

修平技術學院四年制機械工程系

專題製作報告

逆向工程研究與操作

指導教授：周志忠

班 級：四技機械四乙

組 長：施政嘉 BA96076

組 員：鄭又瑞 BA96078

莊順傑 BA96081

陳柏村 BA96113

中華民國九十九年十二月二十二日

目錄

目錄	0
摘要	1
第一章 前言	2
1-1 研究動機與目的	5
1-2 逆向工程之定義	7
1-3 發展現況	9
1-4 CMM三次元量測儀	11
1-4-1 CMM優缺點	13
1-5 逆向工程的應用	14
1-6 未來發展趨勢	16
第二章 工作原理	
2-1 三次元量測	18
2-2 三次元量測儀的種類與方法	19
2-3 國內常用之三次元量測儀之比較	21
2-4 三次元量測之產業應用	23
2-4-1 逆向工程之應用	25
2-5 逆向工程前處理簡介	27
2-5-1 接觸式量測系統	29

2-5-2	非接觸式量測系統	31
2-5-3	接觸式與非接觸式量測系統之比較	34
2-6	點資料處理	35
2-6-1	資料的前置處理	37
2-6-2	雷射掃描點資料的處理	40
2-7	後處理系統簡介	45
第三章	實驗設備	46
第四章	實驗過程	53
第五章	心得結論	60
第六章	參考文獻	61

摘要

本組專題之目的是利用本校有限的機械設備及資源來完成逆向工程的每個製作流程及步驟。逆向工程是從已完成的工作量測出其面上的點資料或工作須修改而利用的一種迴路製作系統。並結合了 3D 數位化系統與 CAD/CAM 系統之整合技術，其功能不只複製，尚具資料編修、資料分析及結合設計等功能，可說是成為產品設計製造之重要工具。

我們乃是利用 3D 光學掃描系統及 OPTOCAT 軟體設定好掃描參數然後進行光學掃描出點資料，再利用 Geomagic 編修點資料，進而建構出曲面圖形，再將此圖形傳至 Solid works 中，轉換成 NC 加工路徑(NC 程式)，最後利用 CNC 工具機加工出成品即完成。

第一章 前言

目前產業面臨技術轉型，從過去勞力密集到現在資本與技術密集，且同時面臨環境的變遷，如勞工意識高漲，環保的標準提高，使得產業界一定要在生產技術與產品管理的觀念上做出重大的改變，並且降低日益增加的人事與開發產品上頭，且必須增加效能，以縮短產品開發的時間、對台灣來說 CAD/CAM 系統算是在亞洲國家中很早引進的國家，經過了幾年的推廣，業界使用的頻率已經相當的普及了，而已 OME/ODEM 為主的台灣產業，再考慮精密度、開發速度、及降低成本上，CAD/CAM 結合三次元量測系統之逆向工程 (Reverse engine) 技術，在技術應用上扮演重要的角色。

以 CAD/CAM 的應用來說，物體是以幾何為定義，要現有尺寸才能建構出立體的產品，但是很多物品很難用基本幾何來表現與定義，例如藝術浮雕、流線型產品及不規則線條等，因此才有逆向工程之需要，上早期台灣的產業型態是以產品代工為主，從早期仿削、矽膠膜與石膏模之逆向製造，一直到現在結合三次元量測系統與專業處理軟體之逆向工程，在功能上、速度上及精密度上已不可同日而語了。

就現今台灣產業型態而言，大致上區分為現代工具及傳統工具的兩大類生產型態，在傳統工具方面；例如有矽膠模具、石膏模具及使用仿削機所做仿削模具等；而現代工具則借用電腦輔助設計與製造 CAD/CAM 系統做產品開發、繪圖、設計和加工等。這兩種生產方式均各有其優點，仿削機生產速度快，但精度差，而 CAD/CAM 系統的精度高，但人員培訓，同時造型工作較費時，然而逆向工程恰為結合此兩項之優點所開發出來與觀念。

逆向工程顧名思義，就是反其道而行，先有了產品或樣品，以量測系統測出數據點資料，進入專業處理軟體或 CAD/CAM 作後處理，再進入快速成型系統或進入數控工具機作生產加工，量測設備是以三次元量測系統為主，基本上以接觸式<深針式>和非接觸式<雷射掃描、照相、X 光等式>兩大類。

在早期是以探針式為主，雖然價格較便宜，但速度較慢，而且以探針與物體接觸會有盲點並且使軟體物體容易變形，影響量測精度，但以一般除以上缺點，它可以具有很高量測精度，適合做相對尺寸的量測與品質管制；雷射式快、精確

度適當，並且可以掃描立體的物品獲得大量點資料，以利曲面重建，量測完後在電腦讀出數據，通常這部分稱為逆向工程前處理。

得到產品的數據資料後，以逆向工程軟體進行點資料處理，經過分門別類、族群區隔、點線面與實體誤差的比對後，在新建構曲面模型、產生 CAD 資料，進而可以製作快速原型件 (RP Part)，以確認機構與幾何外形，或 NC 加工與模具製造，這些屬於後處理部分。

1-1 研究動機與目的

逆向工程(Reverse Engineering)在工業界中的使用日漸廣泛，其主要原因為：逆向工程提供了一個新的產品設計流程，快速原型則可縮短產品設計時間與降低成本。目前逆向工程與快速原型的整合是藉由 CAD 系統，將掃描點資料重建出曲面模型或是實體模型，再轉換成 STL 檔後經由快速原型系統成形。研究動機：隨著科技的進步，已經發展許多種非傳統切削加工方式，例如超音波加工、放電加工、雷射加工、電子束加工、電化加工……等。諸如此類的加工方式，都是想去尋求些更方便的加工方式。

以逆向工程的方式，運用數位化掃描機具量測物體表面點座標資料，主要利用雷射掃描量測系統，再應用軟體將量測點資料轉換成各種設計、分析及加工所需要的資訊。專題題目：靈活運用學校各種不同的工具機。例如：3D 雷射掃描機、CNC 銑床…等及各項電腦軟體來完成一完整的逆向工程。使本組同學可以親自操作一些有關逆向工程可以使用到的工具機、軟體…等。從中去了解逆向工程的工作程序，也可從中了

解三維量測原理及技術，自由曲面取點對策，自由曲線面之綴和重建，曲線面之整合處理技術。而逆向工程之三次元量床量測方法及過程，能設計出不一樣的產品，參考各種樣式的造型，比較新舊產品的優缺點，且利用石膏做出一個模型，利用模型來進行量測並做測試，不斷地修改產品以滿足設計之功能。

1-2 逆向工程之定義

現今一般工業產品之設計流程是由構想發展開始，等構想確認後，就經由 CAD(電腦輔助設計)軟體繪出 3D 模擬模型，再經由 CAM(電腦輔助製造)軟體，進行產品檢驗，如果達到要求，即可產生最終產品，這種開發工程稱為順向工程。然而，在逆向工程的設計流程中，是在概念設計大致確定後，先製作實體模型，經過 3D 數位掃描裝備掃描量測，將所得到的原型資料進行 3D 模型的修改與建構，如果達到要求，即可傳至電腦輔助製造系統生產製造而產生最終產品，其大致的流程如下：

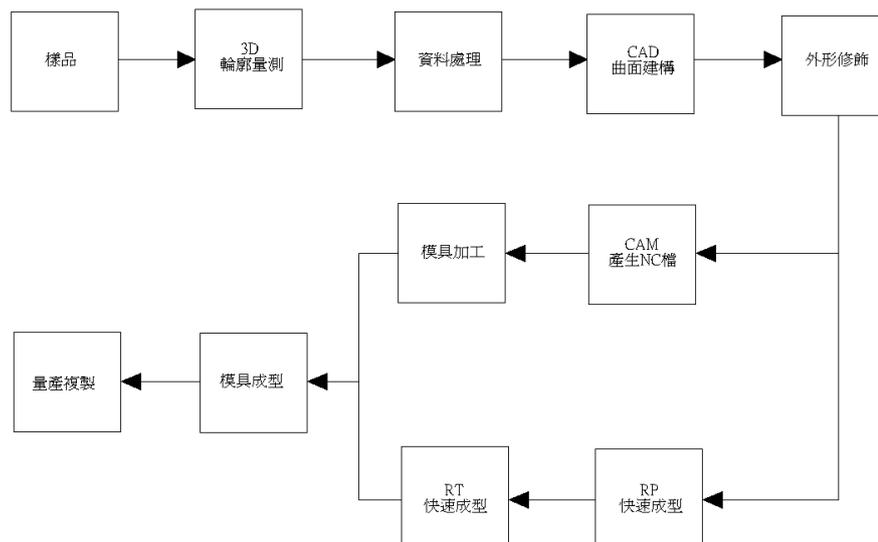


圖 1-1 逆向工程流程圖

逆向工程最基本的技術特徵，就是能將實體模型的表面資料藉 3D 量測儀器直接量測並建構出來，如此便可省略順向工程所需要的實體模型繪製工作，此對幾何外形複雜不易實際繪製之造形工件尤其適合，換句話說，此技術可以使模型建構速度加快，以及產品週期縮短。

