

27. 壓電噴頭之立體成型機設計研發

鄭俊益 副技術師、賴維祥 教授
國立成功大學 機械科技研究發展中心
航空太空工程學系

摘要

隨著快速成型技術的日趨成熟，工業零組件與成品的外型設計上更趨向於複雜與形狀流線造型，除須具備美觀性外，更為適應更多特殊功能與滿足市場多元之需求，近年來，快速成型技術朝向方法與設備上適應多元的功能性測試需求的精進發展。而多種快速原型技術中，使用噴印與擠製方法之快速原型機，具備價位低廉與應用功能性之優勢，逐漸獲得市場青睞。鑑於本研究團隊致力於熱氣泡式噴印快速成型技術的發展已成功地開發完成單色與彩色的快速成型機[1]，且起源於噴墨印表機噴印技術的微液滴噴射技術，隨著微機電製程之進步，供需式噴墨技術主流之一的壓電式噴墨頭之用途更加廣泛，除了應用於傳統噴墨列印，而漸漸成為可以應用在電路基板配線、彩色濾光片、微泵浦燃油噴射、3D-RP快速成型、以及生醫工程等方面，而受到極大的注目[2]，為了契合真實產業界的多元應用，故壓電噴頭之立體成型機設計因應而生。

本研究提出壓電噴頭立體成型機之硬體、軟體以及軟體的整合方式，以壓電噴頭為發展引擎，自行開發二維壓電噴頭列印模組與平台，結合程序控制的機構以及噴印成型材料，發展成壓電噴頭立體成型機。當接收來自PC端的列印資料，依照預設的層厚設定，層層堆疊製作物件，並與市面上所販售之Z-Corp. 機器做功能性比較。本研究團隊目前已成功地開發完成第四代壓電噴頭之 RP 機器，並已經過多次實體成型驗證。最大建構區域150x150x100 mm，噴頭解析度200x200 dpi。在功能應用上，使用壓電噴頭之立體成型機已遠遠超越美國Z-Corp. 公司之熱氣泡噴頭3D Printer之優點。

關鍵字：壓電噴頭、壓電噴頭立體印刷術、快速原型、噴墨印表機。

一、前言

快速原型 RP (Rapid Prototyping) 技術是基於現代CAD/CAM技術、鐳射技術、計算機控制技術、精密伺服驅動技術及材料科學等基礎上匯集而成所發展起來的一項先進製造技術，對促進企業產品創新、縮短開發週期、降低開發成本、提昇產品競爭力有積極的推展作用。這項技術可以在無須準備任何模具、刀具和工業夾具的情況下，直接接受CAD產品設計數據，快速製造出新產品的樣品或模型。這就是此技術對製造業產生的革命性意義。

RP系統的基本工作原理：不同種類的快速成型系統因所用成型材料不同，成型原理和系統特點也各不相同。但是其基本工作原理都是一樣的，那就是『分層製造，逐層疊加』，類似於數學上的積分過程。使用噴印

方式的快速成型系統，是由MIT所發展的一種無模成型製造技術，就好像是一台『立體印表機』，其機器系統示意圖如圖1所示[3]，將一個複雜的三維物體經過切層軟體產生出一系列物件不同高度的切層輪廓，配合快速成型機器Z方向的鋪設成型材料層厚，再進行噴印膠黏劑於成型材料上，其工作製程如圖2所示[4]，經固化後形成二維層片的加工，是一種降維的製造方式，大大降低了加工難度，使得成型過程的製造難度與成型實體形狀的複雜度無關。

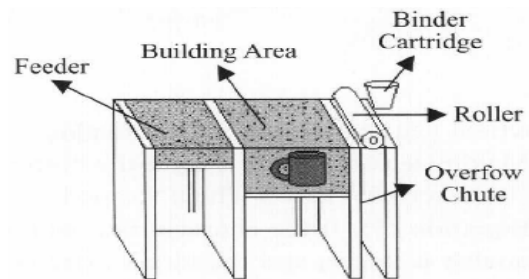


圖1 3D Printer的示意圖[3]

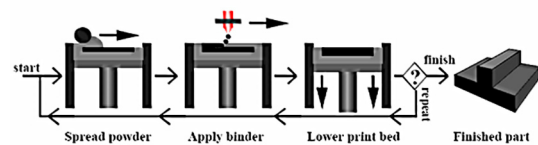


圖2 3D Printing的工作原理[4]

目前在快速成型機的領域中，與本研究使用噴印方式於粉床上而固化成型的成型機中，以美國Z-Corp. 公司所生產的快速成型機與本研究相關，基於對國外Z-Corp.公司的快速成型機之使用經驗及過去在機械製造領域之多年經驗判斷，三維印刷式之快速成型機有眾多問題[1][5]，而有關其機器之能力限制如下說明：

1. Z-Corp. 的快速成型機器中，採用使用汽泡式噴頭噴印膠黏劑於粉末上，在以層狀堆疊的方式去建構物體，因汽泡式噴頭只能噴印水性相容膠水，故其成型粉末需使用複合型調配，以提升粉末成型膠合強度。然而，成型模型強度仍嫌不足，粗胚件(green part)連用手取件都有可能損壞，以致於需要進行模型後處理，此種模型強度不足與操作之不便性，常為使用者所詬病。
2. 使用汽泡式噴頭噴印膠黏劑於粉末上，因汽泡式噴頭只能噴印水性相容膠水，故其膠水種類與成型粉末在相互搭配研究發展上，受到嚴格的侷限[6]。
3. 使用有顏色膠水噴印成型立體物件時，其中膠水只能使用水性染料(Dye)進行調色，噴印於層狀粉床上容

