

3D 列印技術

文·圖／廖運炫

3D 列印 (3D Printing) 為一種結合材料科學、光電、機械、電腦、等領域的製造技術，能夠依照電腦輔助設計 (CAD) 所建構的立體幾何圖形，自動製造出3維實體物件。一般說來，要改變原始材料的幾何外形製造出所需產品，可利用鑄造 (casting) 或成形 (forming) 等製程，將材料從一個區域移到另一個區域，也可以利用切削加工 (machining) 的方式，將不要的材料移除，留下我們所要的產品。有異於傳統的機械製造程序，3D列印技術採用材料疊加的方式製作物件，因此又稱為加料製造 (Additive Manufacturing, AM)。這種技術能夠克服工具機加工無法完成的幾何形狀死角，做到自動化實體自由形狀製造 (Solid Freeform Fabrication, SFF)，又可快速地做出無形狀限制的原型，所以過去也被稱為快速原型 (Rapid Prototyping, RP) 技術。

20多年前此技術尚未成熟，因此只被用於產品開發階段的原型件 (prototyping) 製作，做為產品外觀的確認。經過多年發展，各種製程技術、材料與商用機，如雨後春筍般崢嶸。從過去主要在製作聚合物 (polymer) 材質的原型件，發展到製造金屬與複合材質的工業用品與工具 (tool)，也可以加工生醫材料，製造生物醫學 (biomedical) 所需的產品，如醫療輔助器具、組織工程 (Tissue Engineering, TE) 用支架 (scaffold) 等。

有鑑於3D列印具有的技術特質與發展潛力，且因技術源自美國，歐巴馬總統於2009年提出「再工業化」，編列10億美元預算，企圖用3D列印技術來重振美國製造業，促進經濟發展並降低失業人口。2012年美國國家科技委員會發布「先進製造業國家戰略計畫」(A National Strategic Plan for Advanced Manufacturing) 中所提到的發展先進製造業，就把3D列印列為重點發展技術^[1]，《經濟學人》雜誌也將3D列印比喻為第三次工業革命，可以預期3D列印技術未來將對產業發展具有重大衝擊。

主要的製程技術與工作原理

最早的加料製造技術係美國3D Systems公司約在1988年提出的光固化成形 (Stereolithography Apparatus, SLA) 法，使用的材料為液態的光硬化樹脂。1990年美國Stratasys Inc. 開發了熔融沈積法 (Fused Deposition Modeling, FDM)，將絲狀的聚合物或蠟 (wax) 以細小的噴嘴噴出。1991年美國Helisys公司開發出以紙張為原材的薄片疊層法 (Laminated Object Manufacturing, LOM)，此法的開發大部分為美國國科會所資助下完成。為了提高材料的選擇性，美國University of Texas – Austin開發了選擇性雷射燒結 (Selective Laser Sintering, SLS) 技術，材料可為聚氯乙烯 (polyvinylchloride)、聚碳酸酯 (polycarbonate)、聚酯

(polyester)、聚氨酯 (polyurethane)、ABS、尼龍 (nylon)、精密鑄造的蠟等粉末，成本比SLS法的液態樹脂低，DTM Corporation將其商品化並銷售機器。MIT在現代工具機的發展中扮演了非常關鍵的角色，於1952年在美國空軍資助的計畫中，開發出全世界第一部NC工具機，奠定現今工業上廣為使用的CNC工具機的基礎。MIT在AM技術的發展史上也有很重要的貢獻，開發了以噴墨印表機噴嘴將黏膠噴於粉末上的3DP (Three-Dimensional Printing) 技術，粉末可以為陶瓷、金屬等材料，依此技術衍生了知名的Z-Corporation公司。目前國際上尚有很多知名公司的RP 機器，粉末方面以德國EOS公司的EOS/P (高分子材料) 及EOS/M (金屬材料) 最具代表性。液態光硬化樹脂有以色列Cubital公司的Solid Ground Curing (SGC)，日本CMET公司的Solid Object Ultra-Violet Laser Printer (SOUP) 等。薄片疊層如日本KIRA公司的Selective Additive and Hot Press (SAHP)。以製程原理而言，無論3D列印的初始材料為何，在概念上均相同，易於理解，如圖1所示，先以電腦繪圖軟體建立出欲製作

