

創客教育之3D列印開發課程的教學分享

林逸農*



壹、前言

自製時代的來臨，可看出創作者對於作品的創新設計是相當有熱忱且樂於分享自己的創作（Anderson, 2012; Halverson & Sheridan, 2014）。這種精神點燃了創客教育的火，作品的在地化延伸到國際化，創客教育在國小課程到高等教育更是無止盡的發展和前行。在創客運動中，3D列印（3D printing）或稱積層製造（additive manufacturing）是當前創客教育下相當重要的技術課程之一（Peppler & Bender, 2013）。當進行創客教育時，會期待學習者動手設計出創意作品，除了部分是採用現有的材料外，也可以夠過數位3D建模將所需的物件列印出來，與作品進行整合或更多的加值應用。同時秉持創客精神，鼓勵創作者將數位3D模型檔予以公開，讓更多有需求者加以修改使用。創客教育課程中，3D列印開發課程是相當新穎且教學內容繁雜的課程之一，除了涵蓋3D建模的技巧外，也需要了解3D列印機的功能和切層軟體的設定。許多教師想投入此領域，但是不知如何切入。而作者近年來有機會進行3D列印開發課程的設計和推廣，藉此提供教學分享與經驗交流。希冀對於3D列印開發課程有興趣者可以有更多的了解，也從中培養更多該領域的人才為社會和企業所用。

貳、認識3D列印積層製造與應用面向

3D列印積層製造其原理需先建立數位化3D模型，透過數位切層處理後，以g-code檔輸出讓3D列印機輸出實體。列印過程中所使用的材質相當多元，包含塑料、木材纖維、矽膠等可黏合的材料，透過加熱使其材質熔融成可塑狀態，再透過層層堆疊列印技術輸出作品。3D列印積層製造的技術採取加法製造，相較於過去方法是利用減法製造，其模型輸出採用大塊材料慢慢切削雕琢的製成，此方法常會造成材料的浪費，也因此3D積層製造技術更被推崇。

一、3D列印積層製造

美國材料與試驗協會 (American Society for Testing Materials, ASTM) 將3D列印積層製造技術分成七大類型 (<https://www.astm.org>)，相關技術說明如表1所述：

表1

3D列印積層製造技術說明

技術分類	製造方法	材料選擇
材料擠製成型 (ME) 或稱熔融沉 積 (FDM)	透過加熱將熱塑性材料均勻擠出，以逐層填補材料模式進行，直到完成模型建構。	PLA (Polylactic Acid)、 ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)
光聚合固化 (VP)	以紫外雷射光透過振鏡系統照射在光硬化樹脂上形成硬化層，一層層的照射固化而形成立體實體形狀。	光敏化樹脂
材料噴塗成型 (MJ)	運用噴墨列印技術將液態成形材料噴印於底板，透過光源或溫度控制使材料固化模型成形。	非親水性樹脂或蠟
黏著劑噴塗成型 (BJ)	以粉末為基底，粉層間有黏著劑，透過成形材料鋪放於建構槽中，噴膠頭在選定的列印點噴膠，之後在鋪上粉末，使其顆粒黏著，完成每次鋪粉後，平台會降下，循環至物件列印完成。	樹脂、金屬、鑄砂
疊層製造成型 (SL)	採用薄片材料一層層進行貼合，重複進行直接成型的技術。	紙類、塑膠薄片
粉體床熔化成型 (PBF)	以雷射光照射燒結粉末，再透過滾筒、刮刀、毛刷或漏斗鋪粉技術進行粉體鋪層，接著重複進行選擇性雷射燒結，完成後將多餘粉末移除，以達成立體列印成型。	金屬、合金、陶瓷或複合材料
指向性能量沉積 (DED)	經由塗覆 (Powder Spraying) 方式，透過雷射融化被覆材料，有別於PBF，將粉末沉積粉床，透過雷射選擇性燒熔。	金屬

資料來源：ASTM (<https://www.astm.org>)

二、3D列印積層製造應用面向

3D列印積層製造應用面向相當廣泛，可以類分以下幾個面向：

(一) 實用類

常見的生活實用塑膠製品，皆可以透過3D列印來實踐，像是多功能筷架、筆筒、造型鈕釦等等。但目前在醫療輔助也日漸普及，如透明牙套、骨頭重建、動物癱瘓後的行走輔具，如圖1是鳥喙斷裂透過3D列印復原的例子。



