

### 壹、前言

1948年，美國全錄公司（Xerox）研製出全球首款影印機，1960年第一台針點式印表機問世，1971年第一台雷射印表機生產，以噴嘴將碳粉噴出文字和圖案的2D列印誕生，之後進入彩色製版列印的時代，而3D列印機即係在2D列印的基礎上創意發想而來。1980年，日本名古屋工業研究所小玉秀男（Hideo Kodama）最早掌握3D列印，當時稱為快速成型技術（rapid prototyping, RP），目的是為了快速有效地做出產品原型，應用在工業製造與產品研發領域。1983年，赫爾（Charles W. Hull）研究出立體平板印刷技術（stereolithography apparatus, SLA），並成立3D系統公司，<sup>1</sup>1986年首台商用3D列印機生產，從此3D列印技術快速發展，普遍應用於醫療、工業、汽車、建築、模具、食品、航空太空、軍事以及生活消費品等各個領域。

台灣在2010年代對3D列印技術急起直追，相關研究的學術性論述不少，大多集中在醫學、工具機、生活用品、技術探討以及產業發展，可以說國內產官學界對於3D列印的效益不僅認識深刻，並且投入相當可觀的人力和物力進行研究、發展與應用。由於世界先進國家紛紛將3D列印應用於軍事領域，並形成一股蓬勃的發展趨勢；國軍自然不宜缺席落後，不僅要迎頭趕上，以利更好地提高裝備妥善，也要藉由對3D列印的純熟使用，發想出更具創新的軍事應用價值。然而，盤點台灣在軍事科技領域的應用多偏重於金屬材質的3D列印，顯示還有很大的發展空間，值得在

\* 國防安全研究院國防戰略與資源研究所助理研究員。

<sup>1</sup> Capucine Lonjon, “The History of 3d Printer: from Rapid Prototyping to Additive Fabrication,” *Sculpteo*, March 1, 2017, <https://www.sculpteo.com/blog/2017/03/01/whos-behind-the-three-main-3d-printing-technologies/>.

年度科技發展評估報告中呼籲有關部門重視。本文從 3D 列印的原理、材料、產品優勢以及可能面臨的法律問題出發，接著介紹台灣 3D 列印產官學合作與發展情況，然後評估 3D 列印可能提供台灣軍事應用的方向及其可能產生的良性影響，最後提出具體建議提供政策部門參考。

## 貳、3D 列印原理優勢與法律問題

### 一、3D 列印的原理與材料

3D 列印係以分層積澱材料的辦法噴射堆積出任何所需形狀的物體，被稱為「積層製造」(additive manufacturing，或稱「增材製造」)；傳統製造工藝係對原材料加以切割、打磨、腐蝕、熔融等手段以獲得零附件，再藉由拼裝、焊接等方法合成最終成品，因此是典型的「減材製造」。<sup>2</sup> 3D 列印的作業流程基本區分為四個步驟：(一)利用電腦輔助設計(computer-aided design, CAD)軟體設計出所要物體的 3D 模型圖；(二)利用 3D 列印設備中的軟體，對模型進行分層切片，得到各層截面的 2D 圖形；(三)在設計程式指令的導引下，3D 列印設備噴出固體粉末或熔融的液態材料，使其固化為一平面薄層，第一層固化後，在此基礎上再形成第二層，如此往復，按順序逐層固化或黏結相鄰截面；(四)去除列印過程中所需的支撐結構，最後形成 3D 物體。<sup>3</sup> 3D 列印必須藉助於電腦輔助繪圖和製造工具(CAD and computer-aided manufacturing, CAD/CAM)，通過 CAD 將創意呈現出來，然後挑選合適的列印機和材料，透過 CAM 指令控制 3D 列印，逐層噴塗出所望的物件。

3D 列印運用粉末、金屬、塑膠等可黏合材料，透過逐層增加、快速成型的方式製造成品，目前的材料約有 300 餘種，常用的材料可分為聚合

<sup>2</sup> 沈丁立，〈3D 列印技術形塑新軍事革命〉，《現代物理知識》，第 26 卷第 2 期(總 152 期)，2014 年 2 月 1 日，頁 44。

