

微射出成型技術簡介

微射出成型技術是微元件大量生產的方式之一，在微成型技術中佔有重要的地位。微射出成型技術與傳統射出成型技術有顯著的差異性，包括射出壓力、射出速度、機構控制系統等，需要有一全新設計才能達到微射出製造之需求。本文主要目的在簡介此一新興技術之概況與應用，並以國外發展模式為例，提出國內在建立此一技術之問題與建議。此項技術為一高科技整合技術，包括電子、電機、機械與控制等，實有賴各領域專家共同投入方能有成。

周榮源

一、前言

二十一世紀知識經濟時代之高科技產業，包括現有 3C 產品及未來生物科技、光通訊產品、光電產品等。就 3C 產品特性而言，已由目前輕、薄、短、小的需求進入了所謂「微尺寸 (micro-dimension)」的領域，此產品尺寸大小約只有數微米到數百微米。從生產技術層面來看，射出成型製程對於微細結構 (micro features)，乃至微小產品組件 (micro parts) 之降低成本、大量生產仍舊是最標準合適的製程。換言之，成熟的微細加工 (micro machining) 與微成型 (micro molding) 技術將是微形產品及零組件達到量產化市場目標不可或缺的製造方法之一。微細加工與微成型所涉及之技術層次非常精密而廣泛，舉凡半導體、精密機械、光電真空及材料科技等。因此，如何建立並應用微成型技術加速微機電等精密產品的開發，來進入新興領域的龐大商機，是相關產業面臨的重要挑戰與轉型成長

周榮源先生為國立中興大學應用數學博士，現任建國技術學院機械工程系助理教授。

的關鍵。本文主要就微成型技術中之微射出技術之現況與發展做一綜合性介紹，讓讀者對微製造技術中如何將設計產品量產化能有一完整之概念。

二、微射出成型技術概況

塑膠加工業中射出成型是一項非常重要之技術，它有著成本低廉、適合大量製造及產品種類多樣化之特色，是台灣非常龐大且重要之製造產業之一，從過去的民生用品、家電製品到與高科技相關之電腦及筆記型電腦外殼、光電產品外殼、光碟片、通訊手機及 PDA 外殼、精密塑膠光學鏡片、連接器及 IC 封裝等，在在都顯示出無論科技產業多進步，射出成型技術在產品開發與生產上始終是佔有一席之地。

一般傳統之塑膠射出成型 (plastic injection molding) 原理分成三階段 (如圖 1 所示)。(1) 可塑化 (plastication)：將塑膠原料經由料管中之螺桿旋轉所造成之剪切生熱與多段加熱器加熱，使顆粒狀之高分子材料熔化至熔融狀態。(2) 充填與保壓 (filling and packing)：熔融之塑料經由液壓機構加

