 3D Printing Patent Applications）發表文章[185]，並於芝加哥舉行的研討會主講該議題。研究團隊於 Washington D.C.研習期間，因 John Hornick 律師當時在外地作有演講行程安排，無法面對面討論，於是後來在 University of Washington 時以電話會議方式進行訪談。
- **訪談時間**：2012 年 8 月 13 日
- **訪談人**：John Hornick 律師（Finnegan, Henderson, Farabow, Garrett & Dunner, LLP, John Hornick, Partner）
- **訪談摘要**：

（1）在專利領證前，於陳報先前技術(preissue submission)階段，需大量搜尋先前技術(prior art)訊息，可以使 3D 列印之發明更加強壯，爾後專利侵權訴訟，將難以找出對抗該專利的先前技術。

（2）檔案設計者(file creator)可能幫助侵權(contributory infringement)責任；平台網站提供者(website file provider)有引誘侵權(induced infringement)責任；列印服務提供者(printing service provider)可能是直接侵權(direct infringement)責任。

（3）以 Creative Commons 的方式來解決 3D 列印專利侵權，可能不是好對策(tend to think not)，雖然創意沒有問題，但目前實際情況還沒發生。

[185] http://3dprintingindustry.com/2013/09/13/some-thoughts-on-copyright-and-3d-printing/

附錄 10：【3D 列印發展的挑戰與金屬列印之前景】議題

- **背景說明**：工研院南分院於 2005 年 10 月 14 日開幕運作。成立目的在於配合南部在地產業需求，目前以智慧機電模組、積層製造與雷射應用及綠能生態系統三大領域為主，藉以提升區域產業整體發展和產業升級與轉型。其中積層製造與雷射應用中心，透過多年的光/機/電整合能力，聚焦雷射源、光路系統及雷射產業應用等前瞻研究領域，並結合產學界資源，朝向雷射材料加工應用、雷射關鍵模組、雷射設備發展進行技術佈局，以開創國內新興雷射應用產業之榮景。近幾年持續擴大雷射加工的研究投入，並配合經濟部於今（2013）年宣布成立：「雷射光谷計畫」，繼續推動包含金屬 3D 列印的發展。南分院於 2012 年 1 月引入國內第一台金屬材料雷射積層製造設備台，日前（2013 年 7 月）更引進國內第一台複合型(CNC+AM)金屬材料雷射積層製造設備，以製程技術和應用，連結國內外產學研三十餘家廠商，共同推動 3D 列印的應用和發展關鍵技術。
- 訪談時間、地點：2013 年 7 月 8 日，遠距通訊訪談。
- 訪談人：工研院南分院--積層製造與雷射應用中心總監曾文鵬
- 訪談摘要記錄：

（1）工研院南分院積層製造與雷射應用中心，近年來主要投注於金屬 3D 列印的發展，緣由於此種技術與國內的工業界相關程度高，產值也最大。

（2）目前 3D 列印材料中，塑料 3D 列印主要是個人設計者使用較多，陶瓷的 3D 列印技術挑戰更高，各國目前都還在研究當中。

（3）經濟部在 7 月 17 日（2013 年）發佈「南部雷射光谷育成及試量產工場啟動儀式」，推動從嘉義到屏東的雷射光谷計畫，也是 3D 列印的相關計畫。

（4）工研院在今（2013）年 6 月 30 日與荷蘭 TNO[1]應用科學研究組織(TNO) 共組 3D 列印國際聯盟計畫（PENROSE），雙方將以新一代 3D 列印技術為

[1] TNO 為荷蘭政府設立之產業技術研發機構，主要支持者包括「教育、文化及科學部」、「國防部」和「經濟、農業及創新部」。TNO 係荷蘭最大、歐洲第四大的「研究及科技組織」，其功能類似我國之工研院。

目標，建構國際前瞻開放創新策略研發平台，開發高科技、高精度、高複雜度零件及產品，期能為台灣產業開創新商機。

（5）工研院南分院積層製造與雷射應用中心近年來的研究計劃主要進展時程如下:

- 民國 99 年(2010 年) 開始進行市場狀況瞭解
- 民國 100 年(2011 年) 開始進行 3D 列印醫材市場調查(因為南部口腔癌病人較多，國外有口顎 3D 列印手術成功案例)
- 民國 101 年(2012 年) 1 月由向德國 EOS 購買國內第一台金屬 3D 列印機，進行金屬積層製造研究(後來數可科技也向德國 EOS 購買國內第二台金屬 3D 列印機，但兩邊的研究重點不同。工研院南分院研究範圍較廣，探索各種材料;數可科技注重在模具加工類的研究開發)。
- 民國 102 年(2013 年) 配合經濟部啟動「光谷計畫」。