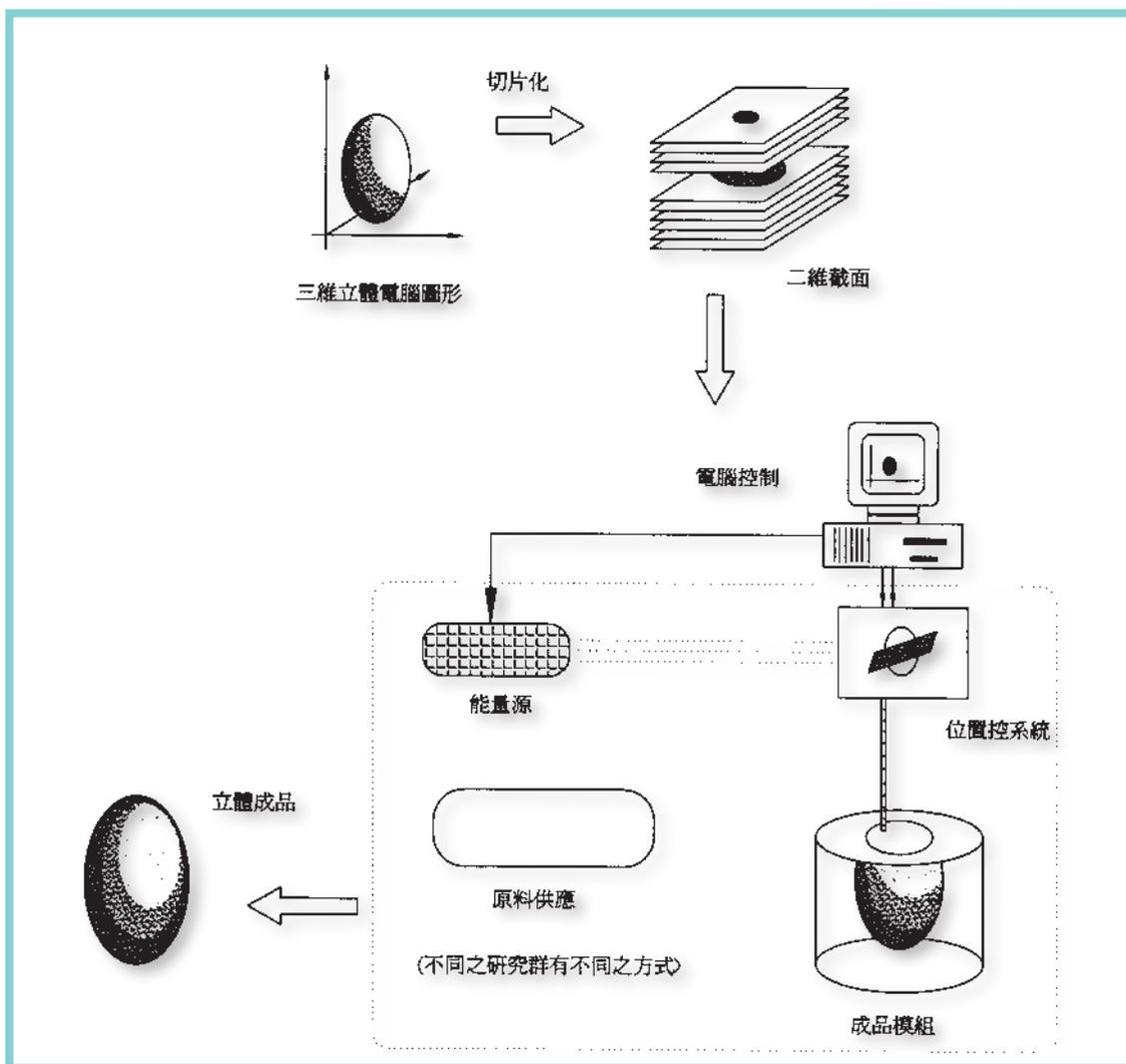


圖1：3D列印技術的原理。

物件的幾何模型，將此立體模型沿著某一適當的方向切層，每層即為一個二維的輪廓，於實際製作模型時，電腦先取出最底端的一層幾何圖形，作為電腦定位控制用，於工作台上鋪上一層材料，厚度與該對應層的厚度相同，將能量源加至幾何圖形指示的位置上，使材料固化，完成第一層的形狀後，將工作台下降低層厚度的位移，再重複鋪與固化倒數第二層材料的動作，依此程序，由底端至頂端，逐層把材料填上而結合在一起，完成後即可取出所製作之原型件。理論上，當二維的切層很薄時，製作出之原型件與所建立的立體幾何圖形會一模一樣。

本校3D研究現況

本校機械系在1995添購了一部薄片疊層（LOM）的設備，個人主持的傳統與非傳統加工實驗室曾對LOM加工技術做了一序列的研究，後又自行開發雷射燒結設備與技術，近期則進行生醫骨骼支架的製造技術。另，學校在五年五百億的經費下，補助機械系成立「精密製造中心」，除添購一些極為精密的加工與量測設備外，亦購置了一部塑料粉末的RP設備，能提供模型製作的需求。

（一）薄片疊層（LOM）的研究

薄片疊層法採用底面具有黏膠的紙張，採先黏結再切割（bond-then-cut）的積層加工製程，以熱壓的方式，使膠融化，並與前一張紙材黏合，接著用雷射掃描，切割出想要的二維輪廓，不要的部分（廢料區）則作十字切割出方格，完成所有的積層後，再將廢料以人工手動的方式進行撥除。此製程的廢料在加工過程中具有“自然支撐”工件的功能，但卻造成廢料撥除（de-cubing）的後處理程序相當繁瑣而費時費力，過程中易使原型件受損。且廢料若包覆在工件之中則無法或不易取出（如空心球、花瓶），因此製作中空結構原型件相當

