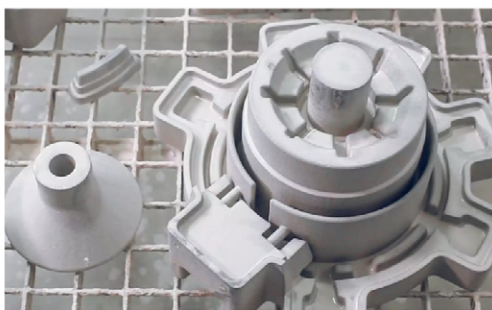
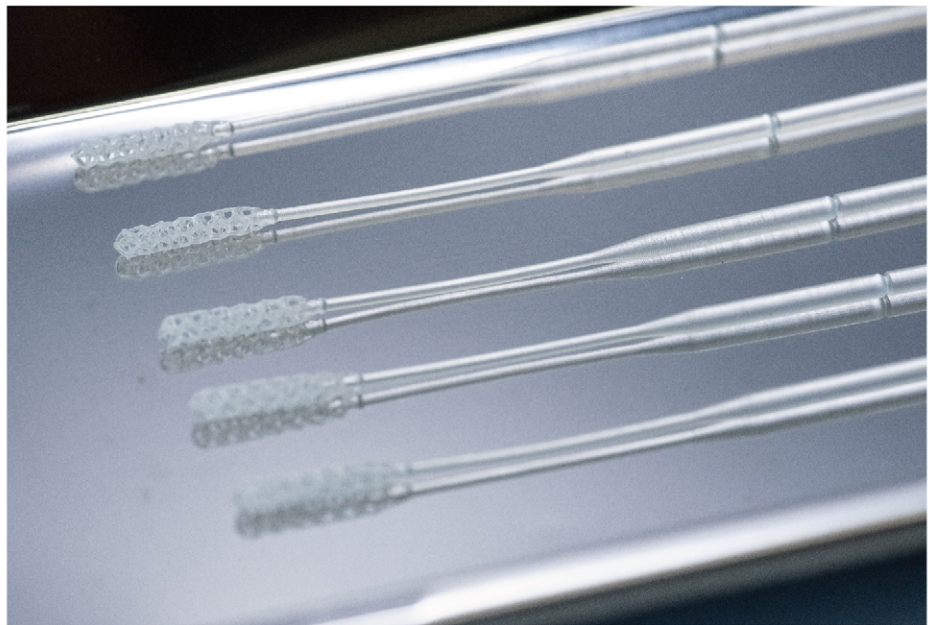


### 【高速3D列印技術之最新發展與產業應用】



主編：鄭正元 特聘教授 (臺灣科技大學)

- 3D列印在半導體產業之應用
- Solvay AM Cup國際積層製造競賽
- 高精度與速度兼具:Alpha光固化3D列印機
- 來勢洶洶的Origin One高速3D列印最新應用
- 高效能金屬積層製造技術研發與產業應用



## 3D 列印之最新發展 | 3D 列印之產業應用



隨著越來越多的行業發現積層製造的潛力，在2020年MHI與Deloitte訪查超過1,000位供應鏈專家，發現21%的公司已在使用3D列印與積層製造、32%的公司規劃未來5年投資相關技術，相信2022年將是一個很好的積層製造年，未來幾年將確定更多此類合適的細分市場。

本期邀請到台灣天馬科技、揚明光學、通業技研、工研院南分院以及馬路科技，分享最新的3D列印技術、產品與觀點。此外，2022年臺灣3D列印暨積層製造設備實體展，正熱烈徵展中，展會將於8月24~27舉行，誠邀諸位一同共襄盛舉。

發行單位 台灣區電腦輔助成型技術交流協會  
製作單位 型創科技顧問股份有限公司  
發行人 蔡銘宏

**總編輯**

蔡銘宏 理事長  
鄭正元 特聘教授

執行主編 許正明  
企劃編輯 徐心怡  
劉書丞  
趙育德

**專題報導**

專題主編 鄭正元 特聘教授

**感謝合作單位**

高速 3D 列印中心、台灣天馬科技、揚明光學、通業技研、  
工研院南分院、三軍總醫院醫用 3D 列印中心、馬路科技



出版單位：台灣區電腦輔助成型技術交流協會  
出版地址：台灣 220 新北市板橋區文化路一段 268 號 6  
樓之 1

讀者專線：+886-2-8969-0409

傳真專線：+886-2-8969-0410

雜誌官網：<https://www.smartmolding.com/>

# 目錄 Contents

- 6 3D 列印在半導體產業之應用
- 10 3D 列印在電動車產業之應用
- 14 Solvay AM Cup 國際積層製造競賽
- 18 滿足高效率需求，Formlabs 大型光固化解決方案 Form 3L
- 20 高精度與速度兼具：Alpha 光固化 3D 列印機
- 22 來勢洶洶的 Origin One 高速 3D 列印最新應用
- 28 高效能金屬積層製造技術研發與產業應用
- 36 前進工業 4.0 時代，少量多樣才是客戶要的，從大量生產到大量客製化製造





## 鄭正元 特聘教授（臺灣科技大學）

### 現職

- 臺灣科技大學 機械工程系 特聘教授

### 經歷

- 臺灣科技大學高速 3D 列印研發中心 主任
- 台科三維科技公司創辦人兼法人董事
- 中國工程師學會 傑出工程教授獎

### 專長

- 雷射加工、3D 列印、積層製造
- 光機電工程學、光機電化整合技術
- 研發管理：專利佈局分析與競爭者專利分析
- 跨領域整合

# 高速 3D 列印技術之最新發展與產業應用

COVID-19 所造成的衝擊，使得全球各大產業剎那間哀鴻遍野，不得不面對這無止境的流行病、物流和材料採購的危機。為了減少實體接觸，全球對於個人行動裝置、消費性電子、網路設備等需求皆顯著上升，這使得相關產業的製造商爭相購買所需的晶片，進而發生了晶片短缺的問題。

經濟學人智庫 (EIU) 在去年針對受疫情衝擊的產業調查，顯示在汽車、服飾及鞋類、製造業、IT 及科技電子產品業、醫療保健與製藥生技業這 6 大產業受到最為嚴重的衝擊。產業對晶片的需求增長儼然是一個不可逆趨勢，如何解決這項問題，將可催化一系列技術供應鏈的變革。

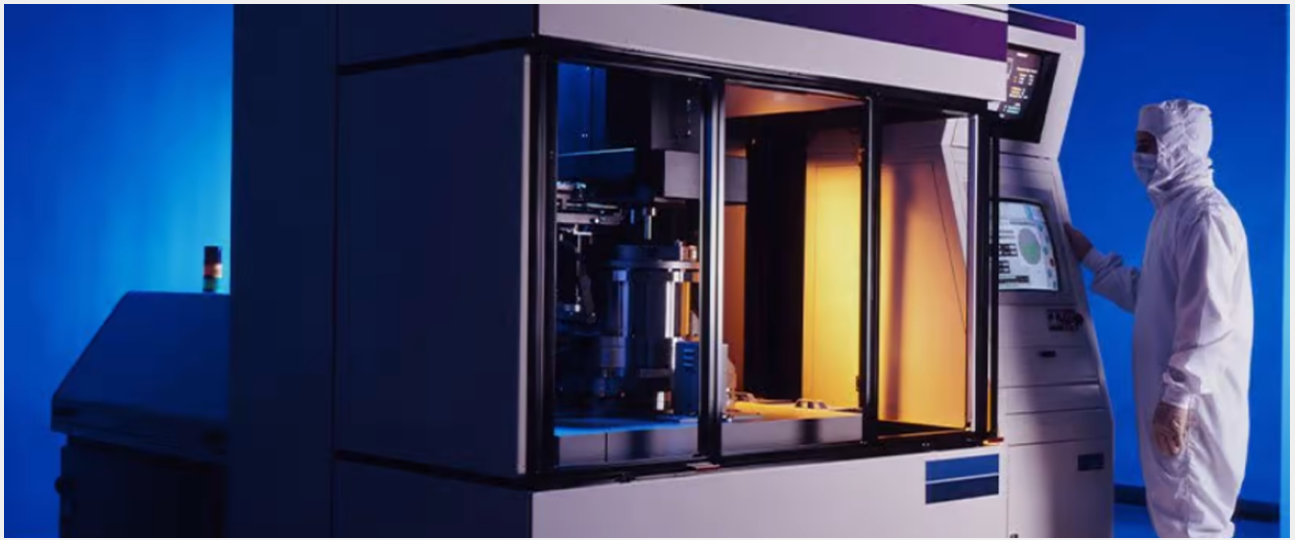
另一項議題，如今國際對減少碳排放的議題日漸重視，已開始禁止新的汽油動力汽車進入市場，現代的汽車產業正隨交通方案的變革進行重新的定位。去年第 26 屆月聯合國氣候變遷大會 (COP26) 中，各大車廠承諾將在 2035 年以前銷售零碳排放新車，屆時電動車將成為電動車產業的主流。

因應全球供應鏈危機和氣候危機，我們明白現今的產業必須盡快發生變化，積層製造儼然踏足真正的製造領域，我們看到 3D 列印被運用於生產替代或彌補傳統生產工藝的不足，現今無論是原始設備製造商 (OEM) 還是中小企業 (SME) 都對具有更高生產力的大型機器感興趣，以提高產量、增強可靠性滿足實際製造需求，我們將報導現今的 3D 列印如何在半導體產業以及電動車產業中所發揮的作用。

隨著越來越多的行業發現積層製造的潛力，在 2020 年 MHI 與 Deloitte 訪查超過 1,000 位供應鏈專家，發現 21% 的公司已在使用 3D 列印與積層製造、32% 的公司規劃未來 5 年投資相關技術，相信 2022 年將是一個很好的積層製造年，未來幾年將確定更多此類合適的細分市場。

本期邀請到台灣天馬科技、揚明光學、通業技研、工研院南分院以及馬路科技，分享最新的 3D 列印技術、產品與觀點。此外，2022 年臺灣 3D 列印暨積層製造設備實體展，正熱烈徵展中，展會將於 8 月 24~27 舉行，誠邀諸位一同共襄盛舉。■





## 3D 列印在半導體產業之應用

■臺灣科技大學 高速 3D 列印中心 / 趙育德

### 前言

COVID-19 疫情使得物料供應鏈中斷，人們的生活、交流途徑遂由原來的實體活動朝向虛擬轉變，全球對於個人行動裝置、消費性電子產品、網路設備等需求迅速上升，相關領域的製造商接爭相購足所需的晶片。

然而半導體製造設備的組件供應受到撼動，晶片短缺成為半導體產業正待解決的問題。它不僅涉及供應側晶片代工廠商的產能和擴廠計畫，也關係著廣大汽車、手機等廠商需求端的產品研發和銷售。晶片短缺問題如何緩解？何時澈底解決？這一連串問題，將可能催化一場技術供應鏈的變革。

近來，晶圓廠正需要擴充新的產線，半導體資本設備、代工生產商 (OEM) 紛紛將目光投向 3D 列印技術，藉助其製造靈活性以優化零組件並提高整體設備之性能。

### 3D 列印之於半導體資本設備

舉例來說，一臺半導體光刻設備可能具有超過 10 萬個零組件，所有專業零件皆以相對小的數量製造，如此數量的系統需要一連串供應鏈的支持。供應鏈中包括傳統的鑄造、機械加工等方式，受制於加工工具的形貌，對於設備的設計勢必得採用大量的妥協方案。藉由 3D 列印則可以突破這些形貌加工上的限制，進而營造一套更符合理想的半導體加工環境。

隨著晶片封裝尺寸日益減小，半導體 OEM 針對優化性能與可製造性正在尋求進一步的提升空間。精密加工公司 Wilting 協助一家大型半導體設備商生產複雜的金屬零件，用以提升成像精度與生產力，透過與 3D Systems 公司合作，利用金屬 3D 列印進一步生產優化的零件，3D Systems 半導體解決方案首席負責人 Scott Green 就分享了晶圓臺、歧管、彎曲件等案例。



圖 1：藉由 3D 列印複雜流體歧管，可以減少機械干擾與震動的產生 [2]

## 應用案例

### 歧管優化

在光刻設備內部具有大量的流體管線，透過 3D 列印技術工程師可以減少使用軟管連接的妥協方案，設計一款可以優化流體流動的特製管路，藉此可以減少壓降、機械干擾與震動等因素。如圖 2 中所示，以傳統方法加工製造的歧管組件需裝配達 20 多個零件，這導致流體流動產生死區、紊流，而藉由 3D 列印可將之合併為單一設計，可減少中途接點產生的不穩定性，減輕多達 50% 的重量，並充分運用設備內有限的空間。

### 晶圓臺熱管理

舉例來說，在光刻機內部有一個晶圓放在平臺上。平臺的功能是用於確保晶圓溫度穩定控制在絕對溫度差數 mK（毫開爾文）之間，直到不再交換熱量的平衡。對於需求在奈米尺度的晶圓而言，數 mK 的溫度即對精度產生影響，當前的冷卻和調節方法不能提供具有精確控制的均勻熱環境，將晶圓保持在穩定的溫度需要一定的等待時間，而這些時間即是生產力的損失。若能更快地達到穩定的溫度，將能每週抽出更多的晶圓，從而縮短循環時間。

傳統製造的調節板和冷卻臺，藉由焊接將多個零件結合為單個組件。而 3D 列印技術可以針對性能快速進行開發嘗試，縮短設計工程迭代的時間。在圖 1 中，資料顯示經過 3D 列印優化的冷卻通道設計改設了表面溫度與熱梯度 ( $<4\text{mK}$ )，並同時降低了冷卻時間常數 ( $<1.5\text{s}$ )。

### 彎曲和結構優化

除了前述提到的歧管優化流體流動與晶圓臺熱管理等應用外，設備結構上的設計與優化更是提升設備性能的切入口，半導體設備同樣仰賴快速移動的零件以提升生產速率，用高的重量亦將產生極高的慣性力必須克服，就由 3D 列印高強度重量比結構，減輕零件重量進而提高設備的運動相效能。