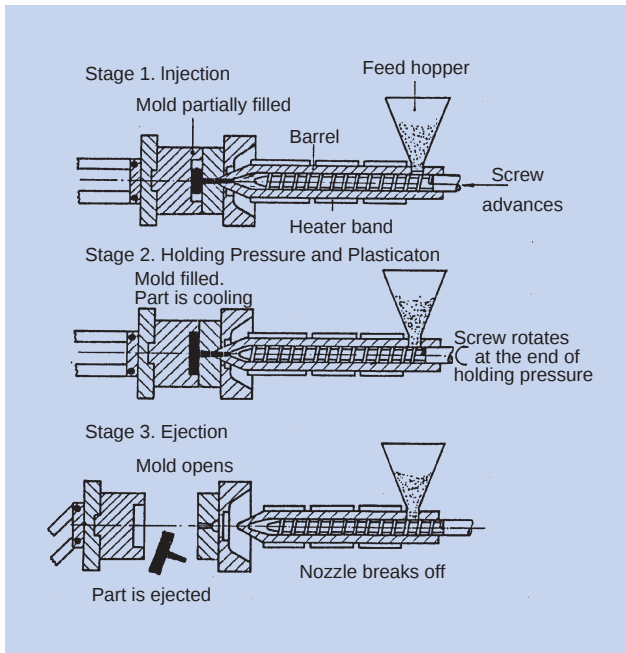


圖 1. 傳統射出成型之原理。

壓，經射嘴、澆道 (sprue)、流道 (runner)、澆口 (gate) 而射入模穴中，以獲得所需之成品形狀，塑料流動性的好壞影響成品品質甚大。因為塑膠材料屬於高分子材料，受溫度與壓力之影響非常大，會有因材料內部密度大幅變化而產生所謂收縮 (shrinkage) 現象，影響產品之外觀與品質。因此，必須要經過一段時間之加壓，補償因密度變化所產生之收縮，稱之為保壓。(3) 冷卻與頂出 (cooling and ejection)：充填完成之成品因溫度仍達近百度之範圍，必須要經由模具之冷卻系統冷卻，一方面降低溫度，一方面維持尺寸形狀之精度，避免產生翹曲變形 (warping) 之問題。冷卻完畢，成品再由模具內之頂出機構頂出，完成一個產品之製造。上述過程所需之時間多在數十秒內完成，因此配合自動化技術，可進行大量生產，生產效率非常高。

傳統射出成型雖然有其優點，但因為現有射出機台設計多採用液壓機構，對微射出成型或薄殼射出成型等應用而言，其反應速度太慢，無法提供足夠之射出速度。另外，現有設計多屬大射出量機型，其射出量控制精度無法達到微射出成型之需求。因此，隨著市場需求之增加及相關技術提昇，微射出成型這一新技術領域於是誕生。

微細與微量成型技術在國內還是處於萌芽階段。鑑於生物科技、醫療、電子、光通訊等未來高科技產業使用塑膠精密零組件成長迅速，歐洲國家、日本與美國等均不惜鉅資支持對於微機電塑膠產品的深入研究，尤其在德國、英國、瑞士及日本已有先進的研究，但都以個別產品為導向，因而此項成型技術成為各個公司之 know-how。過去十年來台灣學術界及產業界，對於射出成型相關技術的研究，系統性的研究仍十分缺乏。因此值得在現有基礎上更進一步，配合世界產業的需求，建立本土化以及系統性的微細成型配套技術、設計成型法則暨專家系統，以協助加速建立國內微機電精密產品之開發。

1. 什麼是微 (小) 射出成型？

微 (小) 射出成型 (micro injection molding) 乃泛指成品的重量低於十分之一公克以下，或意指每次僅毫立方公分射出量而製成毫克或幾十立方公分射出量而製成幾十個零件，但不一定具有微米精度或尺寸之成品。圖 2 所示為 Makuta Technics 公司之微射出成品實例。體積小於 1 mm^3 ，並且具有製品公差範圍 $\pm 10 \mu\text{m}$ 、重量小於 0.01 g 、非常薄之成品結構及多樣工程塑膠之成型能力。微射出成型相關之關鍵技術有⁽¹⁾：(1) 微射出成型機設計與智慧型控制技術，(2) 微模具設計、製造及檢測技術，(3) 微零件之模流分析與監控技術。

2. 微 (小) 射出成型之困難點與解決之道⁽²⁾

「微」射出成型品因成品尺寸限制，是難以用



圖 2. Makuta Technics 公司之微射出成品實例。

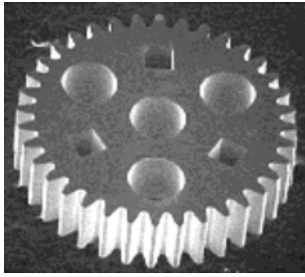


圖 3. LIGA 製程所製作之高深寬比鎳質微齒輪元件⁽⁵⁾。

肉眼來鑑定、分析或檢查的。因此，微射出所遭遇到的問題或困難與一般傳統射出成型並不相同。其中包括微射出機設計、微模具製造、微模具模流分析、微射出製程監控及材料、環境、後加工等一連串問題。以下所述是簡要介紹微射出成型可能會面臨問題。

