airiti

圖資與檔案學刊
9:1=90 (June ’17) 32-51
DOI: 10.6575/JILA.2017.90.03

# 3D 列印的發展與應用

# The Development and Applications of Three-Dimensional Printing

許　立　涵*
Li-Han Hsu

佟　心　平**
Shin-Ping Tung

林　思　穎***
Sze-Ying Lin

林　奇　秀****
Chi-Shiou Lin

* 國立臺灣大學圖書資訊學系大學部學生
Undergraduate Student, Department of Library & Information Science, National Taiwan University
E-mail: b01106003@ntu.edu.tw

** 國立臺灣大學圖書資訊學系大學部學生
Undergraduate Student, Department of Library & Information Science, National Taiwan University
E-mail: b01106006@ntu.edu.tw

*** 國立臺灣大學圖書資訊學系大學部學生
Undergraduate Student, Department of Library & Information Science, National Taiwan University
E-mail: b01106020@ntu.edu.tw

**** 國立臺灣大學圖書資訊學系副教授
Associate Professor, Department of Library & Information Science, National Taiwan University
E-mail: chishioulin@ntu.edu.tw

airiti



## 【摘要 Abstract】

近年來 3D 列印蓬勃發展，圖書館也逐漸引進 3D 列印服務。本文首先介紹 3D 列印的基本概念與發展歷史，續介紹六種不同的 3D 列印技術，包含屬於「光照射法」的光固化立體造型、數位光固化處理、選擇性雷射燒結法、層壓實體製造法，以及屬於「黏合成型法」的熔融沈積成型與粉床噴墨列印法。而後探討 3D 列印在各領域的應用概況，包含商業領域中的客製化製造服務、線上代印與整體服務方案及新創商品的線上集募製造服務等；在圖書館方面，則介紹「自造者空間」的服務理念以及 3D 列印在各類型圖書館的服務潛力。最後，討論 3D 列印之限制與挑戰，包含對環境與產業的影響、倫理問題及攸關圖書館服務的智慧財產權、教育訓練與諮詢需求等。

This paper describes the development and applications of the three-dimensional printing (3D printing) technology. It first introduces the basics and the history of 3D printing, followed by an overview of six currently popular 3D printing methods, i.e., stereolithography apparatus (SLA), digital light processing (DLP), selective laser sintering (SLS), laminated object manufacturing (LOM), fused deposition modeling (FDM), and powder bed and inkjet head 3D printing. It goes on to describe the commercial and library applications of 3D printing. Specifically, the concept of makerspace and the potentials of 3D printing are mentioned in different types of libraries. Finally, the limitations and challenges of 3D printing including its impact on the environment and industries, ethical issues, intellectual property rights in library service, as well as the training and consultation needs of library patrons are discussed in the paper.

### 關鍵詞 Keyword

3D 列印 自造者空間

3D printing；Library makerspace

airiti



## 壹、前言

近年來，3D 列印成為全球熱潮。有別於傳統平面印表機是將油墨或碳粉印製在紙張上，3D 列印機係以電腦設計軟體製成的立體設計圖為基礎，透過逐層堆疊的方式噴出樹脂或粉末等塑料，「印製」出立體的實體產品。3D 列印技術的快速發展以及 3D 列印機的普及，已帶來一波全民設計、量身客製的風潮。在 3D 列印的世界中，每個人都能成為自造者，將個人的設計理念轉化成獨一無二的實體產品；專業設計者也可以先利用 3D 列印來製造產品的原型，在評估產品的市場需求後，再轉用傳統開模製造方式量產。國外許多圖書館也開始引進 3D 印表機，推出自造者空間（makerspace）服務，有鑑於 3D 列印方興未艾，未來圖書館讀者對 3D 列印服務的需求勢必增加，本文故由 3D 列印的定義與起源談起，介紹 3D 列印之技術原理，繼而介紹 3D 列印在不同領域中的應用概況，其後並介紹 3D 列印在圖書館的應用與問題，期供圖書館先進與同道參考。

## 貳、3D 列印之發展

3D（3 dimensions）又稱三維，也就是由長（X 軸）、寬（Y 軸）、高（Z 軸）三個維度所構成的空間。在傳統的平面印表機中，噴頭的左右移動可視為 X 軸，紙張輸出可視為 Y 軸，印表機將油墨或碳粉噴印在紙張上，產出 2D 平面列印結果。而 3D 列印則是增加了上下移動的 Z 軸，利用「多層堆疊列印」技術將特殊材料一層一層堆積塑型，印出實體物件（R.F.，2014）。

3D 列印所採取的多層堆疊列印方式，又可稱為「積層製造」或「加法製造」模式（additive manufacturing），與傳統製造業的「減法製造」模式（subtractive manufacturing）相對。所謂減法製造，是以切、削、磨等工法將原始材料不需要的部位去除，換句話說，減法製造在製造過程中，一定會造成材料的浪費；而加法製造則不會浪費材料，投入的物料與最後成形的產品是相等的，而且只要能畫得出 3D 圖形，通常都能印製成型。雖然加法製造仍會因製程或良率的問題，有材料耗損的可能，但設計師比較不必遷就傳統工法限制，不開模即能製造產品，較能充分落實原始設計理念，對研發與創意實踐均有助益（林世建，2013；劉嘉惠，2013）。

就技術史而言，3D 列印是快速成型技術（rapid prototyping）的一環。快速成型的基本工作原理類似於數學上的積分過程，也就是「分層製造、逐層疊加」（林世健，2013）。快速成型技術行之多年，最早能夠追溯到 1980 年，直到 2009 年，美國材料試驗協會

airiti



（American Society for Testing and Materials, ASTM）才將其正名為積層製造（林世建，2013；林鼎勝，2014）。1980 年，日本的小玉秀男提出兩種利用光固化高分子的快速成型專利申請，然而他未能如期繳交完整專利說明書，因而導致專利申請未通過（郭少豪、呂振，2014；開源科技有限公司，2015）。最早獲得通過快速成型技術專利，應是 1986 年由 Charles W. Hull 所提出的光固化立體成型技術（stereolithography apparatus, SLA；陳士凱、程晨、杜洋、王正，2014；開源科技有限公司，2015），他也隨即創立了 3D Systems 公司，並研發出 STL 檔案格式（這個格式後來變成快速成型技術之工業標準，目前是許多 3D 列印的 CAD/CAM 軟體都通用的檔案格式）。同年，3D Systems 也推出了第一台利用 SLA 技術的商用印表機 SLA-250，當年的機器體積巨大且價格昂貴，但它的誕生也代表著快速成型技術商業化的起步（郭少豪、呂振，2014）。