### 結語

本篇文章主要以 3DSystem 公司今金屬 3D 列印案例介紹半導體設備廠如何藉此技術提升零組件性能，目前要能夠完全以 3D 列印理念重新設計一套光刻系統能是一項極大的挑戰，但藉由 3D 列印設計取代現有部件的案例正不斷的產生，在輕量化、熱管理與流體疏導等應用領域俱為 3D 列印的強項。設備代工廠未來勢必將陸續引入 3D 列印投入研發與製造，藉此進

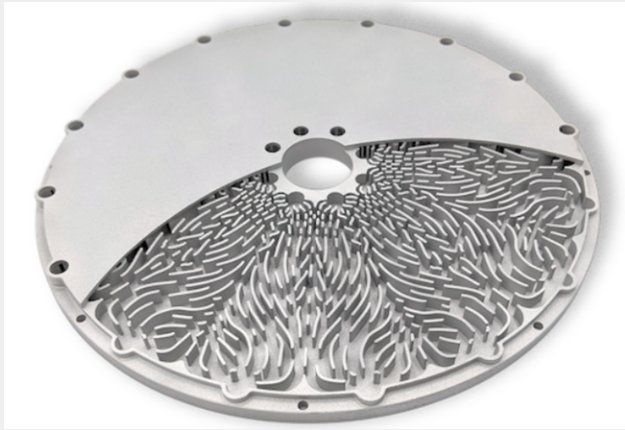


圖 2：金屬 3D 列印晶圓臺內部結構，可最大限度優化傳熱效率 [2]



圖 3：藉由金屬 3D 列印製造的輕量化結構件 [2]

一步提升半導體之產能。■

#### 參考資料

- [1].封面圖引用自 <https://www.3dsystems.com/semiconductor/manifold-fluid-flow-optimization?ind=semiconductor>
- [2].<https://www.3dsystems.com/semiconductor>
- [3].<https://www.makepartsfast.com/how-additive-manufacturing-helps-the-semiconductor-industry/>
- [4].<https://ecss.sg/increase-performance-productivity-and-reliability-with-3d-printing-for-semiconductor/>
- [5].<https://www.sdexec.com/sourcing-procurement/article/21403533/3d-systems-why-the-semiconductor-industry-must-embrace-3d-printing>
- [6].<https://3dprint.com/280766/3d-printing-steps-in-to-aid-semiconductor-industrys-faltering-supply-chains/>





3D data courtesy of Vizua Heart of Bernard Werber

## HP Multi Jet Fusion 工業3D高速列印解決方案

打造高品質零件的同時，達到生產效率和成本的最佳化

- 滿足最終零件應用需求
- 大幅縮短新產品上市週期
- 最大化設備上線率和批量生產
- 高達 80% 的剩餘粉末重複利用率
- 無須支撐，適合結構複雜之零件生產
- 實現創新設計的無限可能性



Part sample printed with HP 3D High Reusable PA 11.  
Data courtesy of Sigma Ingegneria




Headrest printed with HP JF 5200 3D and  
BASF Ultrasint™ TPU01. Automotive.



Sunglasses printed with HP JF 4200 3D and  
HP 3D HR PA 12 - Data courtesy of Breezm.  
Final part - customized. Consumer Goods.

總代理

 上奇科技

業務代表 方聖中 0917-199-601

台北市內湖區瑞光路76巷33號3F [www.grandtech.com.tw](http://www.grandtech.com.tw)

TEL : 02-8792-3001 FAX : 02-8792-3002





## 3D 列印在電動車產業之應用

■臺灣科技大學高速 3D 列印中心 / 劉書丞

### 前言

「今日，美國道路上已有超過 200 萬輛電動汽車 (Electric vehicle, EV)，我們預計這個數字可能會在十年內增長到多達 2200 萬」，愛迪生電器學會 (EEI) 總裁 Tom Kuhn 在 Real Clear Energy 專欄中如此說道。

隨著國際對減少碳排放議題越來越重視，並且開始禁止新的汽油動力汽車進入市場，現代交通方案的變革正在重新定位汽車行業。為響應逐步減少化石燃料的行動，在第 26 屆聯合國氣候變遷大會 (COP26) 中，包括福特汽車、通用汽車、賓士等在內的 11 家汽車製造商，承諾主要市場將於 2035 年以前全部銷售零碳新車，屆時電動車將成為汽車產業主流。其中 3D 列印又稱為積層製造 (Additive Manufacturing)，正是汽車產品輕量化、提升性能的絕佳途徑，對此各車廠正嘗試使用 3D 列印技術製造高性能的汽車零配件，以期在這場能源角逐中取得競爭優勢。

### 3D 列印如何在汽車製造中發揮？

#### 加速產品設計

車輛的生產製造皆由原形設計開始，若採用傳統加工方式，通常會是一個既耗時且高花費的過程；而藉由 3D 列印製程，則可在數天內即製造出一些零件原型，無論是儀表板、後視鏡乃至發動機部件等，對於一項新概念產品的演示以及性能驗證起到關鍵作用，藉此提供製造者在批量生產之前即發現問題並修正，允許工程團隊加速整體車輛的開發週期。

#### 零件高性能化、客製化

除卻傳統加工刀具的限制，3D 列印用於實現各種鏤空、晶格結構設計，並且可透過拓樸結構優化等方式減少使用的材料，與此同時符合零件的性能需求，藉由減少結構重量進而提升車輛能源的使用效率。3D 列印亦可將多個組裝部件整合為一體，從而減少結構銜接部位產生的弱點。製造商可以與傳統技術結合，為不同客需求量身訂製專屬零部件，提供更加獨特與



圖 1：Local Motor 展示 3D 列印 Olli 下半車身（左）、XEV 3D 列印 LSEV 低速電動車示意圖（右） [4,5]

舒適的體驗。

### 解決備品問題

倘若讀者擁有一臺 60、70 年代的老車，它已有數個零件不敷使用，為這輛車尋找替代零件是一件令人困擾的議題，畢竟對於一項過時良久的產品，零件開發商不一定保有足夠的庫存。而今利用 3D 列印技術，製造商僅需要保留一個 CAD 檔即可快速地重現該零件，這對於小批量、低需求零件的按需供應提供絕佳的解決途徑。

### 應用案例

#### 車體 3D 列印

美國汽車製造商 Local Motor 與義大利汽車製造商 XEV 皆致力於發展車輛的 3D 列印，Local Motor 曾推出一款為設計用於城市中心、校園、醫院設計的 3D 列印自動穿梭巴士 Olli，使用橡樹嶺國家實驗室 ORNL 的大面積積層製造系統生產包括車頂、車身等大部分組件。而 XEV 則借助 3D 列印開發低速電動車 LSEV，藉由大面積的熔融擠出技術生產 57 項塑料部件，整體重量僅 450 公斤。

### 汽車支架、組件 3D 列印

汽車內各部位的支架是相當小型且普遍的零件，在 3D 列印未普及之前，它們的設計極受傳統加工法的限制。而現今借助 3D 列印技術與 Design for Additive Manufacturing (DfAM) 理念的推廣，可以更大幅度的優化車輛零件。保時捷利用 3D 列印結合蜂窩晶格結構製造鋁合金驅動器外殼，相較傳統鑄件減輕了 10% 的重量並擁有相同的強度。另外也可賦予特殊應用，例如在零件上製造 QR-code 用於識別。

### 快速生產模具

3D 列印技術於製造者的應用不僅限於車輛本身零件。為了提升電動發動機的性能，必須測試各種電機外殼的變化，在 3D 列印公司 voxeljet 的案例中藉由黏著劑噴射 (Binder Jetting) 技術在無工具加工下生產鑄模。

### 電動車供電系統

在各國，電動車充電站的部署正在迅速擴展，針對某些地區對於正規充電系統存在規劃與建置障礙，以及當前全球零部件短缺問題。例如英國在 2022 年起將在新建置房屋中強制使用電動汽車充電器，針對不同房屋的需求，充電器製造商可藉由 3D 列印快速建置

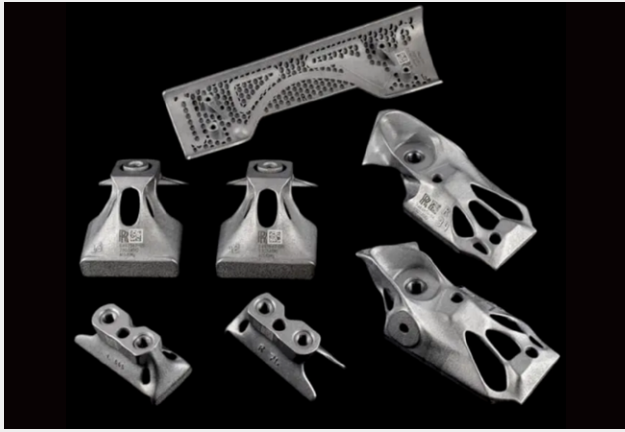


圖 2：勞斯萊斯公司展示汽車 3D 列印結構（左）、保時捷利用 3D 列印製造驅動器外殼（右） [4,6]

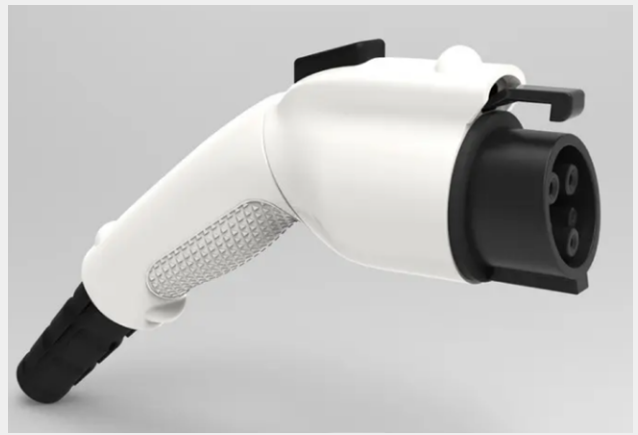
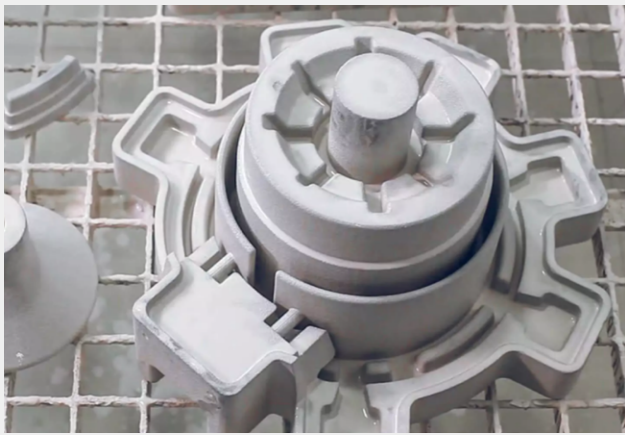


圖 3：藉由黏著劑噴印技術生產鑄模 [7]

圖 4：電動車充電器 [4]

並投入使用。

### 結語

不論是汽車或是電動車，3D 列印正快速地涉入車輛與車輛周邊製造產業，除了常見的結構輕量化設計、輔助製造工具與客製化服務，在 3D 列印材料方面也有不少進展，包括容許在零下 30 度的結構材料開發，另外也有學者正著手研究高效能的電動車電池等。隨著技術成熟與鞏固，穩定的大型、大面積製造系統被開發，3D 列印在車輛領域的開發將變得更加主流。■

### 參考資料

- [1].封面圖為加拿大 AK International Motor 正採用 SLA 技術開發的電動車，圖片引用自 <https://www.customprototypes.ca/post/3d-printed-electric-vehicle-prototype>
- [2].<https://www.techsciresearch.com/blog/3d-printing-aiding-the-electric-vehicles-industry/269.html>
- [3].<https://ukcop26.org/>
- [4].<https://amfg.ai/2019/05/28/7-exciting-examples-of-3d-printing-in-the-automotive-industry/>
- [5].<https://www.xev-global.com/>
- [6].<https://3dprinting.com/automotive/porsche-demos-3d-printing-for-electric-vehicles/>
- [7].<https://www.voxeljet.com/case-studies/automotive/electric-motor-housing-from-the-3d-printer/>

設計

開發

生產

保養維修

## 應用情形



## 服務方案

★方案設備規格如下。

用電監測設備



雲端監測平台



場域佈建安裝

## 設備規格

★若有其他需求可另行報價。

| 型號                                | 規格                             | 數量        | 備註                             |
|-----------------------------------|--------------------------------|-----------|--------------------------------|
| CM00-00 (電池式)                     | 0.3A~50A (線徑10mm)              | 18        | 6台主要運轉設備 (6台×三相)               |
| CM04-01 (充電式)                     | 3A~350A (線徑35mm)               | 3         | 工廠總用電監測                        |
| GW06-00                           | BLE轉wifi 2.4G                  | 4         | 與RP+GW08規格擇一<br>★數量依場域實際通訊狀況調整 |
| RP01-01 (搭配GW08)<br>GW08 (搭配RP01) | BLE轉Sub-1G<br>Sub-1G轉wifi 2.4G | 4<br>(各2) | 與GW06規格擇一<br>★數量依場域實際通訊狀況調整    |

型創科技顧問團隊



30年模具與成型產業專業輔導經驗



國內外眾多企業認可



服務據點  
台北·蘇州·東莞·曼谷  
☎ +886-2-8258-9155

規劃中據點  
台中·台南·寧波·廈門·印尼·馬來西亞·菲律賓·越南  
✉ info@minnotec.com



型創科技顧問股份有限公司  
Molding innovation technology Co., Ltd

🌐 www.minnotec.com





Progress beyond

L'ORÉAL  
OPERATIONS

Ultimaker

## Solvay AM Cup 國際積層製造競賽

■臺灣科技大學 高速 3D 列印中心 / Mayur Prajapati

### 前言

索爾維 (Solvay) 是一家總部位於比利時首都布魯塞爾的跨國化工集團，開發特種聚合物來滿足汽車、航空、智能設備、醫療保健與能源等關鍵產業的需求。2018 年發起了一項名為 AM Cup 的國際積層製造比賽，用高能聚合物來突破積層製造的極限。