- 易造成暈染問題，使得彩色解析度與鮮艷度，受到限制。若膠水中混以顏料(Pigment)當染劑，會發生噴頭堵塞現象，造成噴頭使用壽命極短。
- 因汽泡式噴頭只能噴印較低黏度之水性相容膠水，噴印在多孔性粉末上會發生外滲(Bleed)問題[7]，造成模型成型強度與精度不足問題，以致成品之表面粗糙度高，尺寸誤差大。
 - 無桌上型機器，故售價仍相當昂貴，機器普及性受到限制。
 - 因汽泡式噴頭噴印水性相容膠水噴印在多孔性粉末上，列印成型後須要等待一段約1小時之乾涸時間[5]，模型完成速度受到限制。

最近有人使用Epson 印表機改裝成為的3D Printer 快速原型機，同時，也使用其它粉末以及黏著劑進行模型噴印成型，雖然原型機上的印表機也使用壓電式的噴頭，然而其設計之壓電驅動與先天噴頭極高噴嘴解析度之限制，使得噴頭噴膠量與膠水黏度，皆受到限制，而且原印表機噴頭殘餘墨水與新的成型膠水易產生反應，造成噴頭使用壽命極短，只能成型較小模型物件。而且所開發的快速原型機，雖已具有成型3D 實體物件的能力，但其加工參數尚未研究進行研究，且Y 軸定位準確度不高，使加工精度與理論精度有很大的差距[6]。

因此，故本研究提出壓電噴頭之桌上型立體成型機設計研發，使用個人電腦，使用壓電噴頭為發展引擎，自行開發二維壓電噴頭列印模組，整合成具有平面移動功能之噴印平台所組成之系統，再與其他功能性裝置及機構組合，配合三維成型方法之原理與技術成功地開發出一台桌上型壓電噴頭之三維噴印快速成型機。結合程序控制的機構以及噴印成型材料，依照預設的層厚設定，層層堆疊噴印製作出立體物件，即使用新開發出的三維噴印快速成型機，結合物件切層控制軟體與物件噴印成型之程序控制軟體，透過各種噴膠黏劑於選擇位置之複合粉末材料上，接收來自PC端立體物件切層軟體演算處理成的切層輪廓列印資料，一層一層地疊合噴印膠結，即可製造出立體實物以供驗證。

二、壓電噴頭立體成型機設計

2.1 系統整合架構

本研究以「壓電噴頭立體成型機」為載體，研究工作分工綿密，其相關技術更跨足機械、化工、電機與材料等領域，其技術整合如圖3所示，主要技術包括有精密定位、軟體切層、噴頭驅動與診斷、機電控制、與系統整合等技術，是人類發明機械的最具代表性的機械系統，結合精密機械與電腦科技，同時又加入化工材料技術，算是一部研發門檻較高的機械系統。

精密定位技術是以第四代RP機器之成型精度設計為研究開端，進行機台硬體與機構運動定位規劃與設計。軟體切層技術是將3D物件軟體所繪製之三維物件資料存取於切層軟體中，經一系列排放三維物件與設定對應之加工條件後，進行物件切層，並將切層資料轉成自訂列印光柵化資料，傳至RP機進行列印加工。噴頭驅動與診斷技術是將列印光柵化資料轉成壓電噴頭噴印資料，設計噴頭驅動電路，進行噴膠控制，透過高速攝影進行噴印診斷。機電控制技術包括RP機器各種功能程序與邏輯

機電控制設計與製作，並將切層軟體列印圖形光柵化資料配合壓電噴頭噴印與Y軸移動控制，執行平面列印。粉末膠合材料技術在於研究一可應用於以噴印成型之快速原型機的粉末材料及膠黏劑，此複合粉末及膠黏劑將具有快乾、穩定、高強度的特色。開發的複合粉末成型材料，包含石膏基、陶瓷基及金屬複合粉末，同時亦開發高黏度膠黏劑新配方。系統整合技術目的在於將前述的各項技術加以整合並發展出一台具世界競爭性的壓電噴頭之立體噴印成型機。它在價格、性能上均將遠比目前市面上的領導者美國Z-CORP(MIT)的產品有突破性的優越。由於提高研發速度是目前各研究與生產單位的主要競爭能力之一，因此全球在快速原型機的需求，正大幅的成長，其直接與間接的產值均難以估計。

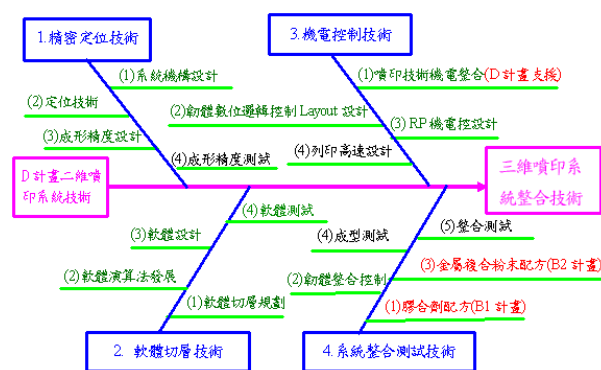


圖3 快速成型設備的整合系統說明圖

開發之「壓電噴頭立體成型機」包括一台個人電腦，可獨立或透過區域網路或寬頻網路架設來進行計算。電腦包含一些應用軟體，例如CAD/CAM軟體，所繪製之三維物件資料存取於電腦的資料存取裝置，可使用應用CAD/CAM軟體對三維物件資料作修改。當使用者欲製造出完成後處理之實體物件時，需將三維物件資料從資料存取裝置輸出至切層軟體中，經一系列排放三維物件與設定對應之加工條件後，將加工設定資料傳送至視窗介面軟體驅動程式，透過視窗介面軟體驅動程式中的介面卡將加工設定資料傳至快速成型機，作實體物件製作前之預鋪粉動作，完成後，再將切層演算結果資料送至快速成型機，驅動壓電噴頭噴印二維切層形狀於鋪設完成之粉床上，完成一頁噴印後，建構平板下降一事先設定層厚高度，而後，供粉槽落下定量的粉末於粉末承盒中，鋪粉滾輪再鋪上所設定層厚之新粉於上一頁粉床上，再重複第二頁噴印程序，如此重複動作，直至切層演算結果資料完全噴印，利用噴膠與成型粉末產生膠合反應，使得成型結果得到立體實體物件。

