

3D 列印技術應用於軍事用途之介紹

作者/林政運少校



中正理工學院專 33 期畢業；曾任輪車組長、飛彈修護官、兵工修護官，現任職於本指揮部特業組教官。

提 要

- 一、2012 年 4 月，英國著名的經濟學人雜誌發表一篇文章，認為 3D 列印將推動第三工業革命；2013 年 2 月，美國總統歐巴馬在國情咨文多次強調 3D 列印技術的重要性，並加碼投資 3D 列印。
- 二、3D 列印是以經過數位化處理後的電腦模型檔案為基礎，運用各種粉末材料，利用加熱使其呈現熔融可塑狀態，再透過逐層堆疊方式，將電腦模型構建成為實體，¹此種技術的出現，為未來各領域生產製造帶來巨大的影響。
- 三、各國除了商業領域已開始迅速發展，更在軍事領域中，也做長期規劃。如美國於 2012 年提議國家製造創新網路(National Network for Manufacturing Innovation, NNMI)計畫與 3D 列印技術同步進行。2016 年底歐洲防務局(European Defence Agency, EDA)將啟動「3D 列印防務領域應用」的驗證計畫，中共於 2015 年也發表「中共製造 2025」計畫，國家對於 3D 列印等高新技術的發展也十分重視。
- 四、目前 3D 列印技術越來越精進，應用範圍也越來越廣泛，但是和其他新技術一樣，其應用前景並非完美無瑕，本文就 3D 列印技術基礎知識、軍事應用現況、提供本軍未來發展時之參考。

關鍵字：3D 列印技術、立體光固化成型(Stereo Lithography Appearance, SLA)、積層製造(Additive Manufacturing, AM)、選擇性雷射燒結(Selective Laser Sintering, SLS)

¹林鼎勝，〈3D 列印的發展現況〉《科學發展》(台北)，第 503 期，科技部，2014 年 11 月，頁 32~33。

壹、前言

我們經常聽到 3D 這個名詞，且常跟高科技聯想在一起，如 3D 立體畫面、3D 電影等，但近年來又多一個名詞，就是 3D 列印。自從「經濟學人雜誌」、「紐約時報」等歐美主流媒體宣稱 3D 列印會引發第四次工業革命，世界各國媒體也開始都對 3D 列印做大量的報導，突然 3D 列印吸引了無數人的眼光，²技術發展隨著科技加快革新。現今的 3D 列印技術發展，就像當年的電腦一樣，因技術、價格等問題，只有少數大型公司使用，然而隨著這些技術提升、生產成本降低、價格便宜之後，逐漸走進普通家庭和日常生活，應用在醫學材料、航太、汽車、建築、食品、武器等，任何你所想像得到的物品，都已經有公司在製造及使用，且商業領域發展已日臻成熟。此外，在各先進國家中，更是將 3D 列印技術運用在國防軍事發展上面，例如 2011 年，英國首先研發出世界第一架 3D 列印的小型無人飛機(如圖一)，並於 2015 年試飛成功；³2014 年，美國一家專業焊接公司 Sciaky 已成功將 3D 列印的零附件安裝在 F-35 戰機(如圖二)並進行檢測，預計近年將全部檢測完成；⁴2016 年，俄羅斯國營企業-聯合儀器製造業公司 (United Instrument Manufacturing Corporation, UIMC)，也打造出一款全 3D 列印的無人機，該無人機可用於偵察，並能夠在一天之內，以 3D 列印出成品，然後組裝完成。⁵雖然世界各國極力將 3D 列印技術運用於軍事用途上，也都有了成品，但目前大部份仍是量產測試階段。若說近幾年就要全面提升到戰略層級的發展，仍然言之過早，還有一些瓶頸需要去克服，本文從軍事領域用途發展現況，來探討現階段面臨到的問題，提出未來能有效突破瓶頸的方案，並為未來此技術若能運用在本軍軍事用途上，提供一些建設性的思考方向。

²吳懷宇，《決戰 3D 列印：「智造」時代來臨-顛覆你的既定「印」象》，電子工業出版社，2015 年 9 月，頁 12。

³桂家齊，〈3D 列印無人機 助英軍情蒐〉《蘋果日報》(臺北)，民國 104 年 7 月 26 日。

⁴郭少豪、呂振，《3D 列印新浪潮：啟迪 3D 列印的未來》，佳魁文化，2014 年 7 月，頁 85。

⁵每日頭條，全 3D 列印的無人機你見過嗎，<https://kknews.cc/tech/53xm26.html>。(檢索日期：2016 年 7 月 3 日)



圖一：英國 3D 列印小型無人飛機

資料來源：桂家齊，〈3D 列印無人機 助英軍情蒐〉《蘋果日報》(臺北)，民國 104 年 7 月 26 日。



圖二：美國將 3D 列印的零附件安裝在 F-35 戰機

資料來源：郭少豪、呂振，《3D 列印新浪潮：啟迪 3D 列印的未來》，佳魁文化，2014 年 7 月，頁 85。

貳、3D 列印緣起

一、何謂 3D 列印

3D 列印是積層製造的俗稱，⁶也是一種快速成型(Rapid Prototyping, RP)或快速製造(Rapid -Manufacturing, RM)技術。它是用數位化處理後的電腦模型檔案當作基礎，再運用各種粉末材料，加熱使其呈現熔融可塑狀態，並透過逐層堆疊方式，將電腦模型構建成為實體。⁷簡單來說，就是將設計好的物

⁶積層製造 (AM) 技術從早期被稱為快速成型 (RP) 轉變為快速製造 (RM)，即是一般社會大眾俗稱的 3D 列印，於 2009 年由美國材料試驗協會正名為積層製造，並成立技術委員會訂定其相關標準。

⁷蘇英嘉，《3D 列印決勝未來》(五南出版社)(台北)，2014 年 7 月，頁 3。

件，繪製成電腦 3D 模型，依需求運用不同類型的材料及技術，利用逐層列印的方式來打造出立體的物體。⁸

二、緣起

3D 列印技術的製作構想起源於 1892 年，當時由一名奧地利軍人喬瑟夫·布蘭勒(Joseph Blather)提出使用層疊成型方法製作地形圖的構想，⁹數十年間，多位研究人員鑽研相關的技術及製作方式，但都尚未成熟。直到 1986 年，一位美國人查理斯·哈爾(Charles Hull)成立了 3D Systems 公司，並於 1988 年，推出了第一台光固化成型技術(Stereo Lithography Apparatus, SLA)的商用 3D 印表機，它的生產標識著 3D 列印商業化的起步。同年，史考特·克倫普(Scott Crump)發明了另一種以熔融沉積(Fused Deposition Modeling, FDM)快速成型 3D 列印技術，並成立了 Stratasys 公司，3 年後推出第一台 FDM 技術的 3D 工業級印表機。