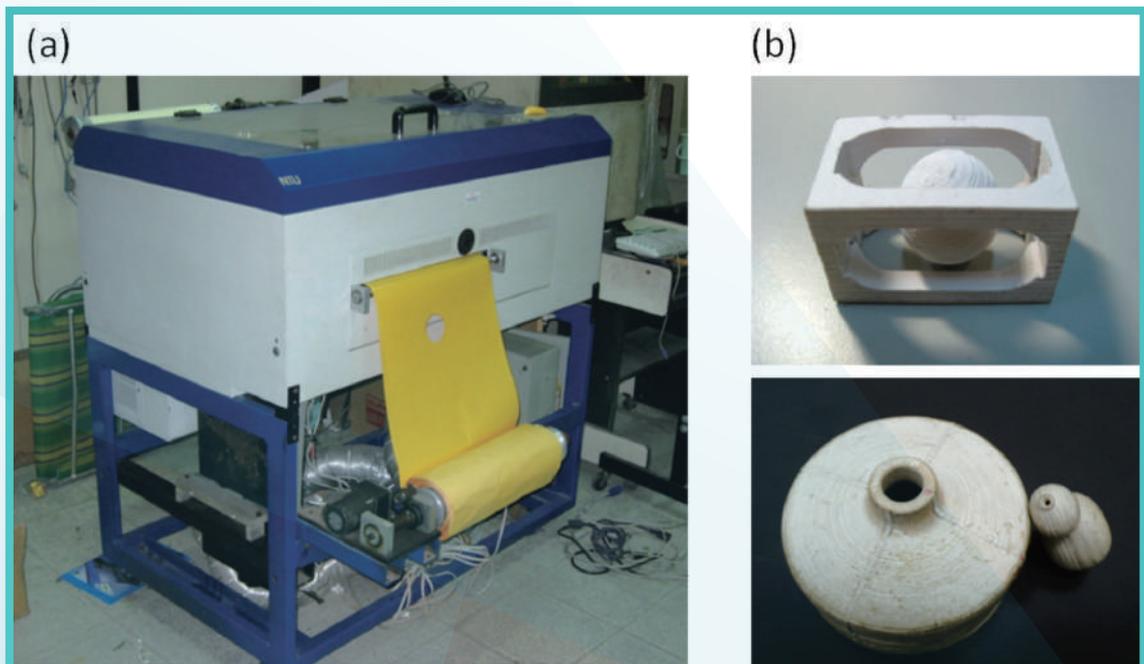


圖2：(a)自行研發與組裝之線上自動撥料原型機，(b)中空之原型件。

困難，使得LOM製程的幾何造形能力大受限制。針對這些缺點，我們發展了黏膠失效^[2]、適應性固定切層^[3]、線上自動撥料^[4-5]等製程，可大幅減少去除廢料之難度，製作出較佳精度的原型件。其中的線上自動撥料製程可去除80%以上廢料，自動化程度大為提高，為全球唯一可製作中空LOM原型件的技術，圖2(a)為碩士班及大學生以專題製作方式開發出之機器，曾獲得教育部「創新式機密產業機械系統開發與應用」專題競賽的特優獎，圖2(b)為其製作之中空原型件。此一創新技術吸引了日本KIRA公司到臺大機械系商議技術合作，並致贈一部SHAP的薄片積層設備，供本系研究教學使用。後續持續研發了壓熱分離、內含功能性嵌入件之快速原型製程，及多種材料的新式薄片積層的原型技術，突破以往RP技術僅能製作的單一材料限制。在薄片疊層的研究中，除發表多篇期刊論文外，亦獲得7件發明專利。

(二) 陶瓷與複合材料製造技術