當實體物件之強韌度特性符合使用者要求時，改進實體物件強韌度特性之後處理程序；若實體物件之強韌度特性不符合使用者要求時，可以使用後處理設備進行處理，直至完成實體物件。

關於本研究所製造之第四代壓電噴頭快速成型機器系統部分是結合軟體、硬體、軟體與成型材料發展與快速成型等技術而成，本文就切層軟體輔助成型、機器硬體與軟體操控部分與RP實體模型之成型驗證進行討論，如圖4所示。

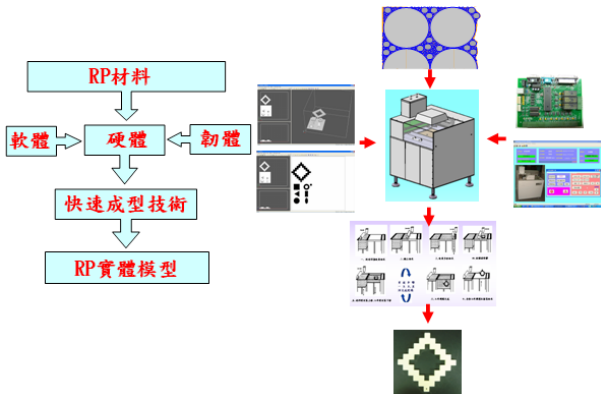


圖4 軟體、硬體、韌體與RP材料之整合架構

2.2 系統硬體架構

2.2.1 第四代壓電噴頭RP的硬體架構

針對RP系統硬體部分，區分為供粉機構、Z軸建構系統、機器本體、能量裝置、連續供膠系統、系統XY平台、鋪粉系統、噴印系統與回收系統。圖5與圖6分別是第四代RP機器硬體部分設計圖與實際製作機台之對照圖，機器硬體各部件設計使用CATIA 3D繪圖軟體繪製。

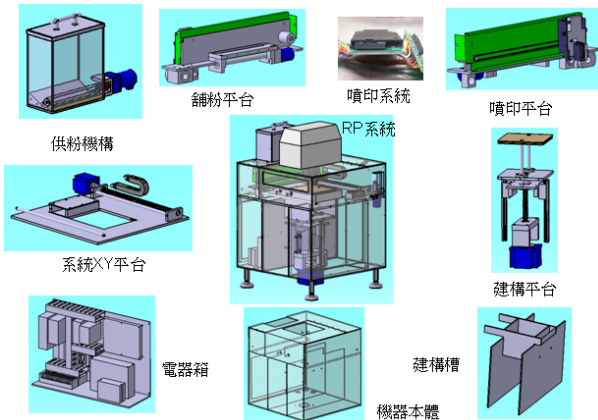


圖5 第四代RP硬體部件設計圖



圖6 第四代RP硬體部件實際製作圖

第四代壓電噴頭立體成型機之噴頭系統部份將直接使用英國XAAR 公司型號 XJ128-200壓電噴頭，再進行RP噴印機台設計，噴頭外型及規格說明如圖7所示，並開發其列印之各項動作程序控制以應用於快速成型機控制上。然後，結合壓力平衡與清潔裝置，使噴頭能順利連續噴印出調製而成之膠黏劑。

Product Specification			
Parameter	XJ128-200	XJ128-360	XJ128-XL
Quality			
Printhead resolution	200dpi	360dpi	360dpi
Channel resolution	185dpi	185dpi	185dpi
Typical drop volume	80pL (Q=90am)	40pL	40pL
Typical drop placement accuracy	1"	0.7"	0.7"
Speed			
Max fire frequency	4.25KHz	5.5KHz	8.3KHz
Linear speed ¹	540mm/s	390mm/s	590mm/s
Physical			
Dimensions	37.2mm W x 40mm D	8mm D x 11.3mm H	
Print swathe width	16.1mm	8.9mm	8.9mm
No. of addressable channels	128	128	128
Head weight	15.5g	15.5g	15.5g
Optimal print distance	1mm	1mm	1mm
Ink	oil, solv, dye sub.	oil, solv, dye sub.	oil, solv, dye sub.
Typical lifetime ⁴	4x10 ⁸ drops	4x10 ⁸ drops	4x10 ⁸ drops

<http://www.xaar.com>



圖7 英國XAAR公司型號XJ128-200壓電噴頭規格

2.3 Z-Corp RP 與第四代RP之設計差異

比較本研究製造的第四代壓電噴頭RP機器(如圖8左圖)與Z-Corp.生產的310快速成型機(如圖8右圖)，本研究之機器大小已改為桌上型。除此之外，在 Z-Corp.的機器上，供粉槽位於機器平台之左下方，供粉時，由下往上推出一定量粉末，再由鋪粉平台帶動鋪粉滾輪將粉末平鋪至建構槽內的建構平台上。但是，粉末因為本身重量與更微小細度，使得機器的滾軸於滾動鏟粉時，常造成下壓而導致鋪粉滾輪無法正常鋪粉或鋪粉量不足的問題，使得模型製作失敗，而且機器運轉，若成型粉末供給量不足時，中途不能停機添加粉末。本研究已將供粉系統移到機器平台左上方，供粉時，藉由粉末本身的重量由平台上方，漏下一定量粉末，因承板上只提供一層層厚的粉末量，故鋪粉時，可改善鋪粉平台帶動鋪粉滾輪的下壓力所造成大量粉末間被壓實，而不易被鏟上推鋪的現象，使得每一鋪層粉末皆能順利的平鋪至建構槽內的建構平台上。供粉機構如圖8所示。



圖8 左圖為自行研發之第四代壓電噴頭立體成型機(機器大小45×44×76cm) 與右圖為 Z Corp 310 3D Printer(機器大小74×81×109cm))