1989 年，美國德州大學奧斯汀分校卡爾·迪卡(Carl Deckard)發明了選擇性雷射燒結(Selective Laser Sintering, SLS)製程的 3D 列印技術，此技術支援多種材料成型，如蠟、尼龍、陶瓷及金屬等多種粉末材料，這項發明讓 3D 列印生產走向多元化，1992 年，卡爾·迪卡(Carl Deckard)的 Desk Top Manufacturing (DTM) 公司生產首台 SLS 印表機。¹⁰

1993 年，美國麻省理工學院伊萊·薩克斯 Emanuel Sachs 教授發明三維粉末黏接技術(Three-Dimensional Printing, 3DP)，此技術透過膠黏劑把金屬、陶瓷等粉末黏合成型，並在 2005 年，由 Z Corporation 公司推出第一台彩色 3DP 技術的印表機，象徵 3D 列印從單色轉向多元色彩時代。¹¹

2008 年，更出現了第一台桌上型 3D 印表機，消費者可自行組裝 3D 印表機，且可透過開放原始碼以印表機列印出日常生活用品，從此將 3D 列印普及化，隨著科技的發展，各式各樣的技術、應用及成品涵蓋了我們生活食衣住行。(如表一)

表一：3D 列印技術發展歷程

年份	紀要
1892	奧地利軍人喬瑟夫·布蘭勒提出使用層疊成型方法製作地形圖

⁸財經新報，3D 列印概觀與前瞻，<http://finance.technews.tw/2013/05/23/3dprinting-part1/>(檢索日期：106 年 11 月 16 日)

⁹每日頭條，早期 3D 列印技術發展史，<https://kknews.cc/tech/j8bj8zq.html>。(檢索日期：106 年 7 月 24 日)

¹⁰同註 4，頁 17~18。

¹¹同註 2，頁 49。

	的構想，開啟了研究人員以此原理發明各種 3D 列印技術
1986	查理斯·哈爾立了世界第一間生產 3D 列印設備公司(3D Systems)
1988	3D Systems 公司推出第一台光固化成型技術(SLA)3D 印表機
	史考特·克倫普發明熔融沉積快速成型(FDM)3D 列印技術
1991	Helisys 公司推出第一台分層實體成型技術(LOM)3D 印表機
1992	Stratasys 公司推出第一台 FDM 技術的 3D 工業級印表機
	DTM 公司推出第一台選擇性雷射燒結技術(SLS)印表機
1993	美國麻省理工學院伊萊·薩克斯教授發明三維粉末黏接技術(3DP)
1998	Optomec 公司成功研發雷射燒結技術(LENS)3D 印表機
2001	Solido 公司開發出第一代桌上型 3D 列印機
2003	EOS 公司開發液體雷射燒結技術(DMLS)3D 印表機
2005	Z Corporation 公司推出第一台彩色 3DP 技術的印表機，讓 3D 列印從單色轉向多元色彩時代
2008	Objet Geometries 公司推出第一台能夠同時使用多種不同原料的 3D 印表機

資料來源：1.每日頭條，早期 3D 列印技術發展史，<https://kknews.cc/tech/j8bj8zq.html>。(檢索日期：106 年 7 月 24 日)

2.郭少豪、呂振，《3D 列印新浪潮：啟迪 3D 列印的未來》，佳魁文化，2014 年 7 月，頁 85。

3.吳懷宇，《決戰 3D 列印：「智造」時代來臨-顛覆你的既定「印」象》，電子工業出版社，2015 年 9 月，頁 12。

4.筆者綜整資料後製表。

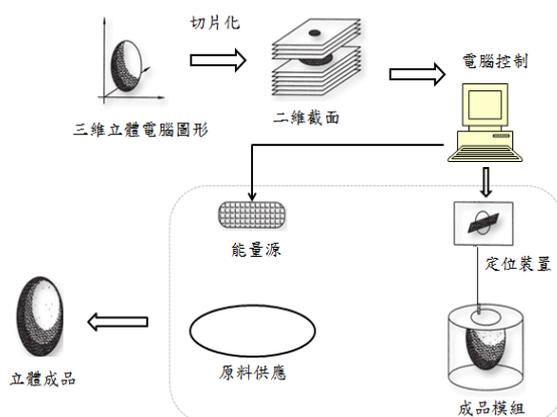
參、3D 列印的基礎技術

一、工作原理(如圖三)

3D 列印採用分層加工、堆疊累加，即透過逐層增加材料來生成 3D 實體。更明確說明，先以電腦繪圖軟體建立出欲製作物件的幾何模型，將此立體模型沿著某一適當的方向切層，每層即為一個二維的輪廓，於實際製作模型時，電腦先取出最底端的一層幾何圖形，作為電腦定位控制用，於工作平台上鋪上一層材料，厚度與該對應層的厚度相同，將能量源加至幾何圖形指示的位置上，使材料固化，完成第一層的形狀後，將工作台下下降一切層厚度的位移，再重複鋪與固化倒數第二層材料的動作，依此程序，由底端至頂端，逐層把材料填上而結合在一起，完成後即可取出所製作之原型件。¹²

¹²廖運炫，〈3D 列印技術〉，《臺大校友雙月刊》(台北)，第 88 期，2013 年 7 月，頁 17。

3D 列印與傳統的機械加工技術不同，前者是利用加法的方式利用噴塗、擠塑、堆疊等製造出所需要的產品，這種技術能夠克服工具機加工無法完成的幾何形狀死角，且材料利用率大幅度增加，後者採用切削或鑽孔技術（也即利用車、銑、刨、磨、鑽等加工將不需要的地方去掉，製造出所需的產品），會浪費很多材料。



圖三：3D 列印工作原理

資料來源：廖運炫，〈3D 列印技術〉，《臺大校友雙月刊》(台北)，第 88 期，2013 年 7 月，頁 17。

二、製程技術

依美國材料與試驗協會(American Society for Testing and Materials, ASTM)3D 列印技術委員會按照材料堆積方式，將列印技術分成七大類型(如表二)，¹³而每種製程技術皆有特定的應用範圍，大多數普遍運用於模型製造，部分製程可用於高性能塑膠、金屬零配件的直接製造及受損部位的修復。

表二：3D 列印製程類型及用途

ASTM 使用的名稱	俗稱	原理	用途
材料擠製成型	熔融沈積成型法	藉由從內建加熱器的可動式噴頭中擠出熱塑性樹脂，來製作出剖面形狀。	模型製造、零配件直接製造
光聚合固化技術	光固化成型法	將光線照射在光固化樹脂(紫外線固化樹脂)上使其硬化，逐漸	模型製造、零配件

