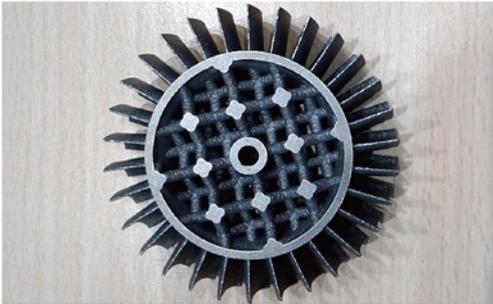
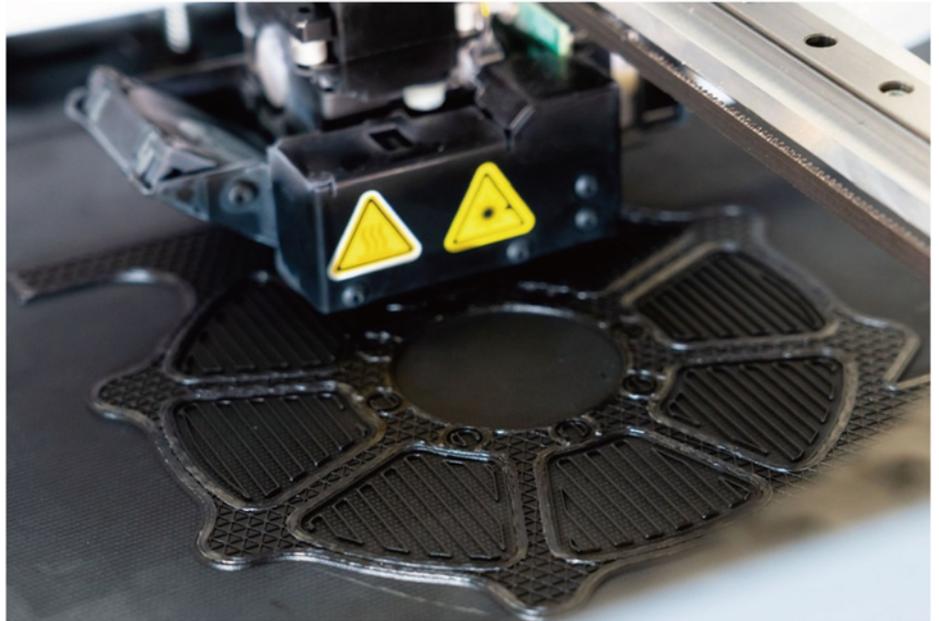
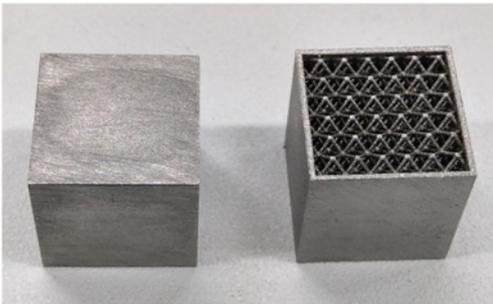


【3D列印晶格化暨創新材料設計與應用】



主編：鄭正元 特聘教授 (臺灣科技大學)

- 晶格結構設計：藉由3D列印創造超材料
- 3D列印晶格結構於軟性機器人夾爪之應用
- 創新應用：3D金屬列印之晶格結構的獨特性
- 碳纖維複合材料3D列印技術發展現況、限制、以及未來趨勢



晶格化設計與應用篇 | 創新材料設計與應用篇



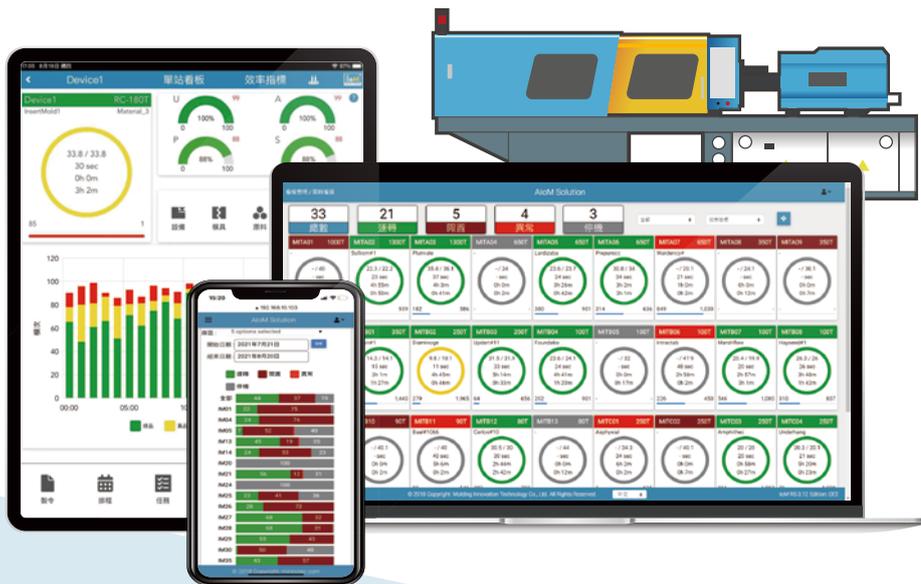
積層製造技術可以藉由層層疊加製造複雜形貌、或鏤空之物件等。然而受制於早期的設計思維與工具，仍然難以跳脫傳統製造設計的框架，為此積層製造設計(Design for Additive Manufacturing, DfAM)這一概念應運而生，在此典型的運用工具就包含有晶格結構設計、多材料設計、拓樸優化、與整合零件等方法。

本期報導在晶格化設計與創新材料方面，分別邀請到虎門科技、通業技研、成大 劉至行 副教授與數可科技、實威國際、台科大 鄭逸琳 教授等，一同分享近期的創新技術與研究成果。

從功能型射出機，邁向智慧型射出機

SMB智慧機上盒/塑膠製品業**第一名**

9件專利認證



聯網化

- ✓ 連結【機台數據】
- ✓ 全面提高工廠數據即時性與正確率

可視化

- ✓ 解析【關鍵數據】
- ✓ 提高生產效率

透明化

- ✓ 精煉【核心數據】
- ✓ 降低管理成本
- ✓ 簡化生產流程

生產管理 (機台聯網)



- 模具管理
- 原料管理
- 機台管理
- 生產排程
- 維護保養
- 行動報工
- 效率分析

製程管理 (數據管理)



- 設備聯網
- 成型條件
- 實際數據
- 能源管理
- 製程管制
- 成型履歷
- 預測指標

品質管理



- 線上監測
- 模內壓力
- 視覺辨識
- 深度學習
- 人工智慧
- 設備標定
- 成型優化

型創科技顧問團隊



30年模具與成型產業專業輔導經驗



SMB計畫塑膠製品業第一名

mit 型創科技顧問股份有限公司
minnotec MOLDING INNOVATION TECHNOLOGY CO., LTD.

服務據點

台北·東莞·蘇州·泰國曼谷·印尼雅加達

規劃中據點

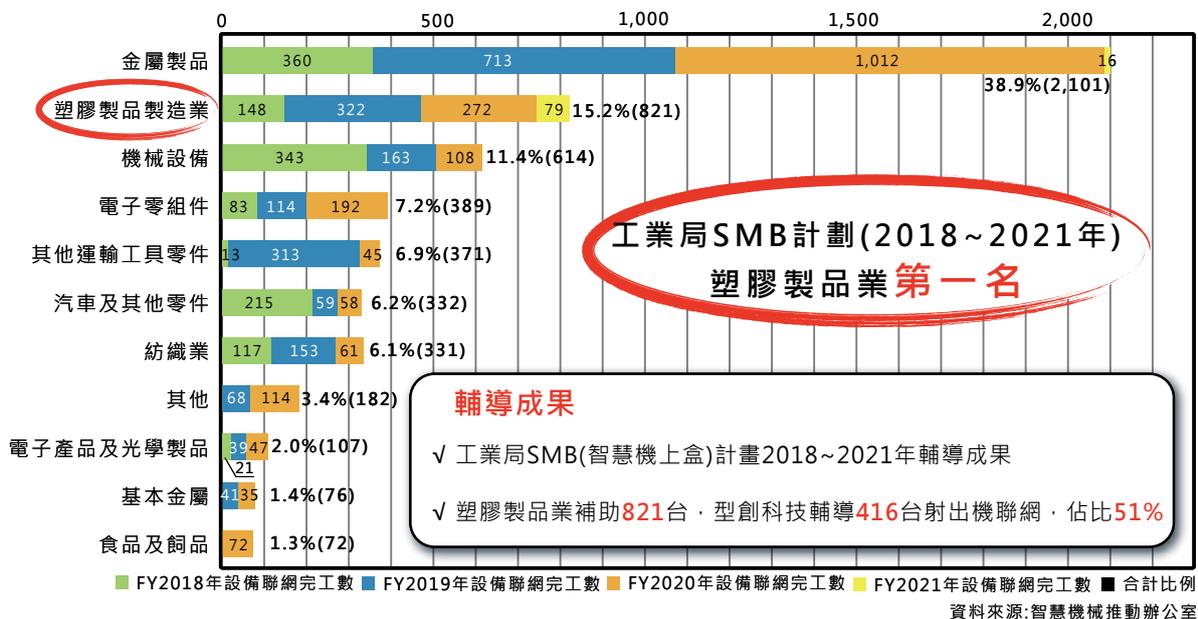
台中·台南·寧波·廈門·馬來西亞·菲律賓·越南

+886-2-8258-9155

info@minnotec.com

https://minnotec.com/iom

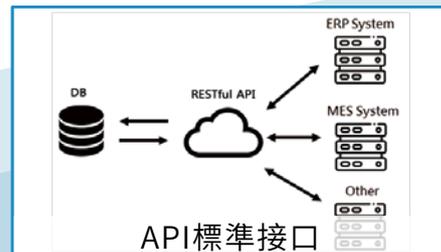
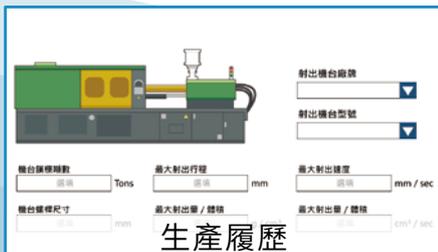




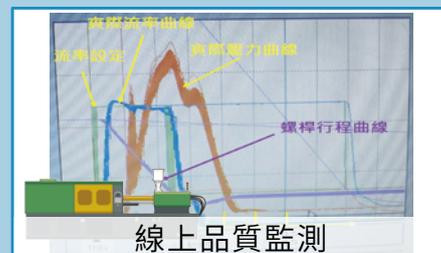
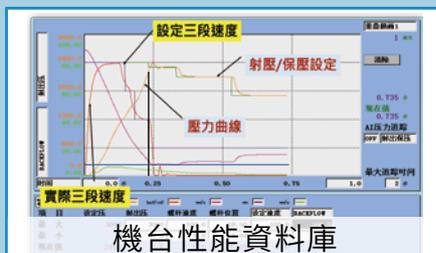
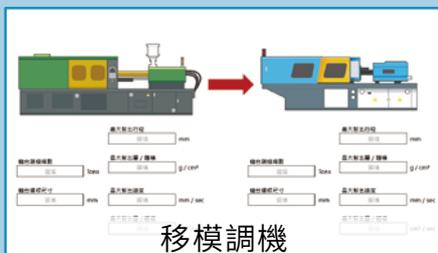
IoM 生產管理(機台聯網)



DoM 製程管理(數據管理)



QoM 品質管理



型創科技顧問團隊



30年模具與成型產業專業輔導經驗



SMB計畫塑膠製品業第一名

mit 型創科技顧問股份有限公司
minnotec MOLDING INNOVATION TECHNOLOGY CO., LTD.

服務據點

台北·東莞·蘇州·泰國曼谷·印尼雅加達

規劃中據點

台中·台南·寧波·廈門·馬來西亞·菲律賓·越南

+886-2-8258-9155

info@minnotec.com

https://minnotec.com/iom



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、數可科技、通業技研、虎門科技、實威國際、劉至行 副教授、鄭逸琳 教授



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/>

MIZUKEN®

多功能模具水路清洗機

多機能金型冷卻管洗淨機



功能說明 ▶
機能說明



廣東水研智能設備有限公司

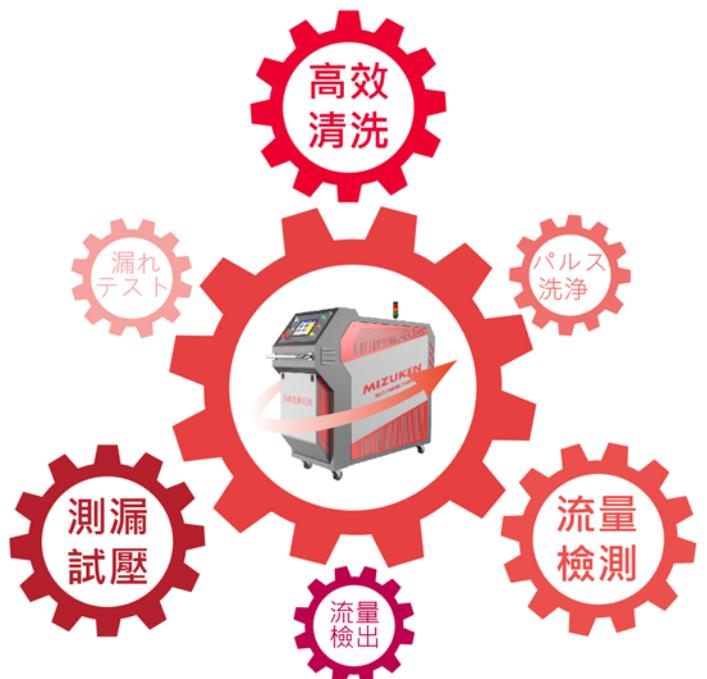
GUANGDONG MIZUKEN INTELLIGENT EQUIPMENT CO.,LTD

地址：廣東省東莞市虎門鎮雅瑤工業二路1號

No.1, Yayao Industrial Second Road, Humen Town,
Dongguan City, Guangdong Province

郵件：joinhung@gmail.com

網址：www.mizuken.com.cn



TEL +886-938009549

目錄 Contents

- 10 晶格結構設計：藉由 3D 列印創造超材料
- 14 3D 列印晶格結構於軟性機器人夾爪之應用
- 18 創新應用：3D 金屬列印之晶格結構的獨特性
- 22 3-matic 軟體的晶格結構設計於 3D 列印的潛力
- 28 金屬 3D 列印晶格化結構的應用與優勢
- 30 碳纖維複合材料 3D 列印技術發展現況、限制、以及未來趨勢
- 34 光固化 3D 列印應用，T3D 提供多樣化選擇
- 36 當 3D 列印遇上碳纖維，告訴你 3D 列印的強大！



康復
照護 幫助

醫療技術

緩解病痛

悉心照料

關懷



WIR SIND DA.