在 2021 年的第三屆 AM Cup 中與美容領域領導者歐萊雅 (L'Oréal) 和主打熔融擠出的 3D 列印公司 Ultimaker 合作，共同應對來自世界各地大學的工程師、製造商和學生的挑戰，這項競賽資格主要針對學生與 30 歲以下或相關經驗不足 10 年的年輕專業人士。索爾維不僅為最佳個人或團隊提供總計 5000 歐元的獎金，還提供 Ultimaker 2+ Connect 列印機和歐萊雅生產設施的參觀機會。

### 第三屆競賽

#### 比賽項目描述

歐萊雅在生產化妝品時，需要使用保持器保護高速運輸中不穩定的瓶子。每一次變更瓶子的樣式即必須更換保持器內襯，以符合變更後的設計。主題訂為利用 Ultimaker FDM 技術與 Solvay 的線材進行 3D 列印，尋找一項解決方案可以自動調整輸送帶上的保持器，以容納最多 5 個給定的歐萊雅瓶子。當數百個生產線上的保持器同時集結在輸送帶上時，意味著噪音即將產生，因此比賽的次要目標為使用現有或創新的解決方案吸收保持器之間的衝擊，以避免產生過高的噪音。關於比賽的評量標準，則如文末的表 1 所示。

#### 參賽設計與製造分享

臺科大在 2021 年同樣也參加了這場競賽，保持器的設計由受海膽 (Sea Urchin, SU) 形態啟發的緊密細胞晶格結構組成。SU 晶格結構具有以下優點：

- 無支撐功能可加快打印速度並減少材料和能源；

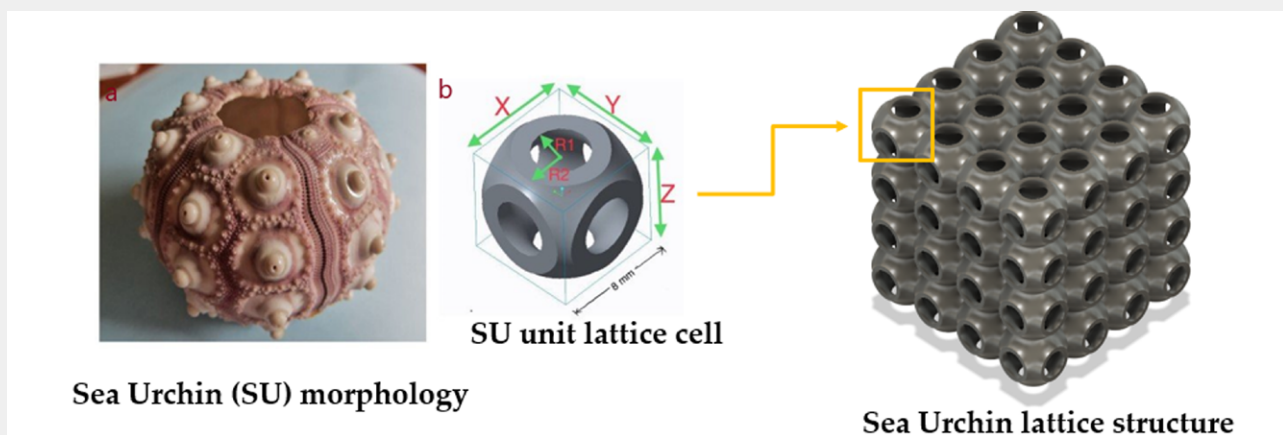


圖 1：受海膽形貌啟發的無支撐接結構

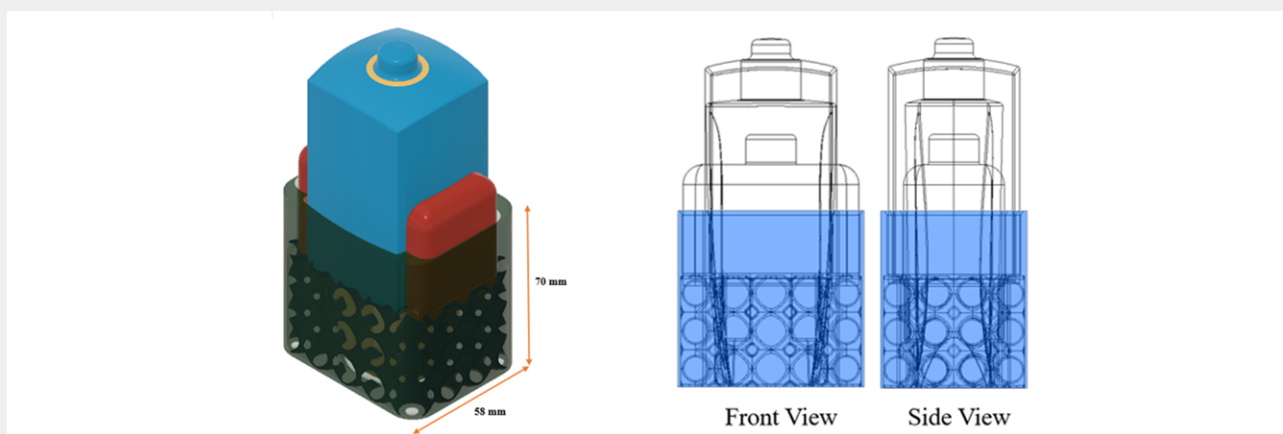


圖 2：保持器的設計圖，開放的 SU 單元被設計並沿正交軸週期性地排列

- 無須後處理——消除支撐；
- 連續表面印刷消除了與 3D 列印相關的缺陷；
- 提供增強的強度和能量吸收性能。

除此之外，還實測在中空結構內填充發泡材料，有效降低了跑持器碰撞時產生的噪音的強度。

### 結語

3D 列印是一項發展迅速的卓越製造技術，他可以比傳統製造更快速地交付功能齊備的原型設計、以及用於符合成本效益的單個或小批量應用領域。3D 列印聚合物的性能正持續地在增進，Solvay 藉由聯合材料、設備與應用需求三方舉辦國際競賽，提出產業中可能

藉由 3D 突破的議題與良好的平台吸引各地團隊一同創造，給予學生與年輕專家們激發自我的機會。

除了本次介紹的競賽外，我們也將持續關注國際間大大小小的積層製造積層製造競賽，鼓勵專家與學生們踴躍參與，期許彼此皆能於如此良性的競爭中獲得成長。

### 參考資料

[1].封面圖引用自 <https://www.solvay.com/en/innovation/open-innovation/solvay-am-cup>

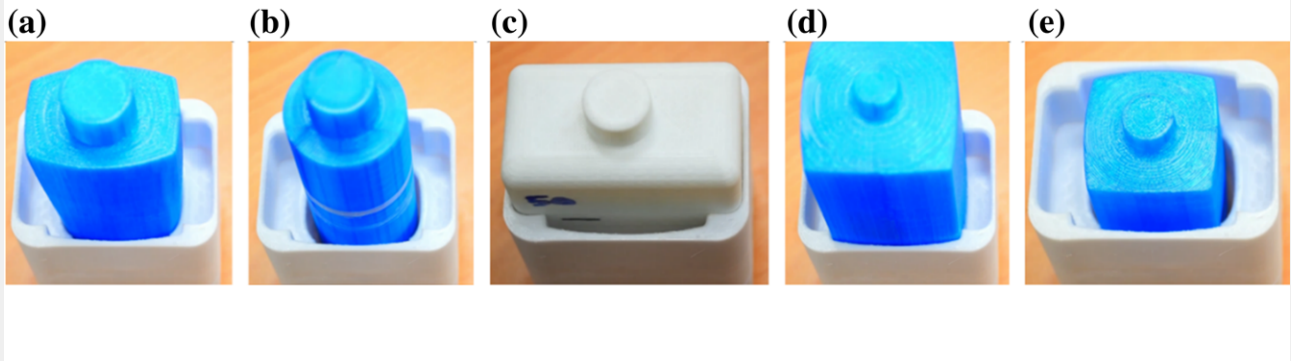


圖 3：3D 列印 5 種外型瓶子放置於保持器中

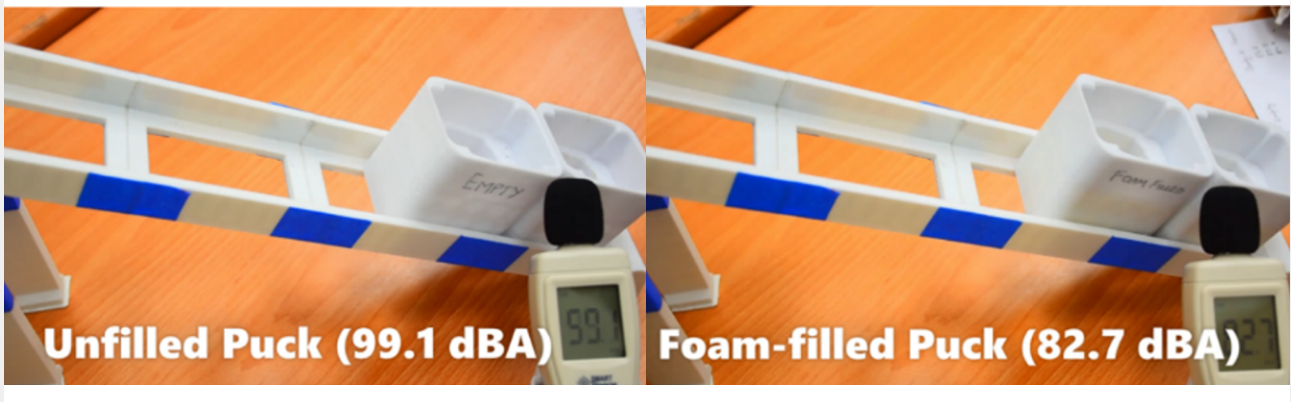


圖 4：晶格結構內未填充材料產生噪音 99.1dBA（圖左），填充了發泡材料則降低至 82.7dBA（圖右）

| 標準   | 比重  | 描述                   |
|------|-----|----------------------|
| 形式   | 45% | 5種形式的瓶子有多少可自動固定在保持器上 |
| 運作表現 | 30% | 瓶子在保持器上的保持狀況         |
| 製造時間 | 10% | 每個保持器所需的製造時間         |
| 材料用量 | 10% | 每個保持器的材料用量           |
| 其他優點 | 5%  | 解決方案是否有任何其他助益        |

表 1：第三屆競賽評量標準



設計

開發

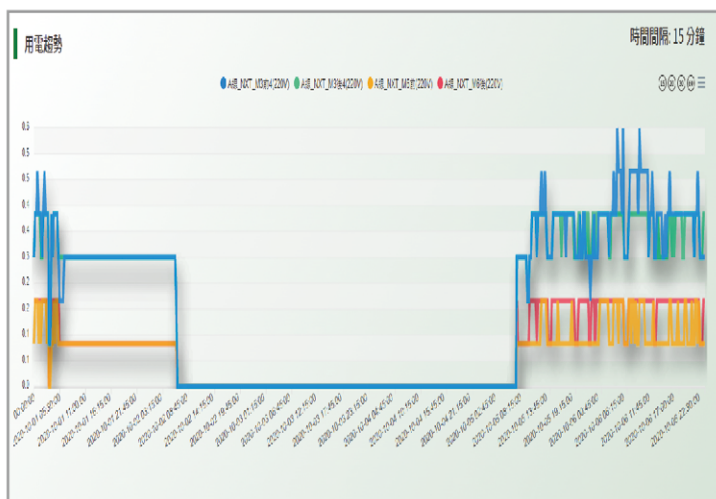
生產

保養維修

## 電力可視化, 能耗全掌握

ACMT輔導計劃節能管理方案  
(總電+6台設備)

限量10名 推廣方案 **15萬**



### 功能

即時監控與管理 | 數據整合與分析

### 優勢

無線安裝免停機 | 電池可自動回充  
雲端平台新服務 | 跨設備整合資料

工廠電力



【即時監測】

【節能管理】

機台設備



【異常警告】

【保修管理】

企業經營



【數據分析】

【綠色經濟】

型創科技顧問團隊



30年模具與成型產業專業輔導經驗



國內外眾多企業認可



服務據點  
台北·蘇州·東莞·曼谷  
☎ +886-2-8258-9155

規劃中據點  
台中·台南·寧波·廈門·印尼·馬來西亞·菲律賓·越南  
✉ info@minnotec.com



型創科技顧問股份有限公司  
Molding innovation technology Co., Ltd

🌐 www.minnotec.com





## 滿足高效率需求，Formlabs 大型光固化解決方案 Form 3L

■台灣天馬科技 / 徐品蓁 行銷企劃

### 前言

被美國前總統巴拉克·歐巴馬 (Barack Obama) 稱為「具革命性潛力的變革技術」的 3D 列印技術，擁有突破傳統模具的限制，且能有效降低生產時間及成本等優勢，在現今高科技與數位化製造高速發展的時代成為製造商的愛好。美國 3D 列印設備製造商 Formlabs，自 2012 年起便開始研發並持續追求技術與設備的進步，一款專為大型光固化列印設計的解決方案 Form 3L 及後處理設備 Form Wash L 和 Form Cure L 就此誕生。

### 大型光固列印的高效能解決方案

專為大型光固化列印所設計的 Form 3L 為 Formlabs 熱銷產品 SLA 3D 列印機 Form 3 之進化版機款。Form 3L 採用 LFS 低應力光固化技術，該技術內的 LPU 封閉式光學模組可確保雷射光垂直照射成型槽，提高列印的穩定性。其成型範圍達 33.5 x 20 x 30 公分，對角線列印長達 50 公分，搭配雙卡匣及智能給

料系統，且配有雙雷射單元，可關燈生產並加速列印成型時間。

透過 Form 3L 完成列印工作後，即可將後處理流程交給自動清洗機 Form Wash L 及溫控光固機 Form Cure L。同樣專為大型光固化物件所設計的後處理設備，Form Wash L 最大清洗範圍達 33.5 x 20 x 30 公分，以磁力迴旋方式透過清洗桶內的兩個葉輪，便於異丙醇徹底清洗物件的每個角落和縫隙。Form Wash L 內部裝有溶劑監測儀，能夠於需更換溶劑時發出提醒，確保每次的清洗品質。