¹³李明穎譯，《3D 列印機 X3D 掃描器新時代》，(瑞昇文化)(新北市)，2016 年 7 月，頁 58。

		將材料堆疊起來的方法	直接製造
粉體融化成型技術	選擇性雷射燒結法	藉由對平坦且鋪滿的粉末照射雷射或電子束，來使材料燒結成剖面形狀。	聚合物、砂、陶瓷、金屬
材料噴塗成型技術	噴墨式	藉由從噴頭中噴出光固化樹脂、熱塑性樹脂、蠟等材料，來進行積層製造。	模型製造、零配件直接製造
黏著劑噴塗成型技術	噴墨式	從噴頭中將黏著劑噴在石膏、樹脂、陶瓷等粉末上，將其固定。	模型製造
疊層製造成型技術	疊層製造	使用一般紙張與 PVC(聚氯乙烯)薄板的裝置，將薄板材料切成剖面形狀，然後一邊黏接，一邊進行積層製造。	模型製造、零配件直接製造
指向性能量沉積技術	-	能以一體成型的方式來製作出混合了多種材料的立體模型。	修復、零配件直接製造

資料來源：1.李明穎譯，《3D 列印機 X3D 掃描器新時代》，(瑞昇文化)(新北市)，2016年7月，頁58。

2.中國機械工程學會，《3D 列印 列印未來 從虛擬到實現》，(佳魁文化)(台北)，2013年12月，頁16。

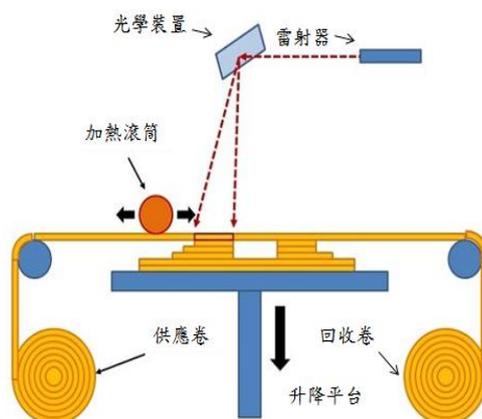
3.筆者綜整資料後製表。

隨著科技的發展，3D 列印製程技術的類型已愈來愈多，本文僅摘要分層實體成型(Laminated Object Manufacturing, LOM)、立體光固化成型、選擇性雷射燒結、熔融沉積成型(Fused Deposition Modeling, FDM)、三維粉末黏接成型(Three Dimensional Printing, 3DP)等五種較為典型的製程技術，茲敘述如下：

(一)分層實體成型(LOM)

首先，由電腦控制雷射或刀具按零件當層輪廓切割薄層材料(薄層紙、塑膠薄膜、金屬薄板或陶瓷等片材)，非零件區域切割成許多小方格，便於後續去除，接著以熱壓或其他形式將該層材料與下面已加工部分黏合在一起，在每層切割和黏合完成後，工作環境下降到一定高度(約材料厚度)，傳送機構將未加工薄層材料送進工作環境上，重複切割、黏合、送材，直到零件加工完為止。將完成的零件卸下來，去除非零件區域的材料，但此時表面較粗糙，需要透過打磨或噴塗等後置處理工序將它用平

整。¹⁴(如圖四)



圖四：分層實體成型示意圖

資料來源：<https://www.pinterest.co.kr/pin/537335799272280033/>(檢索日期：106年11月16日)

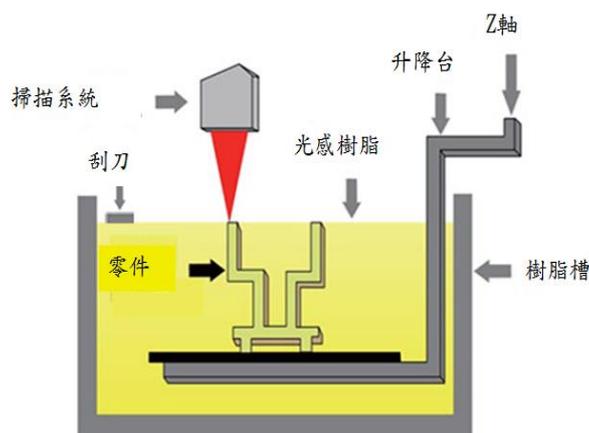
(二)立體光固化成型(SLA)

其原理是利用紫外雷射固化對紫外線非常敏感的液態樹脂材料予以成型。液槽中會先盛滿液態的光感樹脂，在電腦的控制下發射出的紫外雷射光束，會按照列印物體的分層截面資料，在液態的光感樹脂表面進行逐點逐線掃描，使掃描區域的樹脂薄層產生聚合反應而固定形成列印物體的薄層。當一層樹脂固定完畢後，工作環境將下移一個層厚的距離，以使在原先固定好的樹脂表面上再覆蓋一層新的液態樹脂，刮刀將黏度較大的樹脂

液面刮平後，再進行下一層的雷射掃描固定。新固定的一層將牢固地黏合在前一層上，如此重複直到整個列印物體層疊完畢，這樣最後就能獲得一個完整的立體模型。當列印物體完全成型後，首先需要把列印物體取出，並把多餘的樹脂清理乾淨，接著還需要把支撐結構清除掉，最後再把列印物體放到紫外燈下進行二次固定。¹⁵(如圖五)

¹⁴中國機械工程學會，《3D 列印 列印未來 從虛擬到實現》，(佳魁文化)(台北)，2013年12月，頁29。

¹⁵同註14，頁16。

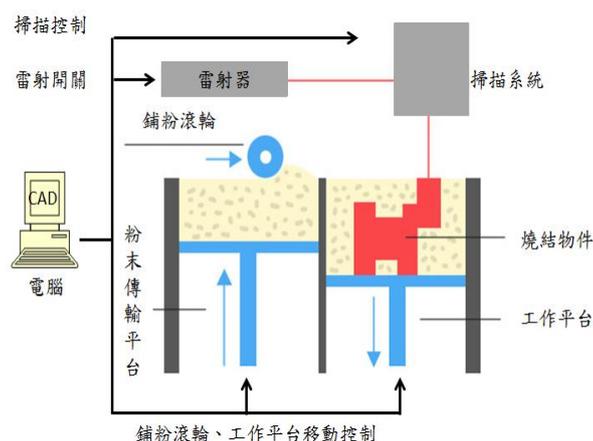


圖五：立體光固化成型示意圖

資料來源：http://www.shining3d.com/3d_service_detail-3293.html(檢索日期：106年11月16日)

(三)選擇性雷射燒結(SLS)

