

數位化加工技術在木材利用的多元應用

塗三賢^{1*}

近年來，提倡使用國產材以因應減排固碳的環保需求，同時提升國人對國產木材的喜好是政府、學校、林農、加工廠等努力發展的目標，而如何有效利用國產材是完整產業鏈發展的最大課題。2012年由Ellen Mac Arthur Foundation (EMF)之報告中提出循環經濟的概念，他們定義了循環經濟具有可回復性和可再生性，透過用心的設計，可從一條完整價值鏈與跨不同價值鏈之系統，透過檢討各式各樣的經濟體，主要目的為善用資源、確保其附加價值並永續運用資源，尤其是透過重新設計材料、產品及商業模式，達到資源有效利用與消除廢棄物之效益。同時隨著現代數位科技的進步，許多數位化的加工設備，例如3D列印機、電腦數值控制(Computer numerical control, CNC)工具機、3D掃描器等機具的價格也逐漸下降，一般民眾也能購買得起。在這些現代化數位工具的協助下，不僅是傳統木材加工與生產受限於人力與技術的問題，可以得到一定程度的解決，對於木質資材的循環利用上也有很大的幫助。本文介紹幾個我們的實作例子，提供給大家參考。

木質無線充電盤的開發

自從消費性電子產業興起且融入生活中，手機充電已然成為人們日常的必要活動，以往手機充電必定要連接一條充電線，

常常帶來一定的不方便性，但是近年來隨著科技的發展，無線充電成為近年手機的最新功能之一，愈來愈多的手機品牌都以具有無線充電能力，作為行銷的賣點。無線充電，又稱作感應充電、非接觸式感應充電，是利用近場感應，由供電設備把電力轉化為磁力，將能量傳送至用電的裝置，用電的裝置再把接收到的磁力轉化為電能，對電池充電。基本上由於充電器與用電裝置之間在傳送能量時，兩者之間不需使用電線連接，但是這樣的能量傳送會受到距離的限制，我們使用的這個無線充電模組之充電功率最高10W，符合Qi無線充電標準並具有高溫(60°C)保護機制，但是充電距離的限制是在2.0 mm至10.0 mm之間，由於大多數人的手機都會加上一個保護套，這會使得無線充電模組的充電距離，受到進一步的限制，所以在使用木質材料作為無線充電模組的保護殼時，木材加工的精度要求就變得非常重要了。

我們使用了Roland MDX-50桌上型數位控制加工機，刀具是6 mm直式銑刀，轉速控制12,000 rpm以下，先使用軟式材料進行材料定位與固定，再將回收的木質舊料，經由電腦軟體繪製加工路徑與設定加工程序，來製作木質無線充電盤。由於充電距離的限制，加上要考量木材的強度性質，因此無線充電盤表面之木質材料厚度加工設定為1.5 mm，外觀尺寸為厚度6

¹行政院農業委員林業試驗所·森林利用組

*通訊作者(asan@tfri.gov.tw)



木質無線充電盤在電運作時，可以看到木材表面有紅光的透出



3D列印用的線材除了色料外也可以加入其他材料，賦予成品不同的面貌，左邊的杯子是由加入木粉材料的PLA線材所印出

mm以下之直徑100 mm的圓盤，但這是很不容易以傳統手工技術和一般加工機械製作的。

我們也發現當木質材料厚度減少至1.5 mm時，CNC加工完成之成品厚度，往往具有一些差異，這是因為木材是具有彈性的材料，因此必須製作支撐結構減少刀具加工時產生撓度，以進行後續的表面平整加工，若材料尺寸較小或具有缺點時，CNC可以有效定位需求表面，其後續加工僅需固定於標記位置，達到剩餘資材再利用且維持外觀的效益，我們也在某些區域把材料加工至0.2 mm的厚度，讓充電模組在運作時的LED光可以透出來，並維持木質外觀的自然感受。

木質材料在3D列印線材上的應用

3D列印(3D Printing)屬於快速成形技術的一種，它是一種以數位模型檔案為基礎，運用塑料或粉末狀金屬等可粘材料，透過逐層堆疊累積的方式來構造物體的技術(即「積層造形法」)，能任意製作出複雜形狀或是

結構細微的模型，捨棄傳統使用切削加工的種種限制，免除以手工製作模型容易失真的狀況，更重要的是，無需高價的模具製作費用，也能減少模型製作的時間。

PLA(聚乳酸)塑膠是一種使用玉米澱粉為原料的環保型塑料，完全由天然成分製成，符合食品級和生物分解的標準。PLA塑膠條通常在190~220°C左右的溫度下，可以很穩定的列印且釋放出無毒，並且像煎餅的氣味。當列印成品冷卻時，PLA材質的高穩定性，相較於其它材質，成品是較平坦且緊貼於列印機床的。它也可以很容易重新加熱，例如用打火機或熱風槍來修復、彎曲或連接任何部位。由於PLA溫度控制要求非常高，目前市面有許多不同的家用3D列印機廠商，所開發出來的機台因為具有特有擠出噴頭機構與控制元件，均需要搭配使用專用的3D列印專用PLA線材，以避免列印會堵塞噴頭而故障。但PLA線材仍然是目前市場上最多人使用的3D列印線材