Form Cure L 則為清洗完成後的後固化溫控光固機，透過大功率加熱器和紫外線照射，使物件的機械性能及尺寸精度達到最佳表現。Form Cure L 內配有一玻璃轉盤，於運作時 360°旋轉，使物件能均勻受熱。不同材料之清洗及後固化時間皆可參考預設於機器內的參數，該參數經過 Formlabs 原廠測試，可發揮材料



圖 1：Black Diamond Equipment 透過 Form 3L 自行列印大尺寸的原型製造，省去外包成本

最佳性能表現。

### 製造商省去外包時間 自行製造大尺寸原型

Black Diamond Equipment 是一家專門打造攀岩、滑雪和登山裝備的美國製造商，其產品一直以舒適、耐用和高性能著稱，每樣產品在上市前皆需經歷嚴格的设计、測試及迭代過程。雖然 Black Diamond Equipment 過去便已經開始使用 Formlabs Form 2 機款的 3D 列印技術，但若原型製作登山頭盔和應急工具等大尺寸產品，該公司仍要將此流程外包。而在接觸 Form 3L 後，Black Diamond Equipment 意識到這款列印機能為公司掀起一場創新革命。

「如果我們能在過去兩年就用到這臺列印機，那麼我們就能夠在鋁業原型製造環節省下大量的資金！」

Black Diamond Equipment 研發技術人員 Matt Tetzl 表示，Form 3L 的出色性能使大尺寸原型製作的時間從外包的 7 天縮短至 3 天甚至更短。節省下的時間及能立即性得到的物件都有助於設計團隊可於第一時間檢視產品效果，並討論調整方向，對公司的生產流程帶來極大的幫助。



圖 2：Formlabs 快速樹脂以一般樹脂的四倍速列印，適合樣品打樣

### 專業設備選用合適材料 列印效果如虎添翼

Formlabs 不僅在硬體上擁有專業表現，多元材料選擇也是其一大優勢及特色。從 2012 年創立至今，Formlabs 已開發出高達 20 多種樹脂供使用者選擇，今年更是推出了防靜電 ESD 樹脂 (ESD Resin) 及模型樹脂 (Model Resin V3)，拓展 3D 列印應用領域。

針對高速列印需求，Formlabs 設計了一款「快速樹脂 (Draft Resin)」，該樹脂列印速度比一般樹脂快了將近四倍，適合列印大批量物件及大型物件等，能達到快速迭代打樣，加速商品上市。另一款支援高速列印的樹脂為今年釋出的牙科用「模型樹脂 V3」，專為組合牙模、可拆卸式齒模所設計。新釋出的版本比舊版快了將近 1.8 倍，大量節省牙模的製作時間。

### 結語

未來 Formlabs 將持續研發高性能設備與多元材料，提供更佳的使用體驗，帶領使用者探究 3D 列印技術更多風貌！若想了解更多，歡迎致電台灣天馬科技股份有限公司，或至官網參考，將有專人為您服務。■

## MiiCRAFT ALPHA SERIES

Digi-optical 3D printer



# 高精度與速度兼具：Alpha 光固化 3D 列印機

■揚明光學 MiiCraft 團隊

## 前言

數位化製造替代傳統手工生產是行業發展與革新的趨勢，3D 列印為製造業帶來了減少製程工序、降低投資成本、滿足客製化生產需求等優勢，其中光固化技術因為具備高精準度及快速生產的特色，因此被廣泛應用在工業精密零件、醫材牙科器械、生醫微流道晶片等應用領域上。

近年來市場出現許多消費平價級光固化 3D 印表機，但其因為耐用性問題及使用壽命問題而無法滿足行業對於生產設備及製程的可靠度需求。因應當前製造業對光固化 3D 列印需求的不斷提升，揚明光學將於 2022 年推出 MiiCraft Alpha 3D 印表機，搭載自行研發生產的工業等級 2.5K UV 光學引擎，以及全新打造的高剛性精密承載結構，為製造業帶來兼具列印品質及耐用性的光固化 3D 列印設備。

## Alpha 光固化 3D 列印機五大特色

輕巧時尚的 Alpha 桌上型光固化 3D 列印機，產品五大特色，解決市面上機臺常見問題。

### 高解析度光學模組

MiiCraft Alpha 搭載了 2560 x 1440 高像素光學引擎，運用核心光學技術，提升解析度 33%、均勻度達 95% 以上，投影畫面成像更清晰、列印品表面紋理更細膩。58um 解析度適用珠寶、牙科、醫療、工業等各種列印需求。

### 列印速度快

揚明光學多年來致力於光固化積層製造之技術研發，MiiCraft Alpha 採用新離型技術，降低離型拉拔力，列印速度最快可達 75mm/1hr，45 分鐘可列印完一盤牙模（460 層，層厚 50um），節省 25%-30% 列印時間。



圖 1：MiiCraft Alpha 的高剛性結構有助於精準列印齒科工作模型

### 高剛性結構 列印穩定

Z 軸採用精密線性滑軌與高運作推力 / 扭力馬達，高速列印不晃動。機臺出廠前完成 Z 軸平臺校準，出廠後無需定期調校，即可穩定的列印孔洞或細節在精準的高度上，適合珠寶工廠、牙技所等重視重複精度且需要長時間生產的製造需求。

### 機台耐用 壽命長

揚明光學從鏡片到系統均自行設計，考慮 UV 光照射採用全玻璃鏡片、抗 UV 材質，避免零件老化問題。UV LED 模組壽命可達 20,000 小時以上，UV 光機穩定使用長達 5 年。材料槽壽命則可達 7.5 公斤以上列印膠量。

### 開放材料系統

MiiCraft 光固化 3D 列印設定為開放系統，使用者可以自行選購第三方膠材及應用軟體。可列印的膠材非常多樣，例如齒科、珠寶、模型，皆可用同一臺 Alpha 桌上型光固化 3D 列印機列印出來。



圖 2：MiiCraft Alpha 的優越光學輸出表現，使列印成品表面細緻不需後加工

### 結語

揚明光學為臺灣少數自行設計開發光固化 3D 列印機廠商，由於掌握核心光學、機電、散熱技術，列印的品質和穩定性可達到工業等級要求，10 年一路走來揚明光學 3D 列印產品發展追求實用性、與產業需求結合，未來也期許與更多臺灣的製造業客戶合作、攜手創新，提供即時的在地服務。■

# 3D列印批量生產終端產品



高速列印  
高精度

## 來勢洶洶的 Origin One 高速 3D 列印最新應用

■通業技研 / 蔡君婷 行銷經理

### 興起 3D 列印按需生產

製造業競爭激烈，進入市場所需的時間是企業成功重要因素。這意味著選擇的製造工藝必須能在短時間內交付大量產品。生產時間和交付的增加將提高企業產品在市場上的可用性，並使他們在競爭中具有優勢。

因應 Covid 19 疫情的大流行迫使供應鏈的供給和需求改變，3D 列印最近受到了很大的關注，人們意識到 3D 列印零件的好處，不僅在於製造產品本身以最終產品的材料進行快速生產，取代傳統機械車間、射出機、工廠等製造流程，提供少量多樣、彈性製造，甚至也運用在有助於其他製造過程的實體。例如，製造商可以使用該工藝製造 3D 列印射出模具，這有助於批量生產射出成型。

### 使用 3D 列印進行批量生產的優勢

- **快速創新、靈活設計：**藉由原型檢查缺陷、分析零件的功能，及時調整快速迭代設計。

- **訂製產品的能力：**根據訂單即時生產，無需在倉庫中存放產品。庫存管理變得更加容易，並且創建庫存的初期成本更低。

Stratasys 看準這波製造浪潮，為加速積層製造 2.0 時代，推出製造級 3D 列印機，其中最受注目的是 Origin One 生產型 3D 列印系統，專為精細繁雜的零件而生，列印速度高達 100 毫米 / 小時，比傳統 SLA 快 100 倍以上，並提供多種開放且經過第三方認證的高性能材料，實現耐強度、耐高溫可達 220 度以上、耐磨度等特殊材料的列印能力，適合汽車、消費品、醫療、牙科和工具應用等。

### Origin One 高速 3D 列印最新產業應用

#### ECCO —— 3D 列印模具和鞋楦

近期 Stratasys 宣佈正式開啟與丹麥製鞋商 ECCO 的合作。ECCO 利用 Origin One 設備，搭配 Henkel Loctite 材料來訂製鞋楦模具應用，減少傳統模具製造



圖 1：Stratasys Origin One 規格

方法產生高昂的模具成本和較長的交貨時間，透過快速反覆運算次數，提供給製鞋廠商和射出成型帶來更多創新。

### TE Connectivity —— 生產符合航空航太業要求的生產級 3D 列印產品

TE Connectivity 全球連接器和感測器的主要生產商，每年為世界各地客戶提供 1,920 億個零件。在 Stratasys 和 Henkel 的助力下，透過使用 Origin One 3D 印表機，為直升機製造一個連接器和支架，耐高熱、阻燃性能材料及高精確性（達 +/-50 微米精度）以滿足客戶的嚴苛要求，使零件生產規模化並實現盈利。

### Origin One —— 跳脫傳統製程，選用自家生產級 3D 列印製作固定鏡頭的承載座

Origin One 系統具備多個集成的攝影機，用於增強電腦的視覺效果和探測紅外線溫度數據，還配備傳感器，以便列印期間測量其他環境條件。機械工程師 Matt 使用黑色 ABS 塑料設計出一款固定鏡頭的承載座，由於零件採用複合角度，只能由 5 軸或 3 軸 CNC 加工，但製作費用非常昂貴，因此轉而使用自

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | <p><b>高產量</b></p>                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>•列印速度高達 100 毫米/小時</li> <li>•比傳統 SLA 快 100 倍以上</li> </ul>  |
|  | <p><b>廣泛的高性能材料</b><br/>可在幾分鐘內進行靈活修改</p>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>•高達 285 °C 的熱變形溫度</li> <li>•高達 70 J/m 的衝擊強度</li> <li>•高達 90 MPa 的拉伸強度</li> <li>•高達 300% 的斷裂伸長率</li> </ul> |
|  | <p><b>高品質</b><br/>與射出成型零件相同的品質（機械性能、精度、表面光滑度）</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>•表面粗糙度低至 1μmRa</li> <li>•公差僅為 +/- 50 μm</li> </ul>  |

圖 2：Stratasys Origin One 三大特色

家的 Origin One 3D 列印解決方案，以達到特定質量及產量。並在幾分鐘內完成後期處理，無需對表面光滑度進行後處理噴砂、拋光或噴漆，搭配 BASF 的 Ultracur3D 列印材料獲得絕佳的表面光滑度、機械強度和紫外線穩定性。

### 與 BIDMC 醫療中心合作 —— 生產多達五十萬個 3D 列印快篩試劑棒

Origin 與 Henkel、Harvard's Beth Israel Deaconess 醫療中心 (BIDMC) 以及其他 3D 列印領導者合作，共同研發出一款一體式、符合 FDA 標準且無菌的 3D 列印鼻咽檢測拭子。選用 Origin One 3D 列印設備並搭配 LOCTITE MED412 材料（具特有的硬度和柔韌性），從概念到批量生產再到驗證，能快速且大量列印快篩試劑棒。

### Slicelab —— 使用 Origin One 3D 列印機賦予極限運動裝備卓越性能

Slicelab 設計師透過 Stratasys Origin One 生產級 3D 列印機搭配 Henkel LOCTITE® IND 3172 抗衝擊、靈活、美觀的材料，衝擊強度為 73J/m，幾天內訂製的滑雪板高背，支撐小腿的固定部分，賦予極限運動裝

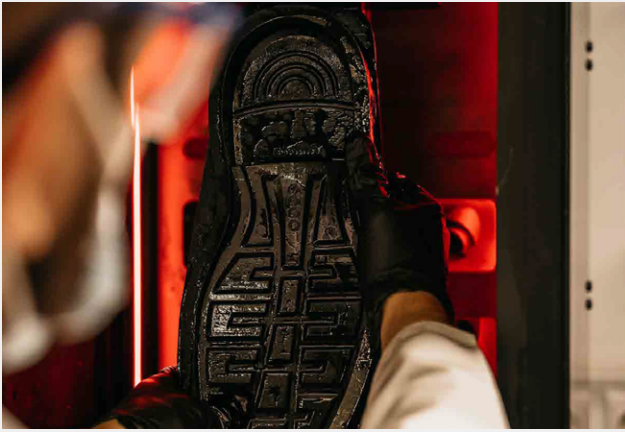


圖 3：ECCO 案例以 Henkel Loctite 材料來訂製鞋楦模具

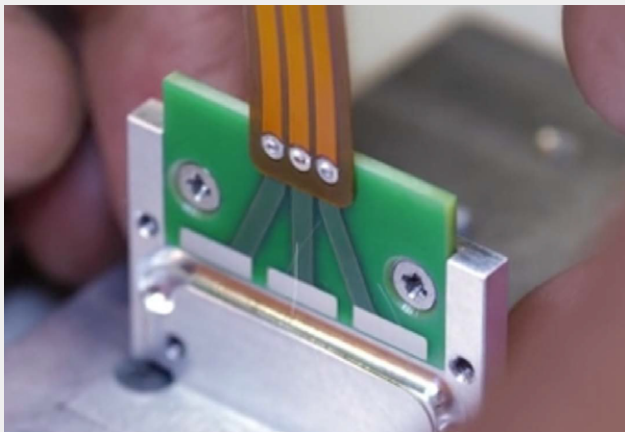


圖 4：協助 TE Connectivity 優化連接器的精度和可重複性，達 +/-50 微米精度要求

備卓越性能。Henkel Loctite IND 3172 的拉伸模量為 1,494MPa，並允許 100% 的斷裂伸長率，確保部件在使用過程中沒有折斷或翹曲的危險，這對於滑雪者的安全以及整個產品是否成功非常關鍵。

### 搭配經認證的商用光敏樹脂進行批量生產

Stratasys 與領先的化學公司合作，共同開發多個類別的創新光聚合物，進而擴大了 3D 列印終端應用。您可以選擇針對 Origin One 開發並經過驗證過的眾多商業級 3D 列印材料。經過精心設計，易於處理並適合進行快速後處理，而且具有較長的保存期。除非另有說明，所展示的全部零件皆為一次列印成型，沒有經