一開始在工作環境上鋪一薄層粉末材料，高能雷射光束在電腦控制下，根據製件各層面截面的電腦輔助設計資料(Computer aided design, CAD)對粉末層進行掃描，被掃描區域的粉末材料由於燒結或熔化黏接在一起，而未被掃描的區域粉末仍呈鬆散狀，可重複利用。一層加工完後，工作環境下降一個層厚的高度，再進行下一層鋪粉和掃描，新加工層與前一層黏結為一體，重複上述過程直到整個零件加工完為止。最後，將初始成型件從工作缸中取出，進行適當後置處理(清粉和打磨)即可。如需進一步加強零件強度，可採取後燒結或浸滲樹脂等強化製程。¹⁶(如圖六)



圖六：選擇性雷射燒結成型示意圖

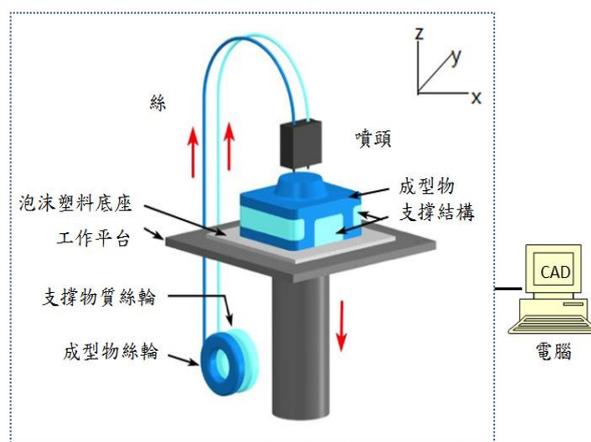
資料來源：<http://www.naozhendang.com/n/3dp-technologies>(檢索日期：106年11月16日)

(四)熔融沉積成型(FDM)

原理是將材料先製成絲狀，透過送絲機構送進噴頭，在噴頭內被加熱

¹⁶同註 14，頁 20~21。

熔化，噴頭在電腦控制下，沿零件截面輪廓和填充軌跡運動，將熔化的材料擠出，材料擠出後迅速固化，並與周圍黏合物黏結，透過層層堆積成型，最後完成零件製造，初始零件表面較為粗糙，需配合後續拋光等處理。¹⁷(如圖七)

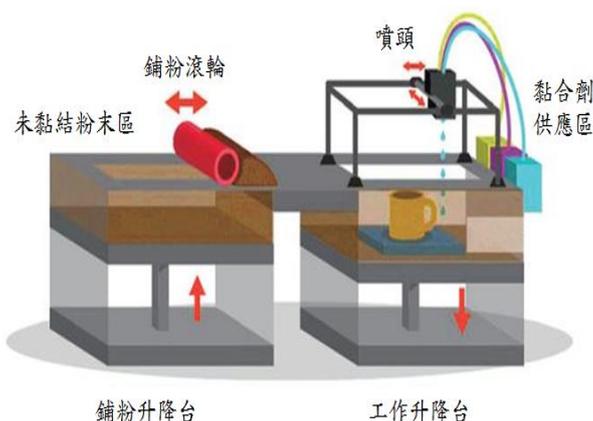


圖七：熔融沉積成型示意圖

資料來源：<https://www.emaze.com/@ALFTICCR>(檢索日期：106年11月16日)

(五)三維粉末黏接成型(3DP)

首先裝置會把工作槽中的粉末鋪平，接著噴頭會按照指定的路徑將液態黏合劑(如矽膠)噴射在預先粉層上的指定區域中，此後不斷重複上述步驟直到列印物體完全成型後，除去模型上多餘的粉末材料即可。¹⁸(如圖八)



圖八：三維粉末黏接成型示意圖

資料來源：<https://kknews.cc/tech/aebzrmj.html>(檢索日期：106年11月16日)

肆、3D列印技術軍事應用現況

¹⁷同註 14，頁 22。

¹⁸同註 14，頁 31。

早期因 3D 列印相關專利技術主要掌握在美國 3D System 與德國 ECO 兩家公司，再加上 3D 印表機體積龐大、價格昂貴，因此主要被應用在專業製造領域。近年來，隨著國際兩大 3D 列印技術專利陸續到期，愈來愈多人投入 3D 列印相關技術的研發，致使 3D 列印技術加速發展，不僅 3D 列印機價格大幅下降，快速成形製造的可行性也變得愈來愈高，至今已發展到可大幅降低製造研發與創新成本，並且革新各種產品的供應鏈型態。基於諸多優勢，3D 列印已經是許多企業及國防工業在發展創新商品與軍事裝備之際，不容忽視的一種新科技。¹⁹

3D 列印技術的應用面，隨著能使用的材料種類越來越多，以及能夠製作的精密程度越來越高，應用領域包含各行各業，以下列舉七項軍事應用現況，內容如下：

一、披薩

美國陸軍正在研發 3D 列印技術印製可供士兵食用的披薩食材(如圖九)，不僅可提供每個士兵作選擇，甚至可依個人生理欠缺的營養成份來選擇適當的原料，以補充身體營養及體力，將體能恢復到最佳狀態。²⁰



圖九：美軍展示 3D 列印的軍用口糧披薩

資料來源：Bob Reinert, Army drones to deliver 3D printed pizzas to forward operating bases, https://www.army.mil/article/145542/army_drones_to_deliver_3d_printed_pizzas_to_forward_operating_bases(檢索日期：107 年 1 月 20 日)

二、軍服

美國陸軍已開始研發 3D 列印技術製造軍服(如圖十)，利用各種材料的測試，降低車縫線的數量，除降低製作研發成本，還可提高軍服穿著的舒適感與靈活性，甚至在軍服植入生物識別感測器，可以檢測心跳頻率、呼吸和血壓，

¹⁹劉麗惠，〈3D 列印讓你我都是創新實踐者〉《貿易雜誌》(台北)，第 210 期，商周編輯顧問，2013 年 12 月，頁 36。

²⁰ Bob Reinert, Army drones to deliver 3D printed pizzas to forward operating bases, https://www.army.mil/article/145542/army_drones_to_deliver_3d_printed_pizzas_to_forward_operating_bases(檢索日期：107 年 1 月 20 日)

將訊息連結至醫護人員，以掌握作戰人員的生命力。²¹



圖十：3D 列印的軍服

資料來源：Benedict，3D printing helps PEO Soldier reduce 120 lb marching load of US Army Infantry，<http://www.3ders.org/articles/20160629-3d-printing-helps-peo-soldier-reduce-120-lb-marching-load-of-us-army-infantry.html> (檢索日期：107 年 1 月 20 日)