另外，逆向工程尚具有許多順向工程所沒辦法完成的功能，例如：逆向工程可以重新建立出產品之圖形資料(此對那些設計圖形原本沒有或原有但遺失之產品尤有助益)，可以使設計師快速的作產品的設計；逆向工程比順向工程更適用於外形特殊以及具有獨特風格的產品，因為經由實際模型之製作較能使產品達到設計師所要的曲面弧度，逆向工程可以量測出符合人體工學的元件，例如安全帽、防護衣等，順向工程則較難製作出完全符合各種不同的人體特徵元件。3D 數位掃描系統扮演了產品設計師與逆向工程 CAD/CAM/CAE/ RP/CNC 之間的一個橋樑，也因為電腦動畫有些元件也跟工業產品一樣，造形較為複雜，且無規則性，因此運用數位掃描系統於國內動畫業中，一定有相當程度的助益。

1-3 發展狀況

二十年前引進 CAD/CAM 系統時，一般人都以為 CAD/CAM 系統是萬能，因此沒有注意到早就存在的逆向工程，一直到最近這幾年市場需求量增加，以及工業轉型，使得逆向工程受到重視，而掃描技術也在這幾年更趨於成熟。只要有產品開發就需要逆向工程，在過去逆向工程多應用在汽機車與模具業，如今廣泛應用在各種行業，逆向工程的使用也縮短歐美和亞洲之間生產製造技術差距，一般來說，歐美生產產品流程為先設計後製造，但亞洲卻多半是製造後，再給予改良與設計。

台灣過去大部分以一般泛用型 CAD/CAM 系統從事逆向工程，因此在曲面重建系統就面臨如下困難：

1. 掃描資料龐大：一般而言，掃描資料十分龐大，一般泛用 CAD/CAM 系統通常無法處理這龐大資料。
2. 簡單幾何狀無法處理：對於已知的簡單幾何形狀(如平面、圓柱面、球面、R 角)因掃描的誤差通常無法完成。
3. 複雜曲面整修困難：一般泛用型 CAD/CAM，不易表現複雜之曲面，同時對複雜曲面之重建與整修相當困難，最後是模

出了問題，須要修模時，在實際模具上，直接改變形狀的資料，往往很難反映回原設計資料，造成實際模具與設計資料之不同步。

近來三次元量測已廣泛受到重視。一方面三次元量測的量測精度已接近次奈米的水準。另一方面，三次元量測儀可以廣泛量測不同工件的尺寸與誤差，這使得三次元量測成為工廠與實驗室普遍使用之量具設備。然而目前大部分三次元量測操作仍僅限於手動與簡單的 NC 指令，其自動化的提升有賴和電腦輔助設計系統(CAD)的緊密配合，使得三次元量測的彈性和精密度可以充分的發揮和利用。

1-4 CMM 三次元量測儀 (Coordinate Measuring Machine)

目前商業上 3 D 雷射掃瞄器通常使用固定方向的格線來掃瞄物件外型，這個方法可使掃描過程自動化，但對大部分的工件外型而言，掃描後方行線格卻不會依循曲面的流線外型而修正。因此，對設計者而言，根據資料來鋪建曲面變的困難。曲面與曲面邊界的偵測與分隔也是一個問題，此外掃描器獲得的點資料通常比所需的還多。資料檔案有時非常大，以致於超過軟體記憶的配置，設計者也必須花費相當多時間來處理這些龐大資料，其實較好的掃描策略並非盲目的平行掃描，而是根據物體曲面的造型所變化。因此，一個比較理想的掃描策略應當有以下的步驟：

1. 使用少量卻足夠的點資料勾勒量測物體外型特徵，這些初步掃描資料，可以建立雖不甚精確但卻具備物體輪廓外形的初步曲面
2. 利用第一步所產生的初步曲面資料來產生進一步的自動量測點。利用所產生的資料，CMM 可以自動低去掃瞄物件，並產生更多精確的資料，我們再利用此點資料，去構

件心得曲面。這些曲面將更準確地描述物件幾何外形，而且這些曲面可以透過 IGES (Initial Graphics Exchange Standard) 檔案送入不同的 CAD/CAM 系統。

3. 再第一步驟所建立的曲面通常彼此重疊或是彼此間有空隙，因此，第三步驟是將這些曲面邊緣密接，如此一來，這些曲面可以連續且平滑補救起來。曲面的密接牽涉到兩個小步驟首先兩個連接配合曲面邊界之最高階次方與控制點點數都必須相同，如果無法達到這樣情形，我們再其中一個曲面或是兩曲面都要做參數化的處理；第二，我們所需的邊界條件，即密接配合處之位置、斜率、曲率都必須要連續。

1-4-1 CMM 優缺點

優點：1.量測精度高。

2.可量測範圍廣。

3.可同時量測規則幾何特徵及不規則曲面點資料。

4.較易解決量測定位的問題。

5.量測測頭可旋轉，較易量測 3D 工件。

缺點：1.需作測頭半徑補償方能得到工件表面之點資料。

2.需人為逐點量測，量測速度慢。

3.有接觸力，對於軟質易變形材料無法進行量測。

4.對於特殊幾何工件的量測需作量測路徑規劃。

5.接觸式探頭因有固定的直徑大小，當量測物件曲面接

合處為尖角時，將無法順利量得，易造成量測死角。

1-5 逆向工程的應用

隨著 CMM 和 CAD 系統整合，近年來有另一項重要科技也受到重視，此科技就是逆向工程。設計者現在可以建立或修改在製造過程中變更過的設計模型。以模具製造業為例，原始的設計模具在模具製程中就常常被修改，然而這些幾何外形的改變，卻往往未曾反映在原始的 CAD 模型上。逆向工程的功能和在設計製造間所演角色。

逆向工程的觀念是簡單而且容易了解的，然而在實際的應用過程中，逆向操作和完成往往是緩慢，甚至是痛苦的過程。使整個逆向工程過程自動化的目標存在兩個主要障礙，第一個是人工掃描的障礙，在許多的個案中，有一些具有複雜的幾何形狀和需要精度的物件功能，對這些物件人工掃描仍然是必要。另一個障礙就是處理 CAD/CAM 系統並非為處理大量輸入點資料而設計。因此，我們常須另外撰寫一些程式處理這些資料，從設計者經驗來看，即使點資料簡單幾何元素，一但資料量變大，處理起來也相當棘手，因此掃描後點資料再輸入 CAD/CAM 系統之前，需要先被簡化或是處理。

逆向工程可運用在：

1. 新產品設計。
2. 產品的修正。
3. 大型工件電腦模型之構建。
4. 設計圖之再製。
5. 產品之檢驗。

1-6 未來發展趨勢

近年來逆向工程 (Reverse engineering) 處理技術逐漸成熟，透過逆向工程之運用可使得模具開發時成縮點並且增加模具製作精度，因此各類模具廠皆積極導入逆向工程之技術。近年來各廠商面對越來越競爭的產業變動，「速度」成為競爭力的重要條件之一，快速將產品推出上市似乎是提高產品存活率的不二法門，尤其目前各產業間的產品週期縮短，每隔一段時間就有新產品問世。因此，如何縮短研發時間、加速製程，便成為各家公司的首要課題。逆向工程 (Reverse Engineering) 便是因應這種情況而產生的製程，經由快速掃描儀器取得產品外形資料，便可直接在逆向軟體中建構 3D 模型，大大降低了研發時間，提高產品競爭力。

然而逆向工程技術到底如何運作，以取得適當的產品外型，簡單的說，逆向工程就是根據現有的實體，量測其外型座標資料，再根據量測所得的點資料建構物體的曲面幾何模型。一但有了三維的幾何模型後，就能方便應用於 CNC 加工等製造。