比較Z-Corp.快速成型機與本研究製造的第四代快速成型機的工作區域，為因應RP朝向桌上型發展趨勢，故將模型建構區域縮小，可供成型建構之區域設計為150x150x100 mm，圖9為第四代RP機的建構槽照片圖。

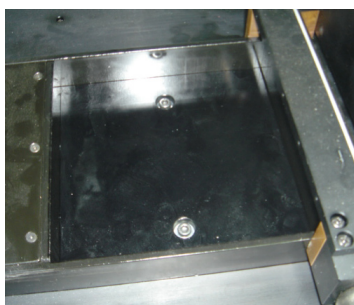
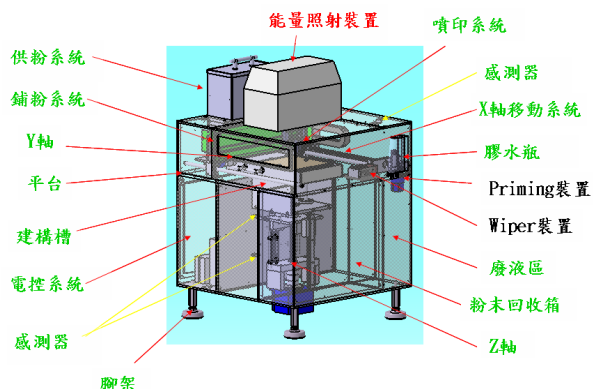


圖9 第四代RP機的建構槽

本研究製造的第四代快速成型機於機器上方增加能量照射裝置，為一隨時可與機器分離之裝置，如圖10所示。其目的為配合壓電噴頭可噴印多種不同膠合劑，與不同特性複合粉末進行成型搭配研究時，可結合不同能量照射裝置使用，以改善或補足Z Corp.公司3D Printer使用於成型物件時各種缺點與能力不足之問題。增加此能量照射裝置，配合壓電噴頭可噴印材料之多元適應性，大大地提昇各種RP材料之研發，也相對地增加機器研究之附加價值。



機器本體尺寸：450X440X450 mm(不含供粉槽及能量照射裝置)

圖10 第四代RP機器使用之能量照射裝置

噴印系統設計其噴頭引擎使用Xaar XJ128-200壓電噴頭，Y軸移動機構使用Canon Bubble jet i320 A4印表機進行改裝，結合dsPIC微控制晶片開發列印控制，組成噴印系統之列印引擎。將印表機中的DC馬達及平板編碼器訊號轉換成Y軸運動定位伺服控制訊號，配合列印資料，可以帶動噴頭進行正確地列印，並達到列印精度之要求。此外Z Corp.公司RP機器上的噴頭僅提供有效的精緻列印的時數為40小時[6]，針對工業界每天24小時運作來說是相當不夠用的。又因為時常損壞，故需常常更換噴頭，造成廠商在時間與成本上的浪費，所以針對這個問題，本研究之快速成型上採用較長使用壽命之壓電噴頭，相對 Z-Corp.公司RP機上的噴頭在使用的壽命更為長久與穩定，可大大地減低廠商在時間與成本上的浪費。如圖11所示。

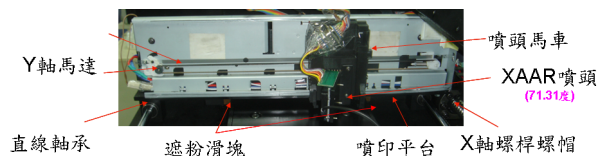


圖11 第四代RP機器壓電噴頭與噴印平台製作圖

兩種RP系統之其他硬體設計上差異比較如下表表2-1所示。

表2-1第四代RP 機器與美國 Z-Corp.機器310 之比較表

比較項目	NCKU 第四代 RP 機器	Z-Corp 310
可應用噴頭來源	多家市售印表機	某些特定低階噴頭
最大建構區域	150x150x100 mm	254x203x203 mm
連續供膠列印	利用自然現象連續供應噴印膠水	節流閥作壓力控制
膠水供印量	較少	較多
Green part強度	內外均一	外強內弱
噴頭壽命	<10°次(原廠資料)	<4星期
供粉方式	上置式,列印中可外加粉末	活塞式,列印中不可外加粉末
列印方式	雙向	單向
控制方式	電腦與手動驅動	手動驅動
機器售價	極低	較高(約100萬)
噴頭解析度	200x200 dpi	300x450 dpi
噴頭數目	1個	1個
噴印色彩	單色	單色
鋪粉描述	過度微細粉末可鋪粉	過度微細粉末不可鋪粉
列印中噴頭故障停止	立即停止	繼續列印至最後一頁才停止

三、軟體開發流程說明

3.1 操作軟體介面與切層流程介紹

第四代RP機切層軟體發展基於未來開發軟體和韌體結合考量與完全自主性原則和結合部分電腦輔助繪圖功能之延伸，故採取以Visual C++程式語言結合Open GL支援3D繪圖介面及MFC視窗程式語言進行切層列印軟體之開發設計與撰寫。(如圖12)

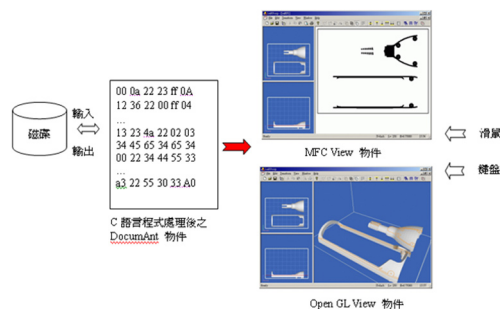


圖12 以視窗虛擬實體物件與切層說明

本研究發展軟體以能將單色模型讀入軟體中並進行模型切層後輸出為第四代壓電噴頭立體成型機的列印資料為發展重點，程式發展的基礎架構將主畫面區分為主要功能區、快速圖示功能區、模型顯示區，狀態列區等四部份，模型顯示區又區分為上視圖、前視圖以及切層結果或立體模型顯示圖等三部份，狀態列區由左至右分別顯示為功能鍵及時說明，單位模式，物件切層結果顯示之層數，列印厚度與目前時間等五分區，規劃完成之主要功能如圖13所示。可在上視圖與前視圖之中進行元件基本幾何操作，如平移、縮放、旋轉與鏡射等處理。當切層結果顯示圖中時，可以進行列印預覽動作，以便觀察切層結果。另外，針對所輸入的多個STL物件，可進行專案存檔與取檔動作。