<sup>3</sup> 金大元，〈3D 列印技術及其在軍事領域的應用〉，《新技術新工藝》，第 4 期，2015 年，頁 9。

物、金屬、陶瓷三大類，金屬材料主要是金屬粉末，包括不銹鋼、鋁合金、鈦合金、高溫合金等；對於結構複雜的構件，金屬材料 3D 列印的優勢更加突出，所以在軍事裝備、車輛製造等領域應用更為廣泛，尤其是鈦合金材料，由於強度高、耐熱性和耐腐蝕性能極好，經常應用於火箭、飛彈等構件中。<sup>4</sup> 其實有許多材料都可以應用在 3D 列印的成品製作，例如，鈷鎳合金（Co-Ni）能克服航空發動機零件承受高強度扭力的問題；以真菌作為材料，可以列印吸音組件；3D 列印石墨複合材料能增加強度和導電性，有利於軍事應用在散熱片和航空發動機遮罩裝置；以純銅粉（DM Cu）為材料，可以列印 99.9% 的純銅組件，<sup>5</sup> 這些材料都是通過小型實驗之後的大規模實際應用，最終促使 3D 列印技術在製造領域大放異彩。

根據美國《2021 年 3D 列印半年報告書》（*3D Printing Half-Year Report 2021*）估計，3D 列印市場於 2030 年將達 184 億美元的產值。<sup>6</sup> 但台灣證券交易所《證券服務》期刊的評估卻認為，僅僅在 2020 年即有 210 億美元的產值。<sup>7</sup> 儘管台灣證交所評估的時間是在 2015 年，基於證交所對市場敏銳度的觀察，3D 列印技術產業無疑是個潛力股，它具備快速、便捷、客製化、模組化、多樣化、輕量化、區隔化、成品複雜化、製程標準化、一體成形、一機多用、低成本、低汙染、任擇批量、裝備適應性高、成品生命週期長、維修方便等眾多優良特性，相對於傳統的「減材製造」而言，更具製作工藝上的優勢。

<sup>4</sup> 陳穎、陳紅遷、張少亮，〈3D 列印技術及其在軍事中的應用〉，《機械工業應用》，第 12 期，2021 年，頁 61。

<sup>5</sup> “Developments in 3D Printing: A Sector by Sector Overview,” *3D Printing Half-Year Report 2021*, January 1, 2021 to June 15, 2021, pp. 2-3.

<sup>6</sup> “Developments in 3D Printing: A Sector by Sector Overview,” *3D Printing Half-Year Report 2021*, January 1, 2021 to June 15, 2021, p. 3.

<sup>7</sup> 吳淑美，〈3D 列印未來發展趨勢與商機分析〉，《證券服務》，第 637 期，2015 年 4 月，頁 80。

## 二、西方 3D 列印的軍事應用

3D 列印技術發展 40 年來，應用於軍事領域已經相當廣泛，也有許多成功案例。例如，2016 年，美國海軍列印全世界第一個 V-22 傾轉旋翼戰機發動機的鈦合金翼縫固定裝置；<sup>8</sup> 法國海軍集團（Naval Group）列印 1 噸重的軍艦俾葉，俾葉半徑 2.5 公尺，安裝在三叉戟級（Tripartite-class）安德羅梅德號（Andromède）獵雷艦，2020 年 12 月順利完成海上試俾；<sup>9</sup> 美國陸軍基於提高量產速度、降低生產成本、減輕車體重量、提高車輛性能以及增加存活力等要求，透過 3D 列印技術，製造一體成形和無關節的戰車車體，其體量接近 30 呎 × 20 呎 × 12 呎，<sup>10</sup> 大於 M1A2 主力戰車的尺寸，車體將可對新一代戰車安裝的配備形成更好的安全保障；此外 3D 列印也多方應用在航空太空載具和軍用車輛零組件、渦輪風扇葉片、可重複使用火箭、通訊天線等等項目的列印製造。