1987 年，Carl Deckard 提出選擇性雷射燒結技術（selective laser sintering, SLS）專利申請，並於 1989 年獲准通過，最後專利權由 3D Systems 公司取得。1989 年，Scott Crump 提出熔融沈積成型技術（fused deposition modeling, FDM），並成立 Stratasys 公司（陳士凱等，2014；郭少豪、呂振，2014；開源科技有限公司，2015）。同年，德國的 Hans Langer 創建了 EOS 公司，該公司主要專注於雷射燒結成型技術（laser sintering）以及直接金屬雷射燒結（direct metal laser sintering）技術（開源科技有限公司，2015）。

1995 年，麻省理工學院的 Tim Anderson 與 Jim Bredit 在噴墨印表機上增加一個 Z 軸，使墨水能夠噴印在一層層的粉末上，於是「3D 列印」這個新名詞即產生了，並獲得專利，「3D 列印」也逐漸取代「快速成型技術」這個名詞。Tim Anderson 與 Jim Bredit 於 1997 年也創立了 Z Corporation，但最終於 2012 年被 3D Systems 收購（陳士凱等，2014）。Z Corporation 在 2005 年時推出了第一台高精度彩色 3D 印表機 Spectrum Z510，讓 3D 列印走進了彩色時代（郭少豪、呂振，2014）。

近年 3D 列印的崛起，其中一個重要促因，是因為相關專利紛紛到期，技術解禁；另一個重要推手則是英國的 Adrian Bowyer，他在 2004 年發起 RepRap 專案計畫，這項計畫首先運用熔融沈積成型技術設計了多款以塑料成型的桌上型 3D 印表機，並將所有軟體與硬體相關技術，全部以自由開放軟體的授權方式公布在網站上，為新一輪的 3D 列印掀起浪潮（開源科技有限公司，2015）。2007 年，Shapways 正式成立，建立起一個規模龐大的 3D 列印設計線上交易平台，為用戶提供個性化 3D 列印服務，同時也提供線上教學，推廣 3D 列印並協助使用者解決各種 3D 軟體所產生的問題（林世建，2013）。2009 年，Bre Pettis 創立了 Makerbot，也繼承了前述 RepRap 開放精神，以製造消費者專用的桌上型 3D 列印

airiti



設備聞名（該公司於 2013 年被 Stratasys 收購；R.F.，2014；郭少豪、呂振，2014）。在上述推力之下，原本動輒數百數千萬的 3D 印表機，在短短的幾年內，售價便急劇下降。目前，人們甚至可以自製一台以塑膠材料製成，且品質尚可的桌上型機種。工業設計界將 3D 列印視為新一波「文藝復興運動」的推手；知名的《經濟學人》雜誌更將 3D 列印的發展視為第三次工業革命，也就是「製造數位化」(“The third industrial revolutionary”, 2012)。

## 參、3D 列印現行技術概況

3D 列印成型的過程包含三個步驟，分別是：(1)利用 3D 軟體建模，一般輸出為 STL 檔案；(2)經由切片軟體將 STL 檔轉為 Gcode 檔；(3)將 Gcode 檔輸入印表機開始印製（chiayingt，2013）。首先，使用者先透過電腦輔助設計軟體（CAD）來進行產品設計，做出 3D 模型圖檔。電腦輔助設計軟體簡單來說就是 3D 繪圖軟體，工業應用上大多使用如 AutoCAD、Tinkercad，而一般消費者、個人工作室則會偏向容易取用、免費或者是較易上手的 3D 製圖軟體如 SketchUp、DesignSpark 等，也可以利用 3D 掃描儀對現成的實體物品進行掃描，取得數位化的 3D 模型圖檔。各家廠商的繪圖軟體幾乎都有自己的檔案格式，但目前最通用的 3D 模型圖檔格式還是前述由 3D Systems 開發出的 STL 檔案格式。再來，使用者以專用的切片軟體，將 3D 模型的 STL 圖檔進行分析切層，並轉換成 Gcode，所謂 Gcode 就是數值控制（numerical control, NC）機械所使用的指令，指令碼裡頭通常包含了每一層截面的 XY 座標、機器印製速度、每層面 Z 軸的高度、填充密度、溫度以及其他各種相關控制資訊等。最後，將 Gcode 直接輸出給 3D 列印機執行列印，即可期待物件成型（林鼎勝，2014；開源科技有限公司，2015）。

3D 軟體大致可分為三大類，使用者依不同目的選擇。首先，最專業的是 CAD（computer-aided design）軟體，採「參數式建模」，透過主動維持參數間關聯性的建模流程進行產品開發，將外型設計、結構設計或其他物理性分析等複雜流程數位化，提升工作效率，通常使用於電子、機械等相關產業，以 POR-E、Solidworks 等為代表；再來是 CAID（computer-aided industrial design）軟體，它與 CAD 不同的地方在於其本質是繪圖工具，也沒有多種模擬分析的功能，然而 CAID 與 CAD 其實是能相互配合的軟體，通常，產品設計師會先以 CAID 來做產品的造型設計圖，再讓工程師以 CAD 進行模具設計與模擬分析，這類軟體以 Alias 或 Rhino 為代表。最後一種是 Polygon，又稱為「多邊形建模」，相對於前兩者用於產品輸出，Polygon 通常被使用於動畫，由於 Polygon 軟體所建立的物件（polygon mesh, 網格物件）與其他類型 3D 軟體在數據格式上有所不同，所以如果沒有打

airiti



算印出實物的狀況，通常較不會採用這種類型軟體來進行 3D 列印的設計（一人設計學院，2013；科技部積層製造跨領域專案計畫，2017）。

在列印技術方面，目前，市面上的 3D 印表機有各種不同的列印成型技術，主要差異是在於其使用材料與物件塑型的方式。林建翰（2014）將各類成型技術歸納成三大類：光照射法、黏合成型法以及複合成型法，本文介紹目前較常見且運用較廣的光照射法以及黏合成型法。光照射法包含光固化立體造型、數位光固化處理、選擇性雷射燒結以及層壓實體製造；黏合成型法則包括熔融沈積成形及粉床噴墨 3D 列印。以下介紹各種成型技術。

## 一、光照射法

### （一）光固化立體造型（stereolithography apparatus, SLA）

SLA 技術以光敏樹脂的聚合反應為基礎，利用電腦控制或光投射裝置（反射鏡以及角度調整器），將紫外線雷射投射在液態樹脂上，進行逐點掃描，使得被掃描到的液態樹脂薄層產生聚合反應，形成固化截面，而未被雷射掃描的樹脂會繼續保持液態。當一層截面固化完成，Z 軸升降工作台往下移一層截面厚度，此時，前一層已經固化的樹脂，表面上即會再覆蓋一層新的液態樹脂，再次以紫外線雷射，新固化的一層會緊密黏合在前一層上。如此反覆重複步驟，直到物件完整成型為止，如圖 1 所示（林建翰，2014；開源科技有限公司，2015）。