三、海軍救護船模型

美國海軍水面作戰中心(Naval Surface Warfare Center Cardeock Division，NSWC Cardeock)成功完成了救護船(T-AH20)的模型製造(如圖十一)，它是透過 3D 印表機製造的，專門用於對傷病員及海上遇險者進行海上救護、治療和運送輔助艦船，使他們提供更快、更精準、更低成本的海軍艦船模型。²²



圖十一：3D 列印的美國海軍救護船模型

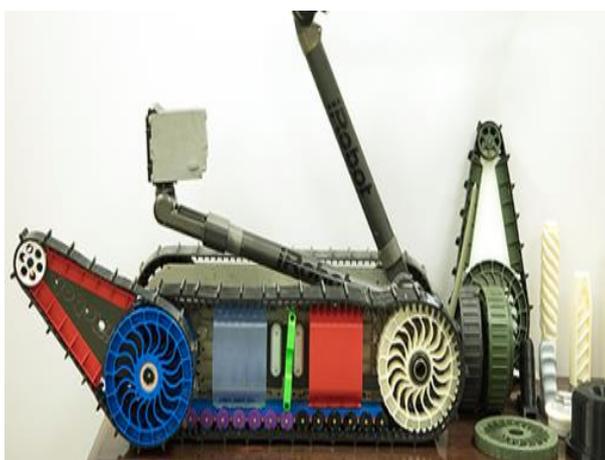
資料來源：DALE NICHOLLS，3D Printed Ship model，<http://3dprintingsystems.com/3d-printed-ship-model/> (檢索日期：107 年 1 月 20 日)

²¹Benedict，3D printing helps PEO Soldier reduce 120 lb marching load of US Army Infantry，<http://www.3ders.org/articles/20160629-3d-printing-helps-peo-soldier-reduce-120-lb-marching-load-of-us-army-infantry.html> (檢索日期：107 年 1 月 20 日)

²² DALE NICHOLLS，3D Printed Ship model，<http://3dprintingsystems.com/3d-printed-ship-model/>

四、R-FAB 零件製造機

美國陸軍武器研究發展與工程中心（Armament Research Development and Engineering Center，ARDEC）以 3D 列印技術開發出一種名為 R-FAB 的工具製造機(如圖十二)，用於製造工具和零附件，它能有效幫助士兵解決在戰場上工具和零附件損壞卻無法得到及時支援的問題。²³



圖十二：3D 列印的工具製造機 R-FAB

資料來源：Katherine Owens，R-FAB kits let soldiers 3-D print replacement parts，<https://gcn.com/articles/2017/08/03/r-fab-3d-printing.aspx>（檢索日期：107 年 1 月 20 日）

五、榴彈發射器

同樣是美國陸軍武器研究發展和工程中心的研究人員開發出 3D 列印榴彈發射器(如圖十三)，命名為 RAMBO(Rapid Additively Manufactured Ballistics Ordnance)，並進行 15 次測試性發射，每次都很成功，而且它除了彈簧和固定鏢絲之外，其餘每個零件都是用 3D 印表機印製的。²⁴

²³Katherine Owens，R-FAB kits let soldiers 3-D print replacement parts，<https://gcn.com/articles/2017/08/03/r-fab-3d-printing.aspx>(檢索日期：107 年 1 月 20 日)

²⁴David Szondy，3D printing goes to war，<https://newatlas.com/3d-printing-military-feature/42384/>(檢索日期：107 年 1 月 20 日)



圖十三：3D 列印的榴彈發射器 RAMBO

資料來源：David Szondy，3D printing goes to war，<https://newatlas.com/3d-printing-military-feature/42384/> (檢索日期：107 年 1 月 20 日)

六、V-22 魚鷹運輸機

3D 列印航空零件已因科技的進步，正在快速的發展中，美國海軍早在 1990 年代初期，就已成功地將 3D 列印技術運用到其設備中，²⁵他們已經使用工業級金屬 3D 列印機，透過雷射燒結鈦金屬粉末製成，在 V-22 魚鷹運輸機(如圖十四)上安裝 3D 列印零件，像是連接桿和管接頭組件(功能是将發動機整流罩固定到主翼結構上)，為美軍帶來了許多好處，主要包括縮短了生產週期、降低了製造成本等。



圖十四：V-22 魚鷹運輸機

資料來源：美軍安裝 3D 列印關鍵零件的 V-22 魚鷹旋翼機試飛成功，<http://www.nanjixiong.com/thread-73144-1-3.html> (檢索日期：107 年 1 月 20 日)

七、多軸飛行器

²⁵童光復譯，〈打一場安全的科技革命〉《國防譯粹》(台北)，第 44 卷第 5 期，國防部，2017 年 5 月，頁 13。

美國海軍陸戰隊實驗室裡的工程師，近年來已經研發了 3D 列印多軸飛行器 Nibbler (如圖十五)，這項研發將可以協助士兵，進行空中的監視以及通訊。另外 Nibbler 結構十分簡單，使用一些基本的零件(如馬達和電池)，和一部 3D 印表機就能迅速製造，工程師僅花費一天的時間即製造完成。²⁶而美國海軍陸戰隊更將它運用於實戰訓練，可收集重要情報，提供完整資訊，以利指揮者下達正確的決心。



圖十五：3D 列印多軸飛行器 Nibbler

資料來源：Taylor N. Cooper, U.S. MARINES LAUNCH NIBBLER DRONE MADE ON COMBAT ZONE 3D PRINTER, <https://3dprintingindustry.com/news/u-s-marines-launch-nibbler-drone-made-combat-zone-3d-printer-116274/> (檢索日期：107 年 1 月 20 日)

伍、國內發展瓶頸

一、材料受限

依各國 3D 列印技術應用的現況來看，所有的材料都可以使用，例如塑料、高分子材料、木材、玻璃、巧克力、陶瓷、石膏、金屬以及生物材料等。然而，目前發現材料瓶頸已經成為限制 3D 列印發展的首要問題，因為未來 3D 列印的真正發展將在高科技領域，而高科技列印材料的發展尚無法滿足 3D 列印技術發展的需要。

目前 3D 列印材料的問題表現在五個方面，第一，可適用的材料成熟度跟不上市場的發展；第二，列印流暢性不足；第三，材料強度不夠；第四，材料對人體的安全性與對環境的友好性的矛盾；第五是材料標準化及系列化規範等。

再者，目前國內的 3D 列印金屬粉末被國外廠家壟斷，廠商在銷售 3D 印

²⁶Inplus, 美國陸軍 3D 列印無人機只需 24 小時, <https://inplus.tw/archives/9341>(檢索日期：107 年 1 月 20 日)