不管新冠肺炎期間或任何時刻，醫療技術的關鍵往往在於品質、精確和絕對純度 - 從防護設備、注射器、再到植入體，為了確保您的需求可以得到妥善的解決，ARBURG (阿博格) 的專家團隊將針對特定產品的注塑機和無塵室生產技術，為您提供全方位的專業支援；其中包括我們設備中的數據分析和後續的功能測試。

www.arburg.com.tw

ARBURG

阿博格



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

3D 列印晶格化暨創新材料設計與應用

積層製造技術發展以來，我們逐漸認識到這類工藝具有眾多獨特性能，可以藉由層層疊加製造複雜形貌、或鏤空之物件等。然而受制於早期的設計思維與工具，仍然難以跳脫傳統製造設計的框架，為此積層製造設計 (Design for Additive Manufacturing, DfAM) 這一概念應運而生，在此典型的運用工具就包含有晶格結構設計、多材料設計、拓樸優化、與整合零件等方法。

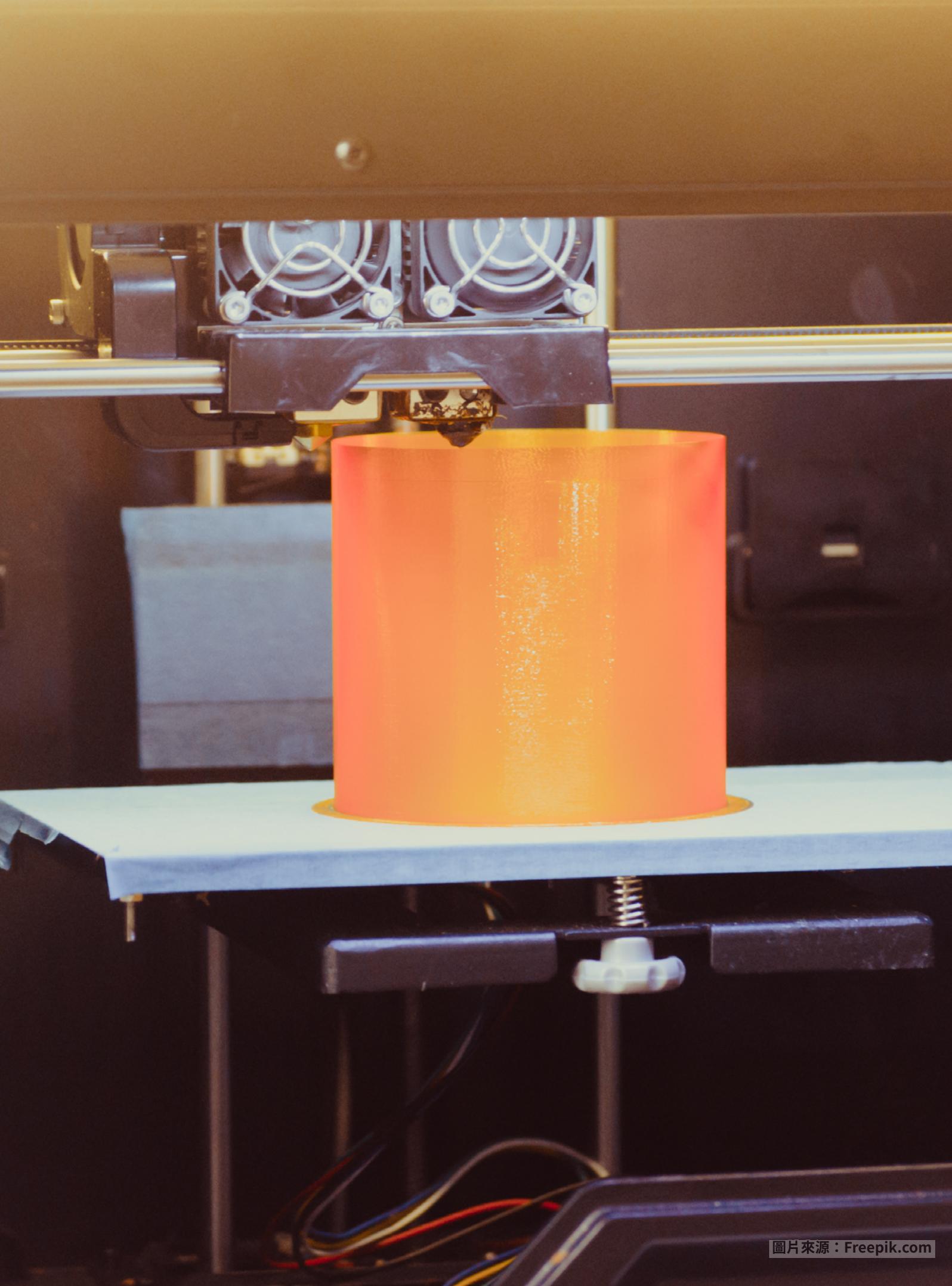
晶格結構通常受到天然結構如金屬晶體、或者生物等啟發如骨骼、魚鱗、木柴、蜂巢等。由節點、梁柱等組件最容易被製造，以此形成的結構常被運用在建築領域，例如著名的近代建築：艾菲爾鐵塔，1889 年落成以來，其結構支撐著高達 10100 公噸的重量，體現晶格結構高強度 - 重量比的性能。

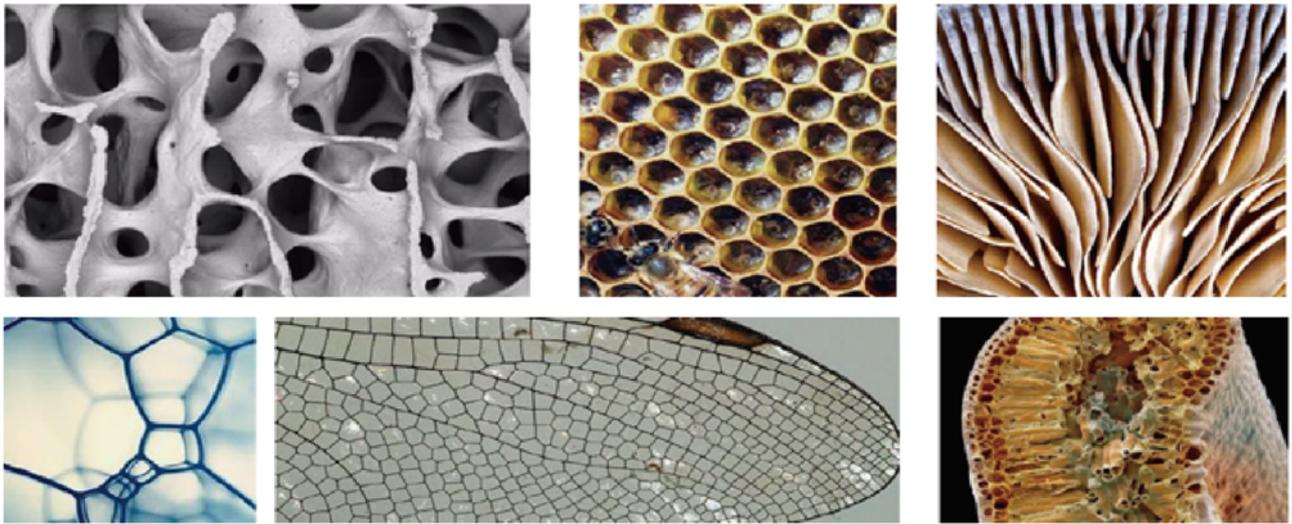
然而當尺度縮小到釐米、毫米等級，晶格結構幾乎不可能透過傳統的工藝製造、組合，此時便進入積層製造技術的獨特領域，不僅傳統的節點、梁柱結構，各種曲面、幾何元素也被納入考量。晶格化結構的主要特點如下：

- **高強度 - 重量比**：透過減少非主要受力區域的材料，可以在強度許可的條件下大幅的減少結構重量，達到輕量化的作用；
- **高表面積**：晶格結構更可提供大量的表面積，對於促進熱交換和化學反應的產品可以實現效率提升；
- **吸收衝擊能力**：晶格結構的交錯排列也可提供一定的緩衝能力，可用於個人護具乃至降低噪音之用途。

此外，例如高分子材料藉由氣相分散形成我們所謂的發泡材，又可分為開孔、閉孔、硬質、半硬質、軟質等。同理，各種晶格結構也可視為一類創新材料，藉由事先研發各式結構性能，將可在需求產生之時快速的對應並套用。

本期報導在晶格化設計與創新材料方面，分別邀請到虎門科技、通業技研、成大劉至行教授與數可科技、實威國際、台科大鄭逸琳教授等，一同分享近期的創新技術與研究成果。■





晶格結構設計：藉由 3D 列印創造超材料

■臺灣科技大學高速 3D 列印中心 / 劉書丞

前言

超材料 (Metamaterial)，意指一類具有特殊性質的人造材料。在成分方面可以是任何日常所見的金屬、高分子，藉由精妙控制材料的結構排列、幾何形貌與尺寸賦予其非比尋常的性能。3D 列印技術正名為積層製造，透過逐層疊加的方式可以製造出各例如中空、倒鉤、晶格結構等形貌，這是傳統減法加工、塑性加工等受限於工具外型的製程所不具備的製造優勢。從基本針對應用需求設計，排除冗餘材料、減輕重量達到輕量化，到設計精妙的內部結構並藉由 3D 列印實現，我們將可於不論機械、電磁或是光學方面，創造構造出一種具備全新性能的材料。

無支撐結構

晶格結構的設計主要受三種特性的影響：「材料特性」、「晶胞形態」、「結構相對密度」。從自然界可發現各種生物特徵如木材、骨骼等例子，由少量材料與特殊結構組合而具有極高的力量乘載能力，這些

結構因而常被探討、模仿與應用。我們知道 3D 列印的高自由度可以實現各種複雜形貌。然而，物件懸空處經常需要建構外加支撐輔以成型，支撐並非是設計中的固有結構，需要花費額外的材料和時間去建構與移除。此外，在一連串精微的結構內移除所有的支撐乃是極大的挑戰。因此，若可將之省去求勢必可提升 3D 列印利用價值。在材料擠出 (Material extrusion) 成型技術方面，臺科大高速 3D 列印中心 Ajeet 博士等人啟發自一種海膽生物，參考牠們連續曲面的身形已設計了一種殼狀外形的仿生晶胞，該設計可以使用材料擠出成型的方式製造而無須外加支撐（如圖 1 所示）。

開放、局部封閉與全域封閉

晶格結構可分為開放式 (Open Cell) 與封閉式 (Closed Cell)，礙於支撐材料限制，極少有封閉式晶格結構可以成功設計並製造。基於海膽結構設計進一步將每個晶胞封閉，我們首次在 Additive Manufacturing 期刊

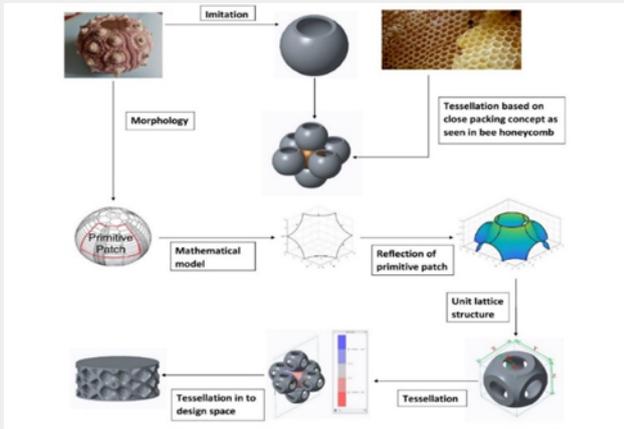


圖 1：無支撐結構的啟發與設計 [1]

中展示了成功製造的週期性堆積封閉式晶格結構。在此，又將封閉結構區分為局部封閉 (Local Closed) 與全域封閉 (Global Closed)，前者針對物件每個晶格進行封閉，後者則將封閉範圍拓展至整個物件外圍，如圖 2 所示。相較於開放式結構，封閉結構具有更高的乘載能力，其內封存空氣更提供了支撐強度與阻尼特性。

原子鑲嵌

鑲嵌 (Tessellation) 可以解釋為使用單種或多種單元晶格排列，設計填充於三維空間中獲得期望的結構特性，在此參考了金屬晶體結構設計，並研究了海膽晶胞在 SC、BCC、FCC、HCP 等週期性鑲嵌條件下所展現的壓縮性能 [2]，如圖 3、圖 4 所示。

結構填充

基於前述封閉式無支撐結構可藉由封裝空氣進而增加支撐與阻尼性能的構想，我們正研究於結構內部填充次材料的表現，例如發泡樹脂、液體、粉末等不定形貌的材質（如圖 5）研究其對機械性能的增益，未來將進一步地融入結構鑲嵌的要素發展更多的可能。

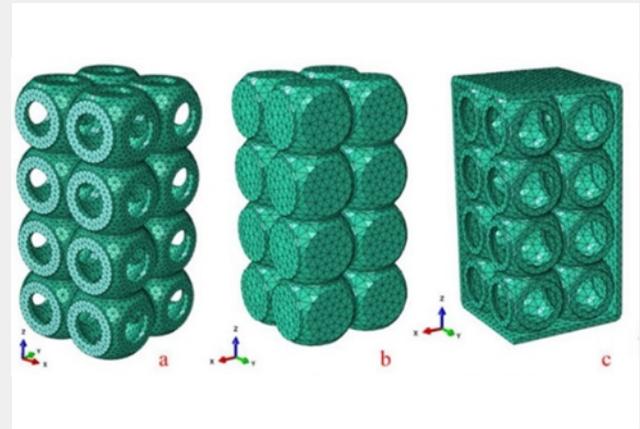


圖 2：(a) 開放、(b) 局部封閉、(c) 全域封閉結構

結語

已有諸多機械超材料被設計出來可表現出違反物理直覺的行為，例如負彈性模量、負泊松比等。3D 列印對於製造特殊結構有極大的優勢。期冀藉由與讀者分享一條設計思路，激發更多有趣、高效的製造方案與策略。■

參考資料

- [1].A.Kumar, L.Collini, A.Daurel, and J. Y.Jeng, “Design and additive manufacturing of closed cells from supportless lattice structure,” Additive Manufacturing, vol. 33, p. 101168, May2020, doi: 10.1016/J.ADDMA.2020.101168.
- [2].C.Bhat, A.Kumar, and J. Y.Jeng, “Effect of atomic tessellations on structural and functional properties of additive manufactured lattice structures,” Additive Manufacturing, vol. 47, p. 102326, Nov.2021, doi: 10.1016/J.ADDMA.2021.102326.

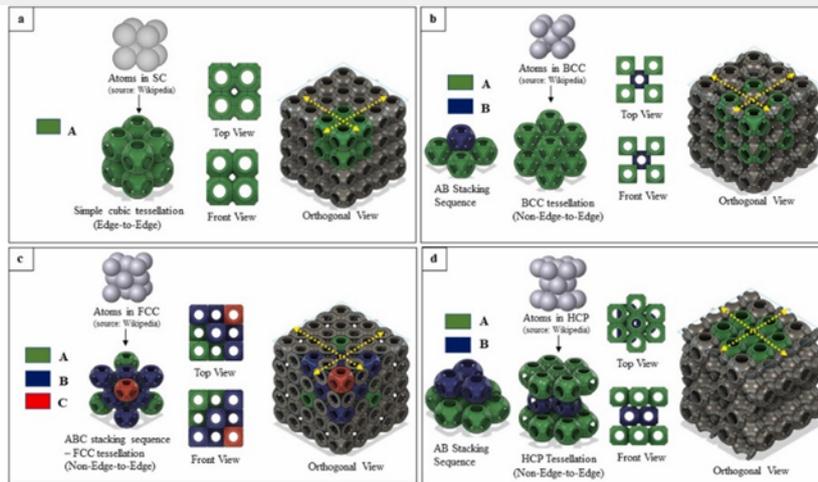


圖 3：仿金屬晶體結構之鑲嵌設計

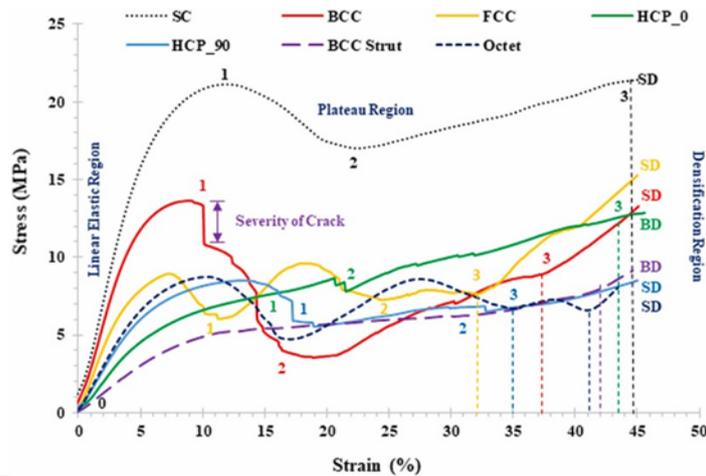


圖 4：各種晶格排列所展現的壓縮試驗曲線

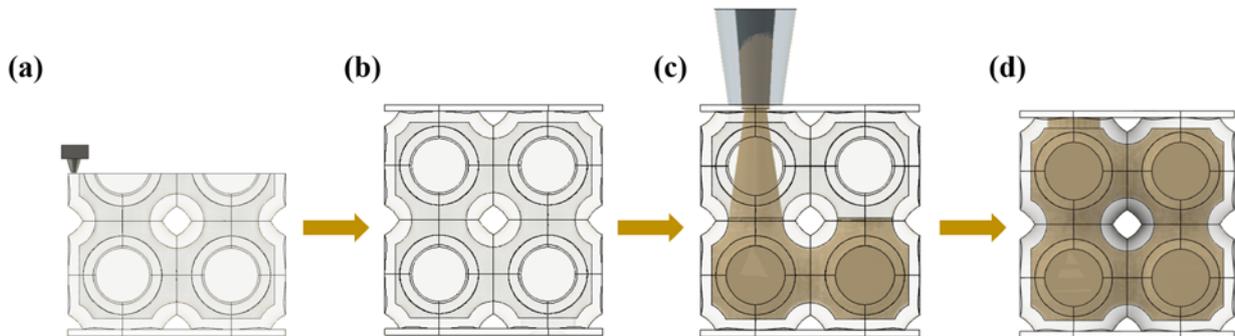


圖 5：建構封閉結構 (a-b)，填充次材料 (c)，封頂、完成 (d)