SLA 被業界認為是全世界第一種被實際廣泛應用的 3D 列印成型工藝，也是率先被商用化應用的技術（3D Printing Industry, 2016）。SLA 在技術特色上，由於雷射聚焦點面積小，故成像精確；然而也因為雷射聚焦點小，導致累加面積小，成型速度也會比較慢（林建翰，2014）。相對於後文將會介紹的另一種主流列印方法，熔融沈積成型的 FDM 技術，SLA 可塑造解析度高、造型繁複細緻、且表面較平坦精細的成品，避免 FDM 可能會出現的精度較低、平面不夠精準、層積堆疊吻合度不佳或移位、底部凹陷等問題（ALL3DP, 2015），SLA 相對較適合對精度要求較高、結構複雜的工業應用（實驗室 071，2013）。Formlabs 所製造的 Form 1 為第一台消費級 SLA 技術的印表機，其可以列印出 FDM 印表機所不能完成的幾何圖樣成品，在外型和觀感上也較使用 FDM 技術產出的成品完整。此外，Form 1 的售價便宜且其所使用的材料價錢在近年來越漸下降，是一般圖書館所能承擔的價位，因此在未來很可能通用於各圖書館中（Griffey, 2014）。

airiti



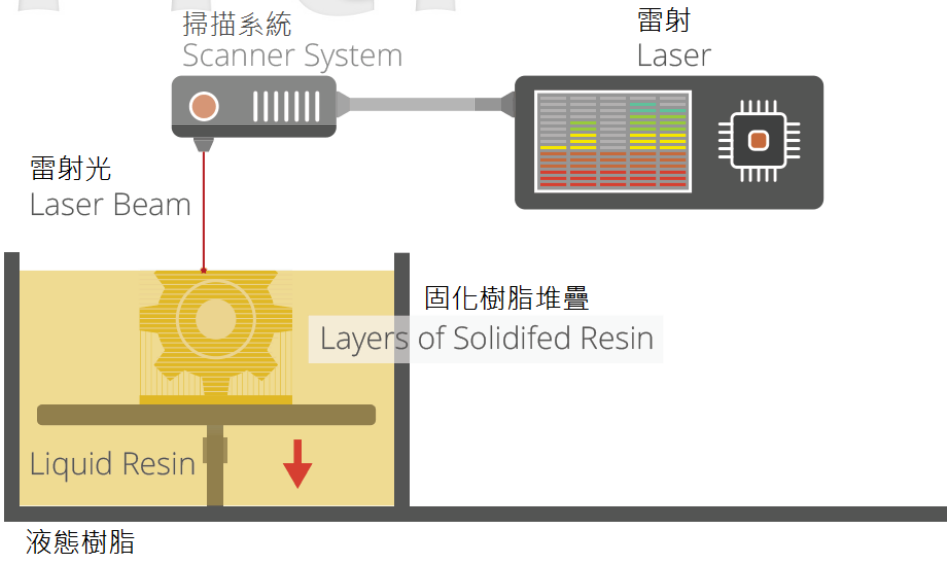


圖 1　光固化立體造型示意圖

資料來源：翻譯自 *The Free Beginner's Guide: 3D Printing Processes*, by 3D Printing Industry, 2016, Retrived from https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide

### （二）數位光固化處理（digital light processing, DLP）

DLP 與 SLA 原理類似，同樣是利用光投射在光敏樹脂，但 DLP 在列印過程中，是將成型物件逐層往上拉，逐層排掉液態光敏樹脂；而 SLA 則是逐漸下降，成型物件會泡在液態光敏樹脂中。由於 DLP 以逐層拉高來排掉光敏樹脂，所以進行列印時只要準備淺槽的液態光敏樹脂即可，可減少材料耗費。其掃描品質與 SLA 近似，但速度可以更快（3D Printing Industry, 2016）。

兩者使用的光源與照射方式也不同：SLA 採用雷射光束直接在材料表面進行掃描，DLP 則使用普通光源，配合液晶顯示螢幕或可調變聚焦的投影裝置，將 3D 模型圖經分析切層後所形成的 2D 圖案照射在光敏聚合物上，一層照完後，就將已固化的部分拉高一層，然後再次照射下一層，反覆動作直到物件成型，如圖 2 所示（開源科技有限公司，2015）。

airiti



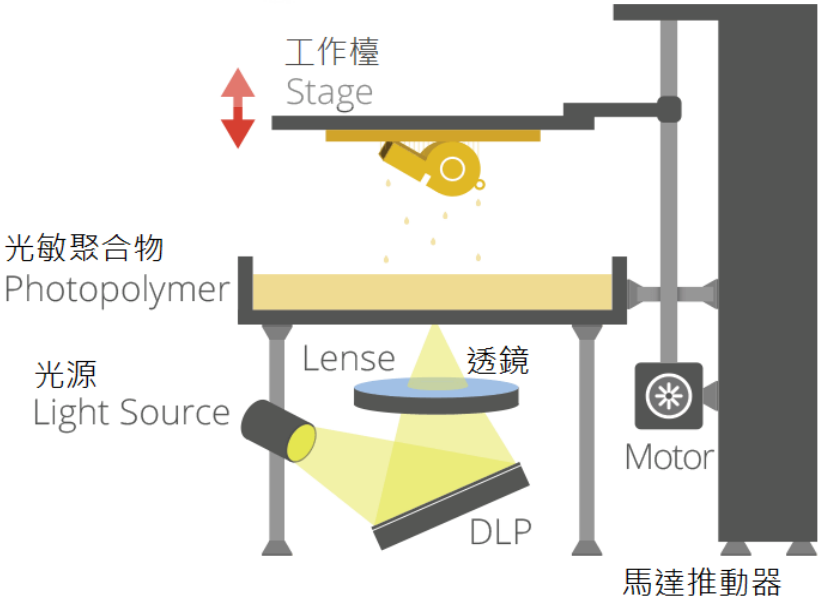


圖 2　數位光固化處理示意圖

資料來源：翻譯自 *The Free Beginner's Guide: 3D Printing Processes*, by 3D Printing Industry, 2016, Retrived from https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide

### （三）選擇性雷射燒結（selective laser sintering, SLS）

SLS 又稱雷射燒熔法（laser melting；3D Printing Industry, 2016），運作大致與 SLA 相似，差異處在以粉末來取代高分子液體（林建翰，2014）。在固化時也採用雷射光束，使塑料、蠟、陶瓷、金屬等製成的複合粉末，在平台上逐層掃描需要成型的部分。製程上，先在加工平台上均勻鋪上一層很薄的複合材料粉末，經過雷射的粉末會燒結黏著聚集成塊，而未被雷射掃描處則保持鬆散的粉末狀。一層掃瞄完畢後，根據物體截面厚度升降 Z 軸工作台，撲粉滾筒再次將粉末鋪平，繼續雷射掃描，反覆上述動作直至物件成型。成型後去掉多餘粉末並進行打磨與烘乾等後製處理，即獲得成型產品，如圖 3 所示（開源科技有限公司，2015）。