美國國防先進研究計畫局（Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA）於 2015 年正式將 3D 列印技術大量應用於軍服、防護面罩、軍事醫學、營房、艦艇裝備、航空和太空領域。2022 年，DARPA 再將 3D 列印技術的心思動到食物上面，以滿足太空人、潛水員、災難受害者以及生活在「食物沙漠」（food deserts）等貧困線上的人類 他們幾乎無法獲得營養食物的需求。<sup>11</sup> 其「再生資源」（Re-Source）計畫的主要目的是利用當地原料和混合廢棄物快速生產各種需要的產品，從飲用水和「可食用的巨量營養素」（edible macronutrient）到車輛和裝備所需的潤滑劑、黏合劑和戰術纖維，保障遠征部隊和人道主義救援行動，特別是「人造食物」可能是解決未來糧食短缺問題的因應方案，具體目標是將生質能細胞

<sup>8</sup> Sara LaJeunesse, “From the Ground up: Taking 3D Printing Technology to the Next Level,” *Penn State*, March 21, 2022, <https://www.psu.edu/news/research/story/ground-taking-3d-printing-technology-next-level/>.

<sup>9</sup> “Developments in 3D Printing: A Sector by Sector Overview,” *3D Printing Half-Year Report 2021*, January 1, 2021 to June 15, 2021, p. 16.

<sup>10</sup> “Developments in 3D Printing: A Sector by Sector Overview,” *3D Printing Half-Year Report 2021*, January 1, 2021 to June 15, 2021, p. 18.

<sup>11</sup> Elizabeth Neus, “DARPA Plans to Make Replicators for Real,” *Fed Tech*, May 9, 2022, <https://fedtechmagazine.com/article/2022/05/darpa-plans-make-replicators-real>.

轉化為安全、有視覺吸引力、可食用和適口的食物，俾利於傳統食物不敷使用時，可以支援軍隊和平民。<sup>12</sup>

3D 列印對軍用武器及設施維修的效果相當顯著，能在戰場上把需要的零附件「列印」出來，及時、精準完成受損裝備的維修保障，快速恢復作戰能力；從 3D 設計到完成零件加工僅需幾個小時到幾十小時，不需傳統製造方式的鑄錠、制坯、模具、模鍛等過程，可以快速和低成本的方式進行零附件生產；數位化生產過程可適時修正、隨時製造，形成任意形狀的零件；特別是對複雜結構零附件的製造周期明顯縮短；必要時可由後方設計人員根據前線維修需求臨時設計新的維修工具。美軍有一款戰場使用的小型 3D 列印機，可放在官兵背包隨時取用。當然，3D 列印的效率是戰場應用最主要的考量，「半小時修復受損裝備是有價值的，如果要花一天時間那就沒價值了」。<sup>13</sup> 戰場有戰機上的壓力，但在承平時則無趕製的需要。3D 列印技術具備諸多優勢，雖然難以取代大規模的生產線，但製作上不需要模具，可從設計到零件直接轉化，完成快速、自由的製造，對於武器裝備設計，複雜、昂貴的零組件製造以及維修保障等方面得到廣泛應用，是軍事裝備領域製造技術革新的關鍵。

使用金屬材料的 3D 列印固然擁有上述各種優點，卻也有一些傳統工序存在的問題需要處理，例如，金屬 3D 列印的零件在實際組裝或使用之前，必須先進行表面打磨等光滑化處理；此外還可能會有孔隙度、密度、殘留應力、龜裂、捲翹和隆起等問題，<sup>14</sup> 然而這些問題或缺點都可以按照傳統製造的解決方式予以克服，3D 列印似乎與傳統鑄造同樣存在必須加工的問題。美國國防先進研究計畫局透過開放式製造計畫（Open Manufacturing Program）蒐集並建立 3D 列印資料庫的做法，大幅降低 3D

<sup>12</sup> “DARPA Seeks ‘Top Chef’ for 3D Printed Food,” *Modern Army*, December 9, 2021, <https://www.modernarmy.net/categories/modern-army/today-s-cartoon/darpa-seeks-top-chef-for-3d-printed-food.html>.