表機的時候，基本上就搭售了粉末產品，價格也比較貴，限制了國內 3D 產業的發展。

二、精度、速度和效率不足

目前全球所有 3D 列印技術的研發公司的目標為更快速、更精確、更大及更可靠，若是製程速度不夠快，精度不夠高都是拘束 3D 列印在很多領域方面的應用。

三、衝擊智慧財產權

過去幾年，音樂、電影和電視產業中對智慧財產權更加關注，3D 列印技術毫無疑問地也會牽涉到這一項問題，因為現實中很多東西都會被更加廣泛的傳播。3D 列印可列印出多種的物品，如果只是把它當成複製的技術，只會促使各種濫用和山寨。

四、武器、毒品和劣質偽造產品泛濫

當我們從犯罪者的角度去思考的話，在 3D 列印技術的進步之下，設備也愈來愈便宜，看在他們的眼中將是一個金礦。他們可能利用這項科技產品，當做他們的犯罪工具，大量生產有害人們健康和安全的東西，如槍枝、毒品、偽鈔等。2012 年，在一個名為 Thingiverse.com 的檔案共用網站上發生了 3D 列印技術爭議性的問題，一個用戶上傳了一個設計檔，經由這個設計檔可以使用家用型 3D 印表機，以成本低廉的塑膠作為原料，製作出來福槍零件，這個設計檔使人們無須獲得政府同意就能擁有槍枝。²⁷換句話說，人們可以輕易的利用 3D 列印技術製作槍的零件，也可以避開槍枝管制法，目前的法律尚未考慮到這一情況，經過多次爭論後，他們才最終決定讓槍枝零件的設計師將其設計檔從網站上刪除。

造假和犯罪也可透過新技術來實現更高的效率和創新水準，非法武器、毒品和偽造產品交易蘊藏了大量商機，它帶來的暴利將吸引更多有心或不經意人士犯罪。

五、科技研發人才外流

根據瑞士洛桑管理學院 2017 年世界人才報告，我國在 63 個受評比國家中，「人才準備度」從 2016 年 27 名進步至 22 名，而「人力外流」指標從 2016 年的 45 名退至 47 名，顯見我國人才品質受肯定，但整體環境無力留才，²⁸主要原因是我國薪資水準近十幾年均處在低薪狀態，加上國外願意高薪挖取

²⁷同註 24。

²⁸工商時報，IMD：台灣人才有外流危機，

http://yuki0616.pixnet.net/blog/post/66250347#_BToc223341，2017 年 11 月 22 日

人才，導致人才外流情況日益嚴重。²⁹

陸、結合軍事運用策略規劃

我國在 3D 列印的技術與產品研發上，仍處於起步階段，不如一些先進國家(如美國、歐洲、日本、中共)已具備相當的產業規模與產值，也掌握許多關鍵的技術、材料與設備等，³⁰我國應儘速訂定長遠目標，整合現有政府與民間資源發展 3D 列印的技術，以提升軍事運用效益，以下提出以下觀點，供 3D 列印技術突破現軍事裝備諸多限制之重要參考：

一、擬定國防建設發展規畫

各國除了商業領域已開始迅速發展，更在軍事領域中，也做長期規劃，如美國於 2012 年提議國家製造創新網路(National Network for Manufacturing Innovation, NNMI)計畫與 3D 列印技術同步進行，在 2024 年之前，政府各部門要聯合建立總共 15 個製造創新研究所，³¹將積層製造技術列為未來美國最關鍵的製造技術之一。中共於 2015 年也發表「中國大陸製造 2025」計畫，³²國家軍事單位對於 3D 列印等高新技術的發展也十分重視。2016 年底歐洲防務局(European Defence Agency, EDA)將啟動「3D 列印防務領域應用」的驗證計畫，內容是以 3D 列印的技術模擬一個防務部署場景，最終目標是展示應該怎樣用 3D 列印技術來支持具體的軍事行動，以及這種應用能達到怎樣的程度。³³

我國也在 2016 年成立了「3D 列印應用產業聯盟」，將國內各 3D 列印應用同業者，與上、中、下游廠商串聯，等於是把全國 3D 列印技術能量集合起來，進而推升產業鏈與市場的發展。但在軍事應用上，尚未有任何實施計畫。政府應就現有的 3D 列印技術產業能量，結合中科院 3D 列印技術能量，著手規劃軍事領域 3D 列印技術的施行計畫，內容應定出發展願景、律定執行部門或新設立研發機構、投入經費預算、區分階段執行及預期效益等項目，接續策定具體實行方案，並分成短、中、長期來執行，最後才有機會在軍事領域中發展。

²⁹科技新報，人才流失是必然，台灣產業遇瓶頸，<https://technews.tw/2015/03/27/taiwan-business-china/>，2015 年 3 月 27 日

³⁰趙本善，〈第三次世界工業革命核心技術—3D 列印技術〉《陸軍後勤季刊》(中壢)，2016 年 11 月，頁 106。

³¹壹讀，深度解讀 3D 列印在美國軍事領域的應用，<http://www.gooread.com/article/20121282991/>。(檢索日期：106 年 11 月 14 日)

³²壹讀，深度解讀世界各地 3D 列印路線，<https://read01.com/ExkEM4.html#.WgpNwVuCwdU>。(檢索日期：106 年 11 月 14 日)

³³壹讀，歐洲防務局將啟動「3D 列印防務領域應用」探索計畫，<https://read01.com/4LomAR.html>。(檢索日期：106 年 11 月 14 日)

二、跨領域產業技術結合

我國具領先全球的資通訊產業，無論是在資訊、通訊、半導體及光電產品等領域，均已有極佳之發展經驗與基礎；在此同時，我國的工具機技術亦發展成熟，產業市佔居全球第六，未來可為我國發展 3D 列印先進製造系統提供紮實的基礎與優勢。³⁴ 並由政府協助中科院將兩項技術導入軍事應用，以製造高值化及開發軍民通用產品為目標，³⁵讓我國國防科技與民生產業處在領先全球的地位。

三、政府、軍事與民間合作開發軍事用途

我國工研院的任務是從事產業科技的研發，³⁶利用政府給予的豐富資源，如頂尖的硬體空間，設立開放實驗室，提供國內各大廠商進駐，並讓進駐業者能在裡面享有內部原有的行政服務、研發人力、設備、工程維修等資源，以減少廠商開發技術的負擔，並且透過工研院串聯所有廠商資源，協力中科院開發軍事 3D 列印技術，制訂符合軍用規格參數，並利用中科院既有的 3D 列印測試場域，再投資強化為軍規測試平台。