(1) 射出成型機

由於高分子融膠在微小之模穴內，因尺寸小、相對流長長，造成融膠冷卻硬化之時間非常短，因此傳統射出成型之加工設備無法直接應用於微元件之大量生產上，必須設計專用之成型機台來生產製造。一般使用傳統的小型射出成型機（鎖模力約在 15 - 30 噸）會有射出不順、阻礙難行的現象，其主要原因有⁽¹⁾：

射出量規格過大（要求在 3 公克以下），致使在料管內的塑料因其滯留時間過長而發生裂解。

控制器對射膠螺桿運動控制精度不足（位置控制精度要求在 0.01 mm 以下），和射膠螺桿直設計過大所造成射出計量不夠精準。

鎖模機構設計與組裝精度不足，所形成動模板與靜模板間平行度不佳（要求至少在 0.02 mm 以下），造成微模具無法順利合模或精度不佳，或因此撞擊使模具內微細零件受損。

鎖模機構運動精度控制不足（要求在 0.01 mm 以下），遂無法使用射出壓縮成型動作的優點，該方法可用於模內空氣排除或成型轉寫性。

成型環境的潔淨度要求下（一般在 Class 100 - 10000），如何避免因運動機構動作如時規皮帶所產生的灰塵，或對機構潤滑所產生的油性污

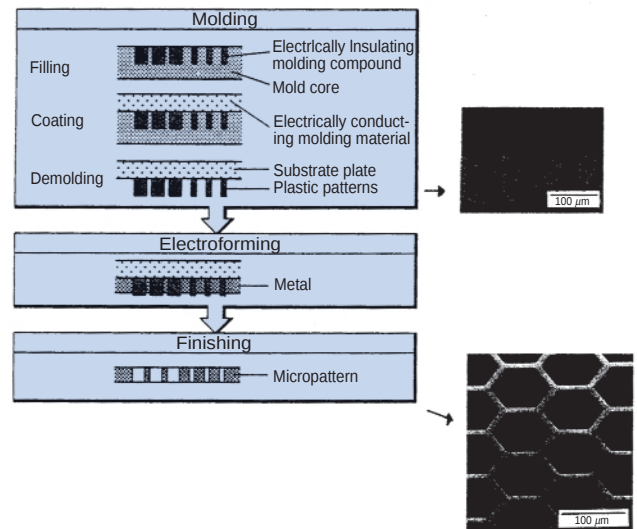


圖 4. LIGA 製程之微模具製作說明⁽⁵⁾。

染，遂造成成型環境的潔淨度破壞。

如何搭配成品自動取出機構。

成品自動檢測技術等自動化技術。

遠端監控技術，以遂行無人化之穩定生產。

(2) 射出模具

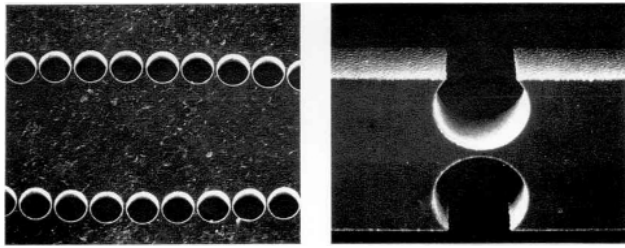
微成型所需之模具可利用下列方式來製造⁽¹⁾。

LIGA 與類 LIGA 技術⁽⁵⁾

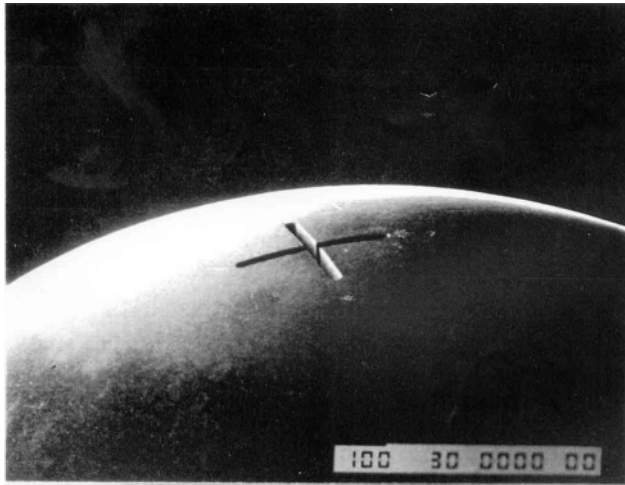
因為成品的體積太少，因此模具相對也是相當細小，傳統的線切割或放電加工有時亦有力不及之處。最常見的方式是藉助 LIGA (LIGA 為德文的簡寫：意指 lithography, electro-forming and moulding) 技術完成。利用高能量之 X 光在 PMMA 材料上製造出高深寬比之圖形（如圖 3），再配合電鑄 (electroplating) 翻製出可用來生產之微模具。圖 4 所示為 LIGA 製程製作微模具之說明。另一種類 LIGA 技術則是利用能量較低之 excimer 雷射來取代 X 光，因能量限制所能製作之深寬比較 LIGA 為低。LIGA 技術所製造之微模具可應用於熱壓法 (hot embossing) 及射出成型 (injection molding) 兩種製造方式上。