<sup>13</sup> 柯文，〈3D 列印武器，沒你想像的那麼簡單〉，《江蘇科技報》，2018 年 11 月 27 日，頁 A11。

<sup>14</sup> 高維駿、蘇園展、林明智，〈金屬 3D 列印運用於國機國造之研析〉，《空軍軍官雙月刊》，第 223 期，2022 年 4 月，頁 18-20。

列印可能出現的問題。<sup>15</sup> 而 3D 列印節省的時間和成本以及其他優於傳統製造的特性，仍然使其產生逐漸凌駕傳統製造工藝的趨勢。

### 三、可能面臨的法律問題

隨著 3D 列印的需求增加，技術成本越來越低，3D 列印零附件產品侵權的訴訟案件越來越多。<sup>16</sup> 在使用設備和技術應用之餘，仍須先瞭解相關的法律問題，避免衍生不必要的訴訟。3D 列印技術涉及的法律問題主要區分為專利權、著作權、商標權和營業秘密四類。論析如下：

#### （一）專利權

現行 3D 列印設備包括雷射固化快速成型機、雷射燒結快速成型機、雷射熔化快速成型機、貼片刻寫快速成型機、電子束熔化快速成型機、噴墨黏粉 3D 列印機、熔融擠壓 3D 列印機、壓電驅動 3D 列印機、氣動 3D 列印機和電動 3D 列印機；伴隨設備的主要列印技術有材料擠製成型、光固化技術、粉體熔融成型技術、黏著劑噴膠成型、材料噴塗成型、疊層製造成型和指向性能量沉積技術等。<sup>17</sup> 這些裝備及其列印技術和材料成分通常都會申請專利，從而保護其研發成果不被剽竊，並且維護其設備和技術利益。使用現行的列印機和材料成分宜經過付費程序，取得合法使用權。

#### （二）著作權

3D 列印方面的著作權主要是涉及電腦輔助設計的應用程式使用、設計的造型圖檔以及 3D 檔案的上傳、複製與下載等，都受到《著作權法》

<sup>15</sup> A. Tarantola, “DARPA to Develop Best Practices for 3D Printing,” *Engadget*, May 31, 2015, <https://www.engadget.com/2015-05-31-darpa-to-develop-best-practices-for-3d-printing.html?ncid=txtlnkusaolp00000589>.

<sup>16</sup> “Developments in 3D Printing: A Sector by Sector Overview,” *3D Printing Half-Year Report 2021*, January 1, 2021 to June 15, 2021, p. 2.

<sup>17</sup> Add Maker, 〈不只是 FDM、SLA！七種常見 3D 列印成型技術原理大集合〉，《Amag》，2020 年 12 月 28 日，<https://mag.addmaker.tw/2020/12/28/7-3d-print-technology/>。

中有關電腦程式著作、美術著作和複製權的保護。應採購正版軟體和圖檔，並依《著作權法》規範使用，否則即應創新求變自力研發出與市面販售產品區隔的程式和圖形。

### （三）商標權

《商標法》第 18 條規定：「商標，指任何具有識別性之標識，得以文字、圖形、記號、顏色、立體形狀、動態、全像圖、聲音等，或其聯合形式所組成。前項所稱識別性，指足以使商品或服務之相關消費者認識為指示商品或服務來源，並得與他人之商品或服務相區別者。」因此舉凡 3D 列印的電腦應用程式、列印設備、素材和成品，或相關服務，都可以透過可資識別的標識顯示商品或服務來源，並能區隔其他商品或服務的標示，都可受到《商標法》的保護。

### （四）營業秘密法

3D 列印技術涉及《營業秘密法》的部分主要是列印設備的控制碼（或稱「原始碼」）以及包括成分比例在內的列印材料等內容。這些資訊若合乎《營業秘密法》第 2 條所規定：營業秘密係指方法、技術、製程、配方、程式、設計或其他可用於生產、銷售或經營之資訊，而符合非一般涉及該類資訊之人所知者、因其秘密性而具有實際或潛在之經濟價值者以及所有人已採取合理的保密措施者等要件，即受到保護。而 3D 列印製造偏偏與「方法、技術、製程、配方、程式、設計」有關，必須特別謹慎。