透過逆向工程所建構而得的 CAD Model，經由 CAM 產生刀具路徑，其切削精度及效率更勝於傳統的仿削加工，此外逆

向工程技術，除了仿型和增進後續的加工品質外，更能賦予產品重新設計的好處，目前在工業界的運用已經大量的取代原有的仿型加工 (Copy Machining)。

每系統都各有其功能特色及擅長處理問題，並非萬能，系統只是工具，遇到不同問題用不同方法來解決，相輔相成才能達到最佳效果。逆向工程再目前也不一定適合每個產業。有些產業要在逆向工程的技術更成熟的時候才適用。而鑒於市場的需求及未來發展性，逆向工程的市場可以預期的會愈來愈大，尤其以(Rapid Prototyping) 機器的成熟，結合快速原型與快速模具 (RP/RT)，成為未來的一個趨勢，台灣傳統產生製造品，將面臨一個改革性蛻變才有辦法生存下去。

第二章 工作原理

2-1 三次元量測

三次元量測係於 1968 年日本三豐公司推出二次元遊標讀取方式之 AI 型座標測定儀，而接著於 1974 年英國 Rolls•Royce 公司推出全方位接觸式之探針，而逐漸發展為數位式三次元座標量測機，結合數控床台及其他量測方式(如光學)，以至今日三次元量測系統。

三次元一般表示一個物體的尺寸即是長、寬、高，而量測方面亦可分三個方向：

一次量測儀包括游標卡尺、測微儀、分厘卡等，僅具一次元量測功能，只能作直線方式長度量測。二次元量測包括投影機、工具顯微鏡等，因其只做 X、Y 向量測，具有二次元量測功能。

三次元量測儀即是座標量測(Coordinate Measuring Machine，CMM)係三個方向同時可以測量，具有三次元測量功能，也就是長、寬、高，以圖學來講，即前視圖(Front view)、上視圖(top view)、側視圖(side view)合起來為三視圖變成一立體圖，可製成品。

2-2 三次元量測儀的種類與方法

目前三次元量測儀之種類基本上分為接觸式與非接觸式兩大類型，接觸型主要以探針式為主，非接觸式主要是利用光學與影像處理為主。

如圖：

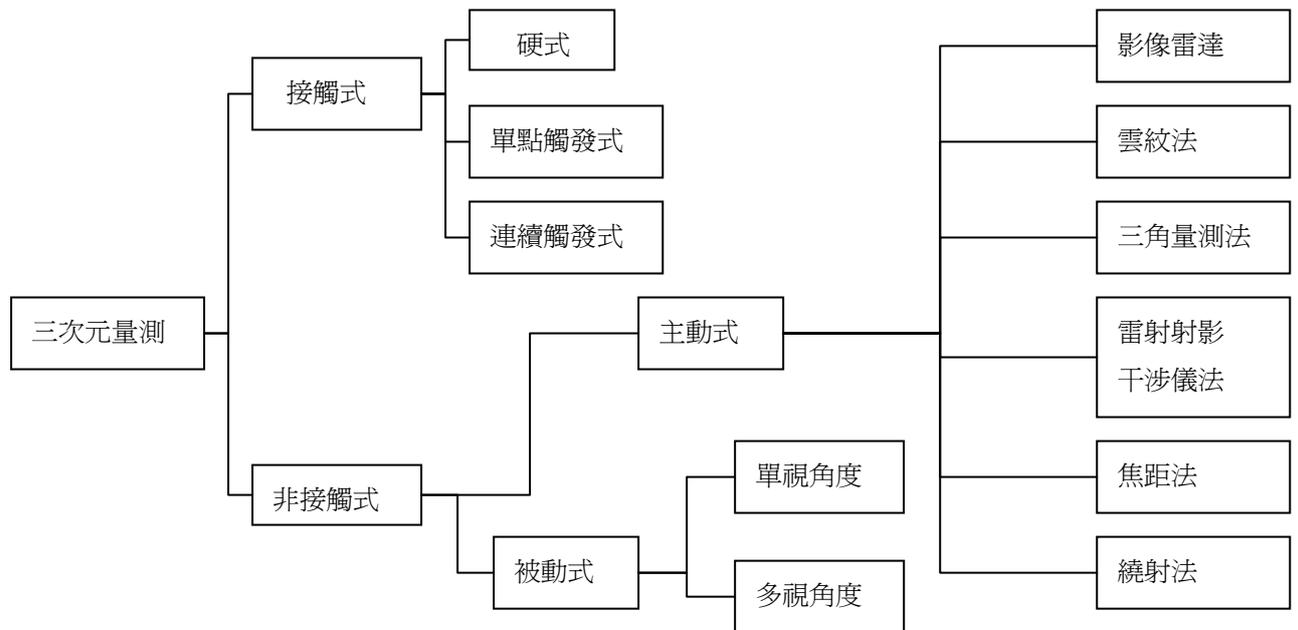


圖 2-1 各類三次元量測之比較

接觸式三次元量測儀在早期的商業應用上，都是使用手動或 CNC 利用一個可以做多方向感測指示的球型電子測頭，沿著 X、Y、Z，三軸移動以進行量測。量測時，測頭與工件表面保持切線接觸，達到特定壓力時，即可觸發信號，擷取測頭的 X、Y、Z 方向相對基準點的座標。經由電腦計算處理，可得測頭與真實尺寸的關係，進而紀錄點資料並作為後續逆向工程或相關工作用。

非接觸式三次元量測儀是利用 LED 或雷射光源，經聚光透鏡直射待測工件物體，反射之光線經由感射器可以偵測得到位至座標值，由於傳統的接觸式量測測頭較易變形、幾何複雜、微小的工件有量測的困難，因此非接觸式量測系統的使用亦逐漸增加。

2-3 國內常用之三次元量測儀之比較

目前國內常用三次元掃描是以探針式之接觸式、單點雷射、以及帶狀多點雷射為主，最近馬路科技代理立體照相式三次元量測，但使用廠商尚少，其優缺點比較如下表：

表一、國內常用三次元掃描器之比較

方式	接觸式	單點雷射	帶狀多點雷射
資料	需再計算 與球頭半 徑補正	表面資料	表面資料
速度	很慢	慢	快
工件材質	硬質材料	不限制	不限制
精度	高	高	高
量測死角	受球頭半 徑	光學陰影區 域	光學陰影區 域
誤差	變化大	小	小
價格	中等	中等	高
與 NC 連線	可	可	可

早期是以探針式為主，雖然價格較便宜，但速度慢，而且以探針與物體接觸會有盲點並且使物體容易變型，同時必須對探針之球頭半徑作補正，才能得到真正量測座標：雷射掃瞄式快、精確度佳，尤其雷射光待掃描一次掃毛處理 512 點，在處理複雜曲面節省相當多時間，但其易受光線陰影所影響，因此常需再量測表面做白色不反光之噴漆處理，以減少光學陰影所造成的誤差。

2-4 三次元量測之產業應用

市場競爭激烈

三次元量床是一種冷門，但卻是工業製造上不可或缺的產品，從市場需求來看，不容易出現大起大落的劇烈變動。但因整體市場規模有限，投入廠商眾多，競爭非常激烈，在前幾年全球景氣衰退時，相關廠商併購倒閉的消息時有耳聞。

雖然全球生產三次元量床的製造商眾多，但市場上仍以 Brown & Sharpe、Mitutoyo、ZEISS 三大品牌為主要的供應商。目前全球比較知名的品牌，台灣幾乎都有代理。

技術服務為真正決勝關鍵

為了在激烈競爭的市場中勝出，各廠牌紛紛推出各種極具特色的產品，如推出更高量測精度的產品，或是追求更快的量測速度，方便進行生產線上的即時量測，或是推出一機多功能的產品等。為了吸引客戶，可謂各顯神通。

但根據業者普遍的看法，產品的各種性能，在設計上雖然越來越精良，功能越來越齊全，但技術服務才是真正能留住客戶的關鍵因素。因為三次元量床是一種高精密度，技術複雜且非常昂貴的設備，不是說賣給客戶就從此沒事了，後續的售

後服務非常重要。從最開始的機台安裝、教育訓練、例行的維修校正，到各種特殊工件的量測應用，廠商都要能提供，以滿足客戶的需求，否則很可能會被市場所淘汰。

為了建立起良好的技術支援體系，各廠商紛紛成立校正實驗室，也積極設立提供代客量測、量測諮詢的技術服務單位。而技術人員的養成，更成為公司營運不可缺少的成本支出。在一些代理商的經營上，其技術人員的支出已經超過整個人事成本的一半以上。

微小工件量測為未來發展重點

隨著台灣科技產業的發展，許多產品越做越小，像目前正在成型的微機電產品，或是當下熱門的奈米技術，都顯示出微小化產品已成為未來的發展趨勢。業者表示，原本工業界所使用的三次元量床都太大，並不適合量測這種微小工件，所以有不少國家已經開始研發這種微小工件量測，或奈米級的三次元量測技術，因為未來的需求一定會出現。

