



● 科技情報

第三次世界工業革命核心技術 —3D列印技術

提要

趙本善

- 一、3D列印（3DPrinting）技術結合數位化與無模具的大量製造方法，被譽為第三次世界工業革命，近年已受到許多歐、美、日與韓等國家的高度注視。
- 二、3D列印技術目前已廣泛應用在許多國防科技產業、消費電子產業、汽車產業、醫療服務業、教育產業、航太與機械產業等，每年商機高達數百億美元。
- 三、美國國防部與相關軍事研究單位早已積極將3D列印技術應用在許多國防科技與武器系統的研發，反觀國內相關的研究與產品開發仍處於起步的階段。
- 四、本文主要以介紹3D列印技術基本概念、加工步驟、製程方法與使用材料為主，同時也會介紹美軍目前應用的相關成果與該技術對於後勤物流的影響，以供我國未來應用在軍用與民用技術參考。

關鍵詞：3D列印、積層製造、疊層製造



壹、前言

英國經濟學人雜誌¹ (The Economist) 撰文指出，18世紀末的第一次工業革命，英國紡織業以機器取代手工，催生工廠林立；20世紀初第二次工業革命，美國福特汽車開始建立生產線，開始大量生產汽車，許多工廠至此朝向大量生產與製造；如今第三次工業革命已然興起，將邁向數位化製造新時代，同時由大規模製造轉向個人化生產，而3D列印技術可說是實現第三次工業革命的核心技術。許多對於未來技術預測的專家學者表示，3D列印技術的實踐，象徵第三次的工業革命已經開始啟動，尤其結合網路的強大力量，未來在世界任何地方，只要將繪製好的藍圖 (Blueprint) 輸入電腦，即可利用3D列印技術與印表機，利用列印的方式，完成產品的加工製造。²另外，根據國際知名Gartner產業分析機構副總裁David Cearley表示，至2020年前全球有10大策略產業趨勢，包括：(1) 裝置網路、(2) 環境使用體驗、(3) 3D列印材料、(4) 萬物聯網資訊、(5) 先進機器學習、(6) 自動代理與智慧物件、(7) 適應性資安架構、(8) 進階系統架構、(9) 網格應用程式

與(10)服務架構與物聯網平臺。³以上這些未來的產業趨勢絕大部分與網路資訊、自動學習與智慧系統有關，3D列印材料是唯一製造而非資訊的產業，由此可見3D列印技術受到矚目的程度與其未來的發展潛力，若在列印材料與精度有所突破，將顛覆許多產業的發展限制，影響程度無遠弗屆。

貳、3D列印技術基本介紹

3D列印技術的概念最早出現於1986年，當年開始發展的「快速原型製造」(Rapid Prototyping Manufacturing, RPM) 技術，即是先建構工件的3D外型結構尺寸，再利用疊層加工的技術進行製造加工，其最大的特色就是無須使用模具加工，容易加工複雜的零件。隨著技術與各式加工成型法的研究與精進，而使得快速原型製造技術衍生成為現今的3D列印技術。該技術因此又可稱為「積層製造」或「疊層製造」(Additive Manufacturing)，由該名詞就可以約略了解該技術的製造方法。「Additive」本身就有疊層的意思，也就是利用層層堆疊 (Layer by Layer) 的技術加工製造產品，尤其適用於外

- 1 The Economist, "The third industrial revolution," <http://www.economist.com/node/21553017>, Accessed 20 Jan 2016.
- 2 Wikipedia, "3D printing," https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing, Accessed 20 Jan 2016.
- 3 科技新報，〈Gartner預測2016年10大策略科技趨勢〉，<http://technews.tw/2015/10/08/gartner-2016-top-10-technology-trend/>，檢索日期：民國105年1月20日。



型與尺寸複雜的產品，每一層的厚度大約為16至180微米(μm)左右，依照實際的加工技術與方法有所不同。

參、3D列印技術產值、商機與專利介紹

根據市場分析研究報告指出，全球3D列印技術從2014年至2020年將成長大約14.37%，產品的總產值高達84億美元以上。全球目前主要從事3D列印技術產品研發以美國、德國、英國、荷蘭與比利時國家為主，大部分的產品研發以航太、車用、民生消費用品、國防、醫療與其他工業產品為主。由於3D列印技術非常適合開發複雜設計的產品，因此非常有利於高精密產品客製化的製造，例如：利用3D列印技術非常容易開發植入病人體內，或飛機內部特定的更換零件，相較於其他加工技術而言，3D列印技術因為使用無模具的製造方式，故在加工的過程中不會產生材料的浪費，假如材料是使用傳統的刀具切削方式，則在切削的過程勢必會因切削產生許多材料切除的浪費。

3D列印技術除帶來「產品製造」的商

機，也衍生出「產品服務」的商機。⁴舉例而言，並非每一個使用者皆能買或願意去購買3D印表機，除了因為價格的問題，還有使用頻率、使用方法與後續保養維持的問題。若產品需求的精密度高或尺寸較大，則需購買較昂貴的3D印表機，因此並非一般的使用者可以有能力購買。即便購買後，若因使用頻率不高、操作技術不佳，甚至後續的保養維修費用，都是造成消費者卻步的主要原因。根據統計，目前個別消費者購置3D印表機的比例僅約佔10%，其他90%則由企業進行購買。⁵因此，產業界便興起3D列印「代工」的服務，例如：Shapeways, Ponoko與Sculpteo等公司都有提供客戶對消費者(Business to Customer, B2C)代工服務，消費者只要將需要列印的數位檔案上傳至該公司網站，即可進行列印服務，甚至消費者可以將設計的圖案轉賣給公司，獲取商品設計費用。此外，有許多3D列印公司也提供客戶對客戶(Business to Business, B2B)間的服務，例如：若建築製造商需要委製建築模型圖，若依傳統的模型製造方法將需耗費許多的時間，因此只要將建築結構圖提供給從事3D列印服務公司，並且告知所需的比例，即可快速的獲得所需的模

4 3DPrinting.com, “What is 3D printing,” <http://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>, Accessed 20 Jan 2016.