圖 5：Origin One 選用自家系統製作系統 8 小時內 1 次列印 40 個零件

過二次加工、打磨、上漆或額外的後處理。

### 結語

通業秉持專業精神，全力支持原型邁向終端零件用途趨勢，將努力推動完整的 3D 智能產業整合解決方案，協助企業解決傳統生產的瓶頸，讓整個製程達到智能化生產的目標，產生更大更快的獲利空間。2021 年 7 月 1 日起，通業成為 Stratasys 品牌台灣唯一白金代理商，更多客製化 3D 列印或批量生產，請洽官網 [www.git.com.tw](http://www.git.com.tw)。) ■



|         | Origin          | Jet Dusion   | SLS          | 其他DLP技術 | 傳統機加工       |
|---------|-----------------|--------------|--------------|---------|-------------|
| 材料      | BASF Ultracur3D | PA 12        | PA 11        | 剛性聚氨酯   | ABS         |
| 交付時間    | 小於2個工作日         | 5個工作日        | 4個工作日        | 7個工作日   | 11-15 個工作日  |
| 典型表面粗糙度 | 2-3 (Ra) μm     | 10.5 (Ra) μm | 13.3 (Ra) μm | 不適用     | 3.2 (Ra) μm |
| 單零件成本   | \$6.41          | \$41.61      | \$69.64      | \$80.13 | \$708       |
| 100個總成本 | \$641           | \$4,161      | \$6,964      | \$8,013 | \$70,854    |

表 1：P<sup>3</sup> 與其他增材製造技術比較表（以 Origin One 固定鏡頭的承載座為案例，資料源自 Stratasys）

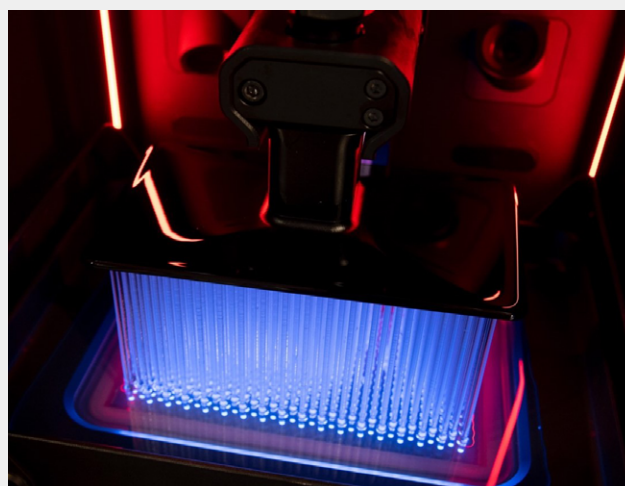
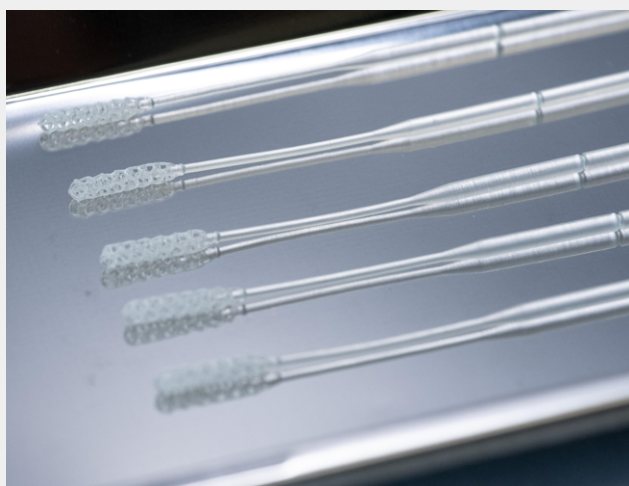


圖 6：Origin One 與 Henkel 化學材料商合作，快速大量列印快篩試劑棒



圖 7：運用 Origin One 和 Henkel Loctite 合作完成可調節滑雪背板（抗衝擊強度、耐力）

## Origin One與漢高Hankel化學商合作的商用級3D列印材料



**3955 FST**

### 材料特性：

- 極高的熱變形溫度 (285°C)
- 通過可燃性 2×10 秒垂直燃燒和 FST 標準
- 適用於航太和運輸業阻燃、耐高溫或耐化學腐蝕要求的部件



**IND403**  
High Modulus

### 材料特性：

- 熱變形溫度高達 80 °C
- 87 Mpa 拉伸強度
- 具出色的表面光滑度和尺寸精度



**3843**  
High Toughness

### 材料特性：

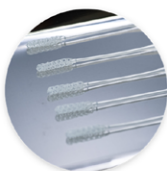
- 熱變形溫度高達 60°C
- 堅固，具有優異的表面光滑度
- 生物相容性



**IND402**  
High Rebound

### 材料特性：

- 具有高彈性和高回彈性的材料
- 230% 的斷裂伸長率
- 28 N/mm 的撕裂強度
- 蕭氏硬度 75A



**MED 412**

### 材料特性：

- 生物相容性 (ISO 10993-5及 10993-10 認證)
- 優異的伸長率和良好的抗衝擊強度
- 適用一次性醫療設備 (快篩試劑棒、實驗室裝置、蓋子和護罩)



**MED 413**

### 材料特性：

- 生物相容性 (ISO 10993-5及 10993-10 認證)
- 優異的列印精確度
- 適用於各種抗衝擊性醫療設備 (如矯形器、呼吸器部件)



**3172**  
High Impact

### 材料特性：

- 需要高硬度、表面光滑度和抗衝擊性的功能性零件 (類似 P P 材料)
- 適合模具應用、輔具製造、夾治具等應用



**Dura56**

### 材料特性：

- 耐用、抗衝擊的光敏樹脂
- 具有很好的表面光滑度
- 適合製造外殼、配對零件或 A 級表面部件

表 2：表中資訊為 Origin One 材料選擇，不代表所有驗證材料，目前持續擴展中 (Part1)

## Origin One與BASF化學商合作的商用級3D列印材料



**Ultracur3D®  
ST45**

### 材料特性：

- 具出色的高強度、硬度和耐衝擊性
- 卓越的表面品質和精確度
- 具有生物相容性 (ISO 10993)
- 外殼、外罩、消費品外觀元件、需要紋理或高精細特徵的零件



**Ultracur3D®  
EL 150**

### 材料特性：

- 蕭氏硬度 78A及150% 的斷裂伸長率
- 良好的撕裂強度。其硬度低、彈性出色、表面品質優異
- 具緩衝特性，可吸收機械性衝擊力和震動

表 3：表中資訊為 Origin One 材料選擇，不代表所有驗證材料，目前持續擴展中 (Part2)

## Origin One與DSM化學商合作的商用級3D列印材料



**SOMOS®  
QuickGen  
500**

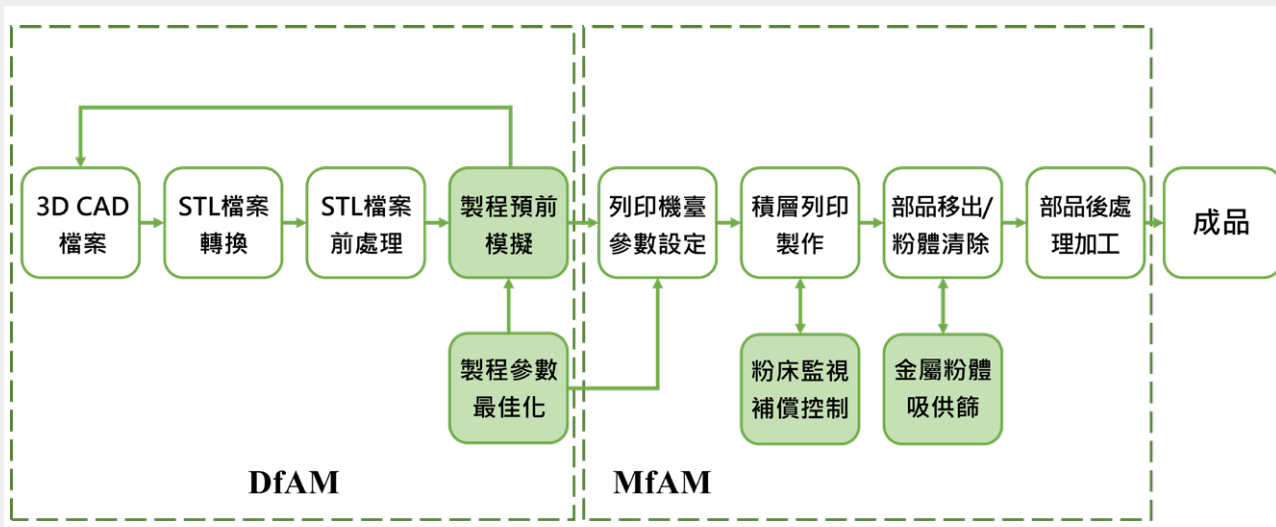
### 材料特性：

- 快速、經濟型列印材料
- 具獨特的柔軟性、比其他樹脂更柔軟，但比彈性體材料硬度更高
- 適合半柔性應用、具有細節特徵、液體流動分析的應用

表 4：表中資訊為 Origin One 材料選擇，不代表所有驗證材料，目前持續擴展中 (Part3)



圖 8：通業技研 2022 年獲 Stratasys 總部認定，成為台灣唯一白金級別合作夥伴



## 高效能金屬積層製造技術研發與產業應用

■工研院南分院 / 吳宗明 資深專案經理

### 前言

積層製造 (Additive Manufacturing, AM) 或稱 3D 列印，技術問世迄今已超過 30 年，由於可以製造列印傳統減法加工工藝無法達成之複雜形貌與內部結構的零件，近 10 餘年來更受到廣泛矚目並引領產品創新設計與產業應用的風潮。隨著積層製造相關軟硬體技術的持續發展與進步，積層製造技術的產業應用也從早期快速打樣 (rapid prototyping) 及小量客製化製造，逐漸轉向數位化製造生產及適量客製化生產，特別是在航太產業、醫材與植體、汽車產業及模具等產業領域應用範圍也有著明顯進展與擴散，隨著積層製造技術的發展，成功應用案例的發表也更趨多元。

以美國材料和試驗學會 (American Society for Testing and Materials, ASTM) 訂定之七大類型積層製造技術類別來看，由於金屬積層製造技術能直接將複雜形貌與特殊結構的金屬元件一次成型，近十年來製造設備與服務市場一直在顯著增長，並且在可預見的未來十

年內很可能會扮演多個產業重要加工製造角色，製造生產活動預計在 2030 年增長到每年超過 500 億美元。

其中金屬粉床熔融技術 (Metal Powder Bed Fusion, Metal PBF) 的應用在世界各國產官學研在軟硬體開發的持續投入下，可供使用者選用的金屬粉體材料類別與供應廠商愈來愈多，產品應用範圍也愈來愈廣。儘管金屬粉床熔融製造技術具有很大的潛力與應用領域，然而金屬粉床熔融成型仍存在著諸如產業相關標準訂定尚不完備、製造生產力低、零件品質重現性差、幾何精確度有待提升、零件的缺陷與機械特性不確定性等亟待解決的技術問題和挑戰，這些問題點與挑戰遲緩或阻礙了相關產業導入金屬粉床熔融技術的時機點 [1-2]。

因此，實務上進行金屬粉床熔融製造需考慮到此項製造技術能力的獨特性與限制，諸如擺盤方向與位置、支撐面的臨界角度、最小孔洞直徑、最大深寬比、最

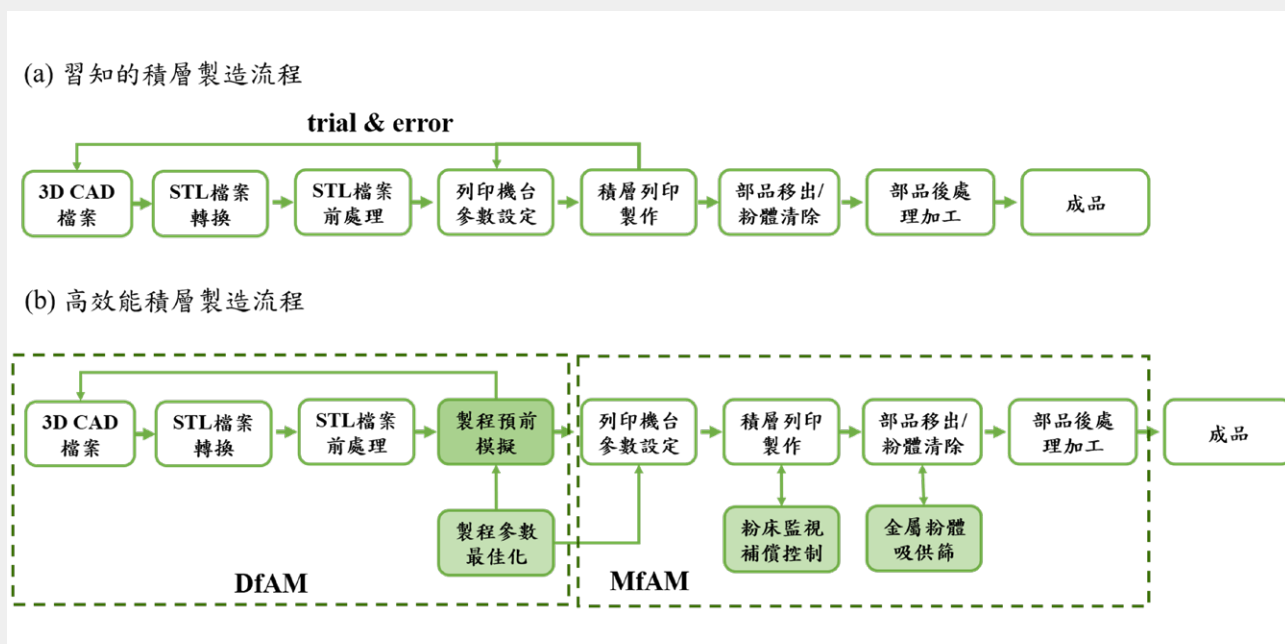


圖 1：積層製造流程圖。(a) 習知的積層製造流程；(b) 高效能積層製造流程

小壁厚與最小特徵尺寸等，重新思考如何從設計到製造工作流程的思維模式轉換與加工製作的限制已達成有效的管理，包括運用製程預前模擬及製程參數最佳化，以最大限度地減少因試誤方式增加的設計修改，亦即在設計階段以金屬積層製造設計思維 (Design for Additive Manufacturing, DfAM) 進行產品設計與評估，粉床監視補償控制以確保製作時金屬粉體層層堆疊與熔融的品質，並輔以金屬粉體周邊設備提升粉體吸供篩的自動化程度與工作效率。