本研究運用溶膠凝膠 (Sol-Gel) 原理，發展出選擇性雷射凝膠 (Selective Laser Gelling, SLG) 技術。將陶瓷或金屬粉末與氧化矽溶膠以適當比例混合成漿料。利用自行開發的原型機進行CO₂雷射光掃描，在適當的雷射功率密度條件下，製作成陶瓷與金屬陶瓷成品^[6,7]。SLG技術目前已獲得3件發明專利。圖3(a)為使用氧化矽與矽溶膠所製造的多孔性氧化矽陶瓷工件，圖3(b)為採用316L不銹鋼粉末與矽溶膠為材料所製造的金屬基複合材料。

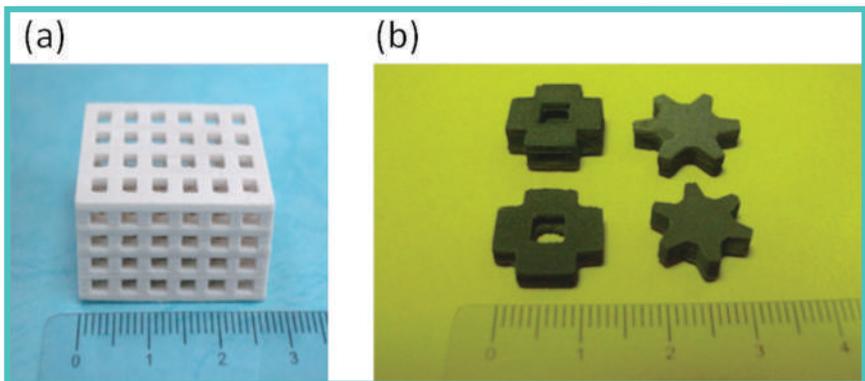


圖3：用SLG技術製作的成品：(a)多孔性氧化矽陶瓷工件。(b)316L金屬基複合材料工件。

(三) 生醫骨骼支架製造技術

運用SLG技術，將生醫陶瓷材料，如氫氧基磷灰石 (Hydroxyapatite, HA) 以及黏結劑 (如：氧化矽溶膠) 依適當比例混合為原料，利用自行開發的原型機進行層狀堆疊製造，能夠製作出具有替代功能的生醫陶瓷骨骼支架。圖4為製作出仿脛骨外型的中空骨骼支架及多孔性連通孔結構，目前在進行類骨母細胞 (MG63) 的培養實驗，觀察細胞於陶瓷支架表面的行為，以驗證支架的生物相容性。