5 Deloitte, “3D printing is a revolution : just not the revolution you think,” <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Technology-Media-Telecommunications/gx-tmt-pred15-3d-printing-revolution.pdf>, Accessed 20 Jan 2016.



型結構，這種商業委託服務經常用於牙醫、醫療、建築與娛樂以及藝術等相關產業。

在評估某一個技術未來的市場潛力時，專利申請與獲證也是一個可以參考的重要指標，也就是說可以透過專利的檢索，了解該技術受到產業界的重視程度。由專利檢索與統計文

獻可以發現，1993年至2013年期間，與3D列印技術相關的專利申請達到數千件，尤其從2010年以後，其成長的幅度更是大幅的增加（如圖一），⁶由此可見3D列印技術其市場發展潛力。美國專利、日本專利與大陸專利更是專利申請的三個主要地區，這種現象也反映出3D列印技術在該地區受到的重視程度。

肆、3D列印技術步驟、製程與材料介紹

一般而言，3D列印技術主要可以分成三



圖一 與3D列印技術相關專利統計

（資料來源：同註6）

個簡單步驟：⁷

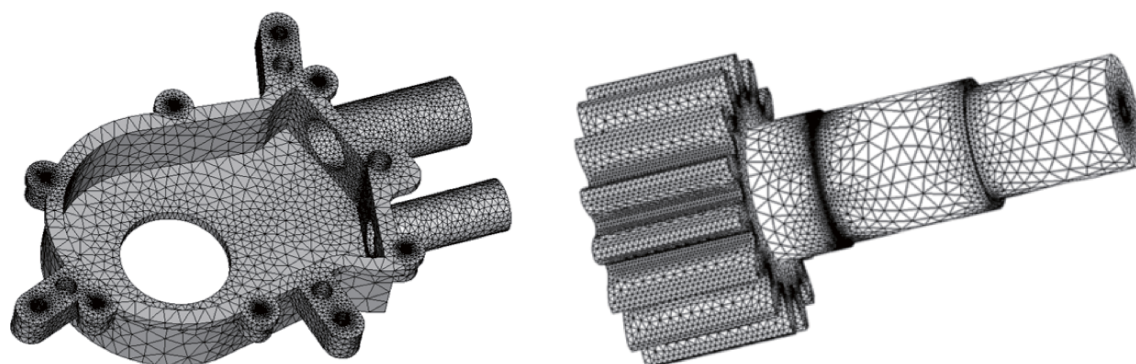
一、步驟一：稱為準備步驟，即是要在產品列印前，進行圖形的繪製準備，一般可以用許多市售的3D繪圖軟體，如CAD，或者利用物體掃描的方式，建構物體的表面網格圖形與尺寸（如圖二）。^{8、9}

二、步驟二：稱為列印步驟，首先要選擇產品列印的材質，可以使用的材質範圍非常廣泛，包括：塑膠、陶瓷、金屬、樹脂、沙粒、織物、生醫材料、玻璃，甚至食物等。上述大部分的材料也都可以於加工後再進行研磨拋光製程，可達精準的尺寸控制。然而，也並非

6 Gridlogics technologies Pvt Ltd, "3D printing technology insight report," <http://www.patentin sightpro.com/techreports/0214/Tech%20Insight%20Report%20-%203D%20Printing.pdf>, Accessed 20 Jan 2016.

7 Sculpteo, "3D printers and 3D printing: technologies, processes and techniques," <http://www.sculpteo.com/en/3d-printing/3d-printing-technologies/>, Accessed 20 Jan 2016.

8 Avante technology, "3D printing Software and tools," <http://www.avante-technology.com/wp-content/uploads/2014/11/Emendo-logo-1.png>, Accessed 20 Jan 2016.



圖二 利用3D繪圖軟體繪製完成的表面網格圖形

(資料來源：同註8、9)

每一種材料都很容易取得使用，目前玻璃材料尚未成熟，仍有許多問題需要克服。

三、步驟三：稱為研磨步驟，這個步驟主要是進行研磨拋光或上漆等後加工製程，使產品表面光滑亮麗。

目前3D列印技術大致可分成以下7種不同的製造方法，茲說明如下：¹⁰

一、光固化立體成型法

(Stereo-lithography, SL)

光固化立體成型法被公認是第一個被使用的3D列印技術，也是第一個商業化的3D列印技術。該技術主要是以雷射技術為主，利用高能量雷射照射光敏聚合物樹脂 (Photopolymer Resin)，達到固化的效果，藉此得到3D成品。該技術的工作原理是將液

態樹脂置放在一個移動平臺的容器內，雷射在X-Y軸平臺的表面上移動，經過雷射照射的表面可以達到硬化的效果，一旦單一平面完成後，再移動Z軸平臺，重新加工另一個新的工作平面，雷射也繼續在新的平面進行材料的固化，多次重複以上的步驟，直到整個工件被製造完成（如圖三）。¹¹至於在後加工（Post-processing）的部分，用該技術製造的工件通常需要再進行潔淨與烘乾，雖然製造出來的工件尺寸非常準確，表面也非常光滑平坦，然而因為需要經過多次的烘乾與硬化，因此工件容易產生脆化的問題。

二、數位光處理成型法

(Digital Light Processing, DLP)

數位光處理成型法是一種與光固化立體

9 3ders, “3D printing basics,” <http://www.3ders.org/images2014/emendo-repairs-errors-in-stl-3d-printing-files-5.png>, Accessed 20 Jan 2016.