透過不同的工作流程階段評量產生的資訊進行最佳化評估，以大幅降低因反覆的設計修改與重工，所造成的人力、材料與列印時間的成本，來提升屬粉床熔融製造的可生產性、品質與效能 [3-4]，亦即在製造階段以金屬積層製造思維 (Manufacture for Additive Manufacturing, MfAM)，進行產品製作品質管理。

近幾年工研院南分院即針對金屬材料製程參數最佳化、預前熱應力模擬技術、粉床監視補償控制與金屬

粉體自動吸供篩裝置等項技術的進行開發，提供改善與逐步移除上述產業化瓶頸與障礙，以加速金屬粉床熔融技術的產業化，並建立國內自主的金屬粉床熔融製造技術完整解決方案，如圖 1 所示。

### 製程參數最佳化技術

習知的積層製造流程（如圖 1(a) 所示），將 3D CAD 設計圖檔轉換成 STL 格式載入後，工程人員即依據經驗進行製程前處理，其中包含製程參數設定、掃描策略與擺放方向決定以及支撐結構設計與補強等。另外，機臺及粉體來料變異等因素也需仰賴有經驗的工程人員調控制程參數，要維持生產效率與品質實在不易。

早期使用國外金屬粉床熔融設備與廠商銷售的專用金屬粉體是綁在一起，使用者視需要購買所需的金屬粉體與製程參數資料庫，以確保所製作零件品質，卻也某種程度限制了金屬粉床熔融製造技術的廣泛採用。隨著越來越多的設備商與材料供應商進入市場，設備

| 經驗認知<br>AI分析 |  | 經驗認知                                  |  |   |
|--------------|--|---------------------------------------|--|---|
|              |  | 高                                     | 中  | 低 |
| 高            | laser power<br>scan speed<br>hatch spacing |                                       | powder batch number<br>process batch sequence number<br>heat treatment |   |
| 中            | <u>recoater blade</u>                      | layer thickness                       | oxygen<br>building plate thickness<br>variation of machine             |   |
| 低            |  | pattern strip<br>second powder vender | <u>remelting</u><br>scanning strategy (rotation)                       |   |

圖 2：製程參數對拉升強度的關聯性

與使用材料間的限制逐漸被打破，設備使用者可從其他材料供應商購買粉體，但新材料通常是透過實驗試誤法，需花費數週甚至數個月時間進行製程參數分析，試誤過程耗費成本且效率極低，且所找到的可能是局部範圍的最佳參數，而非全域的最佳參數組合。

工研院整合南分院、材料與資通三個單位開發製程批次參數優化技術，利用 Random forest 演算法分析眾多製程參數對拉升強度的關聯性，篩選出需優先調控的製程參數，如圖 2 所示。抗拉強度模型 (Gaussian process) 與變形模型 (Support vector machine) 用於製程批次參數優化技術中，利用優化演算法搭配這兩個模型找出合適的推薦參數，目前已完成製程批次參數優化技術模組 1 套，如圖 2 所示。經實際驗證，無預熱鋁合金 6061 拉力棒製作，拉伸強度可突破先前以習知試誤方式找出的最佳製程參數，列印最佳值提升 47.3%。製程批次參數優化執行流程如圖 3 所示。

### 製程預前模擬技術

目前使用者利用雷射粉床熔融技術列印金屬零件時，所產生的熱應力變形，是製作時最主要的不確定性。若想以試誤方式減少零件變形，往往會耗費大量的人力、時間、材料與設備使用成本。製程預前模擬技

術有助於研究和預測潛在的金屬列印過程中可能發生的物理現象和熱力學行為，例如：溫度分佈、傳熱、熔池動態、熔池幾何形狀、相變、熔化和凝固、Marangoni 對流、微觀結構演變、殘餘應力和變形等 [5]。

製程預前模擬技術提供了產品設計者擬採用雷射粉床熔融列印零件時，對於零件設計與列印加工間的關聯性有更好的理解與確認。對於初入金屬雷射粉床熔融列印領域的設計者，也不必參考或仰賴設備廠商所提供通則性的設計指引 (design guide)。目前市面上已有可以支援金屬雷射粉床熔融製程預前模擬之套裝軟體，如 ANSYS、Flow-3D、COMSOL 等，然而購買與使用維護成本仍高。

有鑑於此，工研院南分院於開發金屬雷射粉床熔融設備的同時，近幾年更從現場使用者的需求回饋，戮力發展積層製造熱應力模擬軟體，如圖 4 所示，其最大功能為可預測零件在積層製造、熱處理及支撐架移除時，整體最大應力與變形。相關功能包含計算最終零件的變形，減少 / 避免變形、最小殘留應力、優化積層方向、底板和支撐結構的移除製程，目的可協助客戶第一時間決定正確的雷射粉床熔融製造方案 [6]。

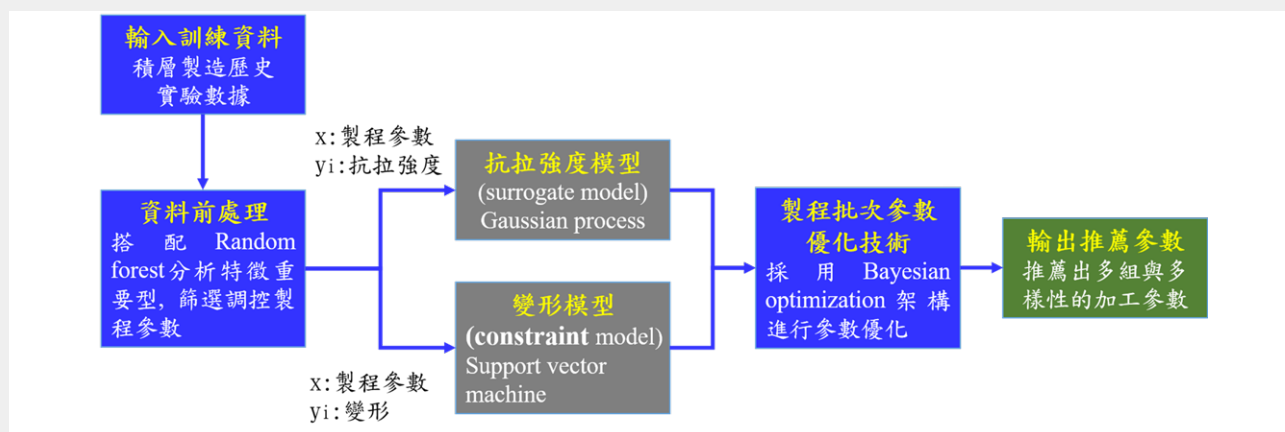


圖 3：製程批次參數優化執行流程

### 實際應用案例

人體骨盆 (pelvis) 由髌骨 (ilium)、坐骨 (ischium) 及恥骨 (pubis) 三大部分組成，在臨床上因大範圍的髌骨骨腫瘤進行手術切除時，切除面積不足會導致腫瘤復發；切除面積過大會對患者造成很大創傷，甚至會影響原本的功能及術後復原。因此，對於骨科醫生來說，如何填充髌骨腫瘤切除後的骨盆缺損是相當棘手的問題。在沒有積層製造技術以前，一般是植入由醫材廠商批量生產的模組式植體，植體跟骨盆缺損部位尺寸不易精準配合，積層製造技術應用於髌骨腫瘤的手術治療，對傳統骨腫瘤手術提供了新的概念與選擇，彌補了傳統手術方法中使用植體的許多不足，在提高手術品質的同時，能夠實現精準的個人化醫療 [7]。

工研院南分院與三軍總醫院醫用 3D 列印中心針對髌骨骨腫瘤切除手術後的重建嘗試建立完整的作業流程與試做評估，首先由三軍總醫院將患者的骨盆電腦斷層掃描檔案建立成 3D 圖檔，並與院內醫生針對患者腫瘤切除範圍進行討論後，進行骨盆缺損部位個人化的植體 3D CAD 設計，如圖 5 所示。同時與醫師及工研院工程人員反覆就臨床手術、生物力學、熱變形模擬分析及積層製作實務等進行討論後定案，如圖 6(a)

所示。工研院南分院積層製造技術人員依過去累積之經驗直接進行圖檔前處理後，載入列印機臺製作結果支撐因熱應力產生斷裂，如圖 6(b) 所示。

因此，回過頭來由工程師進行熱應力預前模擬分析，分析結果顯示在原先支撐處有不小的熱應力集中現象，如圖 7(a) 所示，於是重新進行支撐生成並適當加粗優化分析其熱應力分布，有效降低支撐斷裂的風險，effective plastic strain 從 >100% 降低至 <40%，圖 7(b) 所示。重新列印後獲得成功之髌骨植體，如圖 8(a) 所示，與患者 3D 列印術前模擬骨盆模型可以精準的配合，如圖 8(b) 所示。

### 粉床監視補償控制技術

金屬粉床熔融設備列印過程中，由於粉體、氣場與雷射作用下，可能造成腔體透鏡之髒汙，雷射長期使用下可能衰減其出光能力，或腔內粉塵影響雷射光束行進路線，這些都可能造成雷射單位能量之改變，若在逐層製作無即時偵測與預警，內部瑕疵將殘留在內結構裡甚至製程會因此中斷，因此架構閉迴路積層製造系統將需整合熔池監控裝置，進而整合偵測熔池影像、形貌輪廓甚至熔池溫度等，達到工作中確認與逐層確認的完整機臺狀態監控之目的，達到預警及製程

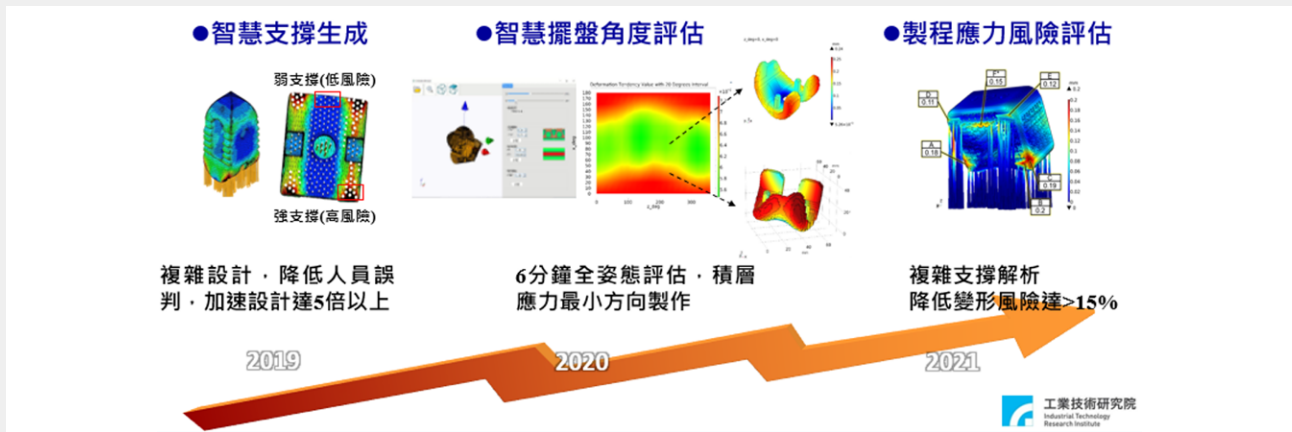


圖 4：ITRI AMSIM 製程前處理分析優化技術發展

回授追蹤再確認。

目前此項技術對製程良率改善已達到 $\geq 80\%$ 的目標，導入偵測鋪粉完整度達 $>90\%$ 以上監控判斷成功率，若偵測有鋪粉不均勻、缺粉末覆蓋區、刮刀磨耗過大造成鋪粉不均勻痕跡，將自動判別後再進行重覆補粉鋪粉動作，於警戒上限到達前以不中斷製程為優先條件，使未覆蓋區域得到再鋪粉以及實現人員通知調整的機制，實現製程缺陷補償控制。設備狀態監控氧氣濃度、循環流速、腔體壓差、底板溫度達全時 $100\%$ 條件追蹤，當因氧氣濃度變異回昇、循環流速因循環熔渣逐漸阻塞而變慢，都會即時調整循環頻率以提高效率，直至目標值達到正常區間，如圖 9 所示。透過以上兩點的缺陷影像與條件變異所進行的補償控制，目標於導入此系統後可讓產品良率提升 $>80\%$ [6,8]。

### 金屬粉體吸供篩設備技術

金屬粉床熔融設備列印過程前後需要花費長時間進行多項繁複之粉體處理，包含粉體清理、蒐集、過篩、運送等，特別是進行連續生產與當機臺愈大時，其所要處理的粉體重量越高，以工研院開發的 AM 450 設備，粉體依次填充粉體總重量約為 100 公斤（視金屬粉體總類而定），若依現行做法現場人員的整備工作

份量重且耗時。

為此雷射中心開發出具備上述功能之安全整合吸篩供粉末處理系統。此吸篩供粉末處理系統具備自動化吸粉（回收）、篩粉、儲粉及供給粉體之功能，粉體處理能力達 $3 \text{ Kg/min}$ ，粉體儲存空間最大容積為 $400 * 400 * 300(\text{L} * \text{W} * \text{H})$ 。操作時同時具備氣氛保護（循環氧氣濃度 $< 1\%$ ），確保操作安全。搭配 ITRI AM 雷射積層製造設備，提供自動化粉末處理程序，減少粉末處理時間及人力，並提升製造後處理效率。