SLS 粉末燒結成塊時會不平整，無法如 SLA 一般產出平滑精細的外觀，故大多成品仍需經過手工拋光（陳士凱等，2014）。另外，粉末溫度需維持在容易直接燒結的程度，故須將粉末加熱到接近熔點，此一步驟較為費時，為其缺點（林建翰，2014）。

airiti



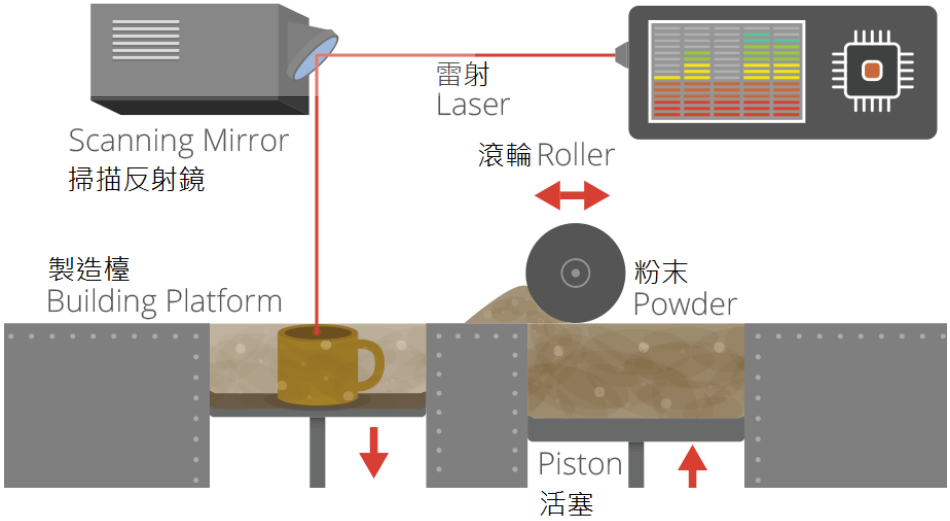


圖 3　選擇性雷射燒結示意圖

資料來源：翻譯自 *The Free Beginner's Guide: 3D Printing Processes*, by 3D Printing Industry, 2016, Retrived from https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide

### （四）層壓實體製造（laminated object manufacturing, LOM）

LOM 是利用單面塗有熱熔膠的箔材如紙張、塑膠膜、陶瓷箔、金屬箔等，熱熔膠在加熱狀態下可產生黏性，透過熱輥加熱黏合。切割器對箔材進行切割，以可升降的平台來支撐成型的物件，再利用熱輥加熱將切割好的箔材堆疊黏合，並在每一層成型之後降低一個箔材厚度以便送進新一層的箔材，然後反覆上述步驟直到物件成型，如圖 4 所示（林世建，2013；郭少豪、呂振，2014；開源科技有限公司，2015）。

LOM 製程適合大尺寸列印物體的成型，成型過程中無需設定支撐結構。儘管如此，由於 LOM 技術材料浪費嚴重，隨著新技術的發展，LOM 技術將有可能被逐漸淘汰（郭少豪、呂振，2014）。Mcor 所出產之 Technologies IRIS 是 LOM 技術的印表機代表，但一台要價將近 35,000 美元，雖成品牢固、高品質且全彩，目前仍無法為一般業者或圖書館所負擔。假如 LOM 列印機的價錢能夠下降，此款機型才可能為圖書館所考慮（Griffey, 2014）。

airiti



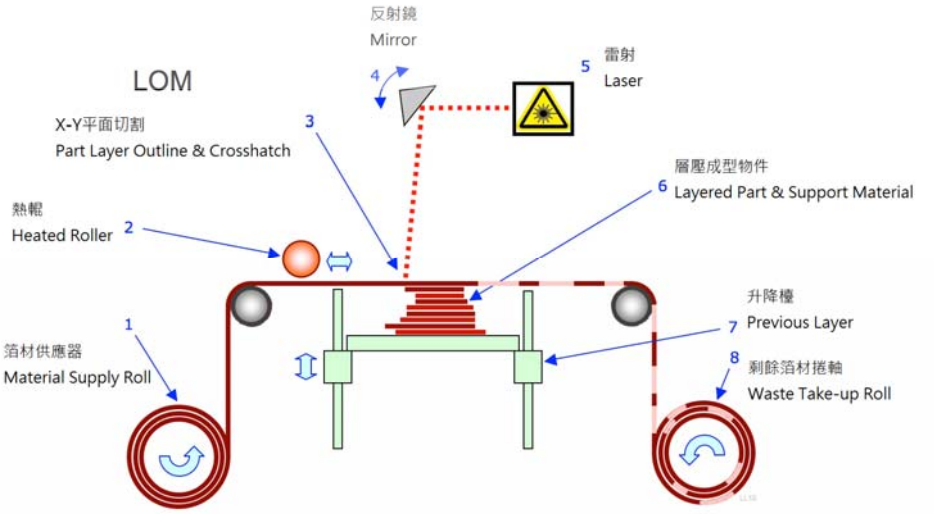


圖 4　層壓實體製造示意圖

資料來源：翻譯自 *Laminated Object Manufacturing (LOM)*, CustomPartNet, 2009, Retrieved from http://www.custompartnet.com/wu/laminated-object-manufacturing；*Laminated Object Manufacturing*, Wikimedia Commons, 2014, Retrieved from https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laminated_object_manufacturing.png

## 二、黏合成型法

### （一）熔融沈積成型（fused deposition modeling, FDM）

FDM 黏合成型法也稱為熔絲成型（fused filament modeling, FFM）或熔絲製造法（fused filament fabrication, FFF），會有不同名稱是為了避開 FDM 專利問題，但核心技術原理與應用是相同的（R.F.，2014；開源科技有限公司，2015）。FDM 所採用的材料以熱塑性材料為主，如 ABS 樹脂、PLA 聚乳酸、尼龍或蠟等，透過熱噴頭，將材料加熱至半流體狀態並擠壓出來，材料凝固後形成薄層。當一層印製完畢之後，透過 Z 軸垂直上升或下降，再塗下一層。如此堆積黏結後形成 3D 實體成品，如圖 5 所示（開源科技有限公司，2015）。

這種方法也是目前市面上最廣為流行的，一般平價 3D 列印機種大多採用這一種技術（林鼎勝，2014）。Griffey（2014）建議，圖書館如欲採購 FDM 的 3D 印表機，可考慮 MakerBot Replicator Mini、Replicator（5th Generation）以及 Replicator Z18，三款機型隨著功能、尺寸不同，價錢也不同，落在 1,375 美元至 6,499 美元之間。其中，MakerBot 用戶

airiti



數量龐大，提供支援服務且機器本身穩定堅固，但缺點是無法使用開源軟體。若想採買使用開源軟體的機型，作者則推薦 LulzBot 的 TAZ 3，從軟體到硬體都採開放共享的開發模式，價錢現為 2,149 美元，然其缺點是開放性的列印平臺，會導致列印溫度難以控制，進而影響成品的穩定度。