10 AHEAD, “The free beginner’s guide to 3D printing,” <http://accessinghigherground.org/wp/wp-content/uploads/2015/04/3D-Printing-Guide.pdf>, Accessed 20 Jan 2016.

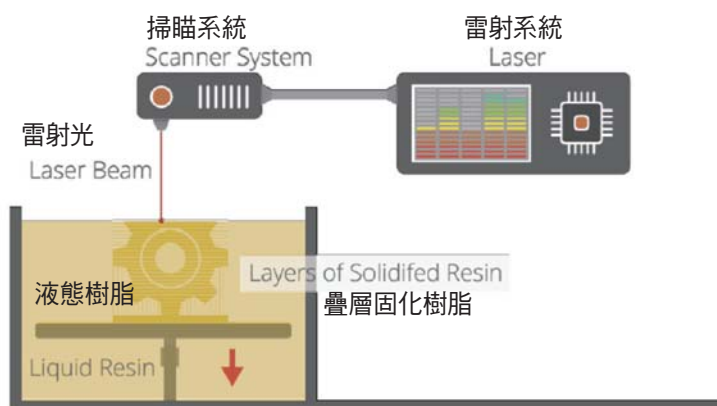
11 同註10。



成型法類似的製程技術，也是使用光敏聚合物樹脂進行加工，唯一最大的差別在光源種類的使用（如圖四）。¹²該技術主要是使用一般傳統的光源，例如：弧光燈（Arc Lamp）或者可調式反射鏡裝置（Deformable Mirror Device, DMD），由於使用一次性的照射方式，因此速度會比立體微影技術來的快，雖然也可以獲得光滑與尺寸精確的工件，然而工件完成後也需要進行清理與烘乾的過程，也容易產生材料脆化的情況。值得一提的是，數位光線照射技術使用液態樹脂的容器較光固化立體成型法窄小，因此比較不會造成材料的浪費，可以降低製造成本。

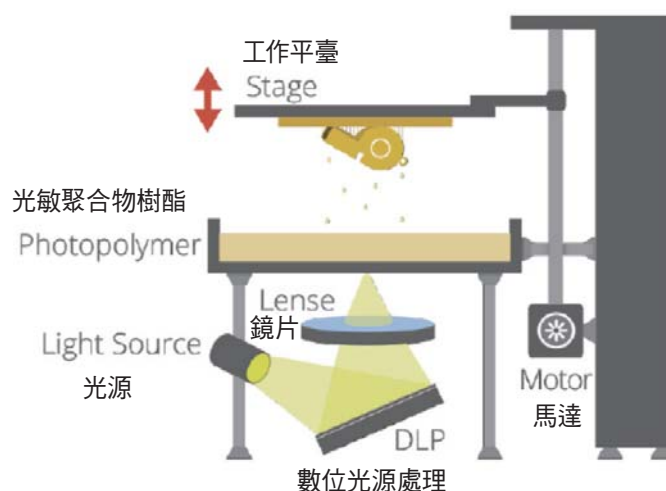
三、雷射燒結成型法 （Laser Sintering）

雷射燒結成型法也是以雷射製程為主，使用的材料為粉末，為了得到平坦與均勻的表面，特別使用滾輪（Roller）進行粉末平坦化製程，平坦化的粉末再使用雷射進行加熱燒結（如圖五）。¹³其工作原理也是先移動X-Y軸平臺完成平面的加工後，再移動Z軸的平臺進行厚度的加工。該技術的關鍵就是在加工的過程中，需要精確的控制溫度，以便使粉末可以達到熔融的溫度，該技術的最大優點就是容



圖三 光固化立體成型法加工示意圖

（資料來源：同註10）



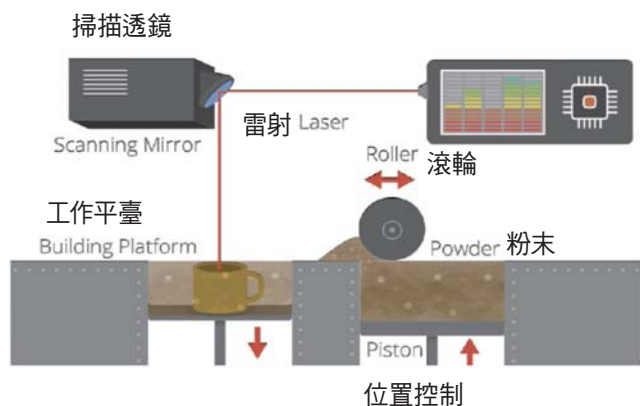
圖四 數位光處理成型法加工示意圖

（資料來源：同註10）

易加工複雜的工件，然而因為需要高溫進行燒結，因此表面容易產生孔洞（Porosity），經常需要再使用其他材料進行表面的填補。雷

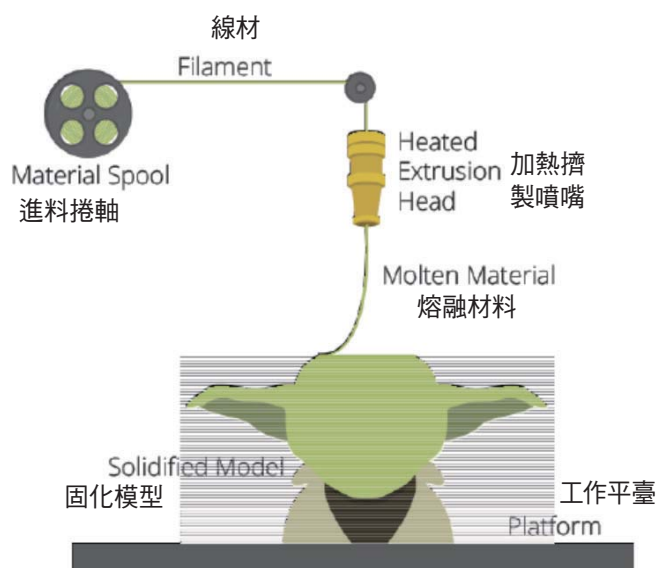
12 同註10。

13 同註10。



圖五 雷射燒結成型法加工示意圖

(資料來源：同註10)