## 參、台灣產官學 3D 列印發展

### 一、官方支持

早在 2004 年，成功大學和中正大學已經進行 3D 列印技術研究，可惜當時 3D 列印設備技術不成熟，印製成品品質低劣。從此，台灣錯過全

球 3D 列印狂潮的第一班列車。2012 年 7 月，台灣工業技術研究院籌組成立「雷射積層製造產業群聚」，推動台灣 3D 列印產業，同年底在工研院南院成立積層製造與雷射應用中心，<sup>18</sup> 形同孵化 3D 產業的育成中心，此後一家家 3D 列印相關產業公司有如雨後春筍紛紛成立。投入 3D 列印技術研究和促進產業發展的官方機構除了工研院之外，還有科技部、資策會、國防部、國家實驗研究院儀科中心以及經濟部工業局等，而國實院儀科中心還是國際權威的 3D 列印醫學產品安全認證機構。

## 二、產學合作

3D 列印除了列印的機器和材料之外，列印的應用程式也很重要，列印軟體往往必須針對特殊列印產品而設計，功能越強的 3D 列印機，越能夠根據需求列印所望的產品，而懂得應用程式的操作員也是讓創意實現的主要憑藉。10 年下來，台灣從事 3D 列印技術和相關應用程式研究，或提供 3D 列印工程師認證的學術單位越來越多，根據不完全統計，包括大同大學、中山大學、中正大學、中國醫藥大學、中興大學、成功大學、世新大學、亞洲大學、海洋大學、景文科技大學、逢甲大學、陽明交通大學、輔仁大學、靜宜大學、台灣大學、台灣科技大學、台灣師範大學等等，這些學校為台灣 3D 列印技術培養許多人才，連帶促使台灣 3D 產業蓬勃發展，相關產業超過 140 家。2022 年 8 月，台灣 3D 列印協會在台北南港展覽館舉辦「台灣 3D 列印暨積層製造設備展」，呈現台灣 3D 產業潛力雄厚，發展蓬勃，但是展區僅展出極少數軍備相關產品，顯見國軍軍品 3D 列印的軍事應用還有很大的成長空間。

<sup>18</sup> 顏同，〈臺灣 3D 列印深耕先行者，鴻海也找他把脈〉，《今周刊》，2014 年 4 月 25 日，<https://www.businesstoday.com.tw/article/category/183015/post/201404250021/>。

### 三、軍方參與

國防部顯然並未錯過 3D 列印技術的列車，國防大學理工學院、中科院、工研院、成功大學以及空軍保修指揮部等機構於 2017 年 9 月建立建教合作關係，針對金屬 3D 列印技術建立教研能量。<sup>19</sup> 2020 年，中科院完成大型（1.2 公尺 × 40 公分）航太級金屬粉床熔化成型設備、專用超合金粉自主化設備及材料開發，能列印更大且符合國防及航太產業規格的零組件，目前產製 4 項用在高教機的零組件，達成減重 12% 至 30% 的輕量化目標，並將會導入高教機量產應用。<sup>20</sup> 看起來初具成效，其實 3D 列印並不限於金屬領域，理工學院和中科院可以在既有的基礎上結合民間產業的能量，此外各軍兵種後勤處、陸軍後勤指揮部和海軍保修指揮部亦應積極投入，參與開發軍用裝備零附件，創造 3D 列印技術的軍事應用效益。

### 肆、台灣 3D 列印的軍事應用

3D 列印技術可以實現從設計到零件的直接轉化，完成快速、自由的製造，能夠在武器裝備的設計，複雜、昂貴部件的製造，以及維修保障等方面廣泛應用，它是未來軍事裝備領域製造技術革新的關鍵。<sup>21</sup> 台灣的 3D 列印技術除了應用在高教機的複合材料組件製造之外，還有很多面向可以充分應用，在相當程度上可以解決零附件消失性商源的困境，也有利於實現逆向工程所需的零附件製造。特別是 3D 列印的成本相對低廉許多，生產效率也是傳統方法的 3 倍。<sup>22</sup> 基本而言，所有民間 3D 列印的技術都可以應用在軍事領域，包括人體骨骼等醫療成品、生物科技、飛機複材、汽車零組件、人造食品以及個人的服裝鞋帽等經理裝備。

<sup>19</sup> 理工學院，〈金屬積層製造 3d 列印產官學建教合作〉，《國防大學驗書》，2017 年 9 月 29 日，<https://zh-tw.facebook.com/ndurecruit/posts/1638207639543663/>。