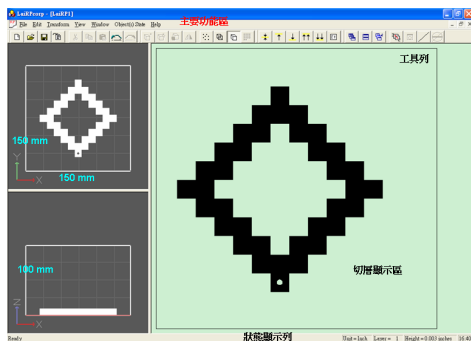


圖13 視窗的主畫面

3.2 輸入的STL模型資料結構

切層軟體所載入的三維模型物件為使用STL的三角網格檔案格式，STL之原始資料包含物件三角網格面的點座標與法向量座標，本研究利用此資料結構建立新的拓樸資料處理。由於STL之點座標具有重複之特色，因此在建立拓樸的過程之中，勢必會有許多點座標是重複的出現，故建立了輔助之資料表格，以利產生拓樸相關資訊。如表3-1至3-3所示。[7]

表 3-1 點座標資料結構

VTABLE	
VERTEX	點座標
ETABLE*	使用此點之邊緣
VTABLE**	使用此邊之面

表 3-2 邊之資料結構

ETABLE	
VTABLE*	起始點值
VTABLE*	結束點值
FTABLE*	使用到此邊緣的面
ETABLE*	複印邊緣
VOID*	特別使用

表 3-3 面之資料結構

FTABLE	
VTABLE*	迴路第一對應點資料
VTABLE*	迴路第二對應點資料
VTABLE*	迴路第三對應點資料

3.3 切層軟體切層原理說明

目前單色RP系統中的資料格式仍是以STL檔案格式為準，而且先前也已經成功地開發出STL格式檔案之三

維模型的輪廓切層法[2]，第四代RP機器切層軟體是以第三代RP機器單色切層軟體為發展基礎，繼續延伸至將切層資料編輯與輸出為自訂列印資料，與先前利用市售印表機資料輸出控制模組列印驅動不同，如此，不但可延伸軟體開發發展，更進一步切入印表機列印驅動核心技术開發，提升軟體開發領域進入新的里程碑。

層加工的過程為由底部漸漸增加材料，進行加工直到完成為止，故需以一虛擬切層平面，由下而上進行掃描動作，在演算的過程依據輸入層厚與工件高度來進行計算，當切層平面與幾何模型相交產生斷面後，利用層高與網路邊緣幾何資訊來進行各交點計算，進而建立各輪廓點，利用邊緣本身的拓樸關連，決定出輪廓點之間的關連性並建立輪廓關係，使之成為一封閉之輪廓線，再決定出噴印或加工之區域。如此重複進行，直到完成切層平面不再與所有工件之高度相交為止。對模型進行直接切層將可保持原資料所有的幾何特性與拓樸的強健性，優點包含了較大的模型精度與前置處理時間縮短等。一般而言，簡單的切層流程與切層示意圖如圖13所示[5]。

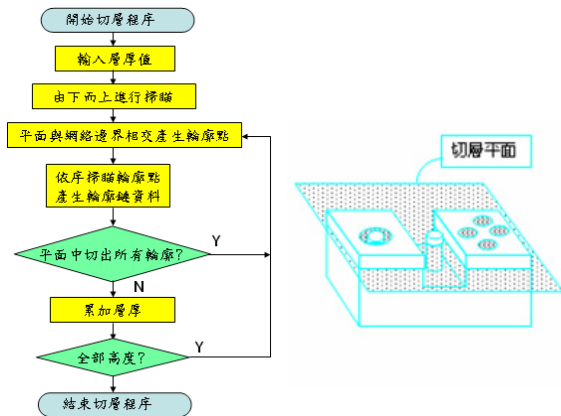


圖14 簡單的切層流程與切層示意圖

3.4 第四代機軟體設計-切層輪廓演算法

利用三角網格邊緣之拓樸關連，可找出使用此面之三點座標值與三邊緣資料，由邊緣資料可找出構成此邊緣之兩點座標值，利用切層平面距底部高度值與點座標距底部位置值來進行線段交點之內插計算，如圖14所示。

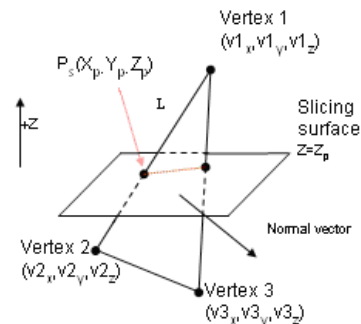


圖15 物件三角網格與切層平面幾何關係示意圖

假設L為通過兩點Vertex 1與Vertex 2之線段，切層面 $Z=Z_p$ 橫跨通過L， P_s 為平面與線段L之交點，以參數式的方法表示，可得下列關係式[4]：

$$\frac{X_p - v1_x}{v2_x - v1_x} = \frac{Y_p - v1_y}{v2_y - v1_y} = \frac{Z_p - v1_z}{v2_z - v1_z} = t, 0 \leq t \leq 1 \quad (3-1)$$

$$X_p = \frac{(Z_p - v1_z) \times (v2_x - v1_x)}{(v2_z - v1_z)} + v1_x \quad (3-2a)$$

$$Y_p = \frac{(Z_p - v1_z) \times (v2_y - v1_y)}{(v2_z - v1_z)} + v1_y \quad (3-2b)$$