圖六 熔融沉積成型法加工示意圖

(資料來源：同註10)

射燒結成型法目前可以使用在塑膠與金屬粉末，惟金屬粉末需要較高的燒結溫度，雖然表面的平整性與準確性不若前兩種技術好，

然而利用燒結可以強化材料機械性質，獲得較佳機械性質。

四、熔融沉積成型法

(Fused Deposition Modelling, FDM)

熔融沉積成型法是一種將熱塑性材料 (Thermoplastic Material) 透過擠製 (Extrusion) 的製程進行加工的製造方法 (如圖六)。¹⁴ 該技術主要是將線材 (Filament) 進行擠製，再進行層層的堆疊，每堆疊一層才進行加熱固化，因此每次只能進行單層的加工，是一種非常簡單的技術。該技術所使用的機臺通常不大，容易擺放在辦公室或個人工作室，尺寸準確度雖然不佳，層與層的黏結力 (Adhesion) 也不佳，卻是一種最容易入門學習的3D列印技術。

五、黏合劑噴塗成型法

(Binder Jetting)

黏合劑噴塗成型法主要利用噴頭噴出單層所需的黏合劑 (Binder)，以利層與層之間的結合，每一層完成後，為了獲得較佳的平坦度，也會使用滾輪進行平坦化製程 (如圖七)。¹⁵ 該技術的最大優點就是工具本身具有良好的支撐 (Support) 效果，因此無須再使用其他進行工件支撐的方法或工具，可用於陶瓷材料或食物的加工，若將染料混在黏合劑中，則可以進行顏色加工。

14 同註10。

15 同註10。



六、材料噴塗成型法

(Material Jetting)

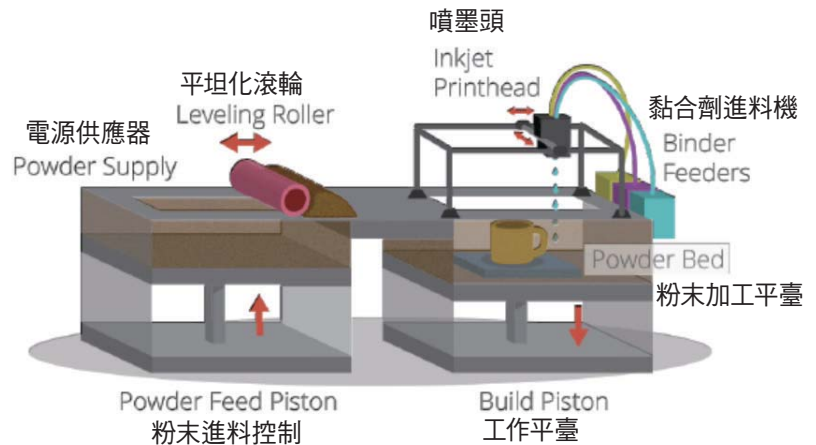
材料噴塗成型法主要噴出所需加工的材料，由於需要使用噴嘴進行加工，因此材料通常是液態或是熔融的材料，後續再進行烘乾硬化處理（如圖八）。¹⁶該技術最大的特色就是可以混合不同的材料，因此工件表面可以獲得不同的材料性質，也可以獲得平坦與光滑的表面，尺寸控制也相當準確。

七、選擇性分層沉積成型法

(Selective Deposition Lamination, SDL)

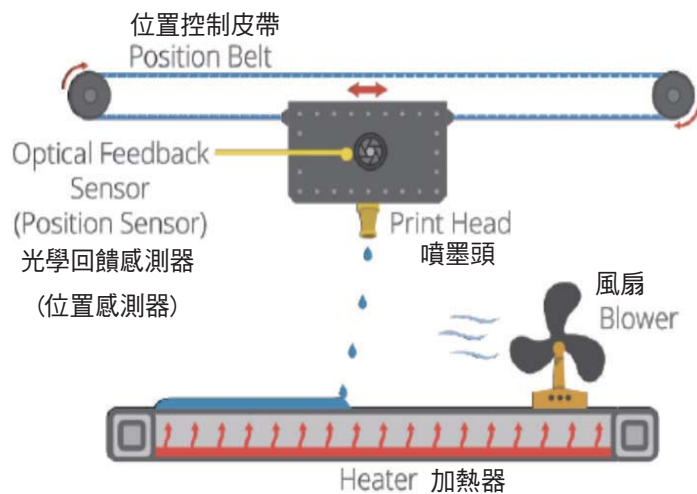
選擇性分層沉積成型法主要是使用黏合劑將單層的紙張進行多層黏結，以利後續進行選擇性加工，通常將黏度較高的黏合劑塗佈在紙張的中間，並使其硬化成為工件的一部分；再將黏度較低的黏合劑則塗佈在紙張的外圍當作工件的支撐，因為黏度低，後續也較容易移除（如圖九）。¹⁷當多層黏結至所需的厚度後，再使用碳化鎢刀具進行切割，切除不要的部分，即可完成工件加工。該技術最大的優點是非常容易進行顏色鮮艷的工件加工，也無須進行後烘乾與硬化等後加工。

除了3D列印的製造方法外，列印材料也



圖七 黏合劑噴塗成型法加工示意圖

(資料來源：同註10)