（6）工業 3D 列印生產主要有三種材料:塑膠材料，金屬，陶瓷。目前價值最高部份在金屬。但是美國在這方面並不如歐洲強。相關技術源自於 rapid prototyping(RP)。歐洲各國發展較久，技術也較穩。美國在近 4~5 年也開始金屬 3D 列印方面的研究，例如應用鈦合金在航空應用，美國 GE 也購併金屬加工技術公司。另外歐盟在 2012 年 12 月舉辦金屬積層製造的 EUROMOLD 研討會，美國的許多研究機構也派代表參加。至於國內的企業，例如：實威與大塚目前以代理為主，偏重在塑膠材料方面的應用。中國大陸已經開始應用 3D 列印技術於航太方面的計畫上。

（7）工研院也與日本 CNC 翹楚-松浦公司-進行相關的互補加工技術研究開發，運用 3D 列印輔助 CNC 加工，例如每用 3D 列印 10 層，搭配 CNC 作精度與粗糙表面處理，然後持續這樣的加工製造步驟。這樣的輔助運用預期會是一種有潛力的應用方式。

近年來 TNO 致力從「大部分由政府資助之研究機構」轉型成為以市場需求為導向的「現代化 RTO」，希望藉由實用的知識與創新，來支持國內外之政府和企業界的顧客。TNO 已投入 3D 列印研究超過 15 年經驗，並在前處理模擬、製程、設備擁有超過 49 案專利
http://belgium.nsc.gov.tw/ct.asp?xItem=19341&ctNode=210

（8）近一兩年3D列印突然在國際與國內熱門起來與美國歐巴馬總統的推動以及關鍵3D列印專利即將到都有關聯。此外金屬列印技術的日趨成熟與個人化3D列印機器的平價化也是推動的力量。

（9）有關金屬列印的品質與可靠度問題，美國FDA與歐洲利用之前已通過的相關法規作為GMP與醫材的品質檢驗。瑞典人工關節已通過CMP環境認證。法規最嚴格的行業包括航太，醫材與汽車，一旦通過相關的品質與可靠度認證，其他類別的應用相對容易的多。

（10）至於國內人工關節應用的問題，的確亞洲人的體型與骨骼與西方不同，國內的客製化無柄關節需要通過TFDA的認證，但是目前還沒有公司完全走完，未來商機很大。其他的醫療應用還包括高階的助聽器，透明牙套...等。

（11）3D列印金屬粉末的開發，目前都是跟原廠直接買，國內有潛力製作的廠商應該不少，但是礙於國內需求少而只有少數在研究。如果各類3D列印應用起來，推動需求量的增加，自然而然就會有廠商作進一步的投入。

（12）至於異質性多種材料的3D列印，目前有些高階的3D列印機(如Objet)可以列印多種材料。但是目前還不可能一次就列印一台汽車出來。

（13）關於3D列印何時可以提升台灣的未來技術，目前各有能力的國家都在研發導入高效益的3D列印機器。如美國的NAMII與日本的政府主導。台灣目前尚落後幾年但是目前也積極的開發3D金屬列印的合作研究與應用。台灣的相關服務與應用需要先想好獲利模式。國外如3D Systems與Stratasys的營收規模還不是很大。

（14）3D Systems公司的營收來源，約有40%來自於代客3D列印服務，35%來自於材料的銷售，剩下的25%來自於販賣設備。」相較於設備，材料屬於消耗品，設備維護的頻率約為一到兩年，而材料，在高使用率下，可能一到兩個月就需要不斷的購買補充，這就像是目前市面上的紙張印表機，廠商主要的營收是來自於墨水，而非設備。

（15）關於南分院3D列印未來3~5年的研發重點應該會持續在金屬列印的研究上。也會持續和日本松浦的合作以及與荷蘭方面的共同開發。

（16）美國的 3D 列印不是要低階的製造，digital manufacturing 絕對是其中的重點，需要高度自動化。製造業從業人員需要熟悉 CNC/CAD/CAM 等。因此美國也開始推動學校教育包括 3D 列印教育，中國與英國也從小學階段就開始 3D 列印的教育。