### 結語

受限於零件製作品質和生產效率低等障礙，目前大部分金屬粉床熔融技術所做的研究都集中在改進零件的製程參數及更大的列印腔體與多雷射頭，希望進一步提高金屬粉床熔融技術在產業實際製造中的可行性，然而，這項技術很多應用都面臨著不確定性和過程的不可預測性。這些歸因於市場上缺乏可用的過程控制與周邊輔助設備解決方案。

工研院南分院近幾年致力於建置積層製造技術之智能化系統。相關技術可於製作前提供較佳製程參數與可行性分析，縮短材料製程參數開發時間，減少製程熱



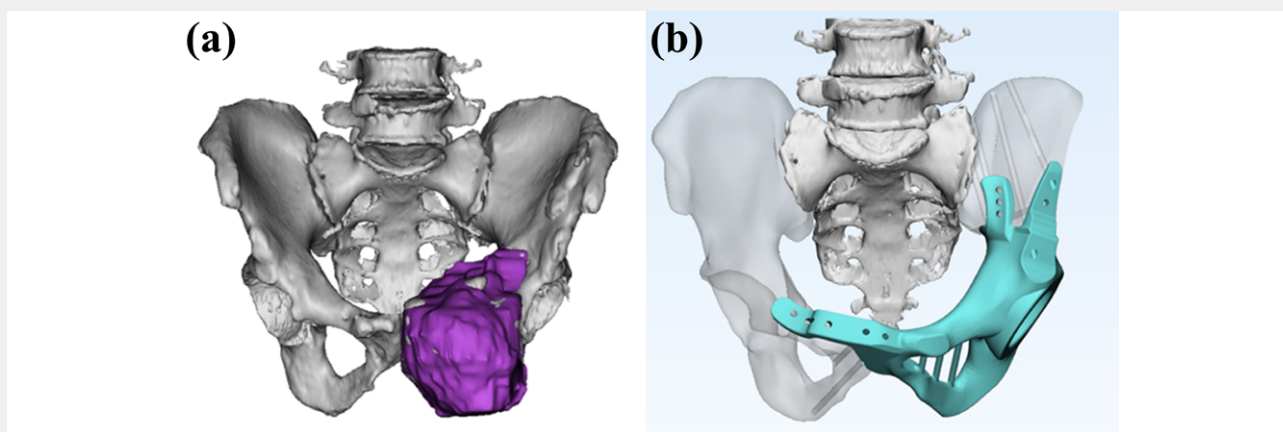


圖 5：(a) 病患髌骨腫瘤；(b) 患部切除後缺損部位髌骨植體植入規劃

殘留應力影響之失敗可能。此外，開發之監控補償系統即時監視粉床及雷射品質，針對製程缺陷或變化即時分析並提供補償控制參數與對策，並透過自動化整合吸供篩設備，支援連續生產製作，大幅提升金屬積層製造的效能。■

本篇文章由工研院南分院 吳宗明 資深專案經理與三軍總醫院醫用 3D 列印中心 陳加恩 研究員、工研院南分院 林得耀 經理，以及工研院南分院 林敬智 副經理所共同編撰

### 參考文獻

[1].SmarTech Analysis Report: Metal Additive Manufacturing Market Back on Track to Produce More Than \$50B in Components Annually by 2030. Available on line: <https://www.prnewswire.com/news-releases> (accessed on 10 Feb 2022)

[2].Nicolas Alberto Sbrugnera Sotomayor, Fabrizia Caiazzo and Vittorio Alfieri, “Enhancing Design for Additive ManufacturingWorkflow: Optimization, Design and Simulation Tools” , Applied Science 2021, 11(3), 6628

[3].Ana Vafadar, Ferdinando Guzzomi, Alexander Rassau and Kevin Hayward, “Advances in metal additive manufacturing: a review of common process, industrial application, and current challenges, Applied Science 2021, 11(3), 1213.

[4].Benjamin Durakovie, “Design for additive manufacturing:

benefits, trends and challenges” Periodicals of Engineering and Natural Science 2018, 6(2), 179-191.

[5].P. Ninpetch, P. Kowitwarangkul, S. Mahathanabodee, et al., “A review of computer simulations of metal 3D printing” , AIP Conference Proceedings 2279, 050002 (2020)

[6].蔡宗汶, 鍾偉權, 潘潘振銘, 林敬智, “智慧化積層不 NG 製造技術”, 工具機與零組件雜誌, 2021 (130), p60-67

[7].Jong Woong Park , Hyun Guy Kang, June Hyuk Kim, and Han-Soo Kim, “ The application of 3D-printing technology in pelvic bone tumor surgery” Journal of Orthopaedic Science 2021, 26(2), 276-283

[8].Q. Y. Lu and C.H. Wong, “ Additive manufacturing process monitoring and control by non-destructive testing techniques: challenges and in-process monitoring” Virtual and Physical Prototyping 2018, <https://doi.org/10.1080/17452759.2017.1351201>

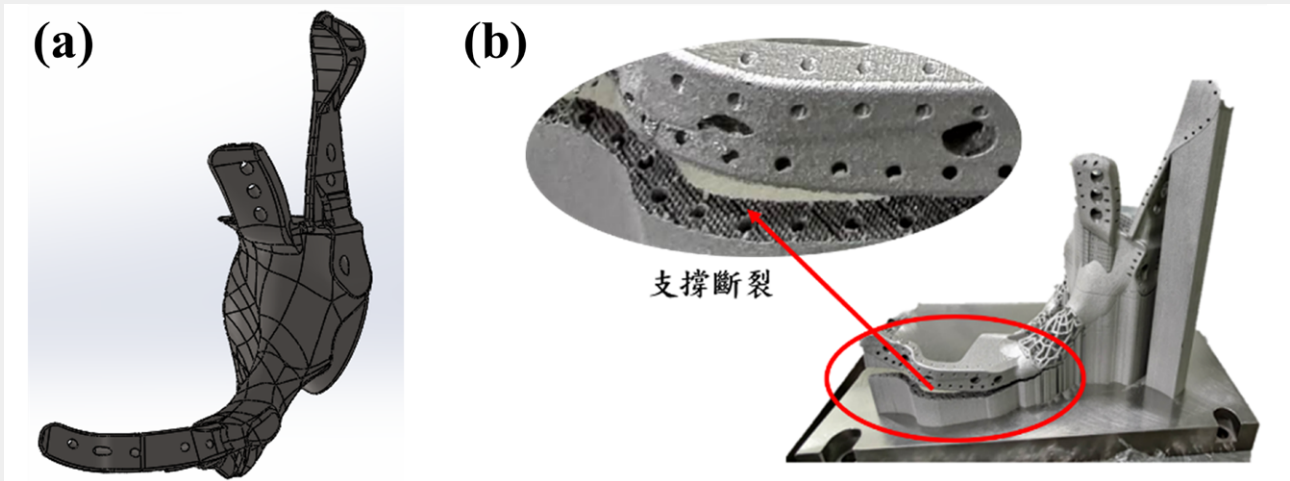


圖 6：脛骨植體。(a) 最終定案設計；(b) 依經驗進行製程前處理後直接列印結果

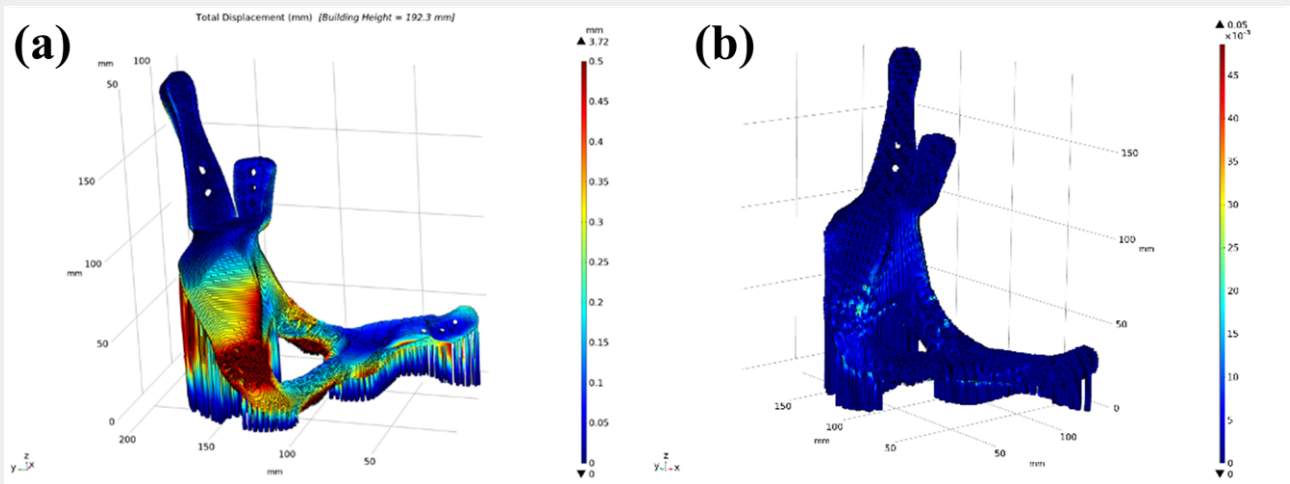


圖 7：脛骨植體熱應力預前模擬分析。(a) 原支撐設計；(b) 支撐重新設計後

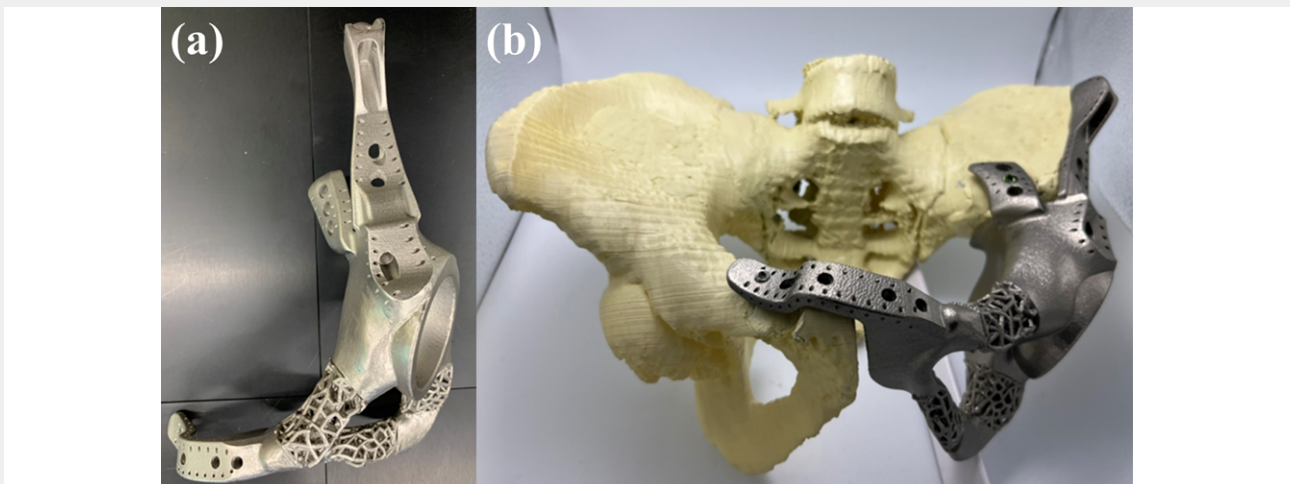


圖 8：(a) 支撐重新設計後成功列印之脛骨植體；(b) 植體固鎖在患者骨盆 3D 模型

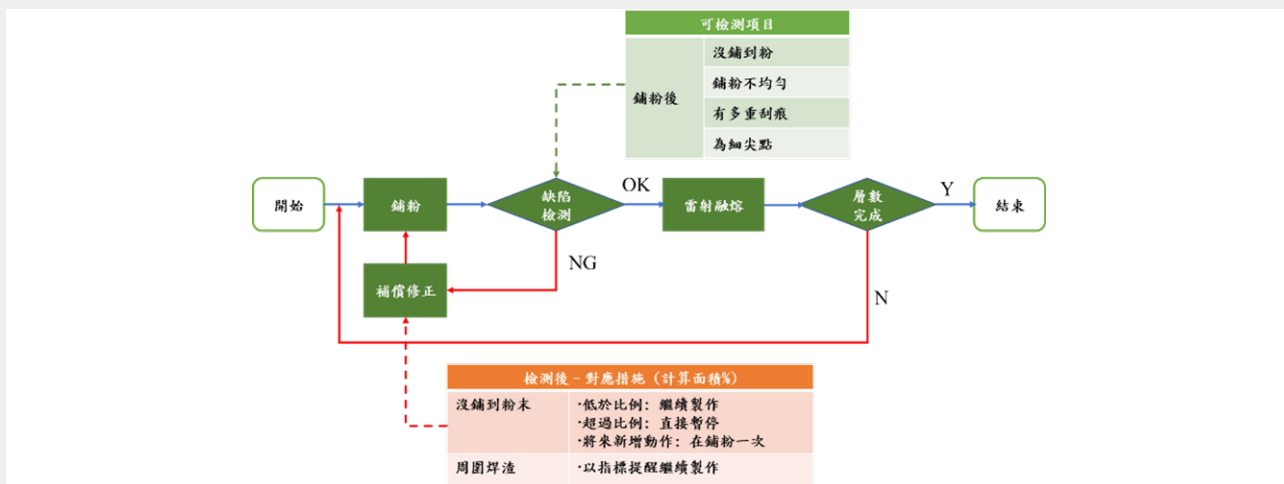


圖 9：粉床監視補償控制技術偵測鋪粉完整度與對應措施

| 項目       | 規格值       |
|----------|-----------|
| 最大連續生產   | > 3天      |
| 機型使用     | AM250尺寸以上 |
| 安全氧氣濃度   | < 0.8%    |
| 吸/篩/供粉效率 | > 8kg/min |