ACMT/OPCUA+

ACMT 射出機聯網相容性計劃

解決不同廠牌設備通訊問題

實現統一整合應用平台

落實工業轉型數位升級



Level 0 數位化

建立規格及定義，確保OT系統與IT系統的資料一致性。



Level 1 機台聯線

建立即時看板，產出平均故障／修復時間等管理報表。



Level 2 可視化

遠端監控參數，確保生產過程符合規範，保存修改記錄。



Level 3 透明化

監控過程各項實際值，追溯生產歷程，確保塑膠製品品質。



Level 4 可預測

取得機台歷程數據，建立預測性維護；虛擬製品品質預測。



Level 5 自適化

提高射出穩定性，即時全自動智慧射出塑膠製品。

創始會員

- ACMT
- 盟立自動化
- 型創科技
- 工研院微系統中心
- 台中精機
- 工研院巨資中心



ACMT射出機聯網相容性計劃聯盟



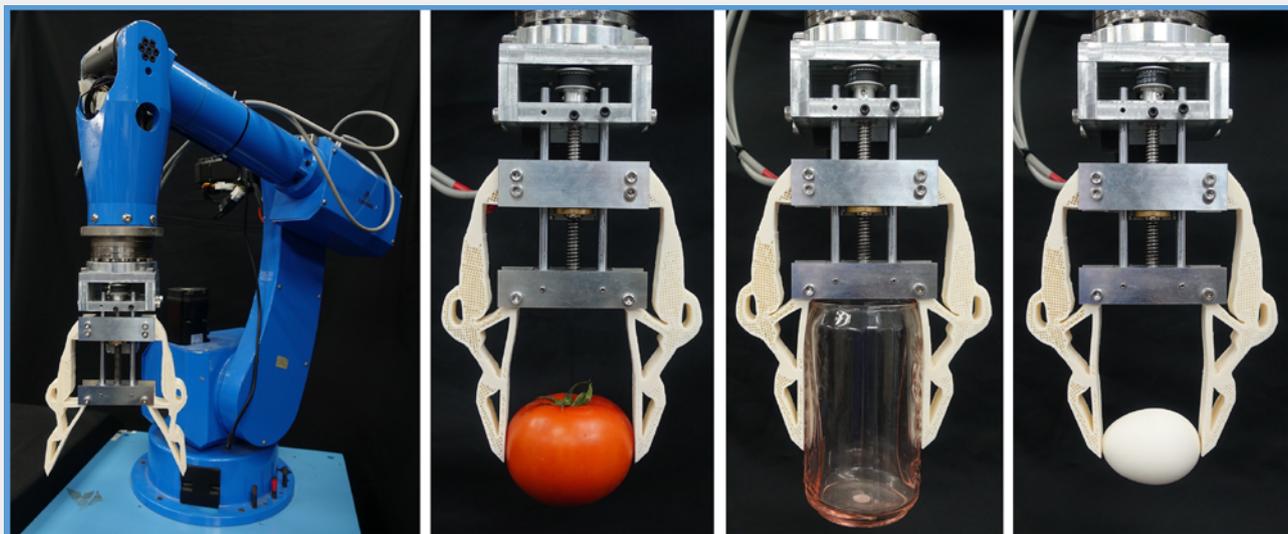
+886-2-8969-0409

新北市板橋區文化路一段268號6樓之1

nina.fan@caemolding.org

<https://www.caemolding.org/opcuaplus/>





3D 列印晶格結構於軟性機器人夾爪之應用

■成功大學機械工程學系 / 劉至行 副教授、陳揚 研究生

前言

隨著全世界工業 4.0 與智慧自動化的發展趨勢，多軸機器手臂目前已被廣泛運用在自動化的產線之中，其中搭配機械手臂所使用的端效器，更是一個不可缺少的關鍵模組。在一般自動化取放的應用中，最常見的端效器便是夾爪。傳統的機械夾爪多僅能用來夾取固定尺寸之物件，若被夾取物品的大小與形狀不同，則需更換不同尺寸的夾爪或夾頭，甚至需使用到具備多自由度與力量感知功能的夾爪，此類型夾爪之價格昂貴且控制架構複雜，同時傳統的剛性夾爪在夾取的過程中也容易造成非剛體或脆弱目標物的損傷。

軟性機器人

近年來軟性機器人相關的研究逐漸興起，相較於傳統機器人的設計皆為剛體機構，軟性機器人的特色是機器人部分（或是全部）的機構是由軟性元件所組成。軟性機構本身可視為一種撓性機構，透過機構本身的彈性變形來作動，並藉此達到傳遞位移、力量、與能

量的目的。撓性機構的本體通常一體成形，不需要額外的關節與潤滑，製造成本也相對低廉。由於軟性機器人柔軟的特性，使其具備了一定程度的適應周遭環境、物品與人類的能力。由於一般機器人與工作環境間的唯一介面，便是夾爪，故軟性夾爪的設計，便成為了一個值得深入探討與研究的議題。

軟性手指拓樸最佳化設計

拓樸最佳化是一種結構最佳化設計方法，藉由給定特定的設計區間與邊界條件後，透過演算法來搜尋設計區間中最佳的材料分佈狀態，可有效的節省材料，使結構輕量化，或是作為結構加強肋柱之參考。大部分的拓樸最佳化方法都是先將設計區間建立元素網格後，以有限元素法求解，接著則利用最佳化演算法進行疊代計算，並在過程中逐步移除不需要的元素直至收斂。

圖 1 與圖 2 分別為一個機器人夾爪的軟性手指的設計

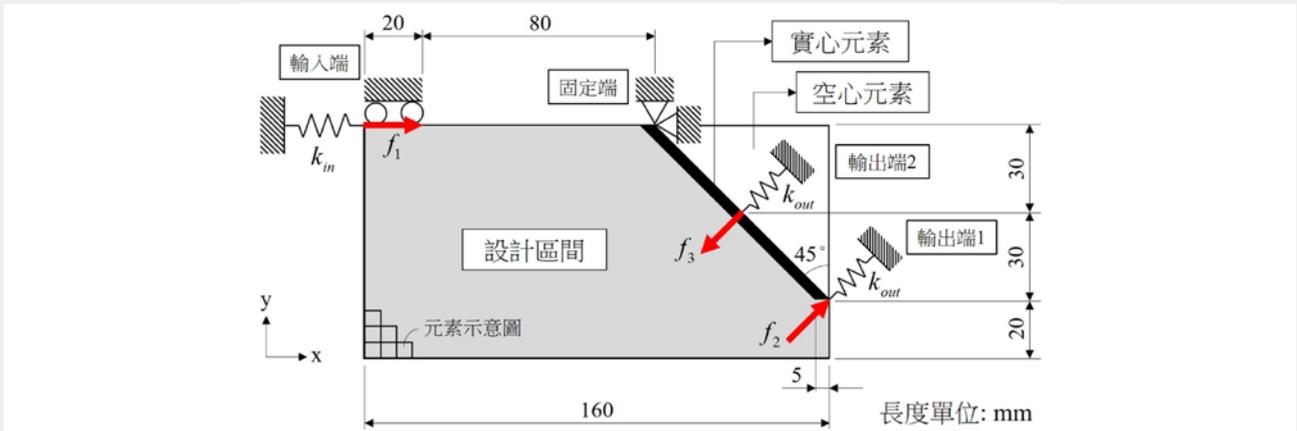


圖 1：軟性手指的設計區間與邊界條件圖

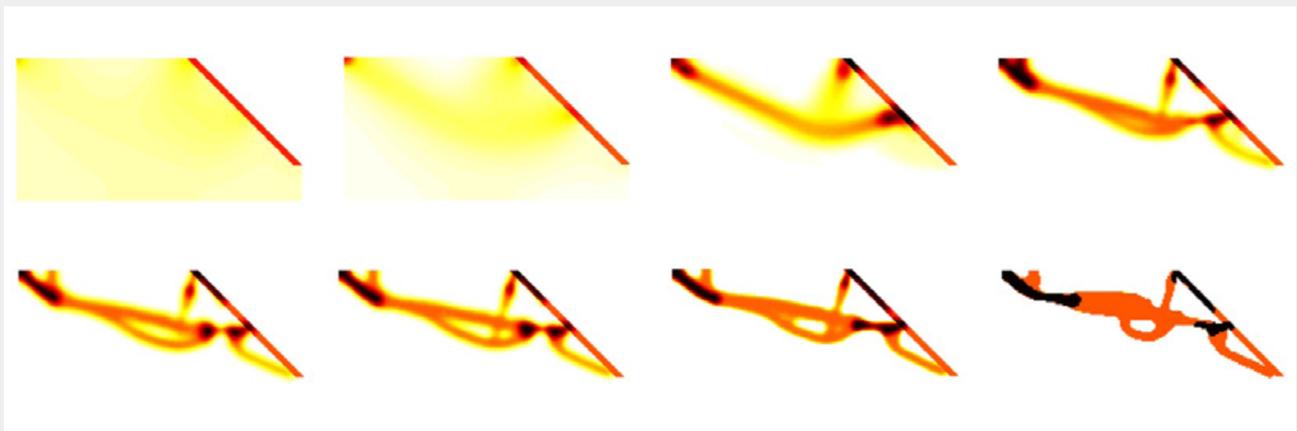


圖 2：軟性手指的拓樸最佳化過程圖

區間與拓樸最佳化的疊代歷程圖，此處依據軟性夾爪模組的實際作動方式，在邊界條件中給定相對應的輸入端、輸出端、固定端等邊界條件，並設定最佳化後存在二種材料（一種為較硬材料、一種為較軟材料），即可透過最佳化演算法求得軟性手指的最佳化設計。

圖 3 與圖 4 則分別為雙材料軟性手指的最佳設計結果與 3D 列印成品，此處所選用的 3D 列印材料為 TPE，是一種熱塑性彈性體。為了能以單噴頭的 3D 列印機，製作出近似雙材料（甚至是多材料）特性的設計，此處使用了局部改變 3D 列印填充率的方式，使列印出的成品同時具有如圖 4 所示的實心結構與晶格結構，藉此製作出近似於多材料效能的軟性手指。

圖 4 中的實心結構對應到了拓樸最佳化結果（圖 3）中的較硬材料，而晶格結構則對應到了拓樸最佳化結果中的較軟材料。由於 3D 列印的填充率設定值越高，列印成品之等效彈性模數也越高，故本方法藉由 3D 列印填充率與等效彈性模數間成正相關的趨勢，能以一般低成本的單噴頭 3D 列印設備，製造出一體成型且近似多材料效能之軟性夾爪手指。依據實驗結果顯示，若與相同體積和重量的單材料軟性手指相比，（類）雙材料的手指可有效減小夾爪作動時所需的驅動力，並增加軟性手指的輸出位移。

如文章首圖中所示，本研究設計的夾爪模組利用一個步進馬達來同時驅動二隻軟性手指，並透過皮帶與螺



圖 3：軟性手指的拓樸最佳化設計結果

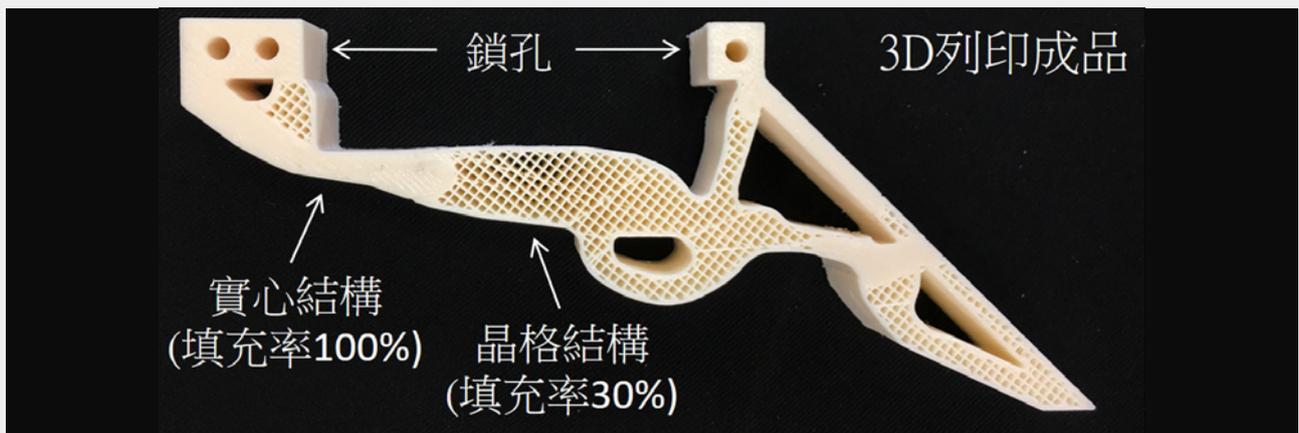


圖 4：軟性手指的 3D 列印成品

桿將馬達的旋轉動力輸出轉換為移動平台的直線動力輸出，藉此控制夾爪的開合作動。當夾爪模組上端的移動平台向下移動並靠近下端的固定平台時，二隻撓性手指會因彈性變形而產生彎曲夾合的動作，並藉此夾取目標物。此軟性機器人夾爪的設計可有效解決不規則目標物、非剛體目標物、或是脆弱目標物的自動化取放問題。■

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。

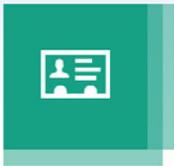
申請期程：

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。

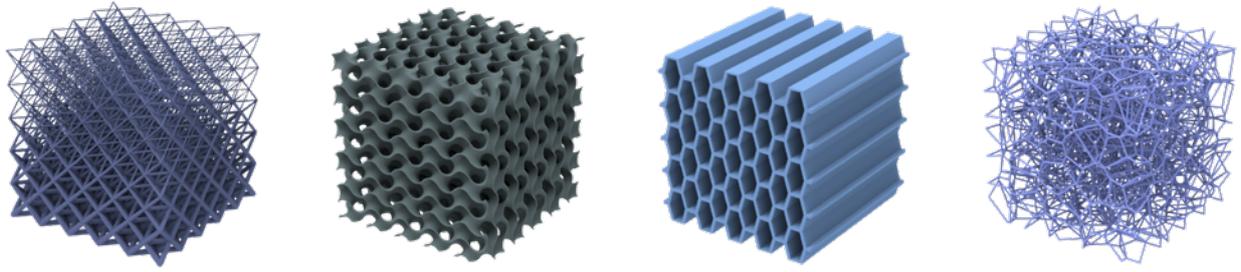
申請資格	計畫範疇	計畫期程	補助金額	申請時程
				
與以色列廠商進行創新研發合作之臺灣廠商	<ul style="list-style-type: none"> • 不限領域均可提出申請 • 四個重點補助領域* 	上限為3年	最高不超過臺方計畫總經費之50%	採批次收件、批次審查

*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」

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>



圖片來源：nTopology 官網

創新應用：3D 金屬列印之晶格結構的獨特性

■數可科技 / 杜秉明 總經理

前言

數可科技為臺灣最專業、規模最大的積層製造公司，一直以來秉持著「品質第一」的原則持續在積層製造領域深耕拓展。對品質有高標準的自我要求，數可科技已取得了 ISO13485、AS9100、ISO9001 及 TUV10998 等國際認證，目前正積極準備 Nadcap 航太 AM 認證。

除了品質，環境友善及節能減廢也是數可極其重視的經營理念。在全球重視節能減碳的趨勢下，物件的「輕量化」成為設計領域最為重要的課題。然而在減重的同時依然要保持結構的完整性及功能性，晶格結構便成為輕量化設計過程中不可或缺的一環。