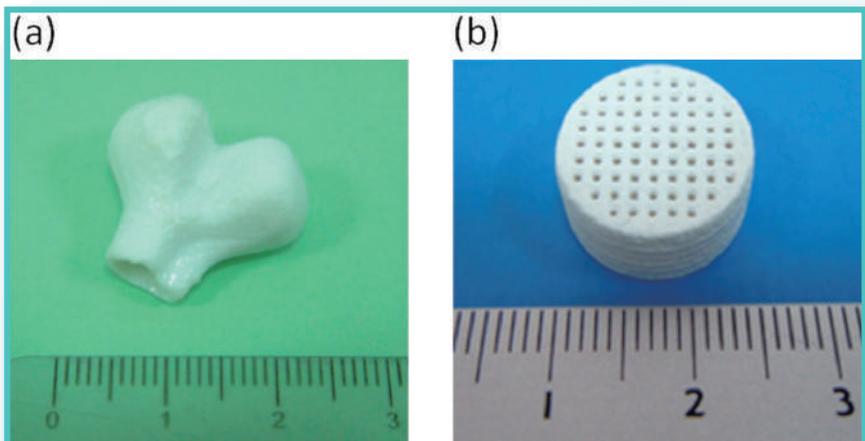


圖4：用SLG技術所製作的生醫骨骼支架：(a)仿脛骨外型骨骼支架，(b)多孔性連通孔結構。

（四）高分子雷射燒結技術

機械系另有一台EOS設備（EOSINT - P100），EOS公司為Hermann Simon所著Hidden Champions of the 21st Century（台譯「隱形冠軍」，《天下雜誌》出版）書中提到雷射燒結技術的市場領先者。此設備採用SLS法，將高分子粉末建構成型，可建構最大原型件尺寸為200 mm × 250mm × 330mm，每層厚度為0.1mm。機台具有相當高的尺寸精度，且可成型厚度極薄之原件，最薄厚度可控制到0.4 mm，非常適用於成型形狀精細之原件。我們已有能力製作出任何設計的原型/組套件，圖5為利用此機器所製作之一些原型件，此機台已對外開放，提供臺大、國內學術及業界原型件/產品開發的服務。

展望

3D列印技術採用層加工的工作原理，可以製作出造型複雜的產品，也可以直接做出活動配件，免除繁瑣的組裝工作，其應用從早期的輔助設計的模型製作、少量製作驗證產品功能，演變至現今的零組件甚至具功能性產品的直接製造，已被廣泛的應用在機械業、模具業、玩具模型、文化創意、汽（機）車、航太、醫療輔具、醫學工程等諸多領域。只要有3D印表機，每一個人不一定需要有機械製造的背景，都可以進入製產業，把玩具、遙控汽車、自己想像的創意物品或研發的新產品“列印”出來。3D列印也能夠結合電子及電機零組件，製作出具有各種功能的產品，因此目前在歐美掀起一陣製造者運動（maker movement）。國內近期也有很多有關3D列印技術的報導，讓更多人瞭解這項技術及其潛力並運用之，以促成工業的進步並增進社會福祉。

除了一般應用外，3D列印技術可製作難以用傳統的機械製造方法製作的複雜產品/機構，以及不易組裝的功能性活動件，也非常適合於製作客製化的物品，尤其是在醫療輔具、醫學工程等因人而異的應用領域。展望未來，3D列印技術在這些方面的應用會愈來愈多，其前景無可限量。