微快速成型技術 (Micro Rapid Prototyping)

快速成型系統⁽⁶⁾ 乃是利用電腦輔助設計之產品



(a)



(b)

圖 5. 微放電加工技術所製作之微元件⁽⁷⁾：(a) 左圖：噴墨印表機噴嘴，厚度 $50\ \mu\text{m}$ ，孔徑 $50\ \mu\text{m}$ ，孔距 $60\ \mu\text{m}$ ，右圖：微測頭，厚度 $50\ \mu\text{m}$ ，孔徑 $60\ \mu\text{m}$ ，(b) 槽尺寸 $40 \times 300\ \mu\text{m}$ ，深度 $0.1\ \text{mm}$ 。

資料或其他數位資料，藉由自動化之快速成型機以層加工方式直接將三維實體製作出來。目前的快速成型系統受限於成型點大小及切層厚度，精度都無法達到微米級距。商業化系統之最薄切層厚度約為 $0.013\ \text{mm}$ ，原型精度在 $0.025\ \text{mm}$ ，最小特徵尺寸為 $0.254\ \text{mm}$ 。此技術在微模具製造之應用尚在研發階段，未見有商品化之系統。

微放電加工技術 (Micro EDM)

微模具加工另一個較常應用之方法是微放電加工，主要是以鎢製作出模具加工之電極，利用放電加工之方式來製作出二維零件幾何形狀，如微齒輪模、微紡口等。圖 5 所示為應用瑞士 Charmille 公司微放電加工機製作之微零件實例。由於加工方法

之限制，此方法目前在製作三維模具上仍有困難，這點是需要去研發提昇之處。

(3) 變溫控制

因為微 (小) 射出成型品的厚度大約在 $100\ \mu\text{m}$ 左右或更小，因此塑料將會很快的固化而無法前進及填滿模具內。在此種情況下，一般可用極高速、高溫射出解決或是利用 IKV 所提倡的快速升、降模溫法，瞬間加熱模具致與塑料熔溫度相仿，再極劇降溫至 T_g 或熱變形溫度 (heat deflection temperature, HDT) 後脫模。