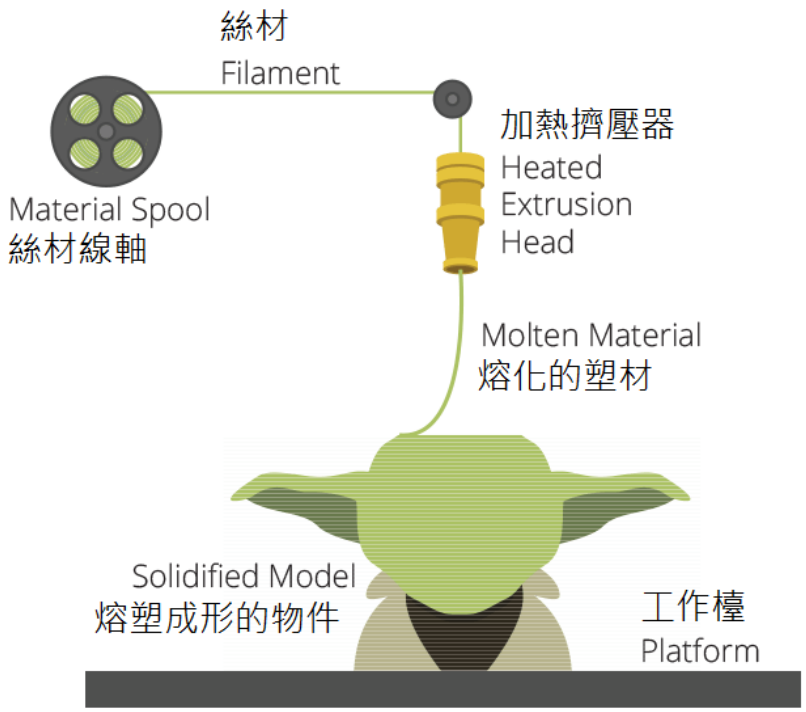


圖 5 熔融沈積成型示意圖

資料來源：翻譯自 *The Free Beginner's Guide: 3D Printing Processes*, by 3D Printing Industry, 2016, Retrived from https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide

### （二）粉床噴墨 3D 列印（powder bed and inkjet head 3D printing）

又稱為石膏基底列印（plaster based 3D printing）。首先，在平台上鋪上一層粉末，如：石膏、陶瓷、金屬、塑膠等，噴頭按照預定印製的物件輪廓形狀，噴出黏著劑於粉末上，將各截面黏在一起，然後重複上述動作直到物件成型，成形後將多餘粉末除去即可，如圖 6 所示。這種成型方式類似噴墨印表機，能在粉末上噴出彩色黏著劑，因此成型後物件可

airiti



以帶有顏色，僅需在後製處理時，於表面塗上透明保護漆封住表層即可（郭少豪、呂振，2014；開源科技有限公司，2015）。

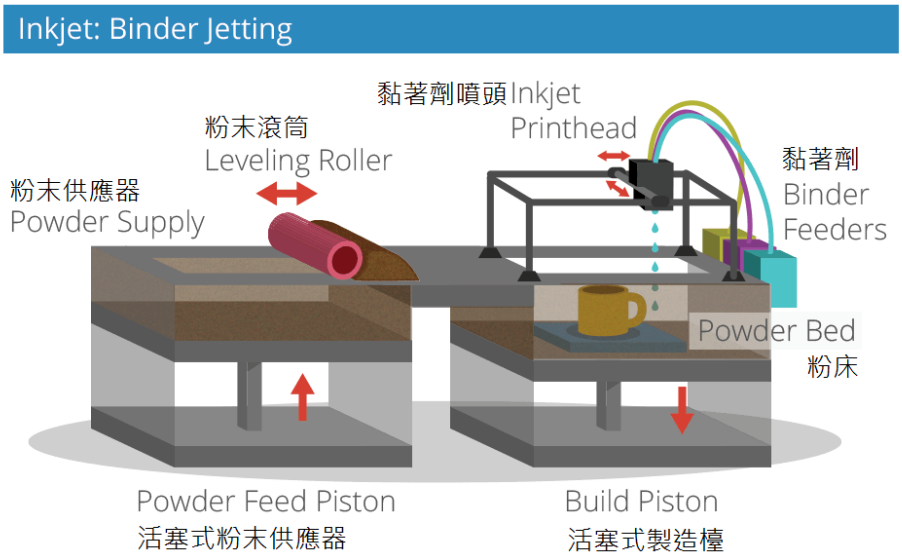


圖 6 粉床噴墨 3D 列印示意圖

資料來源：翻譯自 *The Free Beginner's Guide: 3D Printing Processes*, by 3D Printing Industry, 2016, Retrived from https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide

## 肆、3D 列印之應用

許多國家將 3D 列印視為未來十年國家產業重點推動項目，例如：美國在總統歐巴馬推動下，投資 10 億美元建立 15 家製造業創新研究所，其中第一個研究所即專注於研發 3D 列印，強調 3D 列印是未來領導全球生產與製造業的技術革新；日本經產省在 2013 年 2 月也公布「融合新產業創出動向調查計畫」，提出 B2C（business to customer）產品製造商結合社群媒體的產業理念，以社群媒體蒐集使用者使用行為與偏好等資料，進行產品雛型設計與開發，並用 3D 列印技術製作產品模型等；中國的 3D 列印發展則從 1990 年代開始起步，是世界上較早開始自主研發 3D 列印技術的國家，目前已建造出全球最大的 3D 印表機，及數種能夠列印鈦合金結構（包括使用於衛星、火箭及核電廠的零件）的大型工業 3D 印表機；新加坡政府在 2013 年財政預算案中，宣布計畫在五年內投資五億美元，

airiti



協助製造業發展 3D 列印技術，提高技術水準，並發展 3D 列印技術和機器人技術等新型態商業模式，期能打造出一個全新的 3D 列印產業生態體系，特別希望鎖定醫療、建築專業領域，進行生物列印和 3D 列印建築的研發；南韓則希望在 2020 年培養出 1,000 萬個瞭解 3D 列印的創意人，帶動 3D 列印內容產業，南韓政府目前從企業、民眾與人才三方面著手，例如於營業場所示範 3D 列印技術、創造 3D 列印需求、讓中小企業舉辦試製品活動等，使中小企業體會導入 3D 列印的必要性（3D 列印產業發展，2014）。