創新·突破·專業

晶格結構是一種重複的圖形結構，用於填充實體或沿著特定表面生成，結構類型的設計通常是受到大自然演化的結構啟發，如蜂巢、骨頭內部構造等，都是生

物演化自然生成的結果。

不同的晶格類型、分布、厚度、間距、角度等參數，會使得晶格結構擁有不同的機械性質、熱性質、聲學性質等特性。

晶格結構同時具備高剛度、大表面積、伸長率、能量吸收、孔隙率等特點，隨著積層製造技術的應用日趨成熟，晶格結構除了輕量化設計外，也應用於散熱產品設計。

傳統工法如 CNC、焊接、鑄造可以製作簡單的晶格結構，但唯有透過積層製造，才能以最符合成本效益的方式製作出複雜的晶格結構，應用在不同的領域。

依照不同的物件需求，晶格類型與套用的位置極其重要。由於積層製造的獨特性及自由度，晶格輕量化成為了數可在合作業務上重要的優勢。舉凡航太、模具、

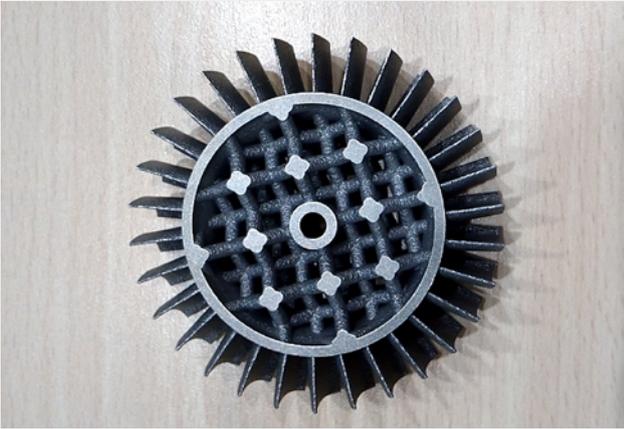


圖 1：利用晶格結構輕量化的渦輪葉片（圖片來源：數可科技）

消費性產品等領域皆有晶格輕量化的成功合作案例。

晶格的獨特性也被醫學界重視。為了讓植入物與生物組織有良好的結合性，植入物的設計會需要具有各種孔隙率的多孔結構。數可在生醫領域持續地與許多醫院及實驗室合作，藉由代理的「nTopology」設計軟體及「EOS」生產設備製作出許多具有亂數或 Voronoi 分布的晶格結構。這樣的設計可應用在協助骨質增生、組織替換及牙醫手術上。

更快、更自由、更有效率

在各種製造技術及電腦硬體不斷進步的狀況下，nTop (nTopology) 軟體橫空出世並提供了更加強大的設計功能。現在設計的物件隨著科技進步變得更加精密且複雜。然而，傳統的 CAD 軟體在如此的設計挑戰下面臨了極大的困難。受限於 B-rep (Boundary Representation) 的點線面與 STL 的大量三角面的儲存型式，設計複雜結構時經常遇到處理卡頓、編輯困難、難以檢視及儲存檔案容量過大等問題。

nTop 提供了一種嶄新的建模型式 -Implicit Model。相較於 B-rep 與 STL 繁複的儲存原理，Implicit Model



圖 2：利用蜂巢狀晶格輕量化的透鏡夾持座（圖片來源：數可科技）

將物件的構成以方程式來代替。這種方式使得物件的儲存容量大幅度地減少（容量大小可達到 0.1%）並讓編輯及檢視更有效率。

晶格結構在各種領域上的應用愈加廣泛且多元，nTop 讓晶格的設計更加有效率且輕鬆。受益於獨特的設計界面與 Implicit Model 的優勢，變更晶格的尺寸、厚度和排列方式等參數以進行再設計的時間成本變得極少。從變更到建模完成僅需數秒鐘即可完成傳統 CAD 軟體數小時以上的作業。

除了常見的樑柱型與蜂巢狀的晶格結構以外，nTop 也提供了數種被稱為三重週期最小表面 TPMS (Triply Periodic Minimal Surface) 的獨特晶格結構。其中 Gyroid 因為具有自我支撐、高強度重量比、高面積體積比等特性，故在需要流體運作的熱傳領域裡被廣泛應用。另一方面，傳統的 CAD 軟體只能設計週期性的結構。然而，nTop 利用「場」的概念創造出 Field-driven 這個功能。這使得週期性或常規的結構可以藉由外部條件（距離、其他物件、模擬分析結果等）來進行更高自由度的客製化設計。

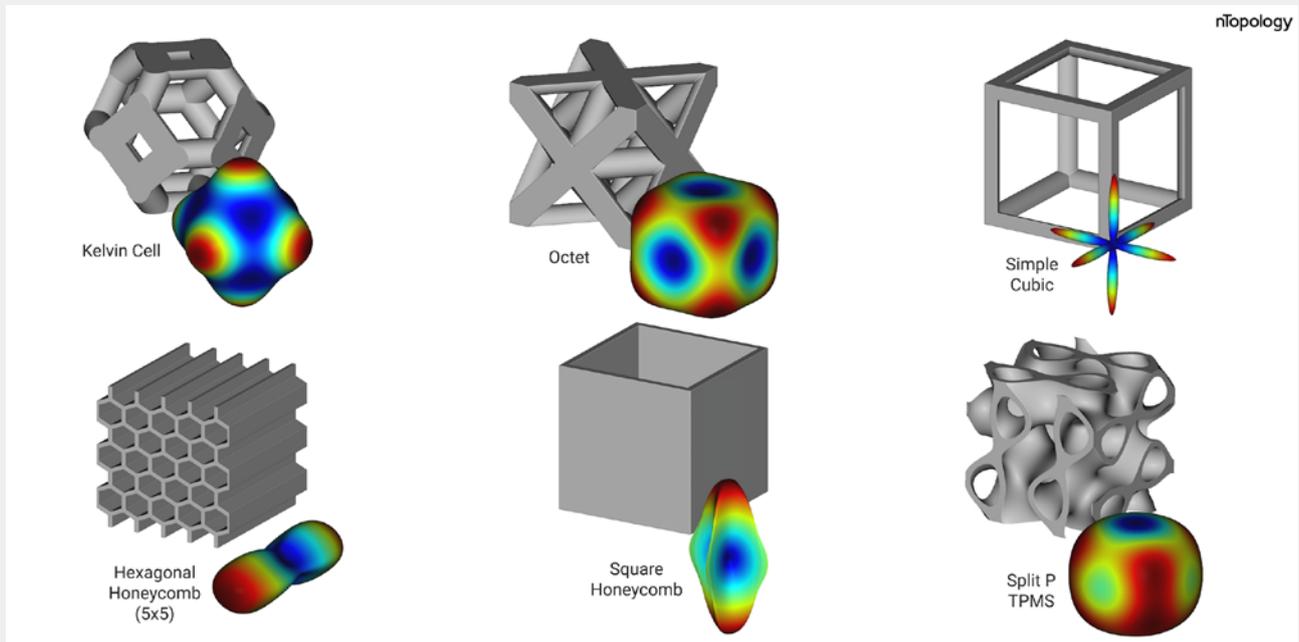


圖 3：nTop 的部分晶格類型（圖片來源：nTopology 官網）

更快速、更靈活、更具成本效益

在積層製造的領域中，EOS 在全球扮演著舉足輕重的角色。不論是金屬還是塑膠材料，EOS 皆發展出效能極好且可用於工業生產的機臺。數可科技不僅為 EOS 的獨家代理商，同時也引進臺灣歷史上第一臺金屬積層製造設備。

EOS 設備的生產技術品質已在世界上被廣泛地認可，同時也根據合作廠商的發展性而應用在醫學、航太、汽車、珠寶以及許多消費性產品上。在醫學領域裡，EOS 的積層製造技術通常用於生產生物植入物或客製化的一次性手術輔助工具。結合晶格結構的特殊性，植入物能夠有更好的組織結合性。同時，快速的客製化生產能夠針對每位病患製造對其身體結構最適合的治具。因此，積層製造的自由度、EOS 高品質的生產技術與設備以及晶格結構獨特的功能性逐漸改變了醫學領域的研究生態並提供更自由、更快速的手術流程。

在航太領域中，利用晶格結構進行輕量化已是常見的減重方式。然而，除了結構支撐的強度以外，晶格結構帶來的高面積體積比也成為航太領域重視的特性。這項特性對於熱交換器的設計來說是很重要的設計考量。為此，EOS 與 nTop 便利用這項特性設計了燃料機油熱交換器 (FCOC)。

為了消散機油帶來的熱能並維持燃料溫度避免過冷結晶，FCOC 的設計能夠有效利用機油的廢熱來對燃料進行保溫。EOS 利用 M290 金屬積層製造設備並結合 nTop 獨特的 TPMS-Gyroid 晶格結構與 Field-driven 設計製造出一體成形的 FCOC 結構。與傳統的生產方式及設計模式相比，EOS 與 nTop 設計的 FCOC 減少了 40% 的質量，並同時增加了 146% 的熱接觸面積。不僅達成了航太產業重視的輕量化，也大幅度地增加了熱交換的效率。同時，Gyroid 獨特的結構也維持了物件應有的結構強度。結合 Ansys 的計算流體力學 (CFD) 模擬分析進行反覆比較能夠在製造前持續改善設計，最終可以讓熱交換器的性能提高超過 150%。

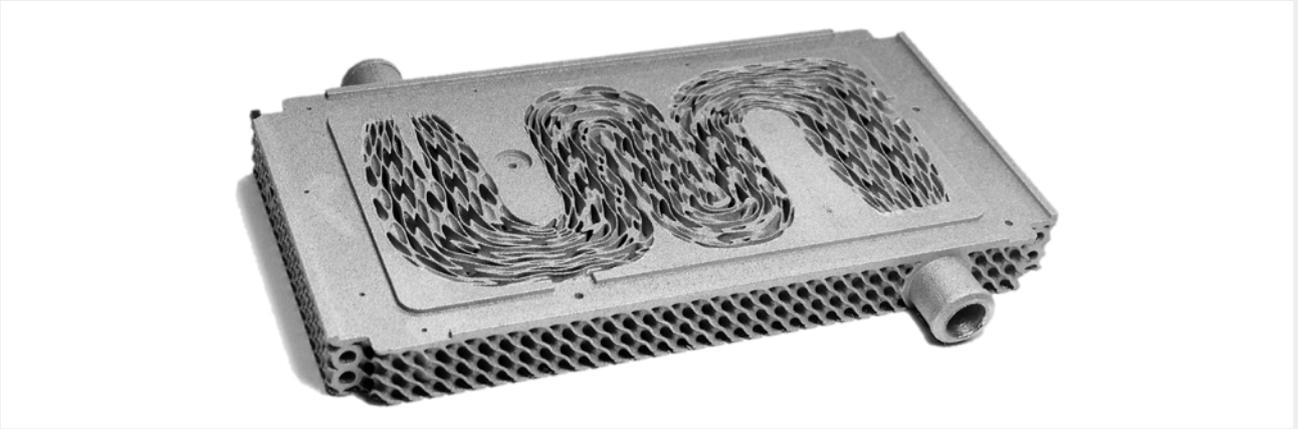


圖 4：Puntozero 利用 Gyroid 的 TPMS 晶格與流力分析進行 field-driven 的熱交換器（圖片來源：nTopology 官網）



圖 5：數可科技使用 EOS 製作具晶格結構的顱內植入物（圖片來源：數可科技）



圖 6：燃油冷卻的熱交換器設計 (FCOC)（圖片來源：nTopology 官網）

結語

結合了 nTopology 在設計上的軟體優勢與 EOS 設備的高品質生產技術，數可科技利用多年累積的經驗持續在積層製造領域服務客戶，並希望持續拓展廣度與深度以寫下臺灣製造的新頁。■



3-matic 軟體的晶格結構設計於 3D 列印的潛力

■通業技研

前言

伴隨 3D 列印設備、材料與技術的演進，3D 列印應用從原型設計、功能測試邁向終端生產製造。而眾所皆知 3D 列印最令人印象深刻的特點之一，就是可以靈活創造出具複雜內部晶格結構的零件，這在傳統製程是不可能做到的。甚至近年製造商為了材料減重或者節省 3D 列印用料成本等因素，也開始運用輕量化設計，例如工業零件減重（航空航太、汽車等）、醫療植入體及消費產品（矯正鞋墊、工藝品）等。

利用 Lattice 點陣模組(晶格結構)達輕量化設計

Materialise 3-matic 軟體中的晶格結構模組提供 3D 列印強大的設計工具，減輕重量、吸收衝擊、滲透性、熱交換和熱力學應用的理想選擇，讓您可以在產品內部實體或外部輪廓設計多種不同的陣列結構、隨形結構或隨機結構，或者自由地在零件上創建自己想要的結構，導入 STL 或者賦予需要的網格參數，進而達到

增強緩衝、增加孔隙率，或減輕產品重量等目的。（晶格是 3D 單元格的重複，由特定幾何形狀的樑和節點組成，以創建結構。）

Lattice 點陣模組 3 大應用

傳熱系統應用

借助晶格設計於 3D 列印之應用，用戶能夠快速創建具有高度複雜和小型化設計的高效電子結構，例如熱交換器、冷卻系統、催化轉換器或者航空設計中使用的絕緣層中添加晶格結構，使熱空氣從發動機引導到機翼以進行除冰，甚至鋰離子電池也能使用晶格進行熱管理。

吸收衝擊應用

晶格設計非常適合用於衝擊吸收應用，例如用於頭盔護墊以提供卓越的保護性能，還能帶來透氣性和出色的貼合度；或者應用於製作 3D 列印跑鞋鞋底，有助於緩衝跑步者的衝擊力；或者應用於汽車和航空領域



圖 1：Lattice 操作流程

所需要的機翼夾層金屬晶格結構，以提供更好的衝擊保護，同時還能兼具輕量化並改善成本高昂的問題。

流體滲透應用

利用多孔結構設計應用於再生醫學領域，打造骨組織支架晶格結構，促進組織生長的同時，也能提供結構性支撐。

透過 3-matic 軟體生成晶格結構的 3D 列印設計案例

案例 1：輕量化汽車座椅材料用量減少 72%，依然非常結實（日本豐田研發實驗中心）

豐田汽車公司和豐田研發實驗中心與 Materialise 一起設計並列印了一個輕量化座椅，以最少的材料，達到最優化的設計。這個資料量極大的 (250 GB) 設計檔在操作、傳輸和加工方面都非常複雜，只能透過 Materialise 切層技術來實現。讓豐田的這個輕量化汽車座椅材料用量減少 72%，座椅重量從 25kg 降到 7kg。

案例 2：輕量化結構使鈦合金航空器鑲嵌件減重 66%

對於航空航太零件來說，任何重量的優化都是非常重要。而如何減少重量並保持零件本身結構強度，這變

得非常重要。該鑲嵌件是用於連接衛星上的零件，需要很大的承重。傳統的設計中是透過使用鋁合金或鈦合金做成整塊實心磚型，經由使用 3D 拓樸優化和輕量化 3D 設計使零件重量從 1454 克減少至 500 克，同時還可以解決原有設計中的熱塑性應力問題，進而有效減少應力對零件的損耗，以及提高負載平衡。

案例 3：韓國 KLIO Design 運用 Materialise 3-matic 軟體晶格結構，減輕汽車重量的同時，確保小體積的穩定性

韓國設計公司 KLIO Design 推出一款名為「Open structure Mobility Concept」的小型電動概念車，2016 年於首爾智能移動國際會議暨展覽會上展示，其中其輪圈蓋、車輪防護裝置、方向盤、部分車架以及晶格結構座椅設計都是採用 3D 列印而成，實現輕量化又能確保小體積穩定性。在設計過程中均採用 Materialise 3-matic 建模軟體以及 Magics 軟體協作完畢。■