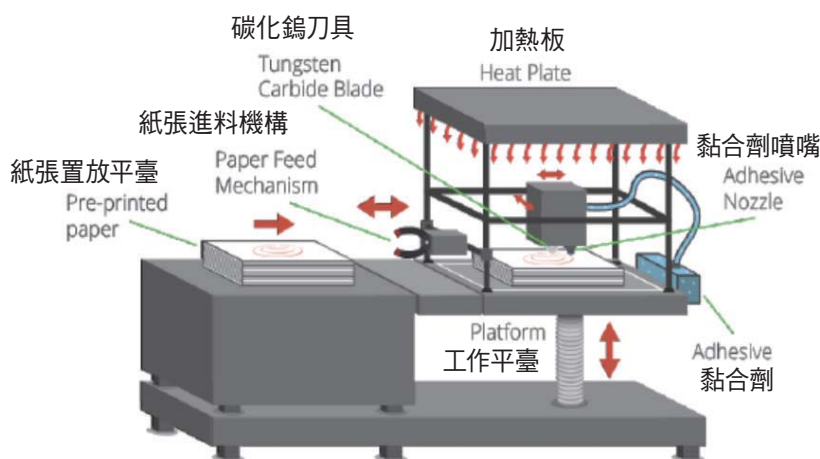
圖八 材料噴塗成型法加工示意圖

(資料來源：同註10)

是非常關鍵的一環，許多研究與產業分析人員甚至認為材料的研發比製造方法的研發來得重要，目前常用的材料，包括：(1) 塑膠材料、(2) 金屬材料、(3) 陶瓷材料、(4) 紙張

16 同註10。

17 同註10。



圖九 選擇性分層沉積成型法加工示意圖

(資料來源：同註10)

表一 3D列印技術常用的材料種類¹⁸

種類	特性
塑膠材料	通常使用的材料為尼龍 (Nylon)、聚酰胺 (Polyamide)、丙烯腈 (ABS) 與聚乳酸 (PLA) 等。 通常使用雷射燒結成型法或熔融沉積成型法。 可與金屬材料混合使用。 容易製作透明工件，工件也容易進行上色。
金屬材料	金屬材料的使用越來越廣泛，包含純金屬與合金。 最常用的金屬材料為鈦以及鋁等純金屬與其相關合金材料。 鈦與不鏽鋼材料的強度佳。 金與銀等貴金屬材料經常使用在珠寶業。
陶瓷材料	雖然陶瓷材料使用也與金屬一樣廣泛，然而列印加工完成後的工件也需與其他傳統陶瓷材料一樣進行燒結與後加工。
紙張材料	紙張為一新興環保材料，通常加工方式利用選擇性分層沉積成型法進行加工。 原料容易取得、成本低，也無須進行後加工處理。
生醫材料	生醫材料主要應用於人體移植之組織工程與器官等研究。 有些生醫材料也用於食物的研究。
食物材料	食物材料近年興起廣泛的研究。 最常見為巧克力與麵食類食品。
其他材料	主要用於特殊性質的材料研究。

材料、(5) 生醫材料、(6) 食物材料與 (7) 其他材料等，各項材料的特性說明如表一。

伍、美軍3D列印技術研發成果介紹

事實上，美國國防部與其他西方國防科技研究單位，一直對3D列印技術抱持非常高度的興趣，尤其位於美國馬里蘭州的陸軍研究實驗室 (Army Research Laboratory, ARL) 研究人員就認為，3D列印技術未來非常有潛力應用於國防科技領域，例如：情報收集、通訊技術，甚至是其他戰場的裝備與武器製造，本文特別摘錄以下八個有潛力的國防科技應用情境，茲敘述如下：¹⁹

一、製造天線

由於物聯網 (Internet of Things, IoT) 技術的興起，未來的戰場勢必將以智慧化物件連結

¹⁸ 同註10。

¹⁹ Army Research Laboratory, ARL, "10 future applications for 3D printing," <https://all3dp.com/youre-in-the-army-now-10-future-applications-for-3d-printing/>, Accessed 20 Jan 2016.



取代傳統式運輸與補給的作戰模式，因此許多研究人員認為3D列印技術可以用來製造在物聯網技術中，扮演關鍵重要角色的天線（Antenna）。目前美國陸軍正在研究利用3D列印技術，選擇陶瓷材料或塑膠材料印製非導電材料的介質天線（Dielectric Antennas），甚至也嘗試開發高頻天線與其他電磁元件。利用3D列印技術製造之天線不但可以縮小尺寸，也可以降低成本，目前手機製造商常用含有奈米銀粒子的墨料（Nano-particle Ink）在可撓性的塑膠基板上印製天線（如圖十），²⁰當作智慧型手機內建天線，該天線同時具有導電與可撓的效果。然而，手機製造商並不僅以3D列印技術製造天線為目標，未來希望藉由該技術讓所有的電子零件都可以立體微小化。

二、製造複合材料

目前美軍研究人員也嘗試利用3D列印技術，搭配各式先進陶瓷複合材料、纖維強化聚合物（Fiber-reinforced Polymers）、金屬複合材料與陶瓷以及金屬複合材料等，製造專供戰場使用的各式裝備與器具，例如：士兵頭盔。

三、製造生醫感測器

利用3D列印技術非常容易加工金屬線路，因此對於製作感測元件也非常具有優勢，尤其針對可監控士兵生理狀況的生醫感測



圖十 利用3D列印技術在塑膠基板上印製天線

（資料來源：同註20）

器，美軍曾經嘗試利用3D列印技術製作可置於士兵頭盔內部的生醫感測器，也在軍服與鞋子上印製生理監控感測器。

四、現地材料取得與分析

考量戰場環境的詭譎多變，以及可以使用的資源非常有限。有研究人員發想利用戰地的各式現有材料與資源，搭配3D列印技術，印製各式所需物品。美軍曾經將數臺3D列印機運送至阿富汗戰場，並且利用當地的材料進行印製研究，其測試效果相當不錯。然而就實際應用層面而言，在戰地使用3D列印技術的情境與應用，仍然需要考量現地獲得的材料是否具有危險性。舉例而言，許多戰地的材料有可能受到核生化污染，因此不宜派遣士兵進入取得原料，或是許多戰場處於茂密的叢林、不易進入的山區環境，因此

20 Brooke Kaelin, "Optomec is 3D printing mobile antennas," [http://www.engineering.com/portals/0/BlogFiles/2_CropperCapture\[4\].jpg](http://www.engineering.com/portals/0/BlogFiles/2_CropperCapture[4].jpg), Accessed 20 Jan 2016.