(4) 品質控制

誠如以上所述，微 (小) 射出成型品有時微小到無法用肉眼分出是否有瑕疵。在此種情況下，藉助線上的光學放大檢測，並且在線上分出成品的好壞乃形成另一要務。

(5) 二次加工或包裝

如何包裝如此微小的成型品，亦是在微射出成型中所必須解決的。利用真空吸引的傳輸是一種可行的解決之道。

(6) 環境問題

應用於植入性醫療用品、生醫檢測儀器、高潔淨注射針筒及精密光電元件等微小零件因為是用於光電、生醫等用途上，防止污染便是一重要之課題，而微小的污塵有時亦會造成元件的失效或效能降低。因此，局部無塵便是經濟可行之解決法。

(7) 材料問題

為達到低黏度，微小射出常伴隨著高速高溫成型此二項必要之成型條件，因此耐高溫、低黏度及高強度之高分子乃是一極需克服之課題。截至目前為止，POM、PA、PEEK、PSV 等皆常用於此系統上，但依照以往之經驗，上述材料皆有改善之空間。

綜括而言，欲達到微小量的塑膠製品射出成型需求的目的，必須考慮發展計量精度在千分之一公克以內的微量射出成型機；因應不同成型材料設計

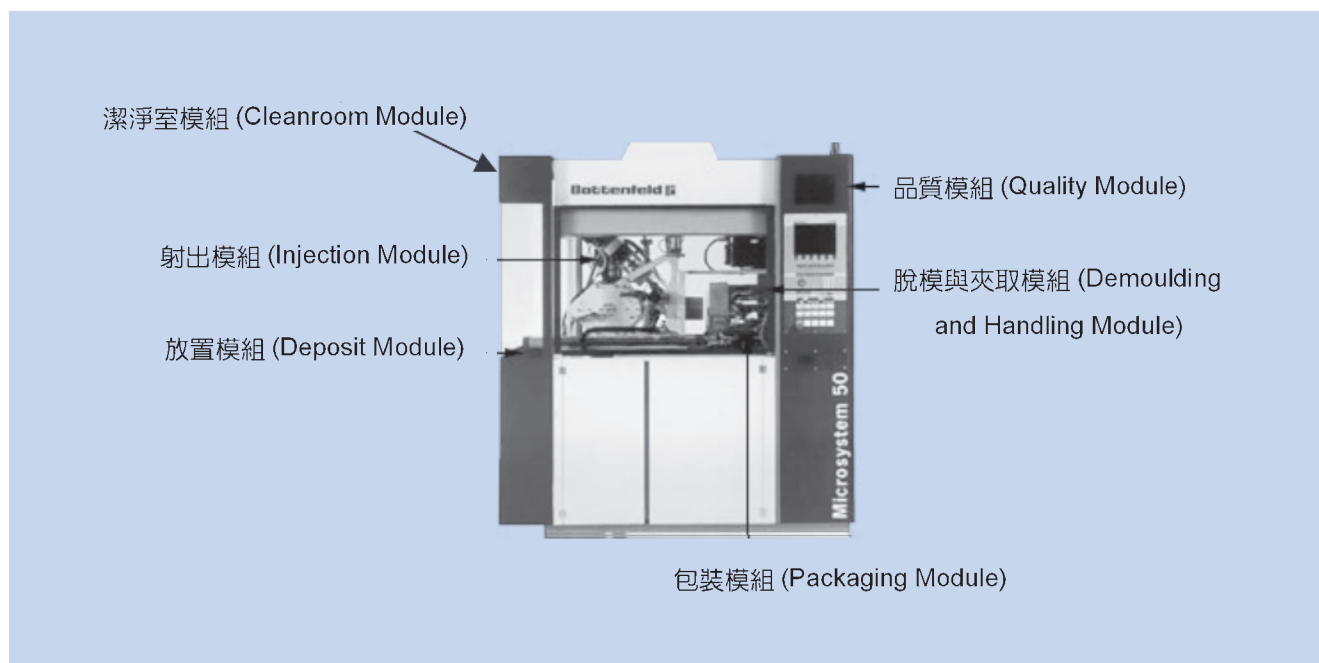


圖 6. Battenfeld 公司之 Microsystem50 微射出機⁽⁴⁾。

高性能塑化器使具備熔膠能力混鍊均質、塑化均勻的能力；在高射出速度及壓力下射膠仍保持快速反應及穩定的特性，以及整合自動化成品取出、檢測、遠端監控技術等，方能克盡全功。