目前 3D 列印廣泛應用於工業、製造、生醫與教育領域，3D 列印服務的應用型態，也可分為客製化製造服務、線上製造服務及量產創造服務等三大型態：

## 一、客製化製造服務

此類服務係利用 3D 列印技術提供專業的機器零件或客製化產品。例如，在教育領域，廠商已可利用 3D 印表機製出各種自然科學教具，如高度仿真的青蛙解剖實體模型、物質分子結構式的 3D 模型等（林鼎勝，2014）。3D 列印更可製造汽車或航太產業所需零件，2010 年，世界第一輛使用 3D 列印技術的油電混合汽車 Urbee 問世，其底盤為不銹鋼製成，但車身與車窗等所有外部零件均是透過大型 3D 列印設備生產的，其時速可高達 113 公里，且經評估，其使用時間可達 30 年之久。此外，國際知名運動品牌如 Nike 與 Adidas，也都已投入 3D 列印製鞋技術，希望能藉以生產出高度客製化的商品（邱昱凱，2016）。

3D 列印在生醫領域也有廣泛的運用，目前，3D 列印在醫學上的實際應用有四種形式：（1）製造手術前的輔助模型：針對較複雜或高風險手術，臨床醫師先透過 3D 列印技術，於實際手術前製作等比例的病患組織模型，以規劃手術進行步驟；（2）客製化植體之模具開發；（3）體外機械輔具之製造；（4）客製化體內植體製造，例如列印出符合病患需求的頭蓋骨植體（葉錫誼，2014）。從上述應用可知，3D 列印的塑材已經超越傳統塑料，可進行生物列印，例如，在生醫領域，位於美國聖地牙哥的 Organovo 公司，在 2009 年即開發出商用 3D 器官印表機 NovoGen 3D，這個印表機的塑材是從病患身上取得的細胞培養出來的「細胞液」及「水凝膠」（hydrogel），透過 3D 塑型與細胞培養技術，成功列印出皮膚、肌肉、血管等簡單的組織，且經過改良後能列印出縮小版的肝臟（連以婷，2013）。

在食品科技方面，3D 列印也可以食材為塑料，製造成型的食品，例如英國在 2011 年就已研發出第一台 3D 巧克力印表機；而 2013 年 12 月，西班牙正式推出能即時印製食品的 Foodini 印表機，該機器具有五個噴嘴，可噴出不同食材，印製出漢堡或比薩等製造手續較為簡單的食物（邱昱凱，2016）。目前，3D 列印已經能成功列印糖果（巧克力、杏仁

airiti



糖、口香糖、軟糖、果凍）、烘焙食品（餅乾、蛋糕、甜點）、零食（薯片、小吃）、蔬果產品（水果泥、水果汁、蔬菜水果果凍或凝膠）、肉製品（肉醬和肉類品）或奶製品（奶酪或酸奶）等類型食品（楊國力，2015）。

## 二、線上代印或整體服務方案

另一種 3D 商業服務模式則是透過雲端科技，為不具備 3D 列印設備的客戶提供代印或 3D 列印整體方案服務，包含媒合 3D 設計師與需要客製化產品的客人。例如 3D Systems 公司有對客戶提供「一站購足式」的 3D 列印服務方案，從硬體、軟體、材料、工藝、教育培訓和應用支援等，均可支援客戶需求。2012 年，3D Systems 更推出一款名為 Cube 的新型印表機，主打日常消費市場，該印表機內建程式中預裝了大量的公版 3D 物品設計圖，使顧客無需學習複雜的 3D 設計軟體，便可直接列印所需物品。另一家知名公司 Shapeways 除提供專業代製服務外，也建立媒合平台，透過網路社群交流及線上教學指導，來解決使用者操作不同 3D 軟體所產生的問題，此外也與行動商務結合，藉以發展創新的 3D 列印服務模式，例如，設計師可在產品雛形的設計與 3D 列印中，隨時參考用戶的回饋，進行產品修正（林世健，2013）。

## 三、線上募集量產製造服務

另一種 3D 商業服務模式則結合群眾募資或線上投票機制，將具有銷售潛力的 3D 列印產品轉化為大量生產商品。以 ALT 設計工作室為例，該公司先透過 ATOM 3D 印表機來製造高品質的物件，然後再透過群眾募資平台測試產品大量製造與銷售的可能性，如果募資成功，即可開模量化生產。另一家名為 Quirky 的公司則提供產品創意設計平台，設計師可在平台上展示作品，使用者也可以在網站上提出產品需求或設計的點子，公布出來的產品由大眾評分，在群眾智慧的基礎上，另協同產業專家挑出最佳創意，後續再由公司投入資源，將設計理念化做實踐，以 3D 列印或開模方式製造販售（張倚瑄，2014）。

# 伍、3D 列印與圖書館

3D 列印服務對不同類型圖書館有不同的用途，也有不同助益。對於公共圖書館而言，3D 列印與近年「自造者空間」（makerspace）的興起，關聯甚鉅，這個新興詞彙是結合 hackerspace 和 Maker Faire 而來，hackerspace 原指擁有共同興趣的社群以團體運作方式工作的空間，而 Maker Faire 則是由《Make Magazine》創建的工作平台，Maker 也就是創作

airiti



者，可以在這個空間展示、分享個人於不同領域的所做所學，並與其他創作者互動交流（Maker Faire Taipei，2015）。綜合了 hackerspace 與 Maker Faire 的意義，自造者空間即是指人人都可以用來從事設計和工作的開放式空間，具有共同喜好的人在這裡利用科技設備創造新事物（Bagley, 2012）。

隨著 3D 列印硬體設備價格逐漸下降，普羅大眾對 3D 列印服務的關注度及興趣也隨之增長，公共圖書館作為新知傳播與科技推廣的社會機構，亦開始引進 3D 列印設備與服務，打造自造者空間。自造者空間擴充傳統公共圖書館的功能，集學習、討論與創意於一身，並輔以圖書館原有的豐富資訊資源，協助使用者進行學習與創造活動，創意資源與技術相輔相成，更能充分體現圖書館的價值，並能透過群體協作或分享的力量來幫助個別使用者。紐約 Fayetteville Free Library 是第一個正式成立自造者空間的公共圖書館，它將自造者空間和 Creation Lab 相互結合，開放式的提供數位化設備、3D 列印機等，讓使用者在「玩」中學習，並承辦了許多教育學習的資源，讓使用者不僅僅是資訊的消費者，更是資訊的創作者（Library As Incubator Project, 2012）。

繼公共圖書館之後，學校圖書館也開始引進此機制，讓自造者空間豐富學習效能，也對各個領域學習者提供多元的材料與技術，學生與教職員也可以一起分享知識，拓展並學習新技能。此外，公共圖書館與學校圖書館在 3D 列印服務上，除了提供空間與設備之外，也因使用族群年齡分布廣，經驗差異大，故另一服務重點是對不同族群如兒童、青少年、教師或自造者等提供 3D 列印的課程教學與訓練，例如，學校圖書館可針對兒童及青少年開設教學專班，以較淺顯易懂的課程內容，讓其能擁有對 3D 列印的初步認識；公共圖書館則可針對有列印需求的成人民眾提供基礎與進階的技術訓練。臺灣的新北市立圖書館也曾舉辦 3D 列印教師研習活動，教導使用者快速產生 3D 模型的技巧，曾經開設的課程包括：3D 列印案例影片分享、無痛 2D 圖轉 3D 模型、3D Tinker 不求人、人像浮雕杯子列印實戰等，並支援學校教學課程，協助教師教授學生相關知識，推廣 3D 列印科技（新北市立圖書館，2015）。