四、吸引各國人才進駐，並扎根軍事應用人才

按照道理來說，一流的人才一定會希望在一流的環境下工作，所以政府應納編預算建立研發中心，創造或收購全世界獨一或唯二的 3D 列印技術，展現出這領域的魄力，打造 3D 列印技術權威的環境，進而吸引世界各地人才進駐，並給予優渥的工資與生活上的福利，讓人才久留。甚至於借助他們的技術，整合政府、軍事、民間共同策劃軍事 3D 列印技術人才之能力鑑定內容，扎根軍事應用人才養成，同時也為我國 3D 列印產業人才之素質與競爭力帶動出一個良性循環。

五、訂定法律規範智慧財產權及限制 3D 列印犯罪工具製造

就跟當初電腦網際網路興起一樣，法律必須跟上科技發展的速度。當我們開始以更快速度發展 3D 列印技術的同時，政府法務部門須專案研討這些技術後續對我們生活消費安全上的影響，防制有心人士做出違反社會道德及安全的事件。同時，也要將 3D 列印技術軍事用途另案檢討納入法律規範，不能與民間以同等標準來看待，否則將限制此技術於軍事領域的發展應用。

³⁴ 台灣就業通，3D 列印產業，
https://www.taiwanjobs.gov.tw/internet/index/docDetail_frame.aspx?uid=1590&pid=230&docid=31023&nohotkey=Y#。(檢索日期：106 年 11 月 16 日)

³⁵ 同註 31。

³⁶ 工業技術研究院，關於工研院，
<https://www.itri.org.tw/chi/Content/Messages/contents.aspx?SiteID=1&MmmID=620602517257465422>。(檢索日期：106 年 11 月 16 日)

六、創新原物料開發

成功大學機械科技研發中心經多年鑽研，近期成功製作出 3D 鋁金屬粉末，它可快速製作出傳統模組不易製作的高複雜性、少批量金屬零組件，運用在追求輕量化的航空、汽車產業上，可發揮關鍵性的價值。以 3D 鋁金屬粉末製作的微型渦輪機，性能高於傳統模式製造的產品，工序大幅簡化，成本也減少一半，從材料系統到生產，我國自行製造，不用再受制於國外。³⁷中科院可與成功大學合作，利用既有的 3D 金屬列印技術，運用於軍事航太領域項目，如戰機、無人機等關鍵零組件，以降低產品開發成本與時間。

七、與大型食品集團合作發展 3D 列印

武器裝備發展瓶頸與突破其困難度較高，食品類在軍中有共同性的需求且差異性較低，而食品類所需之粉末原料開發時其技術性與困難度較低，國軍可配合民間大型食品集團及高雄餐旅大學共同合作，以較低額度預算與民間共同開發針對性(軍事用途)之 3D 食品，食品商在此基礎上再開發多樣性(商業用途)，雙方各取其利，民間食品集團可滿足商業需求，軍方可滿足戰時食的需求，學術單位可滿足學術新領域開發突破的需求，地面部隊發展 3D 列印軍事用途程序以由簡入繁的方式導入，這是值得期待的。

柒、本軍未來應用 3D 列印之研議

3D 列印未來運用在軍事用途非一蹴可及，(中科院於 104 年 10 月宣布研發完成 3D 金屬列印機台，並有望在短短幾年內直接列印戰機、飛彈、潛艦上的精密零組件。³⁸)尤其是地面部隊對武器裝備肇發意外敏感度較低，未來若在軍中配賦 3D 列印裝備其優先順序應為，無商源與零件無來源之潛艦、戰機等，次為海空軍高價值裝備，本軍除陸航外其餘地面部隊之需求可在整體技術純熟且普及化之後，逐次推廣運用至地面部隊的戰術層級單位，未來可以應用於連、營、旅及軍團等層級，提出相關建議：

一、糧秣

我們都知道作戰就是打後勤，而在後勤中關乎軍人體力的就是戰場伙食供應。除了食勤組的正常供應之外，戰時由於戰況緊急，正常的熱食通常不能準時有效的送達戰場，研究可配賦在戰術層級(營級)，能夠列印出食品的 3D 列印機，不僅能隨時隨地列印出食品，還能控制營養成份，來補充官兵食的需求，維持基本體力，持續在戰場上作戰。

³⁷自由時報，成大研發 3D 鋁金屬粉末 成本不到進口的一半，
<http://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/1907483>，2016 年 12 月 5 日

³⁸旺報，3D 列印 可自製軍武關鍵零件，2015 年 10 月 7 日

二、飲水供應

戰時水的需求特別重要，水污染或水源被敵方控制時，造成飲水的供應中斷，此時軍隊與百姓對水的需要，引發分配時之爭奪或不預期之暴亂，將影響作戰任務之執行，為防患於未然，可由作戰區後勤指揮部列管 3D 列印機生產之「生命吸管」，對於污染水源透過生命吸管之淨化物質，可吸取乾淨飲水，戰時以連級為單位，列為戰備物資列管備用，必要時，甚至可以分配給百姓使用，以解決民生基本需要。

三、彈藥

雖然國軍各層級單位有配賦彈藥基本攜行量，但戰況發展難以預期，彈藥仍可能會用盡，建議各地區指揮部可配賦一台 3D 列印機，能印製各種同原料之彈藥，戰時可快速補充作戰消耗，維持彈藥供應的穩定性。

四、無人機

偵察部隊的基本任務是執行秘密潛入任務，以滿足指揮官對於情報的需求，它提供的情報讓指揮官更清楚戰場態勢，以利制定綜合計畫和下達決策，並指導後續或未來的行動。這些情報對指揮官決心和成功執行軍事行動有著關鍵性作用，建議未來各作戰區情報處能配賦 3D 列印無人機，除了以較低成本獲得外，也讓各營級偵察排人員具備全天候、持續、精確和即時的情報收集能力，提供完整資訊，以利營級情報官解析可疑徵候，作出正確的情報判斷。

五、主戰裝備零附件

由於本軍主戰裝備使用年限長達數十年，已經有很多主戰裝備遭遇到最終採購後，零附件來源中斷問題，也就是零附件原供應商不再生產，另外開模費用非常昂貴，透過 3D 列印就可以解決此問題。³⁹國軍一些五級廠庫單位未來可以配置數台 3D 列印機，自行製造這些零附件，除可解決長期待料之詬病，也讓主戰裝備恢復妥善重新投入戰場，延長服役壽期，維持主戰裝備與武器作戰效能。

六、隨裝工具

「工欲善其事，必先利其器」，本軍很多裝備配賦工具機都是使用了數十年，不僅裝備已逾壽期，隨裝工具更是缺損嚴重，這種情形建議可以使用 3D 列印機來解決，藉由它低成本、生產快速的特性，各後勤指揮部可配賦一台，平時以解決隨裝工具短缺問題，戰時也能快速提供保修支援。