美軍也另外衍生出利用3D列印技術開發搬運與運輸機器人，藉由機器人配備的感測器，可以分析所搬運的材料是否具有毒性或是危險性。

五、製造微型控制機器人

美國國防高等研究計畫署 (Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA) 正在進行利用3D列印技術製造微控制與高精度的機器人，該機器人可以達到毫米 (mm) 的控制精度，這些機器人可以用來搬運重物，如電子元件、機械零件或是大型的機械結構件，也可以用來進行水源儲存與現場即時的採樣與品質分析，正是符合應用在上述現地材料搬運與分析的使用情況。

六、海上船艦應用

2015年，美國海軍首度將3D列印機搬上船艦使用，然而並非用來列印船艦需要更換的零件，而是用來列印許多消耗性器材，例如：醫療耗材、飛機模型、手工具與油罐蓋子等。

七、製造軍服

美國陸軍2014年起即積極開發利用3D列印技術製造軍服，期望透過各式材料的試驗，降低車縫的數量，提高軍服穿著的舒適感與耐久性，甚至一體成型製作可供士兵放置彈匣的軍服。透過3D列印技術容易進行外型設計與原料的試驗，可以降低許多研製的

成本。

八、製作食物

美國陸軍於2014年起，也啟動利用3D列印技術印製可供士兵食用的食品，目前完成的食物，包括：披薩與義大利麵等（如圖十一）。²¹

陸、3D列印技術於國防與航空工業發展介紹

3D列印技術未來能否廣泛應用在國防與航空工業應用領域，取決於加工速度、加工數量與製造成本。因此，研究人員便以加工速度與加工數量關係，預測未來3D列印技術在國防與航空工業應用領域的發展藍圖（如圖



圖十一 美軍利用3D列印技術印製披薩

（資料來源：同註21）

21 Lilian, "Experts predict 3D printed customised food items to rule the industry in next 20 years," <http://www.3ders.org/images2015/experts-predict-3d-printed-customised-food-items-to-rule-the-industry-in-next-20-years-6.jpg>, Accessed 20 Jan 2016.

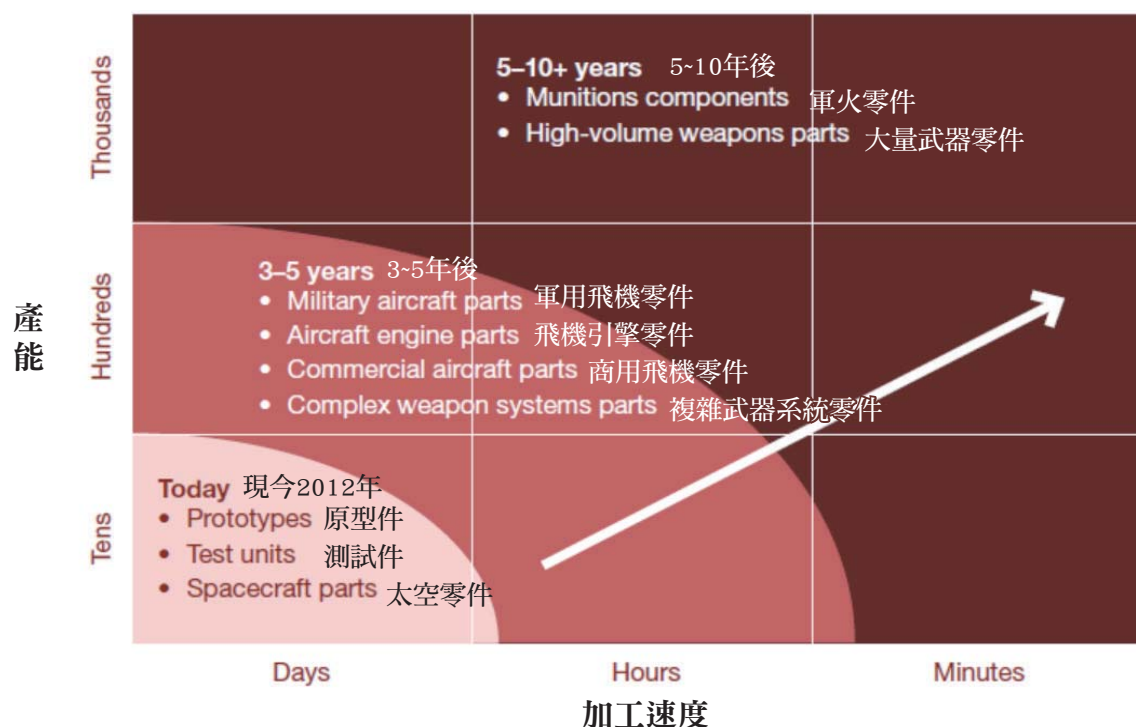


十二)。²²就2012年而言,3D列印技術僅停留在少量製造國防與航空工業零件的原型件、測試件與部分的太空用零件,而且所需製造時間也需要數天;未來3~5年後,隨著技術的進步,僅需數十小時的時間內,即可製造數百件的軍用飛機零件、飛機引擎零件、商用飛機零件與複雜武器系統零件;甚至在5~10年後,也許僅需數十分鐘,便可大量製造數千件的軍火與武器系統所需零件。至於在成本方面,現今許多3D列印所需的粉末(Powder)是塊材(Bulk)價格的30倍以上,即便未來隨

著技術進步,加工速度與產能增加,將有助於整體成本的降低,然而粉末成本依舊比塊材貴,這將不利於3D列印技術的發展。就個別原料而言,使用線材為原料的3D列印技術值得特別關注,因為線材的價格通常比粉末便宜許多,較具有市場競爭優勢。

柒、3D列印技術未來對後勤物流的影響

目前發展快速的3D列印技術未來對產



圖十二 未來3D列印技術於國防與航空工業發展藍圖

(資料來源:同註22)

22 PWC, “3D printing: A potential game changer for aerospace and defense,” <https://www.pwc.com/us/en/industrial-products/publications/assets/pwc-gaining-altitude-issue-7-3d-printing.pdf>, Accessed 20 Jan 2016.