附錄 11：【3D 列印對台灣工具機產業之影響】議題

- **背景說明**：友嘉實業集團於民國 78 年自創 FEELER 品牌，轉型生產綜合加工中心(CNC 工具機)，目前是世界第一大加工中心、華人(含台灣/大陸/香港/新加坡及東南亞等地)第一大工具機集團，全球擁有 31 個營運基地及 19 大品牌。友嘉集團目前有：工具機、PCB、產業設備、綠能等四個事業群，其中工具機 2012 年營運額 352 億（占公司總營運 59%），機電設備行業全國排名第二（僅次於東元電機），天下雜誌調查：2012 年製造業 1000 大排名中，友嘉實業排名第一。
- **訪談時間、地點：**2012 年 9 月 10 日，台中工業區工業一路，友嘉工具機事業群。
- **訪談人：**友嘉集團工具機事業群執行長李進成先生、麗偉公司（友嘉事業群）副總經理
- **訪談摘要記錄**：
  （1）產業化導入 3D 列印生產的最大考量是：規模經濟是否可能？由於產品數量與成本，存有一定關係，3D 列印並非以大量化生產為主要優勢。
  （2）這波 3D 列印風潮，友嘉集團與國內其他廠商也一直在密切關注中。但目前仍要看相關技術的發展，是否能達到適當的性價比（Price/performance ratio）生產規模。
  （3）3D 列印難以取代（至少目前的技術）目前產業之生產方式，距離產業實用期仍然漫長，除非有突破性的技術產生，對產業的影響雖有期待，但仍遙遠。
  （4）工具機是動力與剛性的生產方法，用途在於大量生產製造，生產的產品，要耐的住使用。3D 列印技術，是在少量多樣化的生產，與產業目前的生產方式概念迥異，3D 列印是難以取代工具機產業的。
  （5）目前工業產品大多需用開模方式來製造，3D 列印的精度與列印時間，尚難以符合工業製造需求；另以目前的列印材料（多為單一化）的選擇性、成本亦高、產品強度等因素，3D 列印難以成為工業生產之主流。

（6）3D列印的技術是機械、控制、光學、資訊和電子的組合應用，以目前友嘉集團的工具機製造的技術實力，若在3D列印技術與材料的成熟發展後，應該很快的可以導入與銜接，生產3D列印設備。

（7）3D列印在產品後續服務與零件更換上，可發揮最大的優勢，廠商無需備料與生產更多的零件，也無需為了企業的品牌與形象，被迫保留少數生產線，製作備用零件，對於公司的營運與成本控制，將有重大利益，這應該是產業所樂見於期望的。對於目前製造業中，管線的開關元件、閥門等，可能有製造優勢，但還是要看列印的精準度和產品的耐用度決定性價比。

（8）目前在台灣的製造業界，對於3D列印的看法，仍處於注意、觀望與等待期。

附錄 12：【材料專業領域的學界，對於 3D 列印的觀點】議題

◆**背景說明**：台大材料系段維新教授，為英國里茲(Leeds)大學陶瓷系博士，其研究領域為陶瓷材料工程、陶瓷複合材料等，目前為台灣大學特聘教授。

◆**訪談地點/時間**：台灣大學水源校區思源樓/2013 年 10 月 4 日

◆**訪談人**：台大材料工程學系 段維新教授

◆**訪談摘要**：

（1）3D 列印機就像噴墨印表機，機器會越來越便宜，profit 會從原料來。

（2）工研院想用金屬材料來作骨骼，可能會比較想把 3D 列印定義為一個平台，可能有骨科、齒科、或是一些 consumer 的產品。

（3）3D 列印未來的應用，著眼於市場端或使用端來定義 product、材料的規格、標準等。

（4）每個不同領域的門檻都不一樣，生物科技的門檻非常高，代表的 profit margin 更大；現在台灣政府都把資源放在這一塊。其中醫材的投資額，相較於兩兆雙星，經濟規模較小。不過，台灣屬於淺碟型的，適合發展醫材。台灣政府在生技這塊的發展是持開放的態度，其中醫療器材少量多樣的特性，適合台灣發展。

（5） 3D 列印有個上位端的技術--Scan 的技術。如何產生圖檔是個重點。就像大陸第一大齒科材料大廠，本來是掃描器廠商，由 Scan 的角度切入齒科的醫材。

（6）材料用在人體上的新技術突破是非常難的，人體本身就會排斥新材料，例如 FDA 的退休審查員曾提過：只要提到奈米材料進進入人體就是不可行，因為目前仍不確定對人體會造成什麼樣的影響。目前人體使用的材料，都是老的材料，還是以鈦合金為主，因為有非常完整的使用紀錄。由於醫療器材的認證非常麻煩，造成進入門檻很高，但如果可以通過這樣的認證，所回饋的利潤也更可觀。

（7）目前 3D 列印所使用的材料並非新材料，而是舊的材料，只是生產方法改變而已。

（8）目前在台大，並沒有任何 3D 列印的材料或者技術端的專利（無論機械或控制），目前我們實驗室，正在實驗是否可以利用既有的材料，搭配 3D 列印機。

（9）未來 3D 的市場，決定於 3D 列印提供的 elements，和其他產業有沒有什麼 overlap 的地方，如果有，機會自然會浮現和發展。

（10）大陸目前發展產業的一種方法是：建立品牌，或透過購併的方式買下世界知名的品牌，這是台灣以前並沒作過的。未來，3D 發展方式，獲許也會以這種方式發展。