雖然3D列印技術蓬勃發展，但宣導過度反而會誤導人們以為其無所不能，像魔法師的法杖一樣，法力無邊。事實上，3D列印技術到目前為止尚未找到對工業/社會的衝擊大且影響層面廣到無可取代的殺手（killer）級應用或產品，尚未形成具有規模的產業。這個技術僅是製造中的一環，不會也不可能完全取代其他的製造技術。再說，3D列印技術本身仍存在一些問題，如：層狀製造的特性，使得加工成品的精度與表面粗糙度均受限制，兩者無法與切削加工相比；除了FDM外，也不易製造出同一層包含不同材料的產品；層加工過程中，無法對材料施以力量，進行類似冷壓或熱壓的程序，以致產品組織不夠緻密，強度較差，如以粉末燒結出的陶瓷假牙或牙冠，雖可客製化外型，但強度遠低於自然齒以及用傳統製造方式製作出的陶瓷塊；目前原型件的製作都在特殊的機器上完成，大部分的方法需經後處理程序，此使得線上嵌入機械、電子或電機零組件，自動化製作功能性產品有困難。此外，在複合材料及生醫材料的發展仍然有限，特別是生醫植入物的材料方面，仍在研發階段，缺乏完整的生物測試，其實際應用有待考驗。從經濟效益考量，製作金屬工業產品或生醫件原型機的價格



圖5：以EOS – P100製作出之塑料原型件。

昂貴，非一般廠商所能負擔，在機器未普及前，由政府補助研究機構添購設備，研發新式加工機與技術，服務廠商，或許是較為可行的方法。至於生醫製品的機器，在國家檢驗機構如美國FDA、國內的衛生署嚴格把關下，一部機器因只能專用一種材料，使得機器的成本相對提高，特別是製作金屬件，除非量大，並具全球壟斷性，否則廠商很難投以資金；在此狀況下，政府的眼光、規劃及協助，扮演更重要的角色。

致謝

感謝個人指導之博士班學生劉福興（現為龍華科技大學機械系副教授）及林致揚協助資料之收集與部分內容之撰寫。

參考文獻：

- [1] “President Obama to announce new efforts to support manufacturing innovation, encourage insourcing,” The white house office of the press secretary, March, 2012.
- [2] Y.Y. Chiu and Y.S. Liao, “Laser path planning of burn-out zone for LOM process,” Rapid Prototyping Journal, Vol. 9, No. 4, 2003, pp.201-211.
- [3] Y.S. Liao and Y.Y. Chiu, “Adaptive crosshatch approach for laminated object manufacturing (LOM),” Int. J. of Production Research, Vol. 39, No. 15, 2001, pp. 3479-3490.
- [4] Y.S. Liao, L.C. Chiu and Y.Y. Chiu, “A new approach of waste removal process for laminated object manufacturing (LOM),” Journal of Materials Processing Technology, Vol. 140, 2003, pp. 136-140.

- [5] Y.Y. Chiu, Y.S. Liao and C.C. Hou, Automatic fabrication for bridged laminated object manufacturing (LOM) process, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 140, 2003, pp.179-184.
- [6] F.H. Liu and Y.S. Liao, "Fabrication of inner complex ceramic parts by selective laser gelling," Journal of the European Ceramic Society, Vol. 30, No. 16, 2010, pp.3283-3289.
- [7] F.H. Liu, Y.K. Shen and Y.S. Liao, "Selective laser gelation of ceramic matrix composites," Composites Part B: Engineering, Vol. 42, 2011, pp. 57-61.