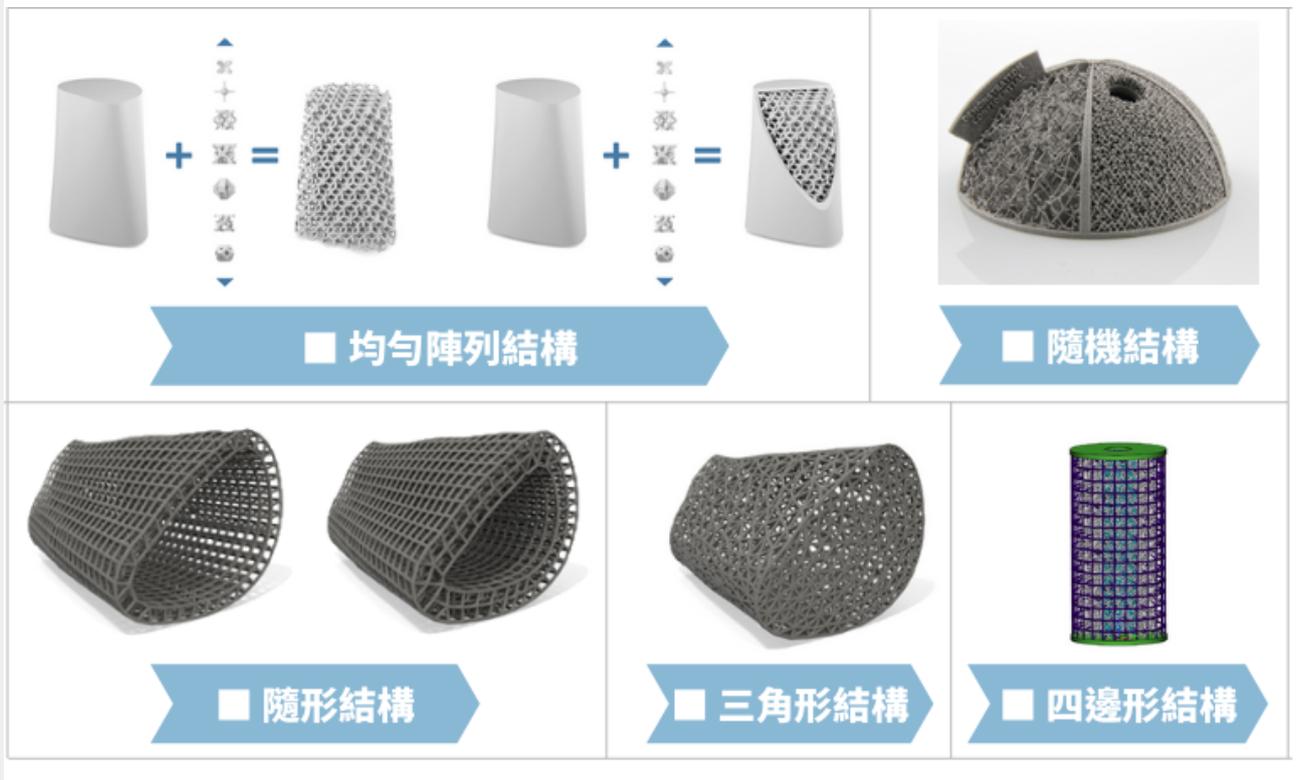


圖 2：3-matic Lattice 模組中生成多種點陣結構

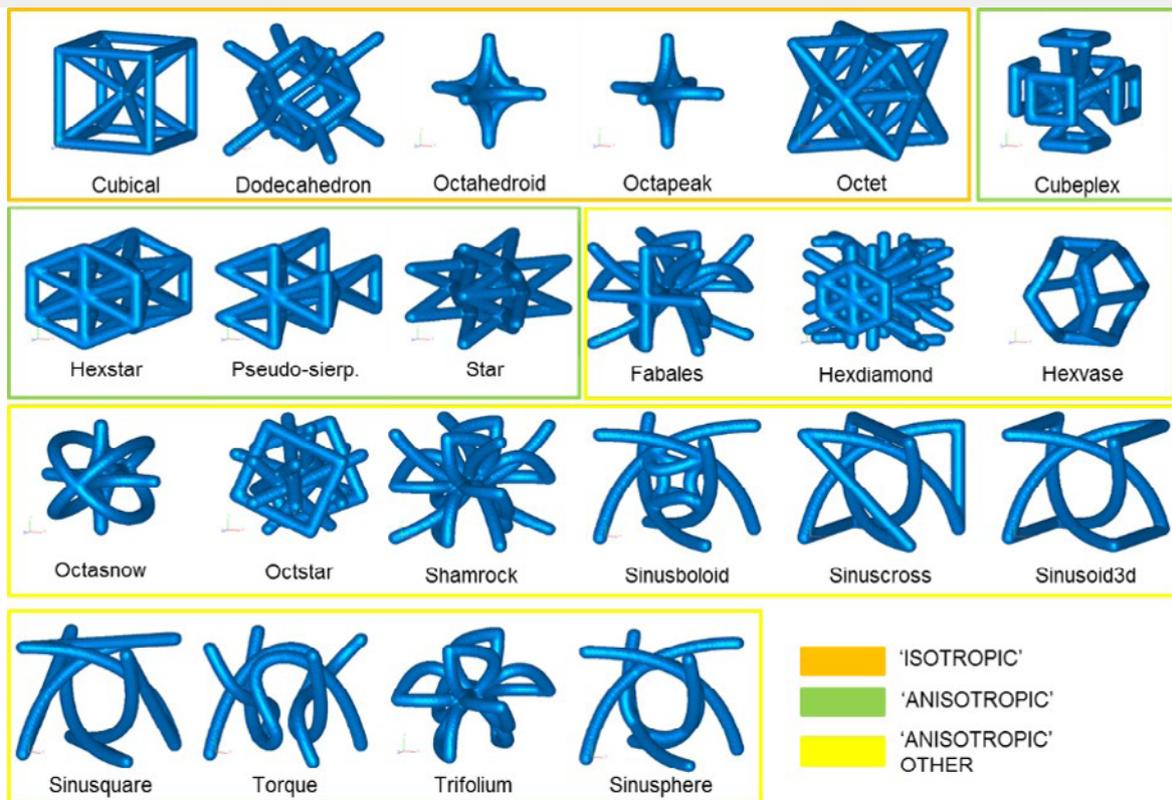


圖 3：3-matic Lattice 模組中靈活的點陣單元晶格庫



圖 4：透過使用 3-matic 的晶格結構 + 紋理模組，可設計傳統 CAD 無法設計的複雜點陣結構，甚至可在每個 STL 檔案上加入想要的紋理效果

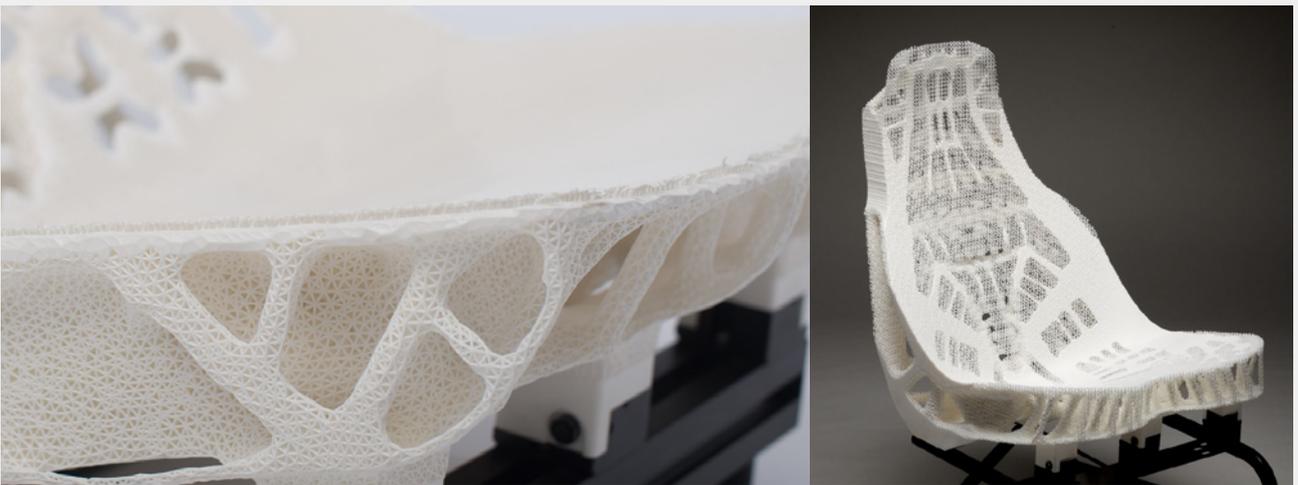


圖 5：日本豐田研發實驗中心使用 3-Matic 軟體晶格設計讓座椅重量從 25kg 降到了 7kg

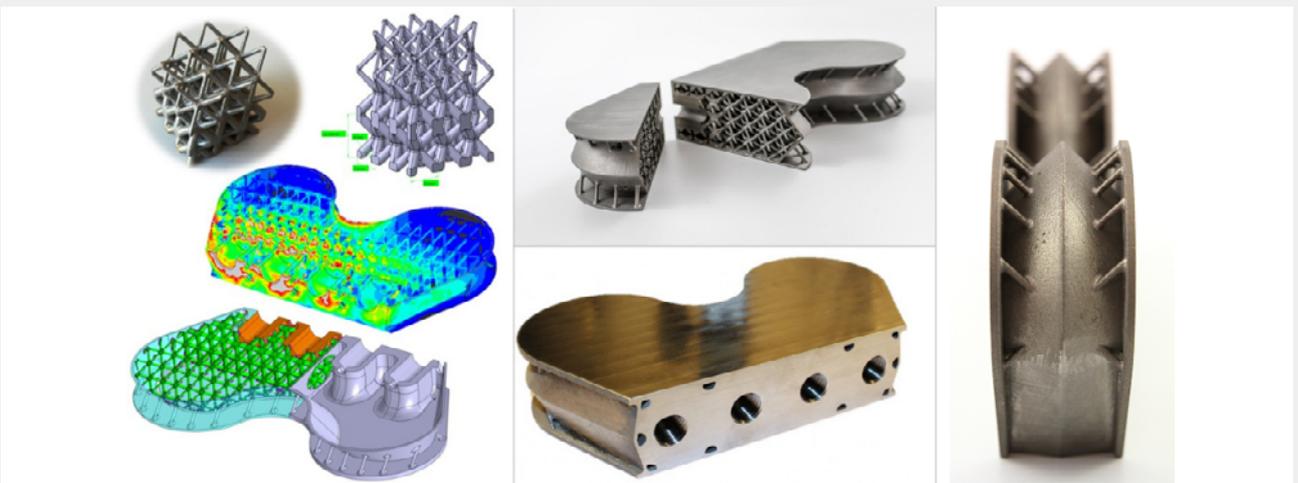


圖 6：透過 3-Matic 軟體輕量化結構對鈦合金航空器鑲嵌件不僅減重 66%，並具有增加耐用性和改善負載分佈等額外優勢



圖 7：韓國設計公司 KLIO Design 於 2016 年首爾智能移動國際會議暨展覽會上展示他們的 3D 列印電動概念車



圖 8：韓國設計公司 KLIO Design 運用 3-matic 軟體的晶格結構設計汽車座椅



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



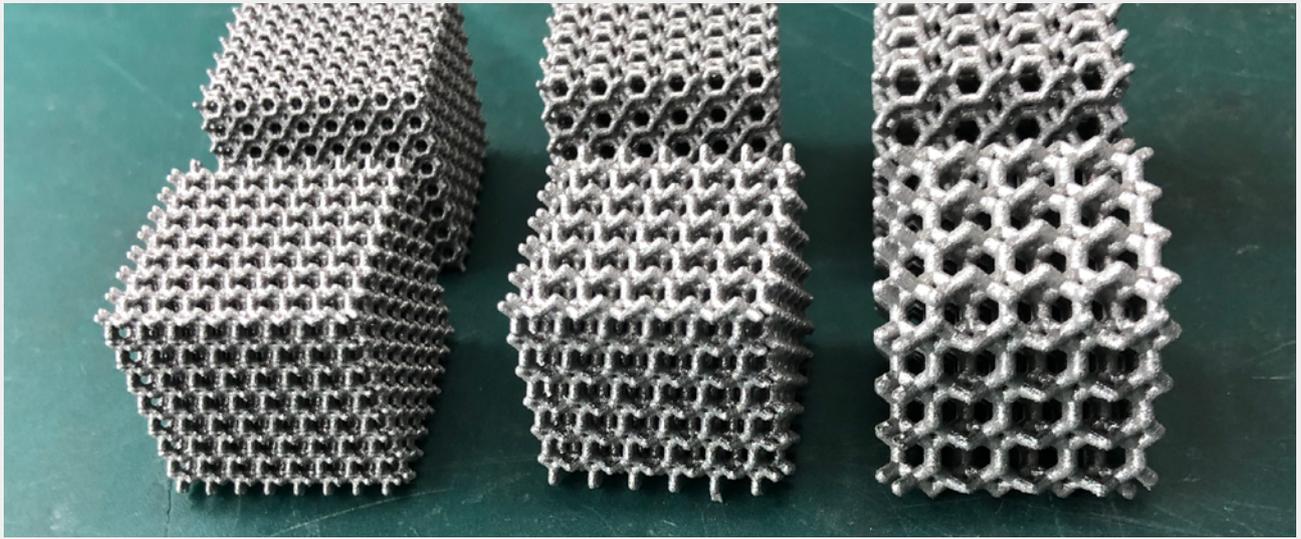
上奇科技

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

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





金屬 3D 列印晶格化結構的應用與優勢

■虎門科技 / 蔡瑞堂 專案經理

前言

3D 列印最顯著的特點之一是能夠製造具有複雜內部晶格化結構的零件，利用多個晶格節點相互連線，形成立方體或四面體的重複 3 維形狀，滿足了傳統 CNC 加工成型無法達成的技術限制，更具備減材、高強度 - 輕量化、增加表面積等多項的產品設計與製程優勢。

隨著金屬 3D 列印的技術發展成熟，其製程特別適合應用於「結構複雜」、「高強度 - 輕質量」、「高度客製化」與「降低成本」的製程優點，也在逐漸應用於各種產品製造與使用需求的滿足，例如拓樸優化或是晶格化結構使產品輕量化並維持材料的高強度等優點，更是被應用於汽車、航太工程、生物醫學等相關產業應用與產品改善的主要因素。

晶格化結構的設計與應用

虎門科技提供優質的「SolidMEN-300」金屬 3D 列印（選擇性雷射熔融，Selective Laser Melting, SLM）

的技術服務，具備雷射功率 500W 及 300mm X 300mm X 300mm 大加工平台尺寸等規格，如圖 1 所示。

透過金屬 3D 列印製程可以製造出具有次序、規則且均勻的晶格化結構與拓樸優化結構，實現以「高強度 - 低質量」為首選產品的機械特性。並結合虎門科技的電腦輔助分析 (CAE) 強項，以 Ansys Additive Suite 軟體，協助金屬 3D 列印的製造設計、製程模擬以及微結構分析。在 ANSYS Additive Suite 模組分析顯示，同樣剛度要求下可達成節省 61% 材料的拓樸優化設計如圖 2 所示。以及透過「SolidMEN-300」實際列印產品，顯示具相同剛度之條件下具有晶格化結構之產品的質量，僅為非晶格化產品的 36%，如圖 3 所示。