業界後勤物流的影響，大致可以歸納以下6點：²³

一、未來3D列印時代仍將維持產品的大量生產，但會降低集中生產的比例。目前許多產品都是經過客製化而大量生產，而且許多利用機具設備大量生產的產品其價格並不昂貴。就未來3D列印時代而言，廠商仍可使用3D列印機臺為客戶進行大量生產的服務，或是客戶自行購置3D列印機臺進行自我加工。由此可見，產品大量生產仍會存在，但是集中生產的比例會降低。另外，也預期將帶動廠商降低庫存的風險，亦即廠商接到客戶訂單才會進行生產，而以3D列印的技術與加工速度，正好又可以滿足客戶的需求，在預定的交貨期限內完成產品出貨。

二、產品運輸的型態也將會受到影響，就目前傳統製造業而言，許多產品都經由加工製造商製造後，再自行或委託運輸業者進行運送，產品的價格也需考量運輸成本，因此勢必會增加產品的最終售價。尤其，對於外銷國外產品而言，無論是空運或是海運，其運輸成本都相當的高。未來在3D列印的時代，許多產品透過客製化，可以找尋當地的3D列印業者進行代工，因為運輸距離較短。亦或是製造商可以直接將產品直接運送至客戶手上，因此長距離的運輸可以減少，將可大幅降低運輸的時間與成本。然而，若考量產品製造的品質與其他商業合作策略，許多客戶

還是無法直接委託當地3D列印業者直接進行代工，因此專家認為要透過3D列印技術的興起，而降低產品運輸成本，仍需經過時間的試煉，短期間仍看不出明顯的影響。

三、要使用3D列印技術進行產品加工，最重要還是需要有相關的印表機與零組件設備。因此可以預期的是近年來在物流運輸上，會有相當多相關機具與零組件需要進行運輸。尤其針對精密大型的3D印表機而言，其運輸需要夠高的安全防護性，如此也勢必將帶動整個物流運輸業對於精密機具與設備運輸的重視與技術提升。

四、使用3D印列技術也與二氧化碳排放量有關，使用列印技術可以降低零件的重量達70%左右。就整架飛機而言，若可以使用3D列印所製造的零組件取代傳統加工的飛機零組件，將可大幅降低重量，因此對於飛機使用的油耗將可以減少，如此也將直接達到節能減碳的效果。此外，如前文所述，使用3D列印技術可讓廠商選擇公司附近代工廠，直接進行產品加工，產品加工完成可免去長距離的運輸，如此將有助降低燃料的使用與達到節能減碳的效益。

五、由於使用3D列印技術，加工生產與備料的時間都縮短了，廠商可不需再像傳統製造業一樣，需要庫存原料與半成品，將有助於減少庫存成本與風險。未來的庫存也可能走向所謂的虛擬庫存 (Virtual Stock)，亦

23 AEB White Paper, "Six theories about how 3D printing will change logistics," <http://documents.aeb.com/brochures/en/aeb-white-paper-3d-printing.pdf>, Accessed 20 Jan 2016.



即將需求儲存在虛擬倉庫中，待有需要時再直接下訂單給3D列印代工廠商，屆時再進行加工即可，加工完成的產品也可以直接銷售，無須再堆置倉庫內等待出貨。

六、就海關檢查而言，在未來3D列印時代，貨品的運送種類與內容將會五花八門，造成安全性與查驗的困難性，也將影響後勤運輸時間與便利性。許多進出口與貨品查驗的法規勢必將進行修正，以確保國土與產品運送的安全性。

捌、我國未來研發3D列印技術發展建議

我國在3D列印的技術與產品研發上，尚仍處於起步階段，不若許多先進國家已具有相當的產業規模與產值，也掌握許多關鍵的加工技術、先進材料與機臺設備等，筆者以輔導國內企業與參與國防科技研發多年的相關經驗，提出以下幾點淺見，供國內相關單位投入3D列印技術發展參考，茲敘述如下：

一、制定戰略規範與藍圖

我國在3D列印技術落後國外許多，部分的原因是因為國內缺乏完整戰略規劃與發展藍圖。綜觀國外先進國家於3D列印技術研究發展藍圖，²⁴美國總統歐巴馬在2013年國情咨文演講中宣示，3D列印技術將是美國未來

領導全球生產與製造業的技術革新，計畫投資10億美元建立15家製造業創新研究所，並宣布第一個研究所專注於研發3D列印；2013年5月底日本經濟新聞報導，日本經產省計畫匯聚日本3D印表機廠商CMET，以及IHI、Nissan、Komatsu等大型企業與早稻田等大學產學合作，目標5年內研發出可生產「砂模」的次世代3D列印機產品；中國在2012年10月成立「中國3D打印技術產業聯盟」，預計將成立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。該聯盟表示，到2016年中國3D印表機市場規模將擴大到100億人民幣，是2012年的10倍，中國也將超越美國成為全球最大的市場。反觀國內，雖然官方單位在「2015年行政院生產力4.0科技發展策略會議」有提到3D列印技術的願景大綱，然而如何具體落實的方法與策略仍嫌不足，因此期許國內官方單位可以仿效上述先進國家，投入更多的資源與更具體的做法來協助國內相關的產業界進行升級。在國防科技研發方面，就筆者所知，3D列印技術已被列為建軍構想關鍵核心技術之一，中科院也有相關金屬粉末製造與列印的技術，同時也有相關的成果展示與發表，目前仍持續進行相關的研發與精進。