在大學圖書館與專門圖書館方面，圖書館的 3D 列印服務比較偏重在支援教學、研究與產業發展。大學圖書館的 3D 列印服務包含對使用者的實務教學，例如指導使用者安全地使用圖書館所採購的 3D 印表機機型、收集並媒介各種線上資源等，舉例來說，國立交通大學圖書館即有提供線上教學影片，也創建社群網站供使用者自行學習（國立交通大學圖書館，2015）。國外大學圖書館如多倫多大學，有提供 3D 列印網站，介紹 3D 列印的概念與技術，並建構相關館藏資源及線上資源，讓潛在使用者能自主學習，而其開設課程也

airiti



囊括使用環境的安全訓練，另有推出工作坊，介紹 3D 列印機種及免費模型設計軟體等（University of Toronto, 2015）。

至於專門圖書館方面，主要服務在於提供產業製造範本並加以應用，例如醫學圖書館內部的 3D 列印器材，可以製作醫療儀器及模型，提供教育的支持（National Institutes of Health Library, 2015）。Colegrove（2014）指出，高等教育的核心在 20 年之內將從教學移轉至學習，圖書館的角色也將從強調大量保存紙本資源，轉成為知識生產的支持者，3D 列印服務能夠對催化組織以及跨學科的創新學習有顯著的作用。圖書館扮演分享知識的角色，3D 列印服務的開放，可以讓不同學習領域的師生參與，提升創意、培養教育文化。另一方面，校園中 3D 列印的成本也較低廉，提升大眾使用的意願，也讓 3D 列印技術的傳播和推廣更加快速和廣泛。

## 陸、討論與結論

本文對 3D 列印的基本概念、發展概況與技術模式進行概覽，「加法製造」與「快速成形」的概念是 3D 列印的核心，利用多層堆疊技術，使特殊塑材能層層堆積成形，在商業、教育與科研領域，均已見活絡且具創意的運用。作為一種嶄新且深具潛力的科技，3D 列印也仍有一定的限制，例如：3D 列印雖然深具製造彈性，但立體印製仍相對繁瑣費工，且快速成型的表面常會出現類似於等高線的紋路，相對於傳統製造，細緻度或精密度仍有所不及（林世健，2013）；且不同產品所需要的塑材強度不同，現階段除部分金屬粉末塑材外，塑材強度仍有待提升（林鼎勝，2014）。再者，3D 列印設備雖然價格已大幅下降，但各種廠牌的 3D 印表機在性能、信賴度、價格與方便性上，可能還未達到親和的程度，仍有待觀望（邱昱凱，2016）。

不過，就技術發展趨勢來看，許多與 3D 列印相關的專利權在 2014 年就已到期（林鼎勝，2014），而因專利權到期，釋放競爭空間，許多技術在短短兩年內就已有大幅進展，例如 Sulpteo（2016）便指出，由於 SLA 專利權的到期，市面上各種新興技術與 SLA 機種扶搖直上，價格變得非常有競爭力。此外，許多創新與突破的發展也持續在發生，例如，以金屬為主要塑材的列印技術如 SLM（selective laser melting）與 DMLS（direct metal laser sintering）已經步入實用，開始運用在競技賽車、飛機、或太空船的零件客製化製造上；新穎的 3D 列印塑材也不斷在研發中，例如環保材質（eco-friendly materials）、玻璃等。新的製程也不斷在創新突破，例如位於阿布達比的 Masdar Institute of Science and Technology 已發展出一種新的 3D 列印技術，能印出非常堅固的結構發泡體（architectural foam），這

airiti



種新興的輕量材料，可以用在太空科技、醫療或汽車工業的製造上；而波音公司（Boeing）也開發出了一項專利技術，利用磁浮技術讓物件在半空懸浮的狀態下，由好幾台列印機同時噴射塑型，可從各個維度更彈性地列印。Krassenstein（2015）認為 2017 年是 3D 列印的關鍵突破年，他認為惠普公司（HP）在該年以 Multi-Jet Fusion 技術加入 3D 列印市場競爭，伴隨著其他競爭技術如高速成型（high speed sintering, HSS）的技術突破，會帶動整體技術發展，3D 列印的速度與塑材都會變遷更快速。

另一方面，3D 列印作為一種物件生產方式，也會對產業的生產模式及其他衍生問題構成挑戰。例如，未來或許透過 3D 列印技術，製造者可彈性印製整體產品或產品部分所需零件，產品週期可能會變得更短，產業的製造策略與生產線配置，也必須考量傳統製造與 3D 列印的搭配運用來調整策略（張倚瑄，2014）；另一方面，也有人質疑 3D 列印帶來的環保問題，因為 3D 列印多以塑膠或對人體可能有害的粉末為主要塑材，這對環境將造成負擔或汙染（張倚瑄，2014）。此外，3D 列印也會引發法律問題，例如智慧財產權問題（例如印製的產品侵犯了他人的著作權）或治安問題（使用 3D 列印技術印製非法或具有危險性的物品等）（林鼎盛，2014），前述的 3D 生物列印如器官印製，也會帶來道德隱憂甚或器官捐贈制度的矛盾，一方面，生物列印似可解決器官短缺的問題，但另一方面，生物列印的出現，也可能導致人們的器官捐贈意願下降，反而造成未來人體器官捐贈的隱憂等（張倚瑄，2014）。

對圖書館而言，如 Griffey（2012）指出：「民主」向為圖書館工作的核心價值，充分且公平的知識與資源取用，向來是圖書館服務的最高指導原則。過去，圖書館典藏的書籍與資訊資源支援人們在資訊上的民主；網際網路的出現與應用，則促成了思想交流上的自由；如今，3D 列印的導入與應用，則賦予每個人創作實踐上的民主與平等。3D 列印與自造者空間的發展，吻合圖書館一直以來所追求的核心價值，值得現代圖書館重視。然在拓展 3D 列印服務版圖時，圖書館也應注意 3D 列印之倫理及智慧財產權議題，3D 列印相關的著作權爭議，容易發生在「列印設計圖」及「成品」這兩大部分（張倚瑄，2014），例如近年有遊戲迷或影迷自行將電影角色利用 3D 列印技術設計成公仔玩偶或道具等，這些都可能侵犯擁有作品版權的公司之權利，圖書館宜重視對自造者的智慧財產權觀念宣導，也可以收集並推廣各種共創共用之共享資源（如創用 CC 模式的創作素材），此外，也宜訂定妥善的 3D 列印與自造者空間服務管理政策，正面促成創意實踐並同時避免此類服務淪為侵權的推手。