圖1. 鳥喙再製 (資料來源：Injured bald eagle gets new 3-D printed beak)

(<https://grist.org/business-technology/injured-bald-eagle-gets-new-3-d-printed-beak>)

(二) 示意類

以往產品呈現以電腦模擬後，交付給客戶從螢幕上觀看。如今3D列印可以將產品雛形建模，以實體輔助電腦模擬。客戶可以依據討論後的結果重新修改模型，直到符合需求，再進行射出量產。在建築模型或室內設計領域都可透過3D建模來設計出想像中的房屋或室內擺設 (如圖2所示)。



圖2. 房屋3D列印示意雛型

(資料來源：The Future of 3D Printing for Architecture <https://3dinsider.com/3d-printing-architecture>)

(三) 娛樂類

寓教於樂的教具是一個相當值得設計的產品，可藉由自行設計列印，提供孩童學習興趣所需的教具，譬如積木、組合玩具、動物模型公仔 (如圖3所示) 等等。

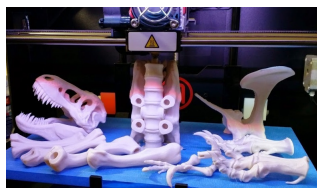


圖3. 3D列印恐龍模型 (資料來源：3D Printed Dinosaur <https://www.3dprintwise.com/3d-printed-t-rex>)

(四) 機構類

許多互動裝置都會透過機構來表現運動的過程，譬如馬達可以帶動不同尺寸的齒輪進行不同方向的運動或速度的改變。玩具上也有許多機構的設計，透過機構設計上可以改變物體的物理運動。圖4為3D建模的時鐘機構原型。



圖4. 3D列印時鐘（資料來源：Mechanical Clock <http://www.laimer.ch>）

（五）藝術類

近年來3D列印積層製造的成熟也帶動裝藝術的興起，如3D列印的藝術服飾、博物館文物等等都可以看見許多藝術家和文物家會從美感和藝術的角度去設計別有風味的裝置藝術。圖5為3D列印簍空藝術燈罩。



圖5.3D列印簍空藝術燈罩（資料來源：Animal-inspired 3D printed lamps <http://3d2go.com.ph/blog/3d-printed-lamps>）

參、教學經驗分享

雖然3D列印的技術日新月異，但考量機器與列印材料的成本，目前學校大部分以採購材料擠製成型技術（ME）的3D列印機（FDM）為主，作者也以FDM列印機為教學經驗分享。

一、觀察入微的3D立體感養成訓練

3D列印作品與3D立體感空間能力養成有大的影響關係（Buehler, Comrie, Hofmann, McDonald, & Hurst, 2016），意味著空間能力的養成有助數位3D建模。許多學習者在開始學習3D建模時，對於立體感的表現相當不足，雖然個體在立體空間活動，但是大腦對於立體感的訓練往往不夠，特別是非對稱性的物體。譬如個體對於不帶把手的杯子，在3D建模比較容易；但是加上把手時，其角度與位置的影響與建模後的模型會跟想像中有落差，因為大部分的把手並不是半圓形，直接嵌入在杯子表面會造成外觀上的差異。為了在3D建模上有很好的成效，教師可以鼓勵學習者隨時觀察物體外型，想像各角度的形體，如此訓練有助於3D建模的養成。圖6為教學過程中，學生在3D立體感養成有素的建模結果。

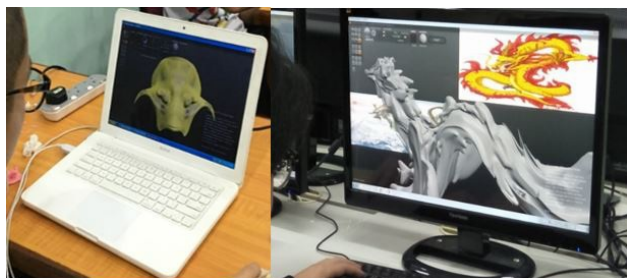


圖6.3D建模學生作品（資料來源：作者提供）

二、初學者3D建模軟體的自由軟體選擇與學習順序

3D建模軟體分商業軟體與自由軟體，常見的商業軟體如，3ds Max、Maya、Auto CAD、ZBrush等等，商業軟體功能繁多且各有特色。但對於3D建模的初學者其自由軟體功能性其實相當足夠，學習順序建議以幾何建模類優先其次是雕塑建模類。