二、開創高值產品與服務

就3D列印技術而言，也可以分成產業

24 資策會MIC，〈3D列印產業發展〉，http://www.taiwanjobs.gov.tw/internet/index/docDetail_frame.aspx?uid=1590&pid=230&docid=27734&nohotkey=Y，檢索日期：民國105年1月20日。



的上、中、下游。上游係指設計、中游為設備與材料、下游為服務。在設計的部分，又可分為軟體開發與設計服務等。由於軟體目前大多由國外軟體開發商壟斷，因此國內廠商不易進行相關的開發。利用軟體進行圖形的設計，是國內廠商可以積極深耕的方向之一。由於國內具有許多工業設計與繪圖的人才，因此具有相當的優勢。至於在中游的部分，許多設備也都由國外製造商壟斷，因此國內廠商不易切入機臺的研發與製造。材料可謂3D列印技術非常關鍵的一環，雖然目前許多材料技術也都由國外領先，不過國內在材料與化學技術能力也不弱，以筆者而言，目前也積極輔導國內廠商進行生質材料與農業與菸酒廢棄物回收後再製成列印線材。就許多塑膠件而言，環保可分解生質材料勢必為未來趨勢，因此目前積極進行技術布局，未來必能有所收穫。最後在下游的服務部分，這部分需要靠的是創意，國內許多新創公司也已投入相關的研發，有時「服務價值」遠高於「製造價值」，因此值得國內產業與學術界投入此部分的研究與開發。

三、重視智慧財產與安全

本文前面討論的部分都是有關於3D列印技術的優點，然而該技術也並非完全沒有隱憂。以智慧財產權而言，目前世界許多國家，包含我國都非常重視創作人的智慧財產，

相關的法律也越來越嚴苛。3D列印技術的優點就是只要有3D立體圖就可以製造相關的產品，然而透過掃描或複製的方式，很容易造成創作人的智慧財產權受到侵害，因此如何杜絕上述的情事發生，也需要透過立法的方式來完成。另外，國外陸續報導有些人利用3D列印技術製造出殺傷性的武器，例如：槍枝（如圖十三），²⁵這也是日後勢必會遇到的嚴肅課題，如何進行管制與查緝都有賴相關單位再進行研究與討論。

四、產業體質調整與輔導

雖說3D列印技術的優點是無需使用模具，且可以自行加工製造，中間省去許多傳統製造業的過程與步驟。然而，這樣的便利性也會造成相關產業的衝擊，例如：模具業將首當其衝。雖然在經濟發展的過程中，難免會因為技術革新與升級，造成其他產業的衝擊，然而國內相關單位勢必要重視這個問題。



圖十三 利用3D列印技術製造槍枝

（資料來源：同註25）

25 Brian Krassenstein, "Making 3D printing a gun," <http://3dprint.com/wp-content/uploads/2014/08/gun-2/jpg>, Accessed 20 Jan 2016.



題。舉例而言，我國為了加入許多國際貿易協定，也會開放相關產品與產業進入國內，對原本國內的產品與產業造成衝擊，雖說開放貿易協定或加入區域組織已是國際趨勢，因此政府必須積極輔導受衝擊的產業進行體質調整與輔導，尤其許多受衝擊的都是屬於弱勢的傳統產業或農業。有鑒於此，未來那些受3D列印技術興起所衝擊的國內產業是否能夠在政府相關單位的輔導下，進行產業升級與產品高值化，攸關國內經濟成長、民生計與產業健全等方面的成敗。

玖、結論

3D列印技術被視為第三次工業革命的核心技術，也被公認為是近十年重要的十大科技發展趨勢之一，該技術將會顛覆現今許多產品的設計、加工、製造與服務等流程與方法，許多商業模式也會因為該技術的興起，而造成許多的創新與革新，對於世界所有人類的生活影響甚鉅。就國防科技產業而言，3D列印技術目前已可應用在許多原型件與測試件的製造，由於無須進行開模，因此可以大幅節省產品開發的成本，尤其對於許多航空與武器系統而言，許多產品外型複雜或規格特殊，若要進行開模研發，不但將耗費許多的成本，也會增加開發的時程，對於小量產品製造非常不符合成本效益，利用3D列印技術即可解決上述問題。就民用消費產品而言，隨著消費者消費型態的改變、產品壽命越來

越短，產品推陳出新的速度越來越快，因此許多消費性產品，尤其電子產品的開發都具有迫切性與時效性，透過3D列印技術可以加快產品的研製，進而縮短測試與送樣的時間，可為製造商與消費者帶來許多便利性。然而，許多3D列印技術材料、製造與機臺等技術大都掌握在歐美先進國家手上，國內僅有少數廠商擁有相關的關鍵技術，將不利於未來該產業在國內的發展。儘管如此，我國在許多科技領域，如半導體、電子與光電等仍然具有完整供應鏈與產業優勢，未來仍有逐步迎頭趕上國外的機會。展望未來，國內應積極整合產、官、學、研等各單位的資源，以軍民通用產品開發為目標，朝向高值化核心材料開發及創新商業服務與模式的研發方向與布局，必能在此關鍵的工業革命中，協助國內國防科技與民生消費產業界站在時代巨人的肩膀上，大步朝向下一革新世代邁進。

作者簡介

趙本善博士，臺北科技大學機電科技博士班畢業，曾任臺北科技大學進修學院兼任講師、京元電子研發主管、國科會特聘博士後研究學者、清華大學材料科學與工程學系博士後研究員，現任國家中山科學研究院化學研究所助理研究員。