<sup>20</sup> 朱明，〈中科院運用 3D 列印技術，量產高教機 4 項重要零組件〉，《上報》，2021 年 2 月 14 日，[https://www.upmedia.mg/news\\_info.php?Type=1&SerialNo=106066](https://www.upmedia.mg/news_info.php?Type=1&SerialNo=106066)。

<sup>21</sup> 企鵝號，〈武器準備專題四：我國新一代軍機普遍使用 3D 列印技術〉，《騰訊網》，2021 年 3 月 28 日，<https://new.qq.com/rain/a/20210328A01NEC00>。

<sup>22</sup> 林營宗，〈3D 列印技術改變工業未來〉，《三聯技術》，2013 年 3 月，頁 25。

由於台灣軍事資源相對有限，3D 列印產品應結合台灣 3D 列印在材料、零組件、設備、設備代理以及技術應用等領域既有的優勢，<sup>23</sup> 並聚焦於民間較為欠缺的領域重點發展，具體包括發動機葉片、機翼、尾翼、副翼、旋翼、軍艦與小艇船體修補、非磁性鋼板、軍車車體、變速箱齒輪、飛彈、火箭、無人機、防彈陶瓷、拆彈機器人、槍身、槍托、彈匣、無線電、通訊天線、裝備零附件、混凝土工事掩體以及營房，並且透過電腦輔助設計和製造（CAD/CAM）對其他現用裝備進行任何可能的嘗試，可以說潛力十足。除此之外，國軍向來強調「救災就是作戰」，3D 列印還能夠快速列印所需要的防汛救災物品，可以隨時補充救災物品的耗損，提高救災效率，大幅降低災損。

3D 列印除了列印的機器和材料之外，列印的應用程式也很重要，列印軟體往往必須針對特殊列印的產品加以設計；功能越強的 3D 列印機，越能夠根據需求列印所望的產品，而懂得操作應用程式也是讓創意實現的主要憑藉，所以除了機器之外，優質的人力實居關鍵地位。國防部應該提供陸海空軍專業後勤補給單位，配備相關的 3D 列印機，以利基層部隊隨時能夠列印短缺的零附件應急，維持必要的裝備妥善，而無須返回駐地或返港。當然這些列印的能力和品質應先通過相關單位認證，對於列印的成品方能放心使用。3D 列印技術在國軍部隊實際應用將產生下列關鍵性的影響：

## 一、降低備料成本

部隊或艦艇於執行演訓或海域偵巡期間，裝備零附件使用難免磨損，部隊或艦艇如有配賦 3D 列印機，即可針對耗損零組件在 CAD/CAM 的協助下，於短時間內透過積層製造方式生產替代的零組件，只要預選合適的材料，其強度甚至強過原有的零件。這樣演訓中的部隊或執行任務中的艦

<sup>23</sup> Howie Su，〈開創產業新契機，告訴你臺灣 3D 列印優勢在哪裡？〉，《ivendor》，2021 年 11 月 26 日，[https://www.ivendor.com.tw/website/digital\\_column\\_detailed/331](https://www.ivendor.com.tw/website/digital_column_detailed/331)。

艇，將無須因為武器、車輛或裝備中的某些零件損壞而必須等到進廠或返港才能更換，可以提高保養維修效率，並維持裝備妥善率。當然，一般而言艦艇都會存有備料以因應急需，但若有 3D 列印機則可減少備料採購數量，從而降低料件的預算支出。

## 二、大量節約耗材

傳統製造工藝係以堆積木模式完成產品，首先製作零組件，再將零件組成大的部件，大部件組成次總成，最後將幾個次總成組裝成系統總成。在製作零組件階段往往必須切削不需要的部分而浪費一些材料，因此這種傳統工序被稱為「減材製造」。在「積材製造」技術誕生之前，浪費若干材料來完成一件產品成為無法避免之惡，然卻也因此增加許多材料成本。而使用 3D 列印，所有材料都根據每一層建模製作，不會有浪費現象，能夠在製作初期大幅節省備料需求，從而降低成本。而且，3D 列印的成品一體成型，可以大幅減少組裝程序和時間，並提高整體裝備的強度。