關於幾何建模類，其TinkerCAD相當適合第一次接觸3D建模的學習者，透過幾何圖形可以完成不少簡易的立體物件，雖然TinkerCAD建模容易，但是有較複雜的幾何物件是比較難設計出來，加上建模時採用雲端處理，當頻寬不穩時，建模過程常常會停頓，造成時間上的等待，因此TinkerCAD需注意網路環境才行。其次是123D Design，需安裝於本機使用，操作上比TinkerCAD略為複雜，但是可以設計不同規格的幾何物件，建議安裝於等級與規格的電腦，當模型過於複雜時，輸出入或匯出都需要耗費記憶體。當TinkerCAD、123D Design都熟悉後，也建議學習者要使用Blender來建模，該軟體功能強大，因此所需硬體配備要高（如算圖運算時，建議安裝獨立顯卡使其運算流暢），其功能可媲美3ds Max或Maya等商業軟體，也目前業界相當推崇。Blender功能多操作複雜度高，建模有其難度，教師在教學前，需有階段性且步驟性的安排課程。

雕塑建模類軟體相當推薦Sculptris，該軟體可完成人像或動物等建模。但雕塑建模對於初學者在3D建模上有其難度，大部分是立體感與視覺空間成像不足，建議先了解Sculptris所提供的雕塑功能為主，建模出簡單的3D模型為輔。另外雖然Sculptris提供上色功能，但對於3D列印製成上不太需要，因為列印時，其顏色是由線材的顏色所決定。Sculptris的上色功能可作為物件區塊辨識使用。如頭的部位是紅色、身體是綠色。3D列印時分別輸出，透過卡榫設計再進行組裝。

其次教學階段，教學者可以建議學習者透過網路上的公開3D模型進行觀摩，如從Thingiverse網站透過關鍵字搜尋3D物件，下載其3D模型檔後，可透過Meshmixer來進行形狀和姿態的修改。Meshmixer可稱之為3D模型的特效工具，意味著可以微幅修改所需的形狀和姿態，但是細節之處可以在Sculptris補強和調整後，再由Meshmixer調整處理，這階段Sculptris可與Meshmixer交替使用。透過此方法可以將模型修改有特色的形狀和姿態，呈現出獨特的作品風格。

三、3D模型與切片軟體和支撐材的關係

透過3D建模軟體完成的模型檔，需要透過切片軟體的處理才能進行列印輸出。切片軟體的功能很像是將3D模型水平切片成一層層的組合物件；在此階段，3D模型可以依據不同的3D列印機進行設定，最常需要注意的是列印比例的設定。往往學習者在3D建模軟體所設定的物件大小，會以為在切片軟體中的成像是一致的，因此列印輸出後會發現比例不一致。以Cura切片軟體為例，所匯入的3D模型在畫面上有顯示圖像時，不代表可以列印輸出完成，還需特別注意列印輸出的公克量，若是資訊以0gm顯示該物件的大小，這時需要注意該模型列印後是跟米粒大小一

樣，是列印不出物件，因此要記得改變切片軟體上的物件比例，隨後存為g-code檔，再經由3D列印機列印輸出。

另外在切片軟體處理階段，支撐材的設定也相當重要。支撐材是指物件懸空處所模擬出來的鷹架，例如列印一個雙手臂左右水平抬起的人體物件，當列印到雙手臂時，會因重力影響，從噴嘴頭出來的塑料像熔岩般緩緩掉落，因此在3D列印過程中，也是從底部列印出多個支架，這些支架的位置即是支撐水平雙手臂使用。