由於3D列印用的PLA線材可以混合不同



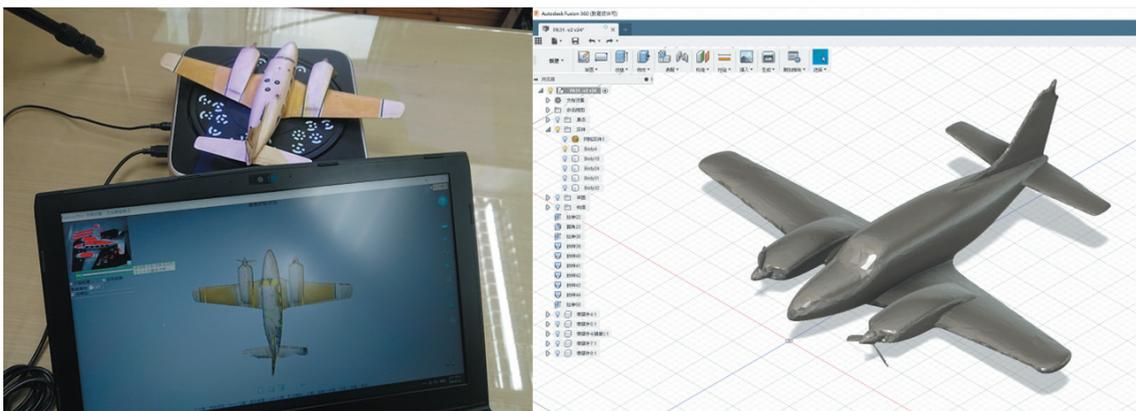
將木質剩餘資材加工成木粉與PLA材料混煉變成3D列印機使用的PLA/木粉纖維環保線材，可以賦予成品有木頭的質感

的材料，讓它產生不同的特性面貌，因此，把木質材料應用在3D列印線材上，是一個新的方向，可以增加3D列印的多元應用。我們以近年來在木粉纖維與PLA材料混煉的基礎技術上，與財團法人塑膠工業技術發展中心研發團隊的PLA/纖維複合材料改質技術技術平台，結合混煉加工等技術，將木質剩餘資材加工後，再與PLA材料混煉，製作3D列印機使用的PLA/木粉

纖維複合環保線材，讓這些木質剩餘資材通過3D列印技術重新回到人們的日常生活中，使人們可以看到木質剩餘資材另一個回收價值。

3D掃描及數位加工技術在文化資產保存的應用

為了解臺灣森林資源的分布與多寡，林務局很早就開始使用航空測量技術，早期航空照片係委託軍方飛機拍攝，1967年歸屬農林廳林務局管轄下的臺灣省政府航空隊正式成立，最初擁有2架塞科斯基S-62A直昇機，1972年林務局成立臺灣森林及土地利用航測調查隊，從美國自購一架派普PA-31型航測飛機，同時引進RMK A21/23型航攝相機，連同先前購置RC-8型相機，自行實施航攝任務。在接收飛機時，美方飛機公司也同時贈送了同型飛機的手工木製模型給當時的接機人員留念，然而因為沒有適當的保存，在歷經數十寒暑後，這台模型飛機發生了螺旋槳斷裂、機體龜裂損壞、零件脫落等等的損壞情形。為了修復與保存這架具有歷史意義的飛機模型及保存這項木材



PA-31航測機模型的數位模型建構



CNC加工完成後的PA-31航測機重製模型(右)與原來的模型(左)

文化資產，林務局農林航空測量所的同事，前來尋求本組技術團隊的協助，嘗試用現代化的3D掃描及數位加工技術，協助他們修復與重製保存這架PA-31航測飛機的模型。

我們使用結構光源型的3D掃描器，掃描器型號是EinScan Pro+，掃描精度0.05mm，採用固定式掃描的方式進行飛機模型的掃描，掃描完成後，將掃描得到的點雲資料轉化為三角網格修補破面，轉存為3D實體物件檔案(STL格式檔)。數位模型建構完成後，首先將模型以數位拆件的方法，分解出它的螺旋槳葉零件，描繪出外框曲線後，再以雷射雕刻機加工切割出螺旋槳葉零件，最後再將螺旋槳葉零件與機體的龜裂損壞部分以手工修補。在模型的複製保存方面，我們使用數位加工的方式進行重製，使用Autodesk Fusion 360®軟體的CAM(Computer-aided manufacturing)模組計算並輸出CNC刀具加工路徑程式檔案，最後以Roland Mdx-50 CNC加工機完成了PA-31航測機模型的重製。

結語

其實現在木材的利用加工早已導入許多新的現代科技，例如現在的伐造材機械，可以透過AI人工智慧的輔助，進行砍伐及造材的作業，以更符合市場的需求；在建築方面，大型工程木材例如膠集成材(Glulam)、直交集成板(CLT)等的製造，可以依照建築結構的需求，準確製造符合強度的產品，同時也透過數位化加工機具的使用，讓我們可以設計蓋出更高、更大的建築物或是橋樑。本文介紹的幾個例子則是把回收的木質剩餘資材，透過數位化加工的方式，讓木材資源可以更有效的使用，達到以木固碳的效果，這些都是現代科技在木材利用的多元發展。