3. 國內微射出成型機現況

國內目前在射出成型領域，仍然以中大型件射出為主，微量之小型件，尤其是微小件射出還是屬於萌芽階段，通常之方式是以中大型射出機搭配多模穴方式之成型來分攤機器之射出量，藉以生產微小量或微小件的製品。此種生產方式之缺點是，增加模具流道平衡設計之工作，且產品品質不易掌握，同時也增加成型後之澆道的廢料。另外有少數幾家工廠因產品組合應用上有高精度、高品質之需求，不得已採購國外設備來加工成型。

4. 國外微射出成型機現況

文獻 3 對微射出成型機現況做了深入報導，在此節錄其重點以饗讀者。德國 Aachen (阿亨) 的 IKV (塑料加工研究所) 以 25 噸 Ferromatik Milacron 射出機為基礎，研究開發一套微量射出成型系統，該系統是以螺桿做預塑化功能，將熔融塑

料送入射出室中，再用柱塞做計量射出，其製品重量偏差值 $1/10000 - 1/50000$ g。此方式乃根據先進先出之原理，使先進入射出室的塑料先行射出至模穴中，為結合螺桿預塑化功能達到混鍊均質塑化均勻及柱塞精確計量射出的雙重優點。

西班牙 CRONDPLAST 公司，其微量射出成型機的代表作為 Babyplast6/6，特點是將塑料送入一個加熱室，用活塞推壓到一個加熱滾珠進行塑化，使熔融塑料進入射出室，將射出柱塞推回至預先設定的射出位置以便計量，然後進行射出，並沒有螺桿作塑化的功能，射出量依柱塞直徑可得 3 - 10 g。

英國 Butler Design 則用加熱塑化室一支類似螺桿的筒柱，但不轉動，塑料流通過溝槽而進入模穴內，並且不使用單模穴模具，因溫度控制精確，可確定掌握塑料流動特性，所以也可用在雙模穴或 4 模穴的微成型射出。英國射出成型機廠商 MCP 集團之 RABIT2/3 機型是具有較小的合模力 5 噸，其射出量為 1.5 g，沒有塑化螺桿，屬於柱塞式微量射出成型機，另外其 SPRITE-7/50 為螺桿柱塞混合式機型，可解決使用色母原料需要漂亮外觀的微型品成型之缺點。

德國 Ferromatik Milacron 也展示了由螺桿柱塞

表 1. 各種領域有可能使用微量射出成型的產品⁽¹⁾。

Industry	Product
Automotive Computer	Micro switches, connectors
Computer	Connectors, printer ink heads
Telecommunication	Handy
Electronic	Micro parts
Medical	Hearing aid, implants
Sensors	Airbag sensor
Micromechanics	Micro engine, rotators, MIM
Optics	Lenses, displays
Watch industry	Cog-wheel, micro gears
GF-transmission	Ferules, connectors, CIM
Institutes, University	Material and technology trials

混合式射出機型，生產微小馬達所用的齒輪組合，其重量為 0.007 g，射出量為 1.61 g。另外如德國 ARBURG、瑞士 Intron Engineering 等亦是對微量射出成型機研究發展多年的專業製造廠，Intron Engineering 的 Hotspeed 100 型 10 噸機型更是聲稱專為微量小型塑件成型而設計的。