支撐材雖然助於模型列印上的輔助，但是也有其限制，就是在與模型的連接點，往往不易拆解或是移除後有殘餘的塑料存在，這會造成物件表面的不美觀，若是設計機構類的模型，更是會卡住機構的運轉。為了解決這問題可以使用砂紙或銼刀處理，或是在3D建模時就必須考量支撐材的影響，因此出現的位置和大小都需要有所設計。另外可以解決的方法是新式的雙噴頭3D列印機，包含處理主要模型的線材與支撐材的線材塑料，該支撐材的線材塑料非常軟，相當容易在模型上拔除且較無殘渣留存，可以增加模型美觀和表面的平滑。支撐材的另一個注意重點是模型與工作台加熱底板接觸點的處理，在切片軟體中可以設定Brim（底層擴增邊緣）的功能來加強黏附平台，或在3D模型設計時，可以自行加入Brim之後再進行移除，如此也可以強化模型建置上的完成度。圖7為作者說明Cura切片軟體設定的教學過程。



圖7.Cura切片軟體設定教學（資料來源：作者提供）

四、3D列印機的功能熟悉與線材材質

進行3D列印開發課程時，對於3D列印機各部位功能的了解與線材質料是相當重要的。除了3D軟體的建模學習外，3D列印常見的問題也需要注意，包含線材進退線異常的處理、噴嘴頭擠出異常或懸空打印等等。在列印限制上，如雲端列印功能雖然便利，但往往穩定不高，建議以SD卡離線列印是最穩的方式。圖8為3D列印機線材進退線教學與學生練習。

在線材質料上，建議選擇PLA材質的線材，PLA材質大部分是以甘蔗或玉米等含糖類植物所提煉出的聚乳酸合成物所製成，為環保的材質。勿選擇便宜的線材，不然容易造成打印中的線材斷裂現象或線材擠出異常等問題。沒有使用完的線材，若長期不使用需要放置於乾燥箱，防止受潮後造成打印上常斷線的問題。選擇PLA材質的線材另一個考量為，3D列印機常常放置於室內空間，而打印過程中噴嘴頭是透過200度以上的高溫熔解線材，因此會有塑料熔解的味道，而使用PLA時，其氣味較為溫和不會刺鼻味。

在教學的建議上，模型雛形建議使用PLA線材打印，直到模型完整度符合期待。再改用ABS材質，如此可增加模型精緻度，一般而言PLA質感不如ABS來的有光滑亮麗的質感。但是ABS打印過程中，味道刺鼻難聞，需要額外加裝抽風機或是放置通風處進行作業。



圖8.線材進退線教學與練習（資料來源：作者提供）

五、3D列印的加值應用

3D列印往往僅淪為公仔模型的製造階段，對於3D列印的加值性和創新低相當不足，建議教學者鼓勵學生創新思考3D列印的功能。作者建議在創客領域中，3D列印與開發板和感測器的整合是一個重要的加值應用。過往開發板設計的互動裝置在美觀上較為不足，如機器人或自走車都是千變一律的造型，建議在造型感有所創新和突破，可以跨領域和設計學院學生合作，設計出功能到位且造型出眾的裝置。另外以機構運作的3D列印設計也是一個重點，相對於過去僅能透過手工模型和塑膠射出方式來呈現模型，其3D列印更能立即實現機構運作的雛形設計。而此機構運作的設計在娛樂性教具或是互動科技藝術都是有很大的發展空間，教師教學上也可多在此領域有更多著墨和關注。

六、3D掃描逆向工程的建模輔助

透過3D掃描逆向工程的建模輔助可以將實體物件數位化，並透過軟體來進行破面（物件表面形成破洞且沒有連續部位）的縫補，這種方式可以真實還原物件原先的樣式和造型以增加其完整度。3D掃描逆向工程一般可分為開放式與封閉式的掃描方式。開放式的3D掃描，通常以手持式3D掃描器為主，對象是大型物件或是房屋空間為掃描主體。封閉式的掃描方式，會以小物件且放置於掃描箱內，透過旋轉盤搭配定點紅外線掃描器進行輪廓掃描來建模。大部分的開放式3D掃描器其價格不便宜，若以經濟實惠的教學考量，可考慮封閉式的掃描方式進行體驗。掃描上需注意，物件本身的光澤度常會影響掃描的準確度，表量太亮會造成掃描取樣上的失準；另外掃描時的光線也會影響，可以選擇合適的亮度進行作業；此外逆向工程3D掃描時，頂部與底部通常無法一次到位掃描完整，需要多次掃描與配合相關軟體進行模型重建。物件若屬多面體或複雜結構時，盡量局部拆解後再進行掃描，之後透過3D軟體進行物件組合。