2-4-1 逆向工程之應用

隨著時代的進步，電腦軟硬體的持續發展，使得 3D 電腦輔助設計及製造有了快速的進步，並在工業界已普遍被使用，尤其在醫療界及模具業的使用上有更驚人的改變。3D CAD/CAM 大量簡化了模具開發的時間，故在產品開發和自動化生產上已有著舉足輕重的地位。

工業技術不斷的提升和產品的需求多樣化、複雜化以及產品生命週期縮短，因此如何在最短時間內將產品設計與製造完成，已掌握市場的先機，實為工業界一重要的課題。然而並非所有的產品均有設計圖面，它們的外型可能是老師父或設計師用雙手和黏土捏造出來，在用人力以土法煉鋼的方式做出造型近似的模具，其中的過程十分繁雜且無法產生 3D CAD 資料。為了克服這些問題，於是逆向工程技術應運而生。應用逆向工程技術可快速完成產品的設計與製造，並可應用於汽機車零組件、運動器材、醫療用具、家電用品、和陶瓷製品....等等，還有快速原形製作，如精密鑄造產品、工業造形設計等，人體形狀量測如：人頭像、人造頭骨、齒模、複雜曲面量測等。

目前所稱的逆向工程是針對一現有工件，利用 3D 數位化量測儀器準確、快速的將輪廓座標量得、並加以建構曲面、

編輯、修改後，傳至一般的 CAD/CAM 系統，再由 CAM 所產生的刀具的 NC 加工路徑送紙 CNC 加工機製作所需模具，或者送到快速原形機，將樣品模型製作出來，再利用快速模具技術進行小量多樣的翻製。本系統將整合接觸式和非接觸 3D 量測系統，接觸式 3D 掃描量測系統主要應用於複雜曲面形狀的量測。

再使用快速原形技術，即是在 CAD/CAM 系統中建構封閉的 3D 實體模型，並確保所有水平截面均為封閉。再將 3D 實體模型轉為 STL 格式，即以多個三角形來趨近模型曲面。曲率變化大的模型需要較多的三角形，故 STL 檔案會比較大一些。快速原形機的電腦中有 STL Editor 可將模型切割成薄片，並分析其截面積。該截面積將透過液體或粉末的固化或者將固體薄片黏接而堆疊成型。

國內廠商在產品研發、設計流程和生產方式上大部分源始於 OEM 再到 ODM，然後再逐漸建立自我品牌，因此逆向工程一直是國內企業研發設計的主軸，讓企業界發揮更廣的設計創意，提升設計的品質與能力。藉產品研發設計週期的縮短，加快產品上市的速度，有助於企業掌握市場的商機和全球化的競爭優勢。

2-5 逆向工程前處理簡介

三次元量測儀所配備的量測探頭以往均以接觸式觸發探頭為主。經過二十多年來的使用經驗，工業界發覺此類探頭的適用性有其極限。對一般基本幾何形狀所組成的規則形狀工件而言，較適合此類探頭來量測。然而對於曲面工件得尺寸量測，此類探頭的限制問題，也一直為人們所提出和探討的。自 1986 年以來雷射探頭的陸續問世，解決了不少觸發式探頭的限制問題，曲面工件的量測在速度上也大為提升。雷射探頭在非接觸式量測上，也有不少問題須先克服，例如感應範圍、精確度、工件粗糙度等等影響。

感測方式可分為接觸式和非接觸式兩種，一般而言，接觸式量測範圍較大，可達到之精度亦較高，但速度緩慢；非接觸式量測時間很短，但其範圍精度均較小，有關接觸式與非接觸式掃描機之特性和其優點，一般而言，若工件為小型件，且表面景深變化不大，對精度要求不高，或許有許多一般探頭很難進入極小圓角之凹槽、凹線，則適合採用非接觸式。此外，柔軟件表面硬度低之工件，則一定要使用非接觸式探頭。高精度掃描 0.03MM 以下，則以接觸式較為實用，尤其在品質管制上，則應用以接觸式為較佳。有些非接觸式感測頭亦可到達此

精度，唯其成本往往高過於接觸式，所以成本效益不佳，因此逆向工程則以非接觸式較佳，雖精度不像非接觸式高，但其快速獲取物體表面大量點資料，以利曲面重建。此外，理論上，使用非接觸式感測頭，可以無需後段資料處理而進行以掃描資料直接做成 NC 刀路，直接加工，而接觸式感測投需克服刀具半徑補償問題，故需後段資料處理。非接觸式量測法的發展原因可由兩項觀點說明：

1. 去除接觸式量測法的不良效果
2. 改進量測速度

點資料結構好壞，攸關最後所建立的 CAD 模型的品質。影響點資料結構的好壞因素，除了被量測物件的表面外，另外一個因素就是量測系統。以下內容以常見的幾種量測系統的特性，比較它們的優缺點。量測系統可概略分成兩大類；接觸式量測系統以及非接觸量測系統。下面就根據這樣的分類方式來探討。

2-5-1 接觸式量測系統

三次元座標量測儀可謂接觸式量測的代表，在早期商業應用上，都是使用手動或 CNC 利用一個可以做多方向感測指示球型電子測頭，沿著 XYZ 三軸移動已進行量測。量測時，測頭與工件表面保持切線接觸，達到特定壓力時，即可處發信號，擷取測頭的 XYZ 方向相對基準點的座標。經由電腦計算處理，可得測頭與真實尺寸的關係，進而紀錄點資料並做為後續逆向工程或相關工作作用。將 CMM 應用在逆向工程物體 3D 點資料擷取方面，作曲面的點資料量測時，量測人員必須先沿著曲面的外型，測頭碰觸到這些點，獲得曲面的表面點座標，如果規劃的點數不多，則可以用人工的方式逐點進行量測，但如果需要點數很密集的資料，則以人工的方式就不適合了，則需要 CNC 方式加以輔助。

再來使用接觸式，則有較多參數必須決定。這些包括探頭形狀、大小、掃描間隔、步進距離、容許誤差量、掃描速度、掃描方向、掃描模態等。一般原則，掃描方向與模型陡峭成正交為佳，由於工件形狀的不同，所以常常要將模型分成不同的區域以不同的參數掃描。

接觸式探頭有機械式和墊子觸發式兩種，其限制如下：

1. 接觸力的大小會影響量測值。探頭結構的靜態反映設計也影響量測值的正確性。另外由於運動慣性及延遲都會產生超越現象而衍生動態誤差。即使量測力控制穩定，也會因工件表面組織變化而導致接觸壓力變化。
2. 工件內部量測，如孔徑，會因形狀尺寸影響量測值。
3. 量測內部傾斜面時，探頭半徑補償法不易，且精確度亦有問題。接觸力會造成工件及探頭表面磨耗影響光滑度。

2-5-2 非接觸式量測系統

非接觸式量測系統是利 LED 或雷射光源，經聚光透鏡直射待測工件物體，反射之光線經由感測器可以測得位置坐標值，由於傳統的接觸式量測測頭較易變形，幾何複雜、微小的工件有量測困難，因此非接觸式量測系統的使用易逐漸增加。

使用非接觸式掃描，則基本上只要決定點的密度即可。須注意的是模型表面處理的是否得當。由於非接觸式一般是以光學掃描，模型表面狀態，對掃描結果影響相當大。若是不感光或是會全反射的表面，必須加以處理。處理時須注意不可增加表面的厚度或改變表面形狀，尤其是使用噴漆處理時。

非接觸式量測距離的方法分聚焦法、反射光量法、光干涉法、三角測量法、傳播時間法等。三角測量法的解析度，測量範圍大，最為常用。三角測量法的投射光源包括點光源、光帶式光源、多縫光源、及空間符碼化光源。

其中又以光帶式光源最常見，因速度適中又校準點資料的處理方式依所使用 CAD/CAM 軟體而定。例如很多 CAD/CAM 軟體使用參數型式描述曲面，如 NURBS 曲面。參數式曲線的優點之一是可在螢幕上拉控制點的位置來修改曲線外