其中

V1_x : Vertex 1的x值; V1_y : Vertex 1的y值

V1_z : Vertex 1的z值; V2_x : Vertex 2的x值

V2_y : Vertex 2的y值; V2_z : Vertex 2的z值

X_p : 切點的X值; Y_p : 切點的Y值

Z_p : 切層高度, $v2_z \leq Z_p \leq v1_z$ 。

3.5第四代機軟體設計-噴頭安裝角修正列印資料演算法
 第四代RP機器使用XAAR公司XJ128-200壓電噴頭，其噴頭解析度為185 dpi，而機器設計列印解析度為200 dpi，為達到此提高之列印解析度，故噴頭安裝時需要傾斜約71.6度之角度安裝，如圖16所示。

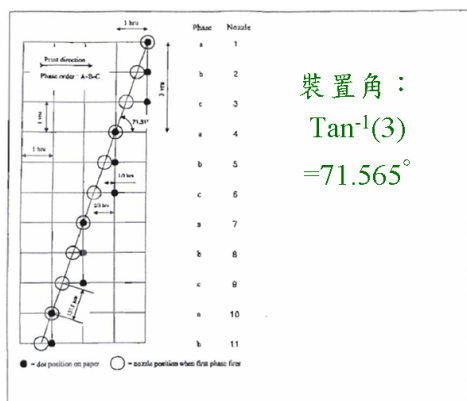


Figure 15. InkJet 200 DPI, rear view. Resolution according to CCITT Recommendation T.4 for Group 3 Facsimile units.

圖16 解析度為200 dpi時之噴頭傾斜安裝角

第四代RP機器切層軟體先將STL物件模型讀入並進行切層後，再將切層輪廓資料轉換成切層影像檔，當軟體進行列印資料輸出時，切層影像依噴頭安裝傾角化(17.4度)特性取得200x200 dpi解析度，將列印資料作適度的平移(Shift)，此方式即所謂資料傾斜化，之後，再以像素(Pixel)進行二值化處理，配合RP機器之噴印通訊協定，將二值化影像像素資料進行噴印資料編碼，即下圖之編碼，最後，再傳送至RP機器，並進行噴印成型。如圖17所示。圖18即為切層軟體已新增完成之傾斜與光柵傳輸功能。

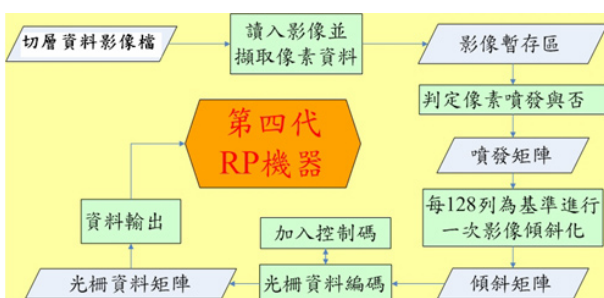


圖17 切層軟體切層輪廓資料影像處理流程

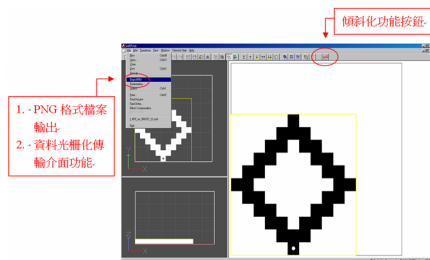


圖18 切層軟體新增之傾斜與光柵傳輸功能說明圖

四、韌體規劃與設計

圖19為第四代RP機器dsPIC介面之機能設計規劃圖，多方綜合切層軟體、Xaar壓電噴頭列印驅動及列印研究、機器硬體、人機介面與快速成型原理所規劃而成。

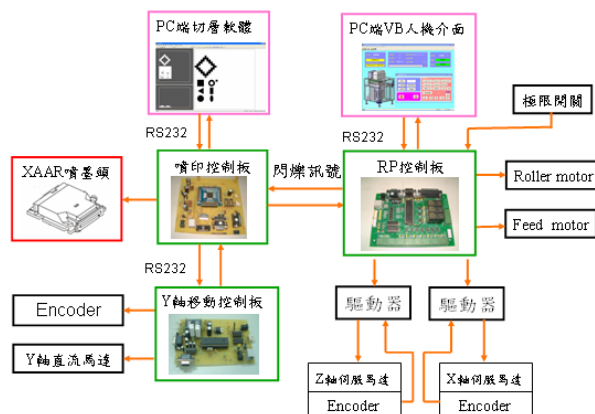


圖19 第四代機RP機器dsPIC介面之機能設計規劃圖

進行壓電噴頭單列資料列印研究使用如圖20之架構，其中使用XAAR公司型號XJ128-200的壓電噴頭，以71.6度的傾斜角安裝於噴頭座上，噴頭座連結於直流馬達帶動的尺規皮帶，當馬達驅動皮帶時，噴頭座可於架板上移動，噴頭座後方有一條直線式光學編碼器，作為列印時噴頭定位與位置偵測之用。當切層軟體傳送一列光柵資料列印資料時，使用噴頭噴印控制板與噴頭Y軸移動控制板(見圖19)，壓電噴頭即可進行Y軸移動與噴印。

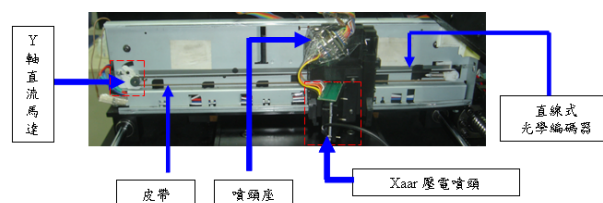


圖20 Y軸列印移動架構實體圖

韌體介面系統部份並以dsPIC微控單晶片及Basic程式語言設計人機操作介面，進行控制X及Z二軸向之手動、全自動連續噴印程序控制(如圖21)與機器運轉中視窗監控系統(如圖22)設計，使控制切層軟體、機器系統控制韌體與即時監控噴印三個系統，完全整合於單一