廖運炫小檔案

1973年畢業於臺灣大學機械系，分別於1976年及1980年獲得美國威斯康辛大學機械系的碩士與博士學位。現任臺大機械系終身特聘教授兼工學院製造自動化研究中心主任，機械系實習工場與機密製造中心負責人，也主持傳統與非傳統加工實驗室。研究領域為切削加工、放電加工、精密加工、工具動態分析與控制等。目前亦為臺灣磨粒加工學會的理事長，International journal of abrasive technology，International journal of precision and manufacturing及Journal of manufacturing review等國際期刊的編輯委員。

徵才啟事 臺大醫學院骨科誠徵專任教師一名

1. 甄選資格：

- (1) 具中華民國骨科專科醫師證書。
- (2) 有前瞻性研究能力、教學熱誠。
- (3) 從事與教學、研究相關之工作兩年以上。

◆ 備註：

- (a) 報名截止日為準。
- (b) 惟其具有特殊專長或優異表現且經本會（國立臺灣大學醫學院骨科新聘專任教師甄選委員會）認定者，不在此限。

2. 檢具資料：

- (1) 個人履歷(附照片)及所有著作目錄表。
- (2) 5年內代表著作3篇。（以上資料參考臺大醫學院人事組網站，下載表格 <http://w3.mc.ntu.edu.tw/staff/person/teach/teach19.doc>）
- (3) 國內外相關學門副教授以上2人之推薦函。
- (4) 個人對未來教學與研究理念。
- (5) 相關資料應於102年7月15日下午5時前送達甄選委員會。

◆ 備註：有關履歷表、著作目錄、教學及研究計畫書等之格式，請參考本校醫學院專任教師聘任之表格撰寫，表格下載請至<http://w3.mc.ntu.edu.tw/staff/person/teach/teach19.doc>

3. 起聘日期：103年2月1日

4. 報名截止日期：102年7月15日（下午5時前須將申請資料寄達）

5. 寄件地址：台北市中山南路7號『骨科新聘教師甄選委員會』收。

6. 聯絡電話：(02) 2312-3456轉62137謝雪蜜小姐

直撥電話：(02) 2356-2137

傳真專線：(02) 2322-4112

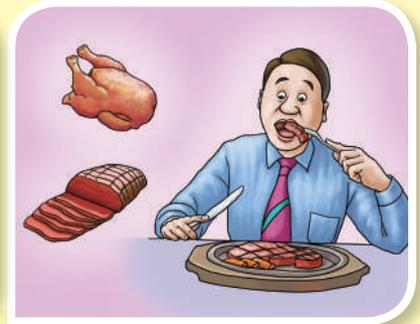
e-mail: hhmi@ntuh.gov.tw

3D 列印，化想像為可能

美國於2012年將3D列為重點發展的先進製造業，《經濟學人》預言這會是第三波產業革命，舉凡食衣住行休閒所需都可能列印，影響未來生活至鉅。（繪圖／許明泉）



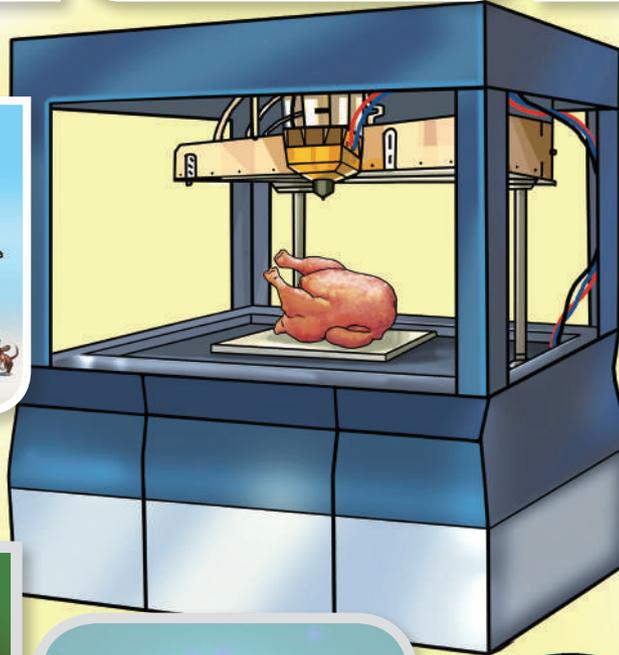
印一台超跑當007！



人造牛肉你敢吃嗎？



買房遙不可及？印一間吧！



客製化自己的服裝！



想問夢想可以印嗎？



想變臉嗎？



聖誕老公公推的是？