型。不過由於掃描資料龐大，所建立的參數是去面很難編號，必須將資料縮減。目前很多 CAD/CAM 軟體已提供處理掃描點資料的功能。

一般掃描是在三軸床台上進行，利用光學三角量測繪掃描不到資料，尤其是在樣品邊界處。雖然這是很多人知道的問題，但卻未有文獻詳細指出是在何種情形下發生。

感測器的輸出訊號有幾種不同形式，以二個光感子做差動信號輸出者稱為雷射觸發探頭；以光位置檢出器輸出者稱類比式雷射探頭；以光矩陣檢出器輸出者稱為數位式雷射探頭。

由於量測的過程中並沒有實際上的機械接觸，因此將無接觸壓力問題；而且光點直徑約在千分之一吋左右，故亦無探頭半徑補正的問題存在；另外由於電子信號的處理快速，量測速度可高達每秒 50 點，不僅加快檢驗速度亦可做掃描式密集點取樣。但是工件本身的表面色澤、粗糙度及曲率變化等問題會影響雷射光束，雖然雷射探頭的設計原理盡量降低這些誤差，裡如以光散射式原理，以及雷射光源自動調整功率等已克服上述問題，但無法完全解決問題。

以雷射掃描方式進行點資料量測有以下優缺點：

優點：

- 1.不須人為逐點量測，量測速度快。
- 2.可量取細小或易變形的工件
- 3.無接觸力，不會對精密表面所傷害

缺點

1. 待測物工件表面的明暗度會影響量測的精度
2. 量測精度較差，對於特定幾何誤差之工件無法量測
3. 由於聚焦方面的問題，若測頭與工件表面不是垂直，則測得
精度會降低
4. 陡峭面不易量測，雷射光無法照射到的地方就無法進行量測
5. 不易做做標定位，所以立體工件較難量測

2-5-3 接觸式與非接觸式量測系統之比較：

因為接觸式量測方式的測頭具有固定的直徑大小，所以曲面接盒的地方若沒有經過圓角處理，則無法得到交接處的量測資料。此時必須選擇非接觸的方法來進行量測，但若是曲面的高度突然增大，則以非接觸式量測時會有資料遺失的現象發生，另一方面非接觸式的量測方式可以在短時間之內完成整個工件掃描，且得到龐大的資料量。但是使用這些資料來建立曲面時，常常還需要複雜的處理，才可以得到量測物件之外型。至於利用接觸式探頭進行量測時，雖然量測速度較慢，但是使用者可以決定量測的位置，或是特徵的地方量測較多的點資料。得到的資料雖然較少，但因為是經過使用者規劃量得，因此可直接來建立曲面。且若被量測物件具有特徵曲線，則可以接觸式量測方法來量測特徵曲線所在的點資料。

另外，由於接觸式的量測方式是沿著曲面的外型以截面的方式來進行點資料的搜集，所以使用者可以很容易的辨認出每一條量測曲線；而非接觸式的量測是以光線來掃描整個曲面，或者利用點光源已很小的間距，來量測曲面得到密集的點資料。

2-6 點資料處理：

進年來逆向工程在模具設計製造的應用上，受到廣泛的重視。由於雷射掃瞄技術在量測上的大量運用因而加速了點資料的擷取，所以量測所得的點資料也相對的增多，由此所建立的曲面誤差也將較小，然而由於掃描所得的點資料相當龐大，一般以 CAD 的系統受到電腦記憶體的限制以及掃描時資料點受到外在影響而伴隨雜訊等因素，往往造成處理上的困難。另一方面，因雷射掃瞄技術起步較晚，所以對於量測點資料處理的方法也不多。

在逆向工程的點資料量測過程中，常因為各種因素而造成點資料不完美，這些原因包括：

1. 工件表面粗糙度影響
2. 加工不恰當，，造成工件表面的波浪型狀或局部凹凸
3. 量測系統本身有不可抗拒的限制；例如，探針的感測不可抗拒的限制或探針的感測不夠靈敏，不能做球半徑補正
4. 工件表面形狀變化太過劇烈
5. 點資料不正常震盪與跳動
6. 局部區域會因點資料缺乏而跳點
7. 不適當的凸起獲凹陷

不同的點資料結構必須承襲對應量測系統的特性及優點，面對不同的點資料結果，處理方式也大異其趣。運用雷射掃描儀所量出來的點資料相當密集且複雜，這種點資料經過適當的處理，濾除不必要且過密的點資料後，很適合來產生 NC 碼。相反的，用掃描尋跡專用機所描出來的點資料，沿襲著接觸式量測的特點，不僅精確度高，還具有截面輪廓的特性，可沿著不同的方向來量測，亦可根據曲面的特徵做特別角度的量測。由於其資料結構相當規則，所以在適用上也具有彈性，除了前面所提的三角網格外，還可經由點、線、面的程序來建構曲面模型，於物件的表面特徵的表現會有比較好的效果。

2-6-1 資料的前置處理

將雷射掃描量測所得的點資料予以重整，使得點資料的排列更為正確，此外，並利用曲面分析的方法來做特徵曲線的萃取，執行自動尋邊等任務，已將點資料依工件幾何形狀分隔成不同區域，並將分隔的區域以 NURB 曲面種新建立。

前置處理可分為兩部份；一般點資料前置處理及特徵曲線的萃取；前置處理主要有點資料亂點排序、點重組、重新取點、點資料的分隔，方向重組、亂點濾除、平滑化等，可將掃描過程中所產生的亂點或雜訊予以抑除。得到較正確且易處理的資料點，以利於曲面系統的重建工作。而特徵曲線對於雷射掃描點資料的邊界分隔則是非常重要的，由於雷射掃描系統是採平行掃描的方式，因次點資料並不能依照工件的幾何形狀分布，必須經由特徵曲線的萃取以輔助掃描點資料的重新分布。

掃描品質的好壞直接影響加工刀路的優劣。良好的掃描資料，可以縮短後續資料處理的時間，甚至無需編修，就可產生優良的加工刀路。但實際上，越是高品質的掃描資料，其所花費的掃描時間及成本也就提高。一般在接受掃描成本內，所獲得的掃描資料多少事又瑕疵的，從另一角度來看，使用量測資料處理系統的大優點，就是可以編修掃描資料，將不好的資

料修成良好，因此如何以不完美的資料去加以修整，是件蠻重要的事。

一般不良的掃描資料有下列幾種情況；

1. 掃描資料

圓角弧線變成直線，會造成成品過切現象，此種現象通常是掃描機參數設定不良與掃描機本身的品質有關係。此種狀況難以資料編修整理，通常必須重掃。

2. 掃描線深淺差

此現象通常發生在往覆式掃描。若有此種問題發生，在與掃描向平行之陡坡處造成的問題會比在其他平滑區更嚴重。若不加以處理，直接以該資料產生刀路，會造成成品在該區域有縐褶現象。若淺差情形輕微，可以資料編修功能處理，較嚴重時，必須重掃。

3. 掃描資料偏離

通常發生在陡降面底部，掃描量測探頭往下降時掃描資料會遠離模型面。若是單向式掃描，會造成資料於陡降面底部失真，若是往復式掃描，會造成在陡波底局部有凹凸皺摺現象。此為掃描速度過高造成，須降低掃描速度重掃。

4. 掃描線抖動偏移

如果抖動在原模型面上，可利用資料編修功能處理。但如果偏離原模形面，但情形輕微，則也可利用資料編修進行修整，若嚴重，則重新掃描。

5. 雜訊眾多：

這是最易察覺的不良現象，能處理一般也不難，雜訊一定要消除，若不處理，就算雜訊只有一點，於刀路產生時不過切的原則，會將區域放大，造成成品表面嚴重變形。

2-6-2 雷射掃描點資料的處理

由於雷射掃描量測是採非接觸式雷射光束來做為量測的介面，因此往往因為量測的介面，及量測工作的反光性、空氣中的微塵甚至量測機器本身的震動而影響量測的精度，因此在量測點群中含入大量的雜訊使得資料點有所誤差或者散失，為了解決在雷射掃描在量測時可能發生的問題，以下的方法將雷射掃描所到的資料點重新編輯以得到更正確的點資料以利於曲面的建立題生 CAD 模型的精確度：

1. 掃描點資料的重整

由於雷射光掃描時易受物體表面反光的影響而造成資料的散失，為此我們必須將點資料重新調整分配以達到較均勻分布的點資料使得在從事曲面重建的時候，能夠得到較好的曲面。一般我們可利用內插法在 t_0 ， t_1 或 t_2 ， t_3 等間距較大的相鄰兩點之間將資料做內插，然而此種作法若相隔之資料點距離過大，資料點將無均勻分配，所重建的曲線也可能有所失真，因此我們改採插補法將點資料重新排列，使資料點均勻的分配在這個曲線

2. 資料點取點

資料點編輯是當使用者發現所掃描點資料密度過高時，可以將資料點予以減少以加速資料處理的速度，相反的，亦可取資料點的數目來補足資料點不足的現象。資料點重新取點的方法一般來說有以下幾種：