金屬 3D 列印的晶格化結構製程技術，讓以「高強度 - 低重量，強重比」需求為主的產業，也增進更多過去 CNC 加工無法達成的效益與優勢，例如醫療產業中，



圖 1：虎門科技「SolidMEN-300」金屬 3D 列印設備

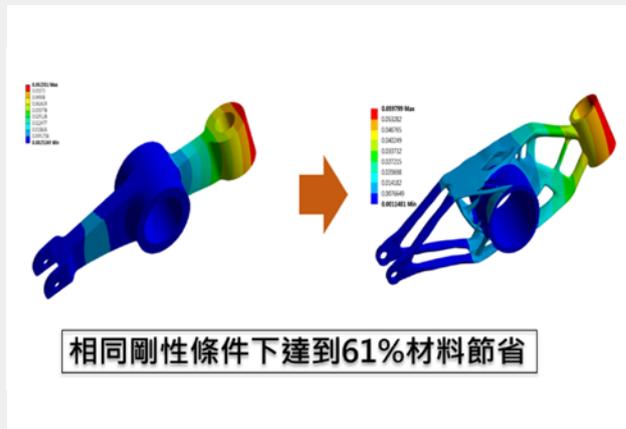


圖 2：ANSYS Additive Suite 模組拓樸優化設計

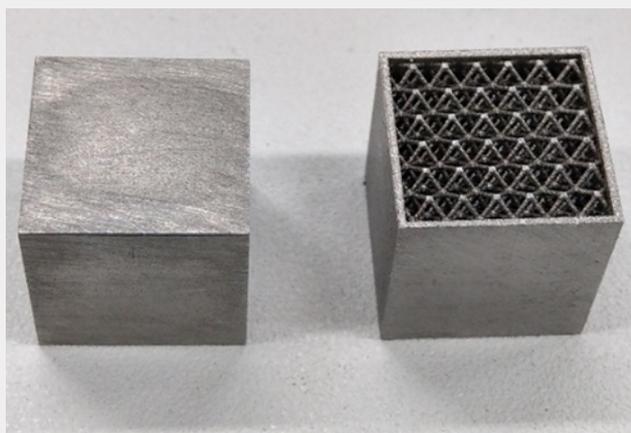


圖 3：金屬 3D 列印晶格化結構之產品



圖 4：以金屬 3D 列印製成的具晶格化結構之腕關節臼杯

以晶格化結構設計的組織，能夠在促進組織生長的同時提供結構性支撐，如圖 4 所示，或是以晶格結構設計的輔具產品，能減輕重量並維持所需強度，減少病人使用中的不適與不便；在航空產業可透過晶格結構設計，讓機翼夾層或其它零件同樣具備很高的強重比優勢，以期減輕飛航的成本；而汽車產業除減輕車重外，車體具備多孔狀或晶格化的結構，能有效吸收撞擊時的能量，以提高汽車的安全性；對於熱交換及化學的應用產業，晶格化的結構更可有效增加接觸表面積數倍以上，能大幅提升熱傳及化學反應的效率。

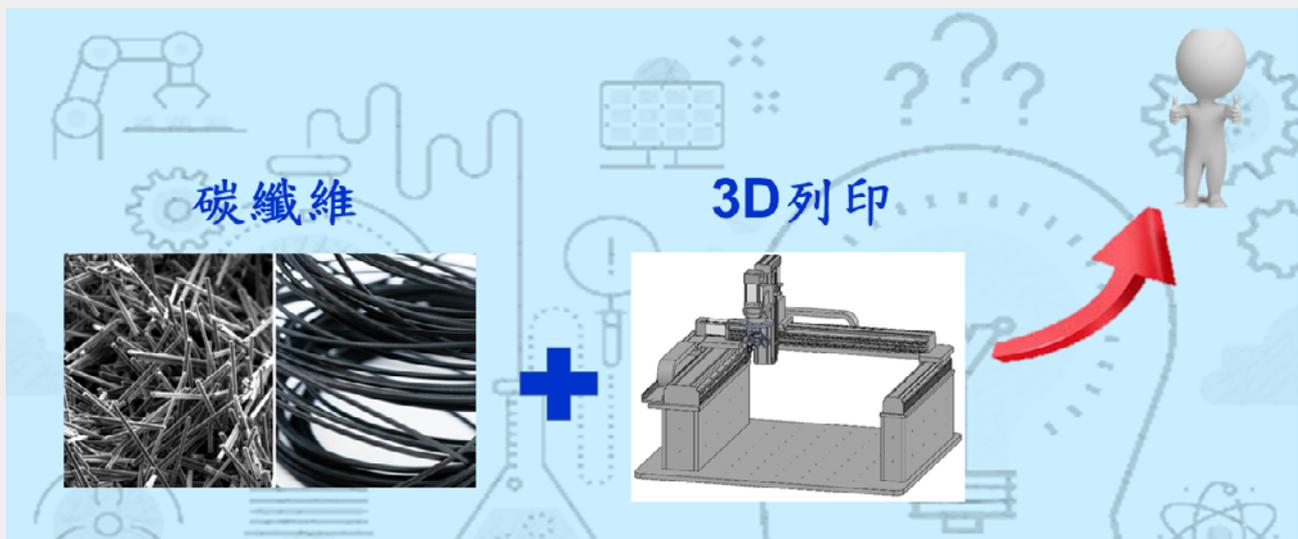
結語

於此可以了解到，金屬 3D 列印特有的晶格化結構具

有強大的製程優勢，在各領域的產品設計與應用都扮演著重要角色，可以使零件更輕、更多接觸面積，更有效地吸收衝擊力，並能根據不同用途進行定製與設計改善，晶格化結構特有且無法透過傳統 CNC 加工取代的優勢，正為航空、醫療、汽車工業及化工產業，帶來更廣闊的應用趨勢與潛力。■

參考資料

- [1].晶格設計最佳化, CAE 模具成型技術雜誌, 2020 年 8 月。
- [2].ANSYS_AM_Product_Application_ 原廠報告。



碳纖維複合材料 3D 列印技術發展現況、限制，以及未來趨勢

■臺灣科技大學機械工程系 / 鄭逸琳 教授

前言

碳纖維複合材料具有極佳的機械性質與輕量化的優勢，近年來被應用於航太主結構之項目與量大幅成長，有六成以上市場屬航太產業。而 3D 列印近年來的發展，在各類材料上均有所斬獲，同為「疊層」的概念，3D 列印技術應該可快速應用於複合材料製程上，也成為大家非常有興趣的方向。但受限於複合材料工件常在特定曲面或平面上纖維需要連續之問題，目前只是以 XY 平面的成型、在 Z 軸方向堆疊的 3D 列印方式，不全然能列印出如手工疊層的效果，更遑論優於現有複合材料加工製程進而取代之。

目前 3D 列印碳纖維複合材料的商用機臺雖然有限，但持續有許多研發的投入，是深具發展潛力與令人期待的。以下將介紹碳纖維複合材料 3D 列印技術發展的現況，並討論其應用限制與未來趨勢。

碳纖維複合材料 3D 列印技術發展現況

將碳纖維與 3D 列印技術結合，最直覺的方式，是在常見的熱塑性線材 (ABS、PLA) 中，混入短纖維 (short fibers，或稱 chopped fibers)，纖維的長度小於 1 mm，直接搭配線材擠出型的 3D 列印機即可列印。此類的線材，碳纖維的含量約為 20%，雖可提升一些材料的剛性，但強度仍以原線材材料的強度為主，增加有限，且因擠出時碳纖維會磨損噴頭，故較建議使用不鏽鋼或其他較耐磨耗的銅合金噴頭。除了 ABS 與 PLA，Nylon 亦是常見的複合材料熱塑性基材，市面上容易取得已表面處理過的碳纖維能與 Nylon 良好接合，且熔點不高容易列印，因此也是常見的線材材料。

相較於貢獻有限的短纖維，複合材料的應用多是採用連續纖維，能在纖維方向承受更高的應力，大幅增加強度，並可依受力與強度需求設計各疊層纖維的方向與分佈。目前市面上的連續纖維複合材料 3D 列印，以熱塑性的基材 (matrix) 為多，複合材料的線材透過

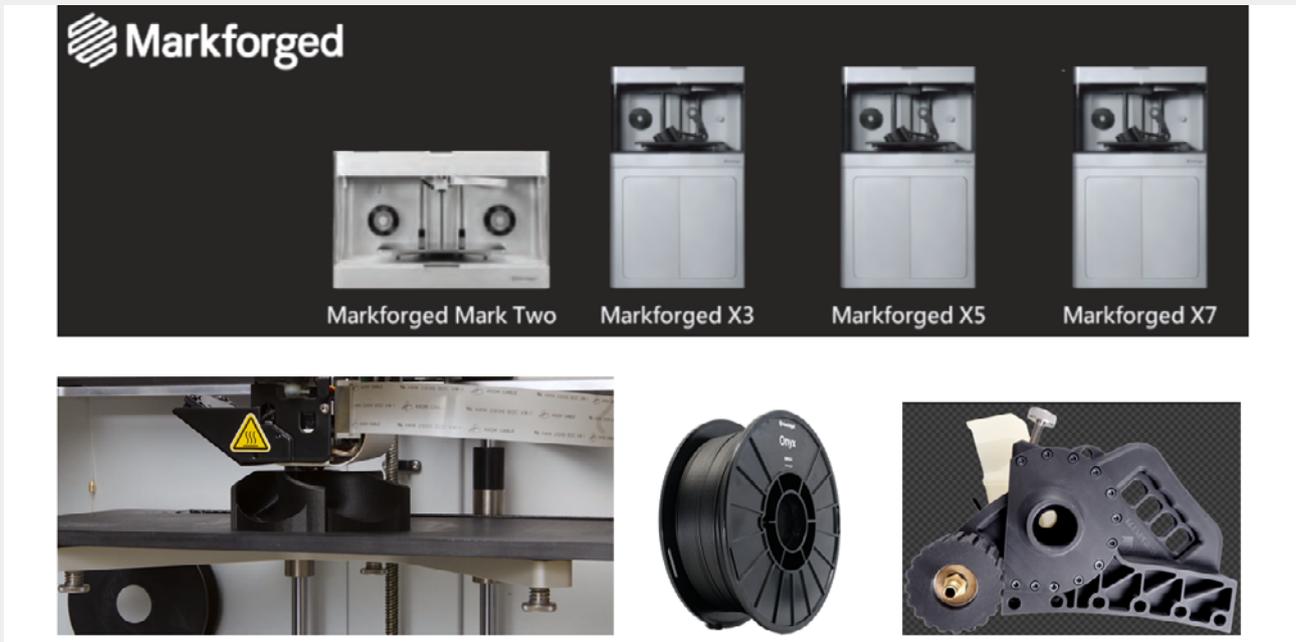


圖 1：Markforged 公司機臺、擠出頭模組與列印成品。（資料來源：Markforged 公司網站與官方文件）

加熱方式擠出，但因需要切斷纖維，故仍需使用專用機臺或特別的擠出模組設計，加入纖維剪斷機構。

熱塑性基材的連續纖維複合材料 3D 列印以 Markforged 公司為代表，其機臺為雙噴頭式設計，一個噴頭擠出一般線材或尼龍線材，可選擇有無添加短纖維，列印工件的大部分；另一個噴頭則是擠出特殊處理過以尼龍為基材的連續碳纖維，用來加強局部區域，且列印完連續纖維後必須再覆蓋另一噴頭的材料。Markforged 除了碳纖維，也有玻璃纖維及克維拉 (Kevlar) 纖維可供選擇。

熱塑性的基材除了尼龍之外，也有嘗試使用 PEEK、PEKK 等高性能材料，但相較於容易列印的尼龍，PEEK 類的材料因為熔點高而不易列印，且機臺腔體內溫度需保持穩定以確保列印品質，機臺設計門檻較高。Desktop Metal 公司近年推出的 Fiber 機臺，除了尼龍與碳纖維的組合之外，亦有 PEEK 或 PEKK 與碳纖維的組合。Fiber 機臺也是雙噴頭式設計，一個

是擠出短纖維的線材，另一個則是擠出帶狀的連續纖維 (tape)，為微型化的自動纖維黏貼系統 (Automatic Fiber Placement)，他們稱之為 μ AFP，作為局部區域的加強。

無論是 Markforged 或 Desktop Metal，連續纖維都是作為特定區域的加強之用，需同時搭配短纖維線材列印，無法單獨使用；而熱塑性基材在較高的工作溫度下，容易被軟化或熔化。

在傳統的 FRP 應用中，基材多為熱固性的環氧樹脂類 (Epoxy) 材料，強度更佳且能承受更高的溫度。但若將熱固性的樹脂導入 3D 列印中，因熱固反應的時間較長，基材的材料配方與整體的列印製程需根據固化需求而調整。短時間能夠固化的樹脂以光固化樹脂為首選，市面上 Continuous Composites 公司的系統即是採用機械手臂，將浸潤過可光固化環氧樹脂的連續纖維擠出，並同時光固化成型。一般而言，光固化成型的樹脂基材強度，通常不及完整熱固後樹脂的機械

Continuous fiber tape (μ AFP)

Chopped fiber filament (FFF)

Balance Shaft Gears
(PEKK+CF)Rocket Tail Cone
(PEEK+CF)

圖 2：Desktop Metal 公司機臺與列印成品。（資料來源：Desktop Metal 公司網站與官方文件）

性質，且碳纖維有可能遮蔽部分光線，讓內部樹脂固化不完全而影響最後工件的機械性質。

為解決上述問題，臺灣科技大學機械工程系團隊開發的連續碳纖維 3D 列印複合材料技術，選擇可光固與熱固的環氧樹脂類材料配方，將碳纖維事先預浸樹脂後抽成成捲的線材，確保纖維束內部亦充分填充樹脂，於擠出模組處再次通過樹脂後列印，列印過程中以 UV 光快速固化定形，待整體工件完成後，再進行加壓加熱之後處理，確保材料完整固化達到其最佳的機械性質，更接近傳統碳纖維複合材料應用之需求。

應用與限制

3D 列印的應用方式，大致可分為兩大類，一為製作產品開發過程中的原型件 (prototype)，另一為用來生產製造可以直接使用的終端零組件或產品。前者以形貌與加工速度為主要考量，後者則需額外顧及產品的機械性質與使用者需求。以原型件的應用方式而言，目前添加短纖維的複合材料線材列印、熱塑性基材連續

纖維局部加強的複合材料 3D 列印（如 Markforged、Desktop Metal），均能達到基本需求。添加短纖維者較一般 ABS、PLA 有較佳的機械性質，但改善仍屬有限；熱塑性基材連續纖維複合材料對於工件機械性質的改善，取決於局部加強的方式與佔比，且因同時需搭配短纖維線材，不易精準掌握列印成品的機械性質，故要導入直接生產終端複材零件或產品，仍有其限制。

若要達到如航太零組件應用之機械性質需求，熱固性基材的連續碳纖維複合材料 3D 列印技術則較有機會取代傳統複合材料的製造方式，因所列印的工件為全複材零件，而非僅是局部加強，且基材的機械性質較佳。不過，此類技術投入的公司與研發單位較有限，目前製程技術上仍各有其限制（例如需要後處理），若有更多資源投入，或根據特定應用加以解決、開發專用機臺，應是很有潛力的。

在許多連續纖維複合材料 3D 列印的樣品呈現上，大

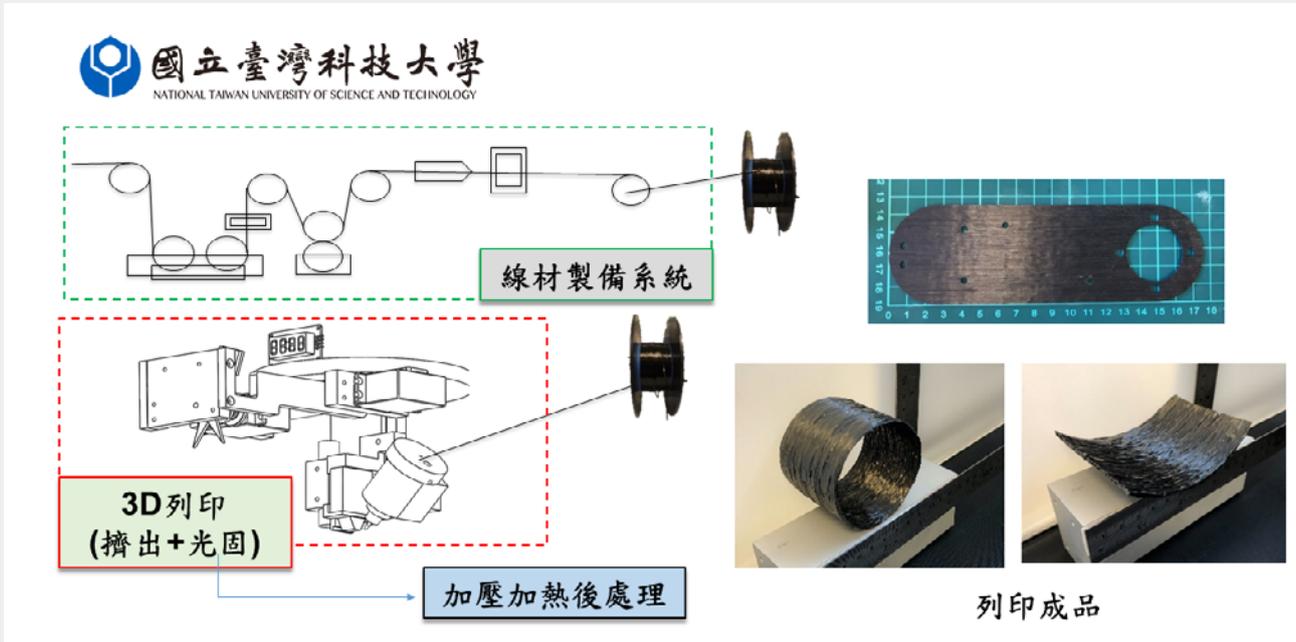


圖3：臺灣科技大學團隊的連續碳纖維 3D 列印技術

多強調幾何形狀，以凸顯 3D 列印的優勢，列印的路徑是連續且會有轉彎的。但若嚴格以複合材料的應用來看，連續纖維應該要保持平直而不能皺摺或轉彎，方能達到承受張力的效應，顯然此議題目前是被大家忽略的。為了達到纖維不轉彎，將無法直接採用擠出型的列印路徑，而是需要規劃更多道次的不轉彎路徑，將增加列印的時間。除此之外，若工件需要纖維連續的方向不在 XY 平面，而是特定斜面或曲面，目前 3D 列印以 Z 軸方向堆疊的方式將無法達成，需另外透過特殊路徑規劃搭配三軸同動機臺或機器手臂，輔以支撐模具方能實現。另外，編織形式的纖維 (woven fiber) 目前尚無法以現有的複合材料 3D 列印技術處理，EnvisionTEC 公司雖曾推出相關機臺，但已不再販售。