³⁹中央社，首座 3D 金屬列印機 未來可助維修潛艦，2015 年 10 月 6 日

捌、結語

綜觀 3D 列印技術能夠成為近年來最熱門的新科技之一，絕非偶然，面對 3D 列印將對人類生活、國家經濟與軍事帶來的多重影響，我國有賴政府與業界一起建立共同願景，可有效面對 3D 列印的技術性挑戰，而且，為了發揮該技術潛能，包括政策及採購等都得進行必要的變革。

我國政府雖已著手致力於 3D 列印技術發展，如 2012 年規劃「雷射光谷關鍵技術開發暨整合應用科專計畫」推動策略，引進首部金屬材料雷射積層製造設備，並於台南成立「雷射光谷育成暨試量產工場」，將 3D 列印雷射積層製造技術納入發展重點，另外，中科院於 2015 年自主研發完成國人首座金屬積層製造(3D 金屬列印)設備，於金屬粉末、雷射源等項目亦有重大突破，但發展情形仍屬於起步的階段，且在軍事領域上尚未有顯著發展，目前可以借鏡他國發展經驗，以我國先進科技技術尋求突破口，以創新思維與觀念，在成本效益考量下，製造高精密關鍵零組件，為我國開創 3D 列印技術新紀元間接促進軍事方面的革新與實際需求。

參考文獻

1. 林鼎勝，〈3D 列印的發展現況〉《科學發展》(台北)，第 503 期，科技部，2014 年 11 月。
2. 吳懷宇，《決戰 3D 列印：「智造」時代來臨-顛覆你的既定「印」象》，電子工業出版社，2015 年 9 月。
3. 桂家齊，〈3D 列印無人機 助英軍情蒐〉《蘋果日報》(臺北)，民國 104 年 7 月 26 日。
4. 郭少豪、呂振，《3D 列印新浪潮：啟迪 3D 列印的未來》，佳魁文化，2014 年 7 月。
5. 每日頭條，早期 3D 列印技術發展史，<https://kknews.cc/tech/j8bj8zq.html>。(檢索日期：106 年 7 月 3 日)
6. 桂家齊，〈3D 列印無人機 助英軍情蒐〉《蘋果日報》(臺北)，民國 104 年 7 月 26 日。
7. 每日頭條，全 3D 列印的無人機你見過嗎，<https://kknews.cc/tech/53xm26.html>。(檢索日期：106 年 7 月 3 日)
8. 蘇英嘉，《3D 列印決勝未來》(五南出版社)(台北)，2014 年 7 月。
9. 財經新報，3D 列印概觀與前瞻，<http://finance.technews.tw/2013/05/23/3dprinting-part1/>(檢索日期：106 年 11 月 16 日)
10. 廖運炫，〈3D 列印技術〉，《臺大校友雙月刊》(台北)，第 88 期，2013 年 7 月。
11. 李明穎譯，《3D 列印機 X3D 掃描器新時代》，(瑞昇文化)(新北市)，2016 年 7 月。
12. 中國機械工程學會，《3D 列印 列印未來 從虛擬到實現》，(佳魁文化)(台北)，2013 年 12 月。
13. 吳懷宇，《3D 列印 三維智能數字化創造》，(電子工業出版社)(北京)，2015 年 1 月。
14. 劉麗惠，〈3D 列印讓你我都是創新實踐者〉《貿易雜誌》(台北)，第 210 期，商周編輯顧問，2013 年 12 月。
15. 姚念周，〈論 3D 列印食品的趨勢〉《食品資訊》(台北)，第 280 期，商周編輯顧問，2017 年 8 月。
16. Benedict，3D printing helps PEO Soldier reduce 120 lb marching load of US Army Infantry，<http://www.3ders.org/articles/20160629-3d-printing-helps-peo-soldi>

- er-reduce-120-lb-marching-load-of-us-army-infantry.html (檢索日期：107 年 1 月 20 日)
17. Whitney Hipolite, Monash University 3D Prints Two Entire Metal Jet Engines, The Voice of 3D Printing Technologies, Feb. 25, 2015
 18. 童光復譯,〈打一場安全的科技革命〉《國防譯粹》(台北),第 44 卷第 5 期,國防部,2017 年 5 月。
 19. 葉守逸、蕭新民,〈多軸飛行器威脅模擬與因應措施初探〉《陸軍學術雙月刊》(龍潭),第 52 卷第 549 期,2016 年 10 月。
 20. 中央社,首座 3D 金屬列印機 未來可助維修潛艦,2015 年 10 月 6 日
 21. Inplus,美國陸軍 3D 列印無人機只需 24 小時,https://inplus.tw/archives/9341
 22. Bob Reinert, Army drones to deliver 3D printed pizzas to forward operating bases, https://www.army.mil/article/145542/army_drones_to_deliver_3d_printed_pizzas_to_forward_operating_bases(檢索日期：107 年 1 月 20 日)
 23. David Szondy, 3D printing goes to war, https://newatlas.com/3d-printing-military-feature/42384/ (檢索日期：107 年 1 月 20 日)
 24. 美軍安裝 3D 列印關鍵零件的 V-22 魚鷹旋翼機試飛成功, http://www.nanjixiong.com/thread-73144-1-3.html (檢索日期：107 年 1 月 20 日)
 25. Taylor N. Cooper, U.S. MARINES LAUNCH NIBBLER DRONE MADE ON COMBAT ZONE 3D PRINTER, https://3dprintingindustry.com/news/u-s-marines-launch-nibbler-drone-made-combat-zone-3d-printer-116274/ (檢索日期：107 年 1 月 20 日)
 26. 工商時報,IMD：台灣人才有外流危機, http://yuki0616.pixnet.net/blog/post/66250347#_BToc223341, 2017 年 11 月 22 日
 27. 科技新報,人才流失是必然,台灣產業遇瓶頸, https://technews.tw/2015/03/27/taiwan-business-china/, 2015 年 3 月 27 日
 28. 壹讀,歐洲防務局將啟動「3D 列印防務領域應用」探索計劃, https://read01.com/4LomAR.html。(檢索日期：106 年 11 月 14 日)
 29. 壹讀,深度解讀世界各地 3D 列印路線, https://read01.com/ExkEM4.html#.WgpNWVuCwdU。(檢索日期：106 年 11 月 14 日)
 30. 壹讀,深度解讀 3D 列印在美國軍事領域的應用, http://www.gooread.com/article/20121282991/。(檢索日期：106 年 11 月 14 日)

- 31.趙本善，〈第三次世界工業革命核心技術—3D 列印技術〉《陸軍後勤季刊》(中壢)，2016 年 11 月。