(1) 平均取點法

將資料點一固定建格重新取樣。

(2) 倍率法

將所有資料點數除上一個因子，以藉以達到減少資料點的目的。

(3) 間距法

此方法是讓使用者指定一個容許值，如果相鄰兩點間的距離大於容許值，資料點予以保留，否則予以去除

(4) 弦線偏差法

兩個參數值；最大偏差量及最大距離來決定資料點的保留與否。

(5) 插補法

補法來重新取樣，假設我們所需重排的點數為 n 個，我們可以任意增加或減少點數來決定我們所需要重新取樣

的點數，但增加或減少點數有可能會造成失真的現象。

3. 資料點平滑化

對雷射掃描因領域而言，由於所量測到點的精度並不是非常的高，尤其在量測特殊的幾何形狀如凹面、或是易反光的工件時，資料點的雜訊較大，資料點的平滑化將有助於雜訊的去除。平滑化的方法一般而言有三種：

(1) 中值法

點取平均值來取代原資料點。假設相鄰的兩點分別為 x_0 、 x_2 、 x_3 ，以中值法來做平滑化得到的新點 x_1 ， $= (x_0 + x_2 + x_3) / 3$)，其中虛線代表原工件的曲面，黑點代表雷射掃描所得到的點，直線代表平滑化後的曲面，方點代表平滑化後的曲面。

(2) 平均法

是將相鄰的三個點取重心來取代原資料點。假設相鄰的三點分別為 x_0 、 x_1 、 x_2 ，以平均法來做平滑化得到點 x_1 ，其中虛線代表原工件的曲面，黑點代表雷射掃描所得到的點，直線代表平滑化後的曲面，方點代表平滑化後的曲面。

(3) 高斯法

將高頻的雜訊濾除來達到平滑化的效果，然而資料點的平滑化將對於原始資料點更動，因而在某些特殊幾盒曲面改變處將會有失真的現象，其中虛線代表原工件的曲面，黑點代表雷射掃所得到的點，直線代表平滑化後的曲面，方點代表平滑化後的曲面。

4. 掃描點資料的分隔

由於雷射掃描所得到的點資料量十分的龐大，因此通常我們會將其分個成幾個部分來進行處理，以節省處理資料點的時間。分隔時我們利用使用者介面，操作滑鼠將所分隔的區域圈選出來所示，我們利用簡單的判斷式來做分隔的依據，當資料點達到滿意的判斷式時，即可將資料點分隔出來。

5. 掃描點資料的重組

將分割成的區域一內邊界的方向做資料重組以利曲面重建。首先我們將需要作方向重整的掃描點資料沿著所需重整的範圍以滑鼠選起來，通常是沿著工件的幾何特徵來做重組的區分，以所圈選的線條做此範圍的邊界，並逐一與掃描點群做交集將其與空間的交點；之後我們利用所交集的資

料分以 B-spline 曲線予以擬合。在將所擬合曲線內資料點重建曲面。將所建立完成的曲面載兩掃描點資料做一次交集，此時所交集後的點資料應依照曲面的方向予以重新組合。

6. 掃描點資料亂點濾除

由於雷射光掃描量測易受到空氣中的灰塵影響而產生額外的亂點，而這些資料點並不屬於量測工件本身，如果不予去除，在重建曲面時便會將這些亂點含入，而造成重建曲面的錯誤。本文將使用高斯濾波器來將量測所產生的亂點去除。

7. 特徵萃取

特徵萃取是一工件的幾何形狀將工件曲面上的幾何特徵從掃描點資料中萃取出來。特徵萃取可分為幾何特徵形狀的萃取如；圓、圓錐、球面等及邊界的界定，為了達成雷射掃描點的分隔，本文將著重於邊界線的尋找，並以此作為分隔曲面的基礎來源之分割成不同的區域，以輔助掃描點資料的分隔，以利曲面重建。

2-7 後處理系統簡介

曲面重建可以說是逆向工程的另一個核心及主要的目的，是以所量測的 CMM 或掃描點資料為輸入資料來重新建構曲面模型。得到產品的數據資料後，以逆向工程軟體進行點資料的處理，經過分門別類、群組區隔、點線面與實體誤差的比對後，在重新建構曲面模型，產生 CAD 資料、製造或 NC 加工或 RP 製作，這部分及為後處理。

第三章 實驗設備

BREUCKMANN 3D 光學掃描系統 OPTOTOP - THE HIGHEND 3D - DIGITIZATIONI SYSTEM

三角光學偵測原理是所有 3D 影像數位處理的基礎，量測物體之數位資料是以 3D 模式處理。光學偵測和拍照技術都是以光線前進之三角圓裡計算。三角偵測原理就是藉由特定光源照射及不同照相機位置之關係，光學處理軟體透過對光紋圖樣分析的技術。和照相機之畫面做比對，可在幾秒間計算出上百萬點之 3D 點座標。

OPTOTOP：模組化及可調整式系統

OPTOTOP 系統之模組可區分為：投射模組及 CCD 照相機模組，組合成非常強大的影像數位處理系統。在量測軟體 Windows NT 版的 OPTOCAT 系統的配合下，造就了許多不同領域的 3D 掃描應用用途。OPTOTOP 系統之量測感應器所能處理的範圍介於數公釐及數公尺間系統可由多種量測範圍價購組合或甚至彩色鏡頭，可量測出彩色多種組合之 3D 數位資料。而不需更換或添增任何設備多重量測範圍及彩色組合。

在許多量測工作中，僅有少數需要較高解析度掃描。其他部分者僅需要低解析度掃描即可，因此多用途掃描系統設備因應而生，該系統可同時擁有多個可調整式掃描範圍，解析度及精度組合。

使用者可以自己的需求隨時自行加以調整所需之掃描範圍。每一不同掃描範圍可用軟體加以設定，而不影響同一物體之掃描。這樣的架構帶來智慧型掃描流程，而不必更換掃描設備，可大大節省掃描所需的時間。如搭配彩色鏡頭及彩色處理器，甚至可獲取彩色的物體表面彩色及相對應的 3D 模型資料量測及整合的技術。

OPTOTOP 系統可以很容易和定位系統設備(如：數位相機定位儀、CMM 或 CNC 機器)加以整合我們有開發相關校正軟體功能可以快速且精準的和定位系統設備整合，其精度可介於 0.01-0.02mm 之間，此外 OPTOTOP 系統也可以很容易和其他自由定位設施整合(如：貼黑點標記、參考圓球)。