## 三、提高綠色製造

金屬 3D 列印技術與傳統金屬製造技術相比，於製造過程可以產生更少的金屬副產品（瑕疵品）；傳統金屬加工作業約有 90% 的金屬原材料被丟棄；<sup>24</sup> 3D 列印透過精準控制，疊層製造合金產品，能夠大量減少金屬材料浪費。相對於傳統塑性成形（plastic forming）技術，3D 列印具備淨成形（net shape forming）效果，只需較小的後續加工，甚至不需要再加工，即可符合產品所需零件尺寸及公差要求的成形製作。<sup>25</sup> 減少廢料產生

<sup>24</sup> 畢可信，〈3D 列印技術於軍事用途之初探〉，《陸軍後勤季刊》，2013 年第 4 期，2013 年 11 月，頁 99。

<sup>25</sup> Uğur Uygun, "What Is the Net-Shape or Near Net-Shape Manufacturing?" *Mechanical Land*, January 22, 2022, <https://mechanicalland.com/what-is-the-net-shape-or-near-net-shape-manufacturing/>.

意味著可以降低環境汙染，這項特色尤其符合環保意識抬頭的民意期待，有利於促進國軍在承平時提高綠色製造的比重，呼應現代社會要求。

## 伍、小結

3D 列印技術發展迄今不過 40 年，儘管具備許多特性上的優勢，尚難完全取代傳統工藝製造技術；但這並不表示 3D 列印的發展沒有前途，反而對傳統製造工藝具有截長補短的作用。隨著 3D 列印技術持續精進以及列印材料選擇的多樣性，3D 列印的積層製造模式將與傳統工藝的減材製造模式並駕齊驅，現已出現部分取代的現象，將來多數取代將是一個無法避免的趨勢。國軍向外國購置的軍備經常面臨零組件昂貴，籌獲預算往往不足支應後續採購，導致裝備缺料、待料問題，影響裝備妥善甚鉅，透過 3D 列印技術在相當程度上可以製造強固性相當甚至更優越的代用零附件，解決零附件消失性商源的困境。國軍科研院校和機構宜廣續投注研究人力和資源，掌握產業先進技術水準；國軍部隊亦應加強對 3D 列印技術的實際應用，為利達成節約軍事預算、強化後勤補保能力以及提高裝備妥善率等效益，提倡下列 5 項建議供國軍發展 3D 列印應用評估參考：

第一，注意智慧產權、專利權、商標權以及營業秘密的遵守與維護，避免因違法而衍生求償等後遺症。一般較易受到忽略的是成品製程和材料雖與原廠不同，但外觀相同仍可能引發侵權行為。因此，應取得原廠授權，或者創新設計不同於原來的外觀。並應強化旅級法務官的職能，賦予提供相關法律諮詢的責任。

第二，擴大 3D 列印製造領域。中科院（國防部）及漢翔（經濟部）除了將 3D 列印應用於既有的戰機複材製造之外，亦應編列研發資金向其他稀有材質的合金列印加強探索研究，擴大 3D 列印製造的深度和廣度，並借重台灣產學機構對於 3D 列印技術取得的豐碩成果，加強應用合作，避免重複投資，以節約研發成本。

第三，建立 3D 列印參數資料庫。資料庫的建置主要針對 3D 列印的圖形設計、材料成分、合成比例、熔融溫度、環境控制、製程時間以及其他任何需要的參數資料等建檔儲存與管理，使用在相同成品的迅速列印製作，可以節省許多摸索和試驗的時間。

第四，建立操作與認證能量。基於對 3D 列印成品使用安全的必需性，國軍應從兩個方面著手：一是培訓 3D 列印操作師，這方面可以透過軍文學術或科研機構辦理；二是建立 3D 列印成品品質合格認證能量，這方面受限於時間壓力，必須由廠所和部隊自行建立基本的檢測能力。

第五，建置適合的 3D 列印機。由於廠所擁有較充裕的時間，能夠列印製造大型的備分零附件；部隊執行任務往往受到時間拘束，傾向於列印時間短的零件，以利快速替換。因此，廠所和部隊使用的 3D 列印成型機應該有所區分，甚至對於列印的品項亦可區隔規範。