圖 10：雷射中心開發出整合吸篩供粉末處理系統及其規格

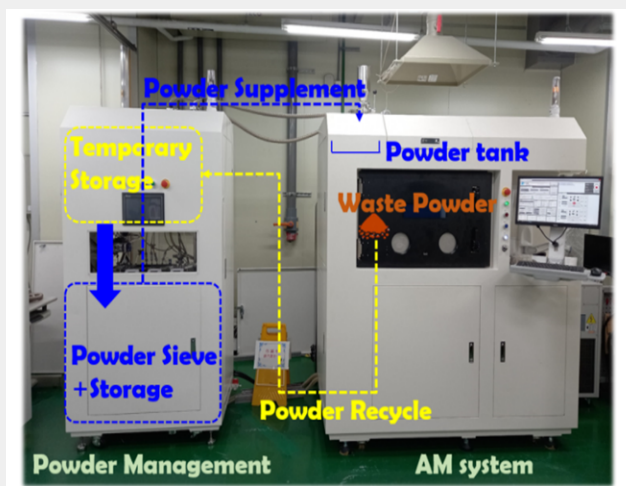


圖 11：工研院 AM 設備與吸篩供粉末處理系統整合應用實例



## 前進工業 4.0 時代，少量多樣才是客戶要的，從大量生產到大量客製化製造

■馬路科技

### 工業 4.0

所謂的 4.0 目標與以前不同，並不單是創造新的工業技術，而是著重於現有的工業相關之技術、銷售與產品體驗統合起來，透過工業人工智慧的技術建立具有適應性、資源效率和人因工程學的智慧型工廠，並在商業流程及價值流程中整合客戶以及商業夥伴，提供完善的售後服務。其技術基礎是智慧型整合感控系統及物聯網。

這樣的架構雖然還在摸索，但如果得以陸續成真並應用，最終將能建構出一個有感知意識的新型智慧型工業世界，能透過分析各種巨量資料，直接生成一個充分滿足客戶的相關解決方案產品，更可利用電腦預測，例如天氣預測、公共運輸、市場調查數據等等，即時精準生產或調度現有資源、減少多餘成本與浪費等等，需要注意的是工業只是這個智慧型世界的一個部件，需要以「工業如何適應智慧型網路下的未來生活」去理解才不會搞混工業的種種概念。

### 重新定義製造生產流程的三個理由

#### 產品需要特定的材料特性

3D Systems 提供各種材料特性，可製造具各種屬性的零件與傳統材料競爭，包括：耐用性、彈性、韌性、耐磨損、透明度、耐高溫、阻燃、可鑄造、生物相容性。

#### 降低生產成本

橫跨應用面和技術面，可以利用 3D 列印的加入，簡化供應鏈的模型和生產，以實現降低成本之目的。

- **工具機加工**：通過按照需求生產，大幅減少甚至消除工具機加工的需求。
- **夾治具**：3D 列印夾治具，已確保高品質的組裝，最大化減少人工時間，並儘量減少成本浪費。
- **模具母模**：透過高精度的 3D 列印設備生產母模，可應用於翻模、射出模具、精密鑄造，降低成本並縮短週期。
- **數位化製造**：採用具有量產能力的 3D 列印設備，

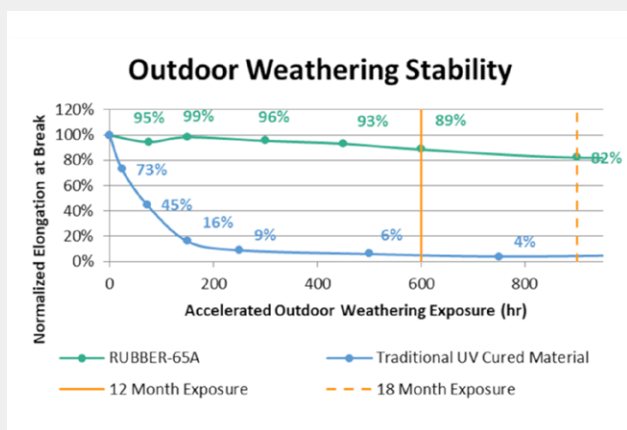


圖 1：室外天氣測試

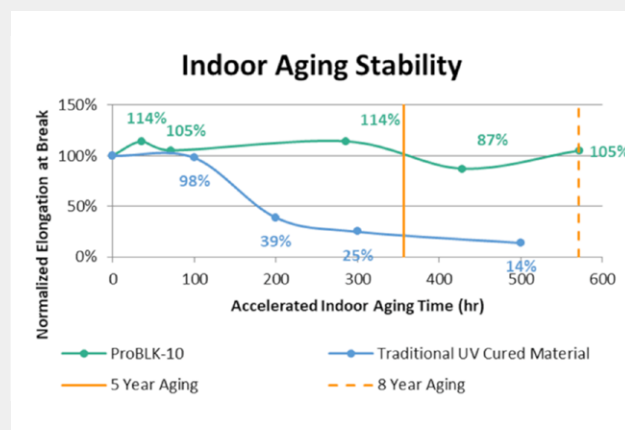


圖 2：室內老化測試

可達成無模具生產及大量客製化生產，有效降低時間與金錢成本。

### 加速產品上市時間

於開發階段採用 3D 列印製程，例如：外觀模型、設計驗證等，藉此壓縮開發時間，加速產品上市。

## 光固化 3D 列印——優點和挑戰

### 近乎完美的樣品表面品質

光固化 3D 列印技術，以提供最平滑的表面品質、最好的細節精細度和最仿真塑膠射出零件等特色著稱，並在積層製造技術行業內備受認可。

### 多功能性材料與零件壽命

儘管光固化材料已使用 25 年以上的時間，因材料性能與壽命而始終受限於製造打樣品。由於光固化材料的機械性質會迅速降解，特別是暴露在紫外光下及環境濕度影響時，通常製造出的零件僅適用於幾週內。現在通過技術的提升採用新的環保光固化材料來解決這點。

使用擁有專利的化學技術，提供了材料長期穩定的機械性能，且適用於室外或室內，3D Systems 所生產的

Figure 4 材料，表現出的拉伸強度和衝擊強度，即使在 8 年的室內環境老化試驗和 1.5 年的室外老化試驗中，依然維持著穩定的表現，且皆透過 ASTM D4329 與 ASTM G194 得出相關數據證明。

## 產業應用案例

助聽器製造商，採用 3D Systems Figure 4 解決剛性與橡膠材料生產客製化產品的難題。

助聽器中有許多不同的塑膠零件，這些零件包括在每個助聽器中安裝電子元件和隔絕聲音的機構，其中部分零件小於 8mm×3mm。由於其尺寸微小，這類零件需要機械手臂進行組裝，故需要大零件的吸嘴，及小零件的金屬夾具。但是，這些處理方法具有缺點。吸嘴難以正確定位零件，導致吸力失效。金屬夾具易在零件表面上留下磨損痕跡，以上幾點直接導致了產品製造週期延長。

### 解決方案一：高精度 3D 列印設備

使用 3D 列印製造助聽器有幾個主要好處，相較未採用時，最終產品具有八倍以上的生產率。3D Systems Figure 4 解決方案是一種光固化的積層製造技術，利用非接觸膜技術，達到精度和細節呈現度，以及超快



圖 3：3D Systems Figure 4 生產高精度零件



圖 4：從數位檔案直接到大量零件製造

的打印速度。這種經濟和多功能的解決方案，可提供速度、質量和準確性，且具有工業級耐用性、售後服務，以及用於可應用多功能性的材料轉換替換。

#### 解決方案二：加速設計變更

當新產品被分配模具設計部門，設計師使用 Figure 4 來輔助設計過程，快速的樣品、機構驗證，使得設計的速度在較短的時間段內完成。

#### 解決方案三：加速產品生產

使用 Figure 4 解決方案的關鍵效益是在沒有模具的情況下生產零件。能夠從數位檔案直接到最終零件製造，從傳統加工過程中減少大量時間，零件通常在一兩天內完成，為生產部門留下很多開心的客戶。組裝部門則利用 Figure 4 製造各種不同規格的夾治具，因其準確性及可代替金屬夾頭，加速了組裝產品進度。

#### 解決方案四：可靠的材料性能

生產部門應用 Figure 4 PRO-BLK 10 和 Figure 4 RUBBER-65A BLK 兩種材料來解決軟硬料零件製造問題，這兩種材料具有長期使用的特性，擁有戶外 1.5 年及室內 8 年以上的壽命。■

2022

# 臺以創新研發 成員補助計劃

## Taiwan: Israel

Industrial R&D Cooperation Program

以色列以高度創新科技研發能力著稱於世，而臺灣高科技產業以高效率全球製造供應鏈聞名。為整合以色列創新研發及新創與台灣製造業產業聚落優勢，提升台灣產業研發能量與核心競爭力，於104年與以色列簽署「工業研究及發展雙邊合作協定」以來，經濟部技術處在A+淬煉計畫中，以「臺以創新研發成員補助計畫」專案類計畫，支持雙邊產業研發合作。

申請期程：

採批次收件、批次審查，111年徵案日期為

- 第一次2月10日-5月25日（研發類）
- 第二次3月1日-6月29日（場域驗證類）
- 第三次5月1日-9月19日（研發類）

應備申請資料：

- 申請表及申請公司基本資料表。
- 計畫書。
- 臺以雙方廠商合作證明文件，含智財權分享與規劃（申請時可先以LOI或MOU審查，但需在提出正式合約後，始進行簽約事宜）。
- 臺以雙邊合作表（BILATERAL COOPERATION FORM: BCF）。
- 主導公司最近3年之會計師簽證之查核報告書及所有聯合申請單位最近1年之會計師簽證之查核報告書。

| 申請資格  | 計畫範疇  | 計畫期程  | 補助金額   | 申請時程  |
|---|---|---|--|---|
|  |  |  |  |  |

與以色列廠商進行創新研發合作之臺灣廠商

• 不限領域均可提出申請  
• 四個重點補助領域\*

上限為3年

最高不超過臺方計畫總經費之50%

採批次收件、批次審查

\*四個重點補助領域為「資訊安全」、「智慧製造」、「高階醫材」及「下世代通訊與IoT創新應用」

廣告編號 2021-Q4-A06

聯絡資訊：

胡曉 工研院產業科技國際策略發展所 Tel: +886-3-591-3425 Email: XiaoHu@itri.org.tw

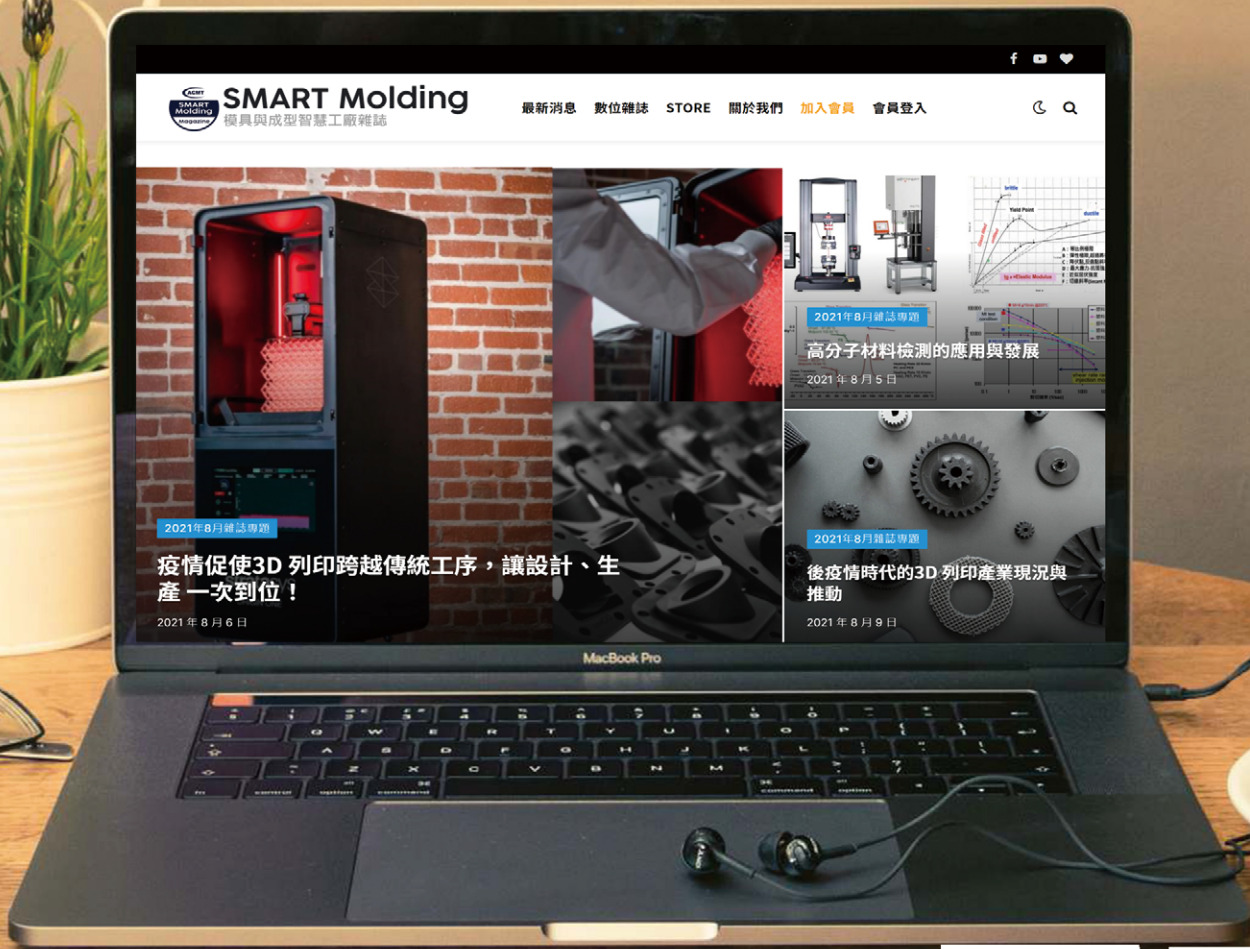
A+淬煉計畫網址：<http://aiip.tdp.org.tw>



# 訂閱SMART MOLDING MAGAZINE

## 掌握每月最新射出成型產業技術報導

SMART MOLDING MAGAZINE每月定期提供最新產業訊息、科技新知，並規劃先進技術專題報導。讓您輕鬆掌握每月最新射出成型產業技術報導，且同時享有多種會員專屬優惠。



更多資訊請掃QRCode進入會員專區