應用領域：

由於 OPTOTOP 系統具有極高彈性組合架構，可以很容易運用於許多不同領域量測工作上，系統可運用的研發領域有：

機械工業 汽車工業 模具工業 電子業 航太業
塑膠工業 醫學應用 建築工業
古生物學及考古學 藥學及皮膚學



圖 雷射掃瞄機



圖 三次元測量儀



圖 快速原型加工 RP 系

第四章 實驗過程



圖 4-1 實體掃描

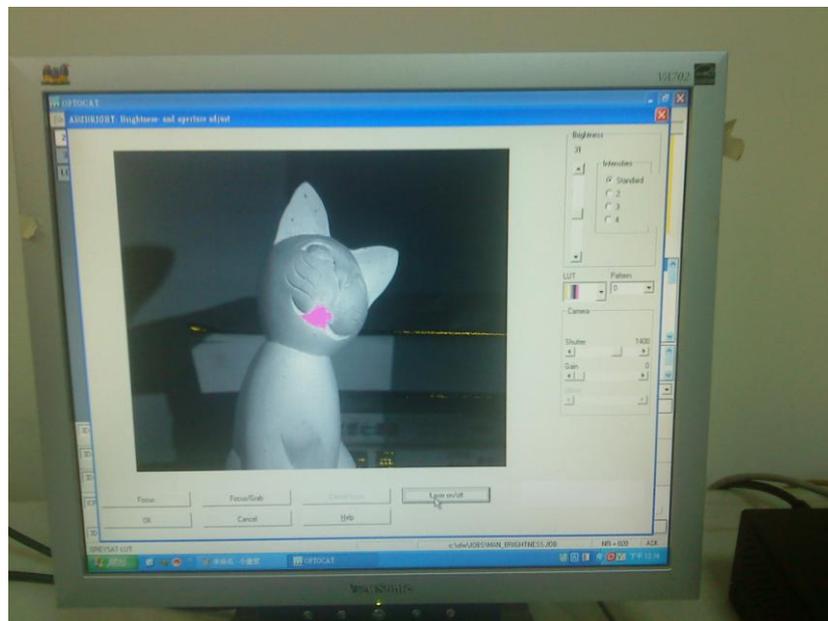


圖 4-2。開啟 OPTOCAT 軟體 開啟雷射 做對焦距的動作

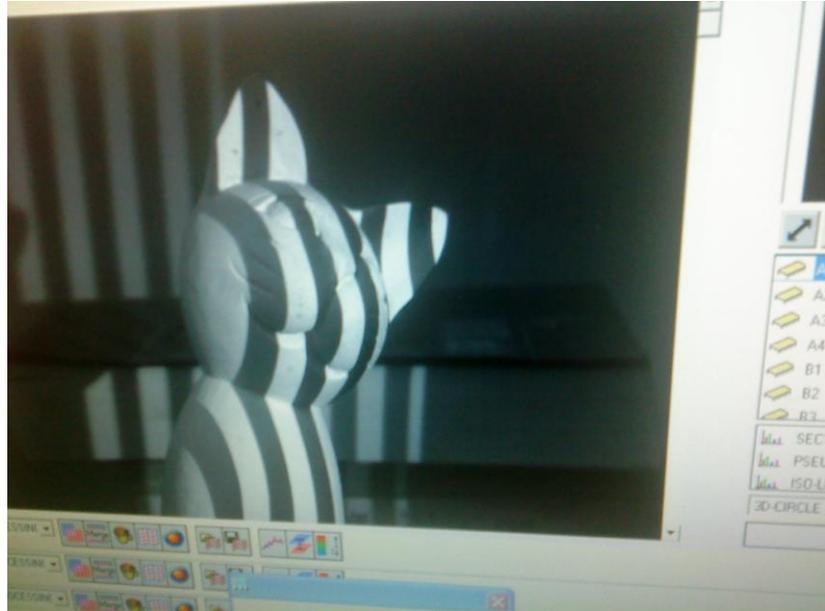


圖 4-3