肆、結論

3D列印開發是一新興的課程，其潛力與應用性相當廣。其進行教學時，提供建議為參考。

一、空間能力的養成為其首要

當3D列印機日新月異的同時，不變的基礎技能就是數位3D建模能力，因此空間能力培養是重點所在。有志於3D列印開發的教師，建議除了在3D建模軟體的熟練外，也需更多培養觀察入微的空間能力。才能設計出獨特到位的作品，並同時鼓勵學生需常常透過細微的觀察後（觀察階段），在腦海中的想像各部位的細節（想像階段），最後在實際建模產出（建模階段）。透過觀察、想像與建模階段熟練3D建模的能力。

二、實機操作與障礙排除

3D列印機器的操作非簡易流程。數位3D建模後需透過切層處理後才能擠出列印。實機操作所需的技能包含切層技術、支撐材定位設計、列印版面最佳化、線材選擇與進退線操作等。常見障礙包含空轉打印、支撐材定位落差、噴嘴頭堵塞處理、列印過程線材斷裂等狀況。因此實際列印時，有時非能一次到位，需反覆其過程，才能完成列印輸出。添購3D列印機器時，除藉由實機操作教育訓練外，也可請廠商提供上述障礙排除之解決方法。

三、加值化3D列印產品

搭配創客教育的實施，可以將3D列印設計加值化，以提升3D列印開發課程的價值，譬如文創商品設計（如圖9所示）。文創商品設計涵蓋藝術、文化、歷史等層次的融合，像是故宮真跡文物可以透過3D列印技術重新設計，結合古文物與當代藝術進行融合，設計出全新風格的作品，藉此加值化產品的創新性。教學過程中可以鼓勵學習者思考如何從舊元素結合新元素達到文物創新的價值，也可朝向寓教於樂作品、機構性作品等等方向來思考，也可鼓勵學生藉著競賽來刺激思考3D列印產品加值化的可行性。

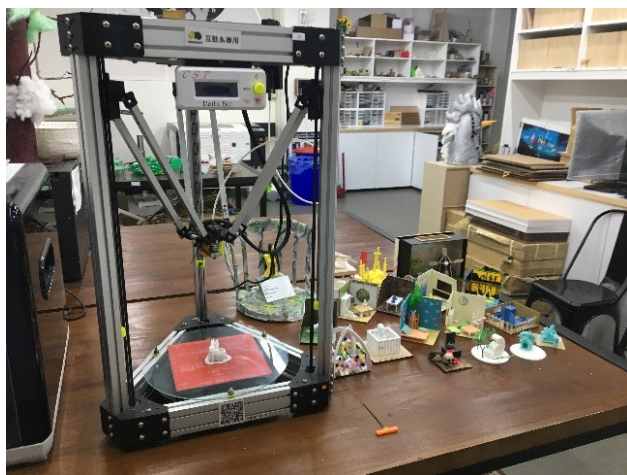


圖9.3D列印文創商品設計（資料來源：作者提供）

參考文獻

- Anderson, C. (2012). *Makers: The New Industrial Revolution*. New York: Crown.
- Buehler, E., Comrie, N., Hofmann, M., McDonald, S., & Hurst, A.(2016). Investigating the Implications of 3D Printing in Special Education. *ACM Transactions on Accessible Computing(TACCESS)*, 8(3), 1-28.
- Halverson, E. R., & Sheridan, K. M.(2014). The Maker Movement in Education[J]. *Harvard Educational Review*, 84(4), 495-504.
- Michalski, MH., & Ross, JS.(2014). The shape of things to come: 3D printing in medicine. *JAMA*. 312-2213.
- Peppler, K. A., & Bender, S.(2013). Maker movement spreads innovation one project at a time. *Phi Delta Kappan*, 95(3), 22-27.
-

* 林逸農，中國科技大學數位學習中心主任

電子郵件：lineno@cute.edu.tw