圖 6 所示為奧地利 Battenfeld⁽⁴⁾ 設計之合模力 5 噸的微量射出成型原理，此系統包括六個主要模組：(1) 射出模組 (injection module)，(2) 脫模與夾取模組 (demoulding and handling module)，(3) 包裝模組 (packaging module)，(4) 品質模組 (quality module)，(5) 放置模組 (deposit module) 及 (6) 潔淨室模組 (cleanroom module)。此系統主要在結合醫療科技產品，其製品最小重量僅為 0.0028 g，應用螺桿柱塞式作其精密微小量的射出成型。

正如歐洲各知名廠商投入研發一樣，現階段微量射出成型發展之腳步仍以歐洲為較快，日本則緊追在後；如往友重工 (Sumitomo) 的 M8/7 (合模力 7 噸) 及 M26/15 (合模力 15 噸)、高橋精機工業所 KS 系列、Sodick、東芝機械、Juken 樹研、日精機械等相繼發展 10 - 40 噸的直壓式及全電氣式的微量射出成型機型。

三、微射出成型應用

表 1 所列為微量射出成型的產品在各種領域的可能應用。下文為介紹微量射出成型在光通訊、生

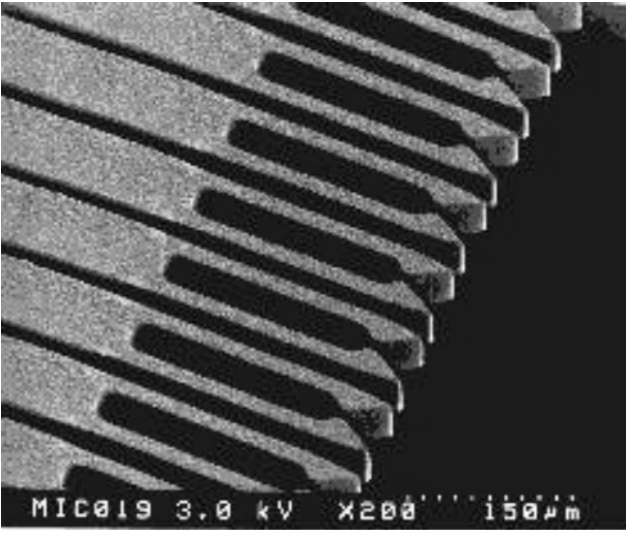


圖 7. Ritsumeikan University 之 Toshinori Unno 教授等研究高封裝密度 Ni 材質微聯接器端子之 SEM 照片。

醫應用、生物應用及探測器或致動器等領域的應用實例。

1. 光通訊

這是現在最熱門的一項產品，例如：可用 PEI 來成型具有 12-pin plug-type 的光纖接續頭。在多模組態的產品可容許 2 - 5 μm 的偏差，而在單模組態則必須要求 1 μm 容許範圍內。圖 7 為 Ritsumeikan University 之 Toshinori Unno 教授等研究高封裝密度 Ni 材質微聯接器端子。其他利用 LIGA 的製程協助做出的塑膠系光通訊元件亦持續的被研究中。

2. 生醫應用

在醫療器材上的微小成品的應用，亦是目前各主要的研發主力之一。例如：微小幫浦 (pump) 即是。此一微小幫浦具有 0.2 - 2 mL/min 的流量，可承受 500 - 1200 MPa。圖 8 是應用 Battenfeld Microsystem50 所生產之生醫助聽器成品，可植入人體內耳，重量僅 2.2 mg。