台電腦之中。圖20為三維單色全自動連續噴印成型程序圖，當噴印成型工作開始前，須先完成噴印準備工作，包括檢查粉末與膠水容量、噴頭清潔與鋪好粉床等工作後，即可進行全自動連續噴印成型程序，RP機器於接到噴印資料後，機器進行切層圖形噴膠，同時可選擇啟動能量照射控制，當噴印平台該頁噴印完成後移至左方供粉處，進行供粉動作，再進行鋪粉之動作，如此循環至所有列印資料結束，即完成立體物件之實體噴印建構。

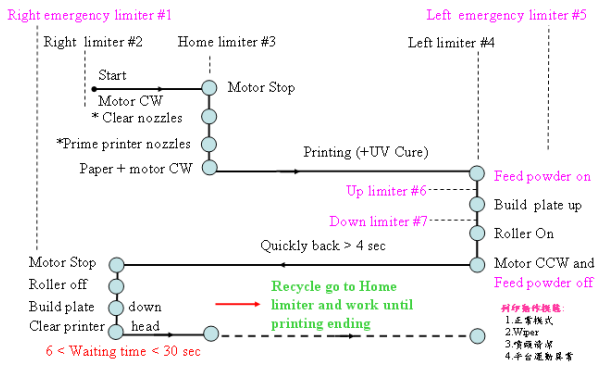


圖21 第四代機器連續噴印成形之程序規劃圖

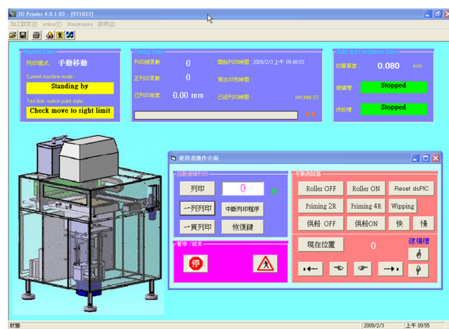


圖22 第四代RP機器噴印成形之監控人機介面圖

五、實驗測試結果

圖23為第四代壓電噴頭立體成型機之實際製作機器照片圖，實際上結合上置式供粉系統、Z軸建構系統、機器本體、能量照射裝置、連續供膠系統、系統XY平台、鋪粉系統、噴印系統與回收系統等九個硬體部分，再搭配切層軟體、人機介面軟體與複合粉末和膠黏劑材料，即可將三維模型完整的製造出來。下圖24為第四代壓電噴頭RP機器實際噴印二維切層圖形精度測試圖，圖24



圖 23 第四代RP機器之實際製作機器照片圖

左圖為長方塊物件之切層輪廓實機列印圖；右圖為標準測試件之切層輪廓實機列印圖)。圖中說明機器平面列印尺寸精度目前約可達到0.2 mm/150 mm。

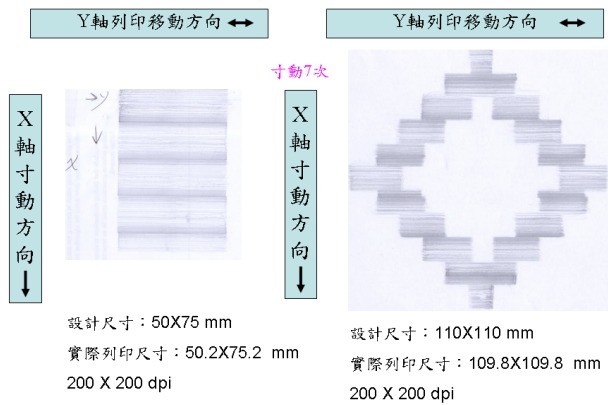


圖24 第四代RP機器實際二維噴印測試圖

圖25 為第四代RP機器進行實際長時間噴印測圖中實際連續噴印1000頁約花費11.5小時，目前已經進行定位與移動速度改善，已大大地改善縮短完成一頁的列印時間。

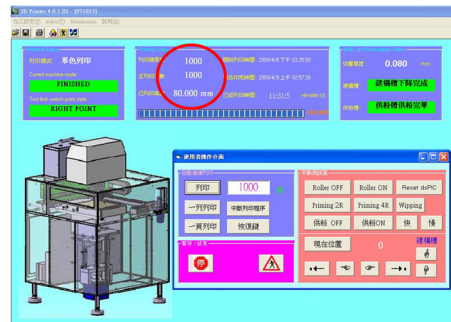


圖 25 第四代RP機器實際長時間噴印測試圖

圖26 為第四代RP機器擬使用石膏基複合粉末與膠黏劑進行實際噴印成型測試，為目前膠黏劑正在研發中，尚未達到足量的噴膠量，正參考壓電式噴墨系統之液滴型態控制研究及其數值模擬之研究論文[9]加緊研究中，圖中成型件待後續成型驗證。

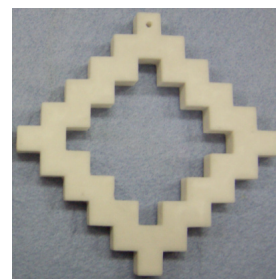


圖26 第四代RP機器擬噴印之標準件測試圖 (設計尺寸110x110x10 mm)

六、討論

本研究完全針對市售噴印式三維成型機的製作模型問題與市場趨勢，提出全新的設計概念，並本著精益求精原則，於方法與設備上予以改良，而開發出一台先進的壓電噴頭立體成型設備，並經過反覆的測試與研究，已成為提供多種成型粉末與膠黏劑配方之最佳化研究開發設備。本研究壓電噴頭立體成型機的設計方向，除了