圖 4-4 進行光線明亮度調整，完成後按 OK 進行雷射掃瞄拍照。

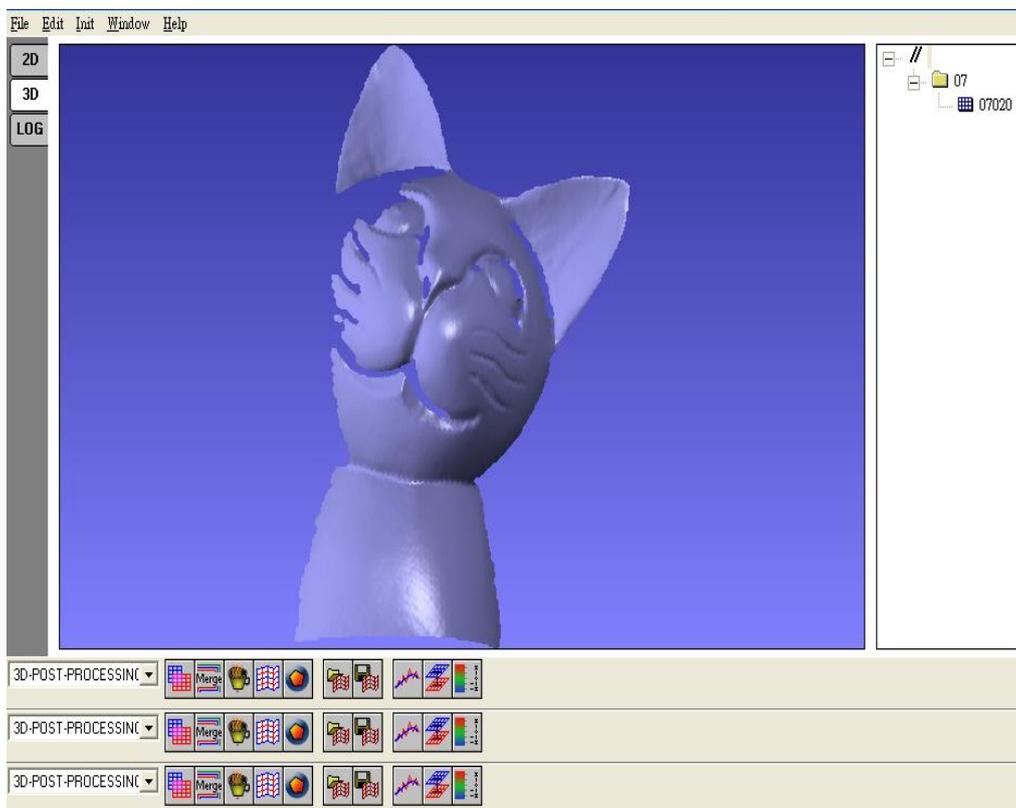


圖 4-5

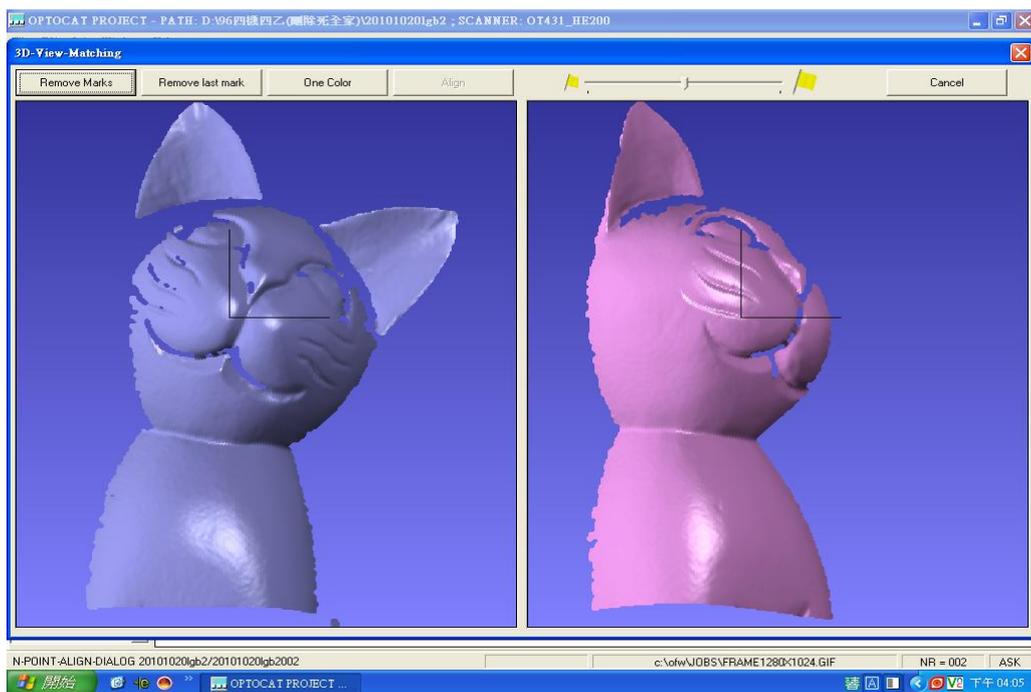


圖 4-6

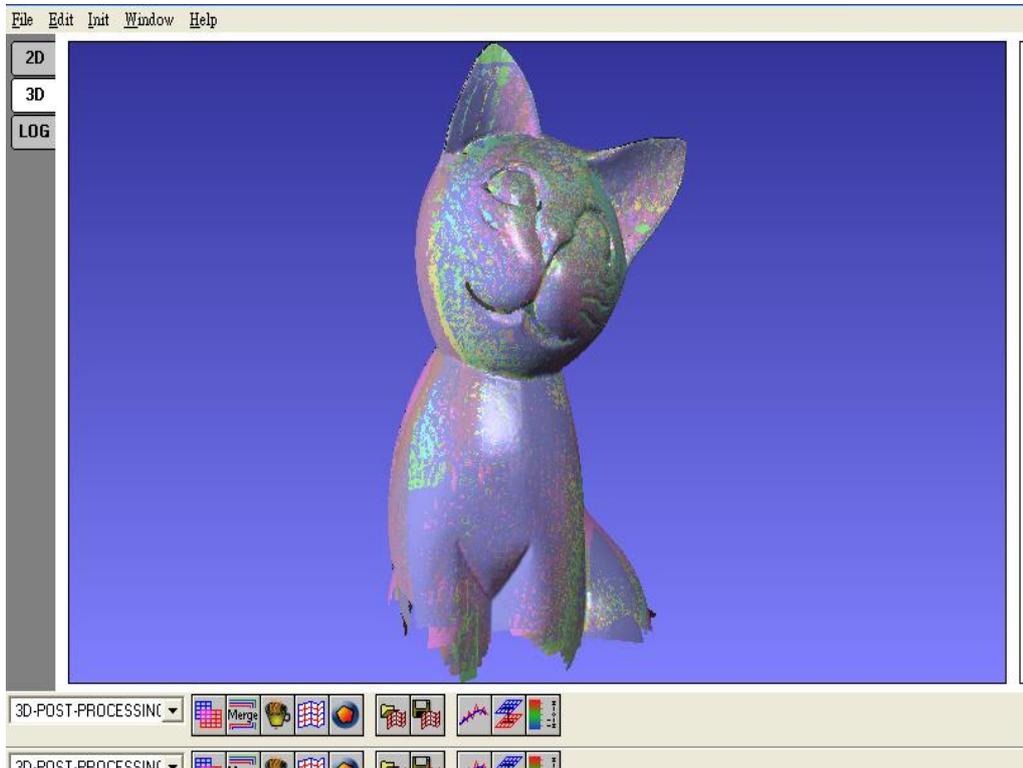


圖 4-7

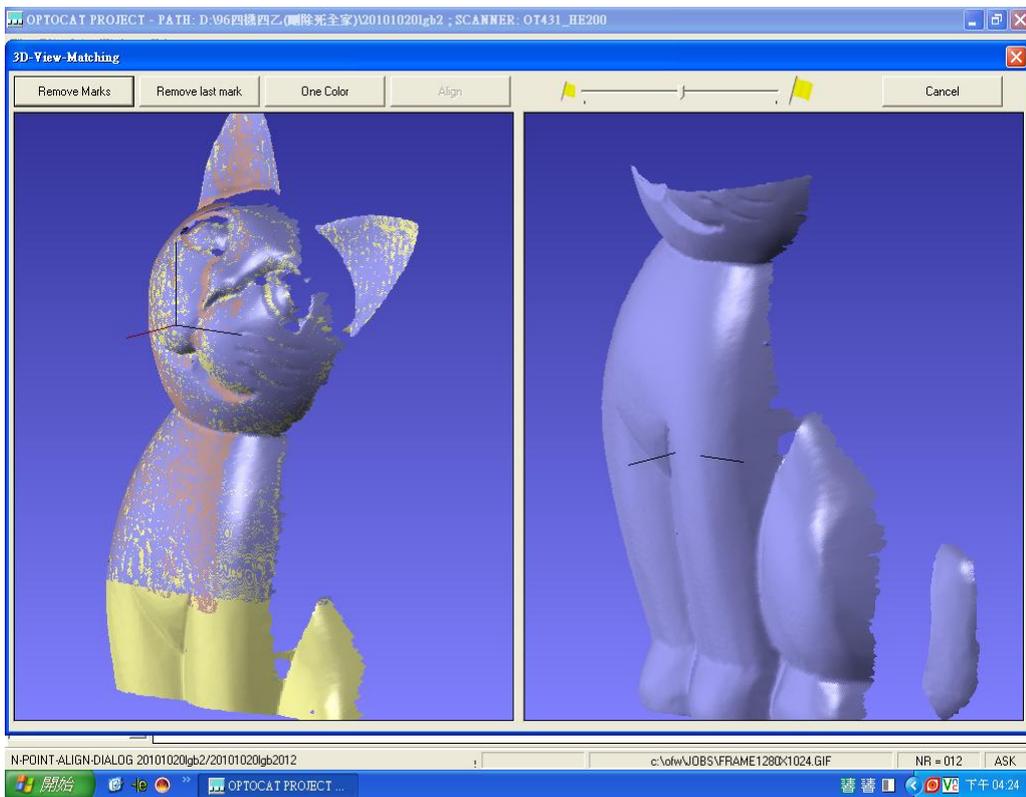


圖 4-8

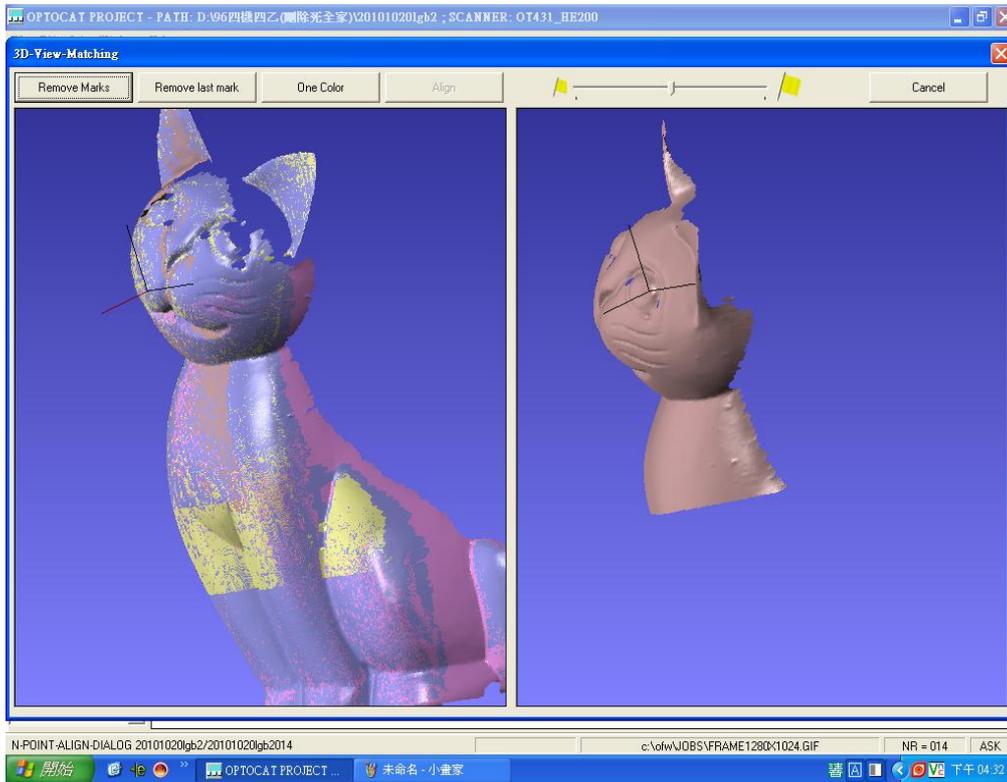


圖 4-9

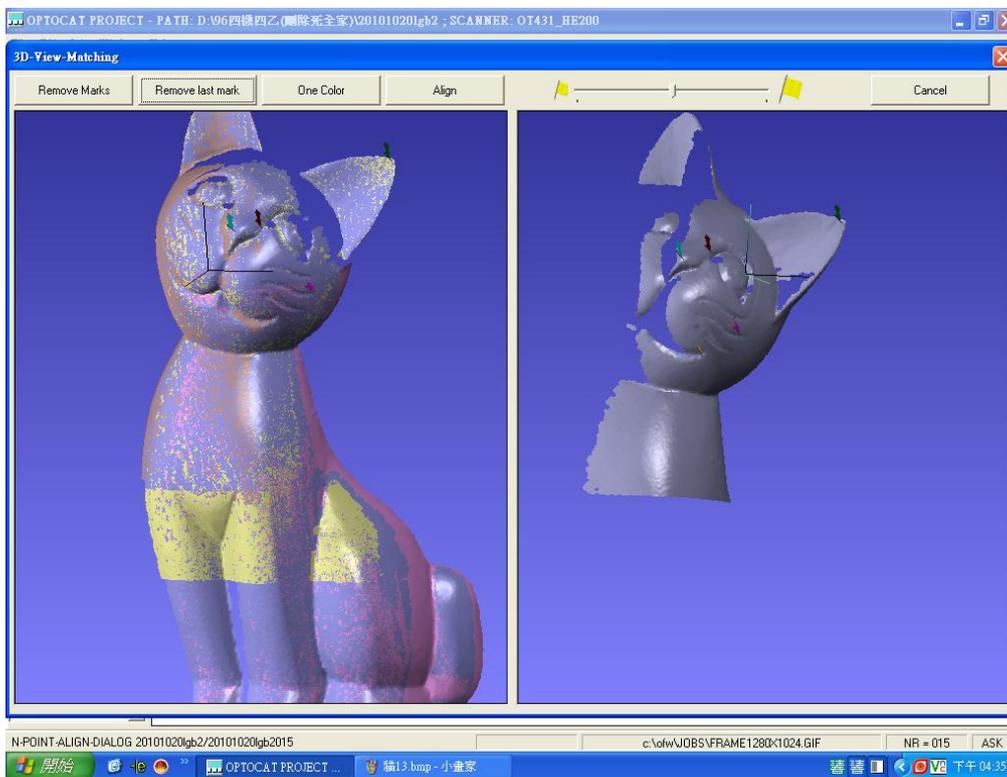


圖 4-10