3. 生物應用

利用微小元件來大量快速分析各項生物的特徵，近年來是全球尤其是美國各生醫公司的產品。

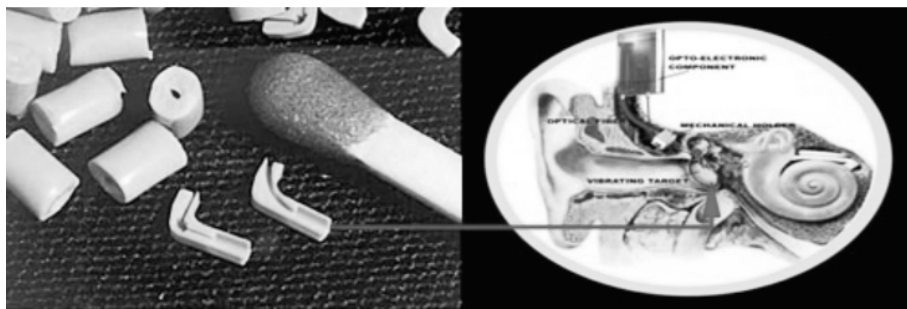


圖 8.
應用 Battenfeld Microsystem50
所生產之生醫助聽器成品，可
植入人體內耳，重量僅 2.2
mg⁽⁴⁾。

例如：用於 DNA 晶片、基因探測、過敏原或血液等分析。一般常需 10 - 100 μm 左右的尺寸，當成承載或是微流道 (micro channel) 之用。

4. 探測器或致動器 (Sensor or Actuator)

在此一系列上主要是以光學透明塑膠為主之微小零件，來製成具有透光、反射或折射之系統來當成感知器，或是製成僅有 0.5 mm 直徑的微小 POM 啟動齒輪等等。

四、結論與未來展望

微射出成型技術之重要性已為歐、日、美先進工業國家所重視。最著名的例子為奧地利工業研究推廣基金所補助之 The Micro Moulding Machinery Project，結合四家公司與兩所研究單位進行微射出成型技術之研發。其中參與的射出機廠商 Battenfeld 於 1998 年推出全世界第一台微射出成型機 Microsystem 50。近年來陸續有德國 Babyplast，日本 Nissei 推出微射出成型機。根據文獻預測，未來二十一世紀微射出成型技術將在光電、生物科技、醫學工程與微機電產業等對微形產品的急切需求之產業扮演非常重要的角色。

反觀國內產業過去因塑膠加工產業之蓬勃發展，因此在射出成型技術上已有相當深厚之基礎，從上游之產品設計到模具設計與模具製造，到下游之射出成型皆有一垂直整合之中衛體系，以靈活且有效率之生產模式與較低之勞工與生產成本來與歐、美、日等國競爭。然而，因應政府加入 WTO

所帶來之產業衝擊，及中國大陸與東南亞國家之低廉人工所造成之產業外移，如何將根留台灣，將設計研發之重心放在台灣，以開創具國際競爭力之新技術或新產品是一項刻不容緩之事。因此，如何對微成型技術進行有系統的研究，有其迫切之適時性與重要性。如能及時配合世界產業需求，研發本土化精密微射出成型機，以及相關微模具與微成型技術，對協助建立國內微機電精密產品之開發將有實質之貢獻。

未來的產業，依其趨勢可以看出，應是朝向資訊、電子、醫療、綠色環保等類之產品發展，輕、薄、短、小是其特色，可想而知，相關塑膠射出成型零件也將隨之小型化、微量化的配合，而生產型態的改變，昔日之多量少樣變成今日之少量多樣的主動多元化，高生產效率、高品質化與節省能源、減少空間、降低成本及維修簡易之重重關卡的要求，甚至微光學組件、微結構件組合微系統等之奈米複合精密射出成型，都指向微量射出成型的發展有其必要性。

參考文獻

1. 羅仁權等，微射出成型技術綜論，機械工業雜誌，10，93 (2001)。
2. 施希弦，微小射出成型介紹，化工資訊，3，16 (2001)。
3. 賴根賢，微量射出成型之發展，機械工業雜誌，6，107 (2001)。
4. Battenfeld, Germany. (<http://www.battenfeld.com>)
5. Marc Madou, *Foundamentals of Microfabrication*, CRC Press.
6. P. K. Wright, *21st Century Manufacturing*, Prentice-Hall, Inc. (2001)。
7. Charmille 公司技術資料。