解噴印於粉末而膠結式快速成型的眾多問題[1]外，更提出改善其能力限制之方法，如下所述：

1. 成型粗胚件(green part)強度提高：Z-Corp. 的快速成型機器中，採用使用汽泡式噴頭噴印水性相容膠水於粉末上，其成型粉末僅能使用親水性複合型粉末調配，不但嚴重限制了材料研發的廣度，而且，成型模型強度不足，粗胚件(green part)連用手取件都有可能損壞，以致於成型模型皆需要進行後處理強化，此種模型強度不足與操作之不便性，常為使用者所詬病。第四代壓電噴頭立體成型機可噴印黏度較高膠黏劑，或噴印水性以外(含水性)之其它種類膠黏劑(見表6-1)，更設計外加能量裝置，可加速與強化粉末與膠水之反應，提高成型粗胚件(green part)強度。
2. 可噴印膠水材料種類選擇性較多：使用壓電噴頭RP噴印膠黏劑於粉末上，噴印種類可選擇水性液體、溶劑、油、UV、蠟等膠黏劑，而汽泡式噴頭RP只能噴印水性相容膠水，故其膠水種類與成型粉末在相互搭配研究發展上，壓電噴頭RP較為寬廣。而且，對於不能耐高溫之噴膠液之生物RP領育，也僅能使用壓電噴頭RP，才能進行噴印成型。
3. 出滲與暈染問題減輕：壓電噴頭RP可噴印比汽泡式噴頭較高黏度的膠黏劑，包括搖變性膠黏劑，其流動性較汽泡式噴頭噴出之低黏度水性膠水低，所以，當噴印在多孔性粉末上，外滲(Bleed)問題可獲得改善，因而提高成品成型精度與降低表面粗糙度。當使用有顏色膠水噴印成型立體物件時，膠水中可以顏料(Pigment)取代水性染料(Dye)當染劑，噴印於層狀粉床上較不易造成暈染問題，得到較好的模型色彩鮮艷度。
4. RP設備小型化：目前Z Corp.310 3D Printer 售價接近百萬，仍嫌昂貴，而第四代RP機器為桌上型機器，其零組件材料與加工費用已大幅降低，且機器體積與重量也已設計為幾乎一人即可搬動，擺設機器的空間與運費，也節省許多，提高了廠商接受性，相信機器在未來的應用一定獲得普及。

快速的成型週化時間：外加能量裝置可選擇使用紅外線、UV光或其他特殊照射裝置，可加速粉末與膠水之反應，縮短加工後模型待機乾涸成型時間。

上述本研究機器具備之各項優點，於下表中再將第四代 RP 機器與每Z-Corp.公司的單色型號310(為該公司在臺灣銷售成型機種中機器尺寸大小最小的機種)作一個綜合性比較表：

表6-1第四代RP 機器與美國 Z-Corp.最小機器機型310 RP機器之比較表

項目	第四代壓電噴印 RP	Z Corp. 310 RP
初成品強度	强度高	強度低
可噴印之液體黏度	高(<10cp)	低(<5cp)
可噴印之液體材質	水性液體、溶劑、油、UV、蠟	水性液體
染劑	Dye、Pigment	Dye
膠水液體加熱性	可加熱或不加熱	只能可加熱
噴量控制難度	容易	不容易
噴頭售價	高	低
噴頭壽命	較長	<一般市售
複合材料應用	可	不能
噴速	高(>10m/s)	較低(受限熱傳速度)
可成型粉末材料	較廣	較窄

七、結論

目前快速成型系統已進入百家爭鳴階段，現在主要已商業化的系統，依製程大致上可區分為好幾種。其中，三維列印技術相對其他製程，在機構以及技術層面上較為簡單，而且成本較低，而其獨具之彩色快速成型之能力、單一次成型軟硬合體特性的多功能物件，與噴印多層複合材料等能力，更是其他RP系統望塵莫及，相信未來會是業界發展RP技術的首選。

本研究團隊在研究過程中，使用市售印表機改裝成RP機器部份，目前已成功地開發完成第一至三代 RP 機器，其中包括各種建構尺寸之單色與彩色立體成型機型。第四代RP機器為桌上型壓電噴頭之立體成型機，最大建構區域150x150x100 mm，噴頭列印解析度200x200 dpi，在整體功能上，已有多項超越美國Z-Corp.公司3D Printer之優點，未來更可應用於金屬、食品、陶瓷、藝術、創意文化與生醫等領域，提供作為發展噴印型RP成型研發之專用台機。第四代壓電噴頭立體成型機的研發成功，給未來RP材料研究與應用領域，帶來新的希望與契機。

參考文獻

- [1] 鄭俊益，賴維祥(2008，8)。彩色立體印刷機-快速原型機之設計研究。「台北國際自動科技大展『產學合作成果發表』專刊，台北市。
- [2] 林聰鎰，呂宗行(2007)。壓電噴墨頭流體動態行為之模擬研究。國立成功大學航空太空工程學系碩士論文，(2007年7月)。
- [3] Chua, Chee Kai and Leong, Kah Fai(1997), "Rapid Prototyping-Principles and Applications in Manufacturing," John Wiley,Sons,1997.
- [4] T. R. Jackson, H. Liu, N. M. Patrikalakis, E. M. Sachs, and M. J. Cima(1998), "Modeling and Designing Functionally Graded Material Components for Fabrication with Local Composition Control," Massachusetts Institute of Technology,1998.
- [5] 賴維祥，鄭俊益，"電腦與印表機補助實物化快速成型之方法與設備，" 中華民國發明專利第 1 253379 號。
- [6] 侯柏均，汪家昌。以壓電式噴墨印表機開發之快速原型系統。國立台北科技大學機電整合研究所碩士論文，(2008年7月)。
- [7] Z-Corporation Z402 User' s Manual Version 4.0，1999。
- [8] 林享億，賴維祥(2003)。三維快速成型之切層技術研究。國立成功大學碩士論文，(2003年6月)。
- [9] 單子睿，黃文星(2003)。壓電式噴墨系統之液滴型態控制研究及其數值模擬。國立成功大學材料科學及工程學系所碩士論文，(2003年7月)。