未來趨勢

目前商用的複合材料 3D 列印系統仍有限，技術的發展尚有許多的可能性。未來發展的趨勢，應是以連續纖維複合材料為主，高性能的熱塑性基材，如

PEEK、PEKK，將獲更多的青睞與應用，3D 列印系統的門檻也將提高。因應全複材零件的應用需求（如汽機車、航太……等），熱固性基材的連續纖維複合材料 3D 列印技術將日益受到重視，並朝應用導向的製程與材料發展，進而開發專用機，以符合生產之需求。雖然目前市面上的複合材料 3D 列印技術未臻成熟，但隨著更多的關注與期待，充分發揮 3D 列印與複合材料優勢的技術應是指日可待。■

T3D



光固化 3D 列印應用，T3D 提供多樣化選擇

■臺科三維科技 / 謝秉臻 博士

前言

3D 列印作為工業中一個成長快速的領域，數十年間擴展出多樣化的應用，包含教育、醫療、牙科、珠寶、工程等，應用在需要少量多樣的使用情境下，如產品原型，或是形狀複雜無法使用模具大量生產的物件，因此越來越多企業將 3D 列印應用於產品研發，甚至跨足 3D 列印領域。

而 3D 列印產業經過數十年的演進，成型技術已發展出多種類型，當中最成熟的，包括光固化聚合技術、材料擠製成型技術、材料噴塗成性技術、粉末熔融成型技術。基於應用領域、成本、空間、材料種類等因素，不同的技術都有擅長的應用領域。其中光固化聚合技術具有成品表面光滑、精度高等優點，適合應用在需要高精細度的領域，如牙科模型、珠寶、精密的工程零件等。

3D 列印工程材料，多種性能可供挑選

對於產業界來說，3D 列印的成品易碎且韌性遠不如熱塑性塑膠，難以如工程塑膠般應用。因此，在工程領域方面，臺科三維 (T3D) 投注心力研究如何使光固化 3D 列印材料擁有工程塑膠的強度以及韌性，從高強度如壓克力一般的塑膠，到高延展性如橡膠般的材質。目前，T3D 開發的光固化工程材料如下：剛性樹脂 (Rigid Resin)、堅韌樹脂 (Tough Resin)、耐用樹脂 (Durable Resin)、類 PP 樹脂 (PP like Resin)、柔韌樹脂 (Flexible Resin)、彈性樹脂 (Elastic Resin)、類矽橡膠樹脂 (Si like Resin)……等。以下簡述這些工程樹脂特性：

- **剛性樹脂 (Rigid Resin)：**具高剛度、抗變形及低收縮率，故剛性和精度極高，適用於薄壁和具有特徵物件的列印。
- **堅韌樹脂 (Tough Resin)：**類 ABS 材質，是具備高韌性、強度、剛度、耐磨性且脆性降低的材料，平衡強度和韌性使列印物件和組件可承受短暫的壓力

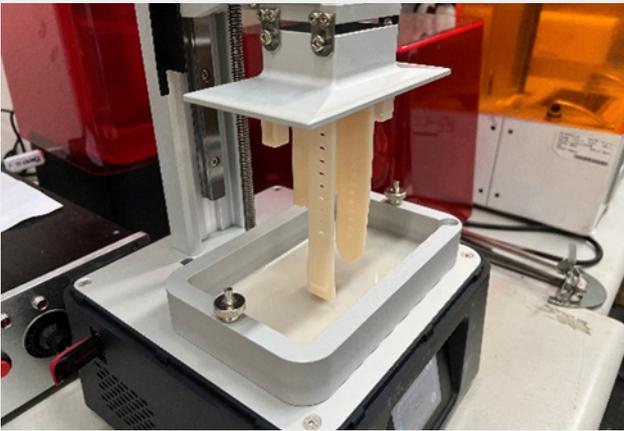


圖 1：硬至壓克力，軟至矽橡膠，T3D 的樹脂皆可列印

或應變，適用於堅硬牢固、對強度要求高但同時也需要延伸性的功能物件和組件。

- **耐用樹脂 (Durable Resin)**：具伸長率、抗變形能力、復原力與強度兼具，適用於反覆拉伸、彎曲、壓縮後快速恢復形狀物件。
- **類 PP 樹脂 (PP like Resin)**：具高伸長率、柔韌性及表面硬度兼具，可生產光滑、光澤物件，並具有高衝擊強度。
- **柔韌樹脂 (Flexible Resin)**：類橡膠材質，具高彈性，適用於須彎曲、壓縮、模擬彈性觸感、符合人體工程的物件或多材質組件。
- **彈性樹脂 (Elastic Resin)**：類矽膠的觸感，適用於需彎曲、伸縮、重複壓縮等軟性且不易被撕裂的物件。
- **類矽橡膠樹脂 (Si like Resin)**：類矽膠性能，適用於需彎曲、伸縮、重複壓縮等軟性且不易被撕裂的物件。

T3D 光固化樹脂，自由應用於多種領域

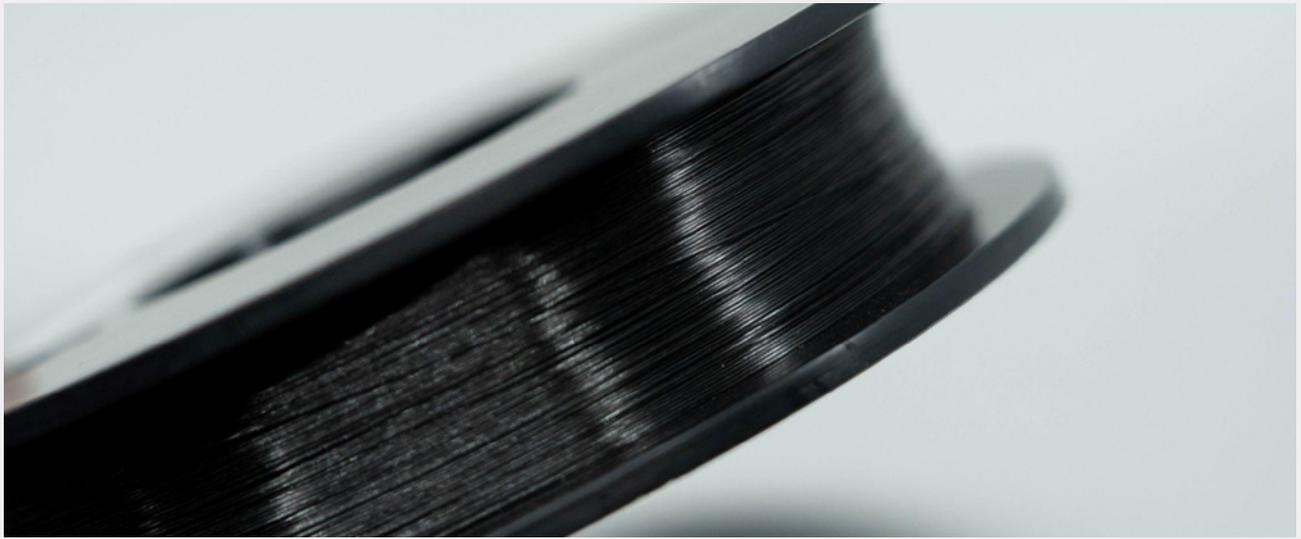
光固化 3D 列印的多種應用領域，T3D 皆不缺席，並且致力於為更多不同的應用情境開發新材料。T3D 除提供光固化工程材料，還提供多種應用領域的樹脂如下：



圖 2：從工業量產至家用領域，皆是 T3D 光固化樹脂擅長的

- **牙模樹脂**：應用於牙科領域的牙模樹脂，能以極小的公差列印出模型，並且成形後幾乎不會發生變形，能完美呈現細節同時具有高精確性；
- **類蠟樹脂**：可用於珠寶業或牙科領域的類蠟樹脂，具高精度、低收縮率且含蠟可達到極佳的翻鑄品質；
- **高速樹脂**：可快速列印產品原型的高速樹脂，具強度、列印速度約快 5-10 倍，適用於急件場合；
- 其他還有如可用於教育以及家用領域的模型樹脂，以及可用水清洗的水洗樹脂等。

以上光固化材料皆可用於市售 DLP、LCD 光固化 3D 列印機，無需綁定機臺，使用上具有高度自由度，T3D 能讓更多人以及企業在不同預算下將 3D 列印應用於生活以及產業中。■



當 3D 列印遇上碳纖維，告訴你 3D 列印的強大！

■實威國際 / 蔡孝源 臺北設備工程部 工程師

前言

3D 列印的物件，到底能不能直接當作產品使用？這是許多設計師與工程師，最常問我的問題，答案是當然可以！這完全看使用者如何應用 3D 列印技術，並選擇適當的 3D 列印材料。設計者需要先充分的理解並掌握 3D 列印的製程，再著手進行設計產品。3D 列印只是一項工具，這個問題就如同一位廚師問賣炒鍋的商家，這炒菜鍋炒的菜能不能吃？好不好吃？在我看來，要成就一個 3D 列印的成功案例，必須具備的要素有 3 項：

- 使用 3D 列印技術，相較於傳統工法，節省更多的成本；
- 使用的材料，透過 3D 列印，在應用上更加方便，產品性能表現更好；
- 專案設計者充分理解 3D 列印的優勢與限制。

什麼是 Markforged 碳纖維 3D 列印機

Markforged 是美國的 3D 列印機品牌，創辦人是

Gregory Mark，他起初就是發現了 3D 列印塑料材料強度的不足，為了解決這個問題，於是在自家客廳開發了專門列印碳纖維材料的 3D 列印機，在開發的過程中，所使用的 3D CAD 繪圖軟體，就是 Solidworks！Markforged 的研發團隊充分利用了 Solidworks 的設計與模擬功能，成功的推出第一臺桌上型碳纖維 3D 列印機 Onxy One！

3D 列印有七大技術，Markforged 所使用的是，其中的熔融沉積成型技術（Fused Deposition Modeling），就是我們常說的 FDM，看到這各位一定覺得頭痛，到底什麼是熔融沉積成型 FDM？

相信大家早上刷牙，一定會擠牙膏吧！想像一下如果我們把牙膏沿著特定的輪廓路徑，連續的擠出來，並把輪廓內部也填滿牙膏，而且重複的堆疊好幾層，我們是不是就能夠得到，一個用牙膏做成的立體形狀，這就是熔融沉積成型 FDM 的原理，只是 Markforged

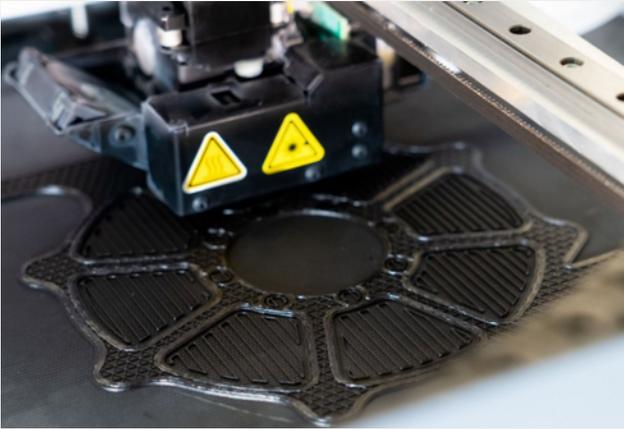


圖 1：碳纖維 3D 列印的過程

把碳纖維材料與尼龍混和製成了線捲，透過 3D 列印機把材料從噴嘴加熱推擠出來。

兼具韌性及高強度的 3D 列印材料:Onxy

碳纖維顧名思義就是碳組成的纖維，那這碳纖維到底是怎麼來的？竟然是高強度，耐化學腐蝕，又重量輕的材料！

這黑漆漆的碳纖維，原料是嫫縈 (Rayon)、瀝青、聚丙烯晴 (PAN) 等人造纖維，而目前最主流的方式，是使用聚丙烯晴 (PAN) 作為碳纖維的原料，聚丙烯晴 (PAN) 纖維也經常用於地毯、毛衣等紡織品。

將聚丙烯晴 (PAN) 纖維，透過加熱工序，去除其他雜質，留下了碳，這個過程叫做碳化。

碳化過程後的碳纖維不能馬上使用，必須加溫到 3000 度，將纖維石墨化，此時的碳纖維經過石墨化，結構上變得更加穩定，強度也更好，接著將纖維浸泡環氧樹脂，就像是將纖維裹上一層樹脂一樣，以便抽絲並將纖維收集成纖維卷軸，由於碳纖維的製作繁瑣，價格也昂貴，因此碳纖維也是纖維材料中的珍寶。

碳纖維的型態分為短纖維跟長纖維，短纖維顧名思

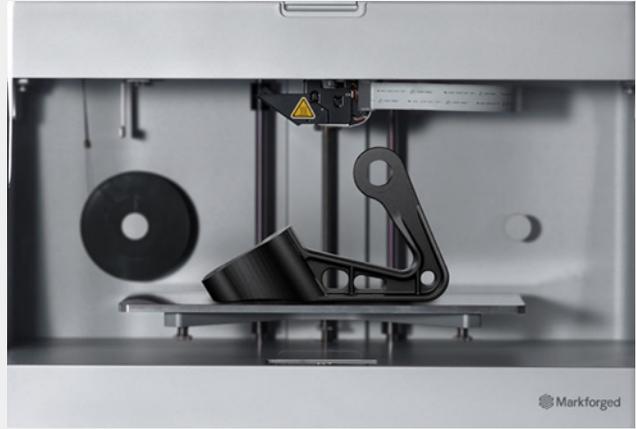


圖 2：Markforged 桌上型 3D 列印機 Onxy One

義，就是短切纖維，長度約 50~250 微米，而連續性纖維就是長纖維。Markforged 的獨家碳纖維線材 Onxy 就是在尼龍材料中混入了 15% 短纖的碳纖維，憑藉著尼龍的韌性，又帶著短碳纖維的強度，Onxy 成了具有韌性與強度的 3D 列印材料。

Markforged 3D 列印機製作零件，更輕鬆，更強大

傳統上要製作碳纖維的零件，必須使用模具壓合，先將碳纖維布，刷上環氧樹脂，之後再疊上一層碳纖維布，再刷一層樹脂，經過反覆的堆疊，再放在模具中加壓成型。

使用 Markforged 3D 列印機輕鬆多了，只要使用繪圖軟體，將模型在電腦畫好，再把模型轉檔成為 STL 檔案，上傳到 Markforged 的雲端切層軟體 Eiger，進行模型的層高及填充設定，最後輸出至列印機中，就能進行碳纖維模型的列印。Markforged 最獨特的技術，就是在列印物件中，加入連續性長纖維的技術，如同水泥牆中的鋼筋。Onxy 材料中，除了尼龍，更含有短纖的碳纖維，透過包埋連續性長纖維，就像讓設計師的零件埋入鋼筋，強上加強！