除了重視智慧財產權的保護之外，圖書館的自造者空間也需要提供給使用者操作機器

airiti



的教育服務。如前所述，3D 列印的過程其實牽涉到利用 3D 軟體建模、使用切片軟體將 STL 檔轉為 Gcode 檔、其後才是將 Gcode 檔傳送至印表機開始印製（chiayingt，2013），過程中，館員往往需要從旁給使用者流程上的協助與諮詢，因此，館員必須具備操作繪圖軟體、切片軟體與印表機設備之能力。在軟體的選購上，圖書館的 3D 軟體究竟應選擇 CAD 或 CAID，應視服務宗旨及主要使用群的需求與能力來決定，目前也有許多開源或使用者友善的 3D 繪圖軟體，圖書館可視其與硬體設備之相容性，決定以何種軟體及輔助教育，幫助使用者在自造者空間中盡情揮灑創意。

（收稿日期：2017 年 4 月 11 日）

## 誌謝

作者感謝 3D Printing Industry 公司（http://3dprintingindustry.com/）授權本文使用該公司網站之 3D 列印示意圖。

## 參考文獻

*3D 列印產業發展*（2014）。檢自 http://www.taiwanjobs.gov.tw/internet/index/docDetail_frame.aspx?uid=1590&pid=230&docid=27734&nohotkey=Y

chiayingt（2013）。*[簡易操作分享] 3D 印表機*。檢自 http://www.mobile01.com/topicdetail.php?f=368&t=3160393

Maker Faire Taipei（2015）。*Maker Faire 簡介*。檢自 http://www.makerfaire.com.tw/maker-faire.html

R.F.（2014）。*3D 印表機的 7 大成型技術，材質與固化方式你知道多少？*檢自 http://www.techbang.com/posts/18161-3d-printer-technology-talk

一人設計學院（2013）。*我應該學習或使用哪一套 3D 軟體？*檢自 http://blog.sina.com.cn/s/blog_798bec050101hv3b.html

林世健（2013）。雲端印刷的創新應用-3D 列印。*中華印刷科技年報，2013*(6)，65-75。

林建翰（2014）。透視 3D 列印狂潮的走向。*光連：光電產業與技術情報，109*，24-27。檢自 http://www.pida.org.tw/optolink/optolink_pdf/1030110915.pdf

airiti



林鼎勝（2014）。3D 列印的發展現況。*科學發展，503*，32-37。

邱昱凱（2016）。*3D 列印從何出發*（未出版之碩士論文）。義守大學企業管理學系，高雄市。

科技部積層製造跨領域專案計畫網站（2017）。*3D 模型建模*。檢自 http://3dp.cs.nccu.edu.tw/3dp/index.php/about-3dp/start3dp/3dp-modeling

陳士凱、程晨、杜洋、王正（2014）。*3D 列印大未來：觀念原理 X 實戰應用*。臺北市：碁峰。

郭少豪、呂振（2014）。*3D 列印新浪潮：啟迪 3D 列印的未來*。臺北市：佳魁資訊。

國立交通大學圖書館（2015）。*3D 列印服務*。檢自 http://print3d.lib.nctu.edu.tw/

連以婷（2013）。3D 列印專題（二）—從幹細胞到頭蓋骨，3D 列印的器官製造奇想。*科技新報*。檢自 http://technews.tw/2013/05/23/3d-organ-printer/

張倚瑄（2014）。*3D 列印之發展及相關智慧財產權問題研究*（未出版之碩士論文）。國立政治大學科技管理與智慧財產研究所，臺北市。

開源科技有限公司（2015）。*3D 列印機初學教學指南*。檢自 http://www.opentech.tw/pages/documents/?/intro/index.html

新北市立圖書館（2015）。*「3D 列印新體驗」活動公告*。檢自 http://www.ntpc.gov.tw/ch/home.jsp?id=31&parentpath=0,6,27&mcustomize=activity_view.jsp&dataserno=201511060014&t=activity&mserno=201310040006

楊國力（2015）。*吃貨福音食品 3D 列印：讓我們把美食列印出來*。檢自 http://news.sina.com.tw/article/20150919/15189632.html

葉錫誼（2014）。3D 列印技術之發展現況與醫學上之應用。*當代醫藥法規月刊，45*，1-6。

實驗室 071（2013）。*主流 3D 打印技術簡介 FDM,SLA,3DP,SLS*。檢自 http://t-rm.blogspot.tw/2013/07/3d-fdmsla3dpsls.html

劉嘉惠（2013）。*3D PRINTing 引爆客製化時代*。檢自 https://www.ctimes.com.tw/mpc/2013/04/011530104860/258try.pdf?iframe=true&width=800&height=600

3D Printing Industry. (2016). *The free beginner's guide: 3D printing processes*. Retrieved from http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/processes/

ALL3DP (2015). *FDM vs SLA: 3D printing explained and compared*. Retrieved from https://all3dp.com/fdm-vs-sla/

Bagley, C. A. (2012). *What is a makerspace? Creativity in the library*. Retrieved from http://www.alatechsource.org/blog/2012/12/what-is-a-makerspace-creativity-in-the-library.html

Colegrove, P. (2014). *Making it real: 3D printing as a library service*. Retrieved from http://er.educause.edu/articles/2014/10/making-it-real-3d-printing-as-a-library-service

CustomPartNet. (2009). *Laminated object manufacturing (LOM)*. Retrieved from

airiti



http://www.custompartnet.com/wu/laminated-object-manufacturing

Griffey, J. (2012). Absolutely fabulous. *Library Technology Reports*, *48*(3), 21-24.

Griffey, J. (2014). 3-D printers for libraries. *Library Technology Reports*, *50*(5), 5-29.

Krassenstein, B. (2015). Why 2017 will be the breakout year for 3D printing technologies. *3DPrint.Com*. Retrieved from https://3dprint.com/71029/3d-printing-2017/

Library As Incubator Project. (2012). *The oh-so fabulous lab at the fayetteville free library*. Retrieved from http://www.libraryasincubatorproject.org/?p=3335

National Institutes of Health Library. (2015). *3D printing: Welcome*. Retrieved from http://nihlibrary.campusguides.com/3dprinting

Sculpteo (2016). *What are the innovations to come in 3D printing?* Retrieved from https://www.sculpteo.com/blog/2016/11/09/what-are-the-innovations-to-come-in-3d-printing/

The third industrial revolution. (2012). *The Economist*. Retrieved from http://www.economist.com/node/21553017

University of Toronto. (2015). *3D Printing @ Gerstein + MADLab: Home*. Retrieved from http://guides.library.utoronto.ca/3Dprinting

Wikimedia Commons. (2014). *Laminated object manufacturing*. Retrieved from https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laminated_object_manufacturing.png