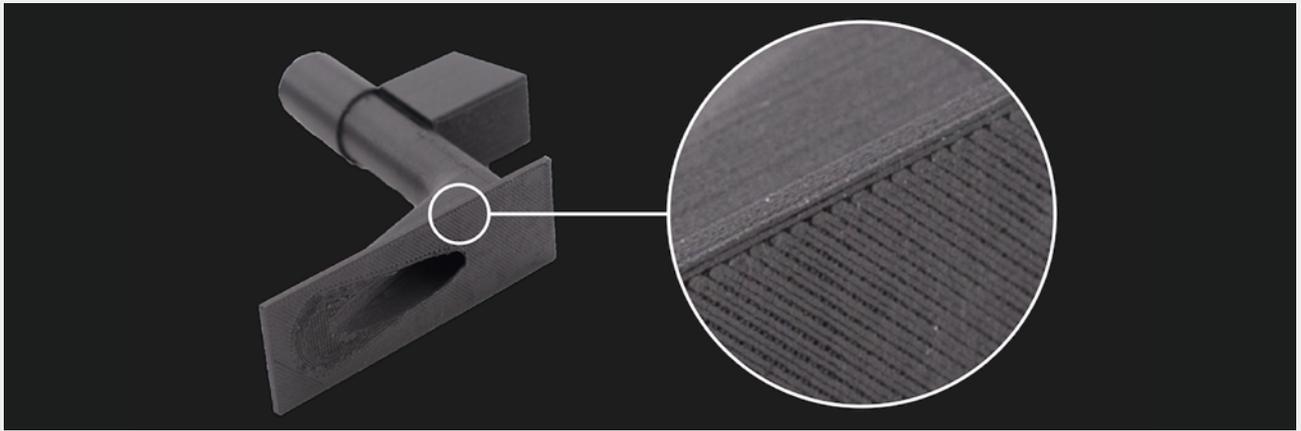


圖 3：Markforged 使用 FDM 技術所列印出來的列印路徑

在切層軟體中，除了可以自訂連續性纖維的添加比例，還能夠選擇要將連續性纖維，包埋在指定的高度，更能夠將物件從頭到腳，全部都加滿連續性纖維。若是選擇加滿連續性長纖的碳纖維，強度更能超越 6061-T6 的鋁合金！

Markforged 所提供的主成型材料，共有下列 5 種：

- **尼龍白**：單純為尼龍材料，白色具韌性；
- **Onxy**：尼龍材料與 15% 短纖的碳纖維混製，為 Markforged 的招牌材料；
- **Onxy FR**：具有阻燃能力的 Onxy 材料，不易燃燒；
- **Onxy FR-A**：兼具阻燃能力與航太零件性能認證的 Onxy 材料；
- **Onxy ESD**：具有抗靜電能力的 Onxy 材料。

而能夠搭配的連續性纖維則有下列 4 種：

- **碳纖維**：強度高，重量輕，車輛產業最常用的材料。
- **玻璃纖維**：性價比最高，強度好，防水，耐腐蝕。
- **克維拉**：耐衝擊，用於軍事用途，如：鋼盔，防彈衣。
- **HSHT 玻璃纖維**：更高強度，耐高溫的玻璃纖維。

如此多樣化的高端材料，讓工程師設計的 3D 列印零件，不管是在嚴苛的高溫環境，或是高負載的荷重之

下，都能完成任務。

自製零件不求人，人人都是工程師

相信解決問題，是每個工程師所需要面對的狀況，但有的時候，好不容易想出了辦法，但手邊卻缺乏治具或零件，要到零件區或報廢物料區又翻又找。

若您是機構工程師，零件圖畫出來了，只想先請加工商製作零件，卻要等個 2~3 天，甚至光是公司內部的發包流程，就要一個星期。

若是製程的改善工程師，可能又要拜託機構工程師畫圖，天啊！解決問題的效率跟時間，往往就在這些繁瑣的溝通，以及公司的流程中流逝。此外，這也同時消耗了工程團隊的熱情，老闆更是在無形中浪費了資產。藉由使用 3D 列印機，將能讓工程師從這些問題中得到解脫。

比方說，客製化的治具，就是碳纖維 3D 列印最好的應用，常見的應用有「夾持特殊造型的工件治具」、「檢測用的夾具」、「生產用的焊接治具」等 3 項。

夾持特殊造型的工件治具

適用於圓弧形，不平整的零件夾持，這樣的零件使用



圖 4：Onyx 是混合尼龍和短碳纖維的材料，強度更勝尼龍與 ABS，材料的熱變形溫度達 145°C，是目前最受歡迎的材料

傳統的虎鉗夾持，容易滑動跑位，使用 3D 列印碳纖維列印治具，强度高又省去外包製作治具的成本，便宜又有效率。

檢測用的夾具

與 3 次元檢測儀器搭配的治具，完全能依據各檢測儀器自行設計治具。

生產用的焊接治具

焊接特殊角度的鐵管，就會用到特製的焊接治具，使用碳纖維 3D 列印焊接治具，耐熱又兼具強度，更增加每次焊接的品質跟效率。

Markforged 數位製造，翻轉製造業

目前 3D 繪圖已經越來越方便，免費功能強大的更是不少，使用者也非常好上手，這幾年來數位自造，透過創客運動，加上 3D 列印機的平價化也逐漸普及，零件自造，已不是工廠或企業的特權。

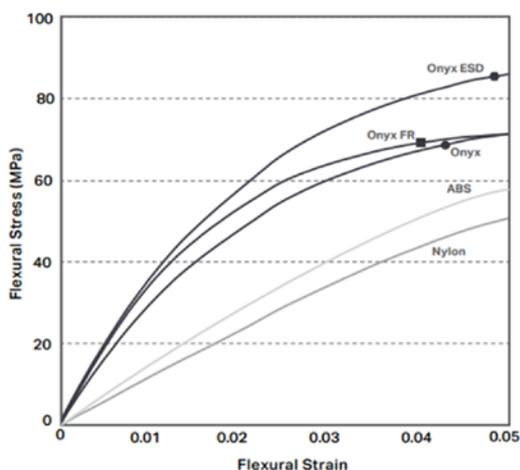
Markforged 更推行數位鍛造的概念，列印機所列印的物件都是高強度媲美金屬的功能性機構件，同時也收集 3D 列印的資料，以形成大數據，將每一次列印過程中的數據，做為下一次優化及改善的參考。

3D 列印的未來，正走向列印更大或更細緻的物件，更快的列印速度，更多樣化的材料，Markforged 除了碳纖維材料，還有金屬材料的列印機，3D 列印這把石中劍，正等待更多的工程師，科學家投入更多的熱情，也期盼越來越多創業家運用 3D 列印找到更好的應用項目，帶動整個臺灣 3D 列印產業拔劍前行。■

欲知更多詳細的技術資訊，請洽 ktsai@swtc.com

Composite Base

Markforged Composite Base materials print like conventional FFF thermoplastics. They can be printed by themselves, or reinforced with any of our continuous fibers, including Carbon Fiber, Kevlar, and Fiberglass.

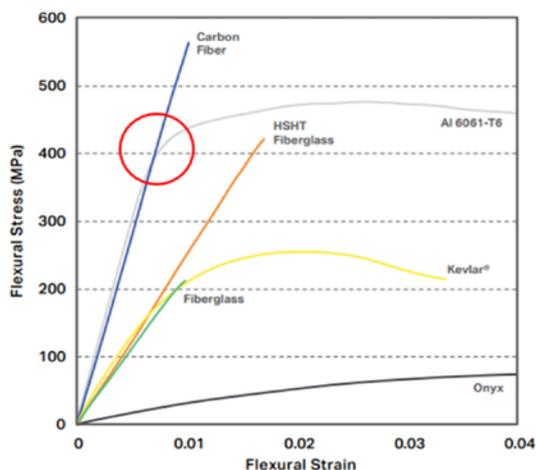


● Onyx Flexural Strength: 71 MPa

Onyx is a micro carbon fiber filled nylon. It's 1.4 times stronger and stiffer than ABS and can be reinforced with any continuous fiber. Onyx sets the bar for surface finish, chemical resistivity, and heat tolerance.

Continuous Fiber

Continuous Fibers are laid down on the inside of parts through a second fiber nozzle. They cannot be printed by themselves — instead, they are used to reinforce parts printed out of a composite base material like Onyx.



● Carbon Fiber Flexural Strength: 540 MPa

Carbon Fiber has the highest strength-to-weight ratio of our reinforcing fibers. Six times stronger and eighteen times stiffer than Onyx. Carbon Fiber reinforcement is commonly used for parts that replace machined aluminum.

圖 5：尼龍短纖維 Onyx 與連續性長碳纖維強度表，右圖紅圈處，為碳纖維強度超越鋁合金 6061-T6

特定層填充纖維

全部填充纖維

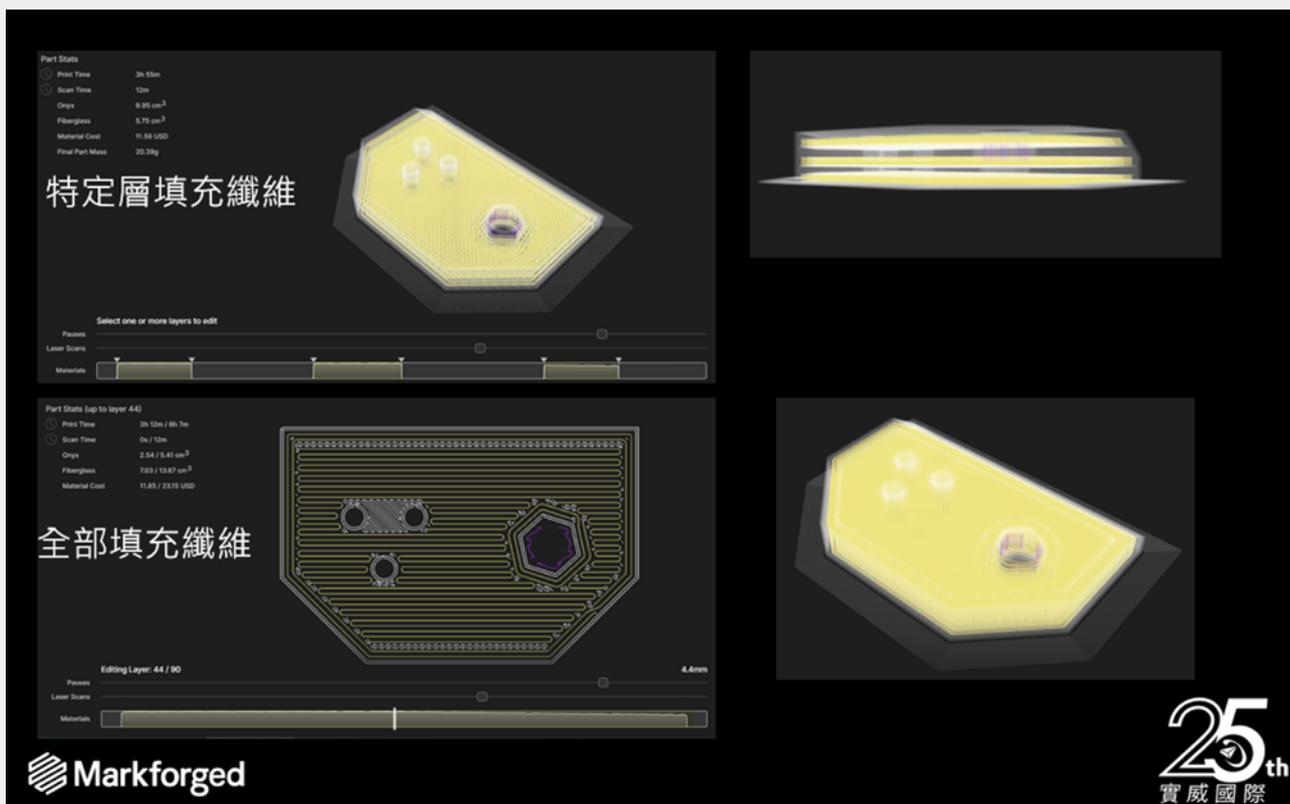


圖 6：能讓設計者選擇要將連續性纖維，包埋在指定的高度，更能夠將物件從頭到腳，全部都加滿連續性纖維



圖 7：Markforged 專用材料，左側為外型成形材，右側為內部強化的連續性長纖維



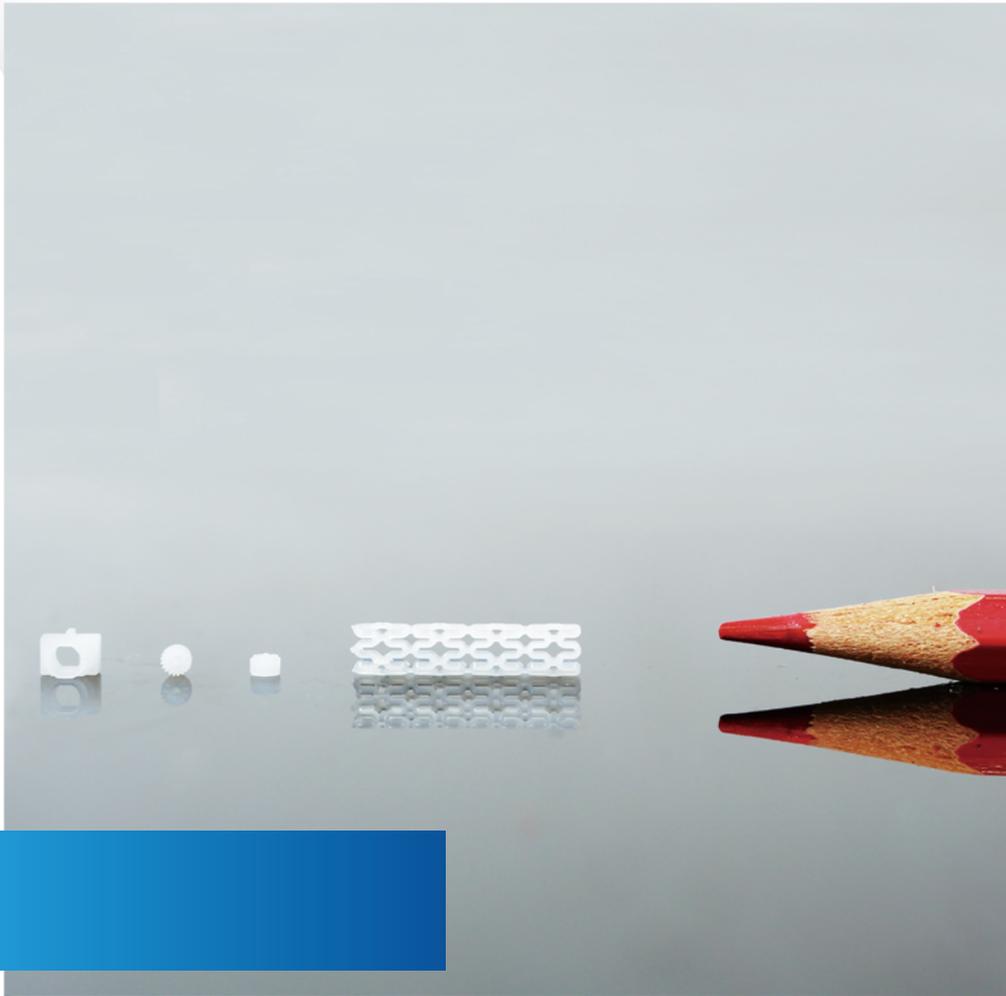
圖 8：夾治具種類，左側為夾持齒輪的治具，中間為搭配 3 次元檢測用的治具，右側為生產用的焊接治具



圖 9：Markforged3D 列印農場，高階工業型機種 Markforged X7



映通股份有限公司
ANNTONG IND. CO., LTD.



微射出成型 解決方案



ISO13485 認證



無塵室設備，符合Fed 209E
(U.S. Federal Specification)
100,000等級

Micro Injection Molding

- 微射出成型
- 微射出成型機
- 微射出模具製造

映通 讓尖端科技成真



精微塑件代工



植入物醫療塑件代工



專業醫療級塑膠射出代工

映通擁有專業開發工程團隊

完整提供客戶從

**開發設計、打樣、開模、試製作、
試量產、量產**

提供全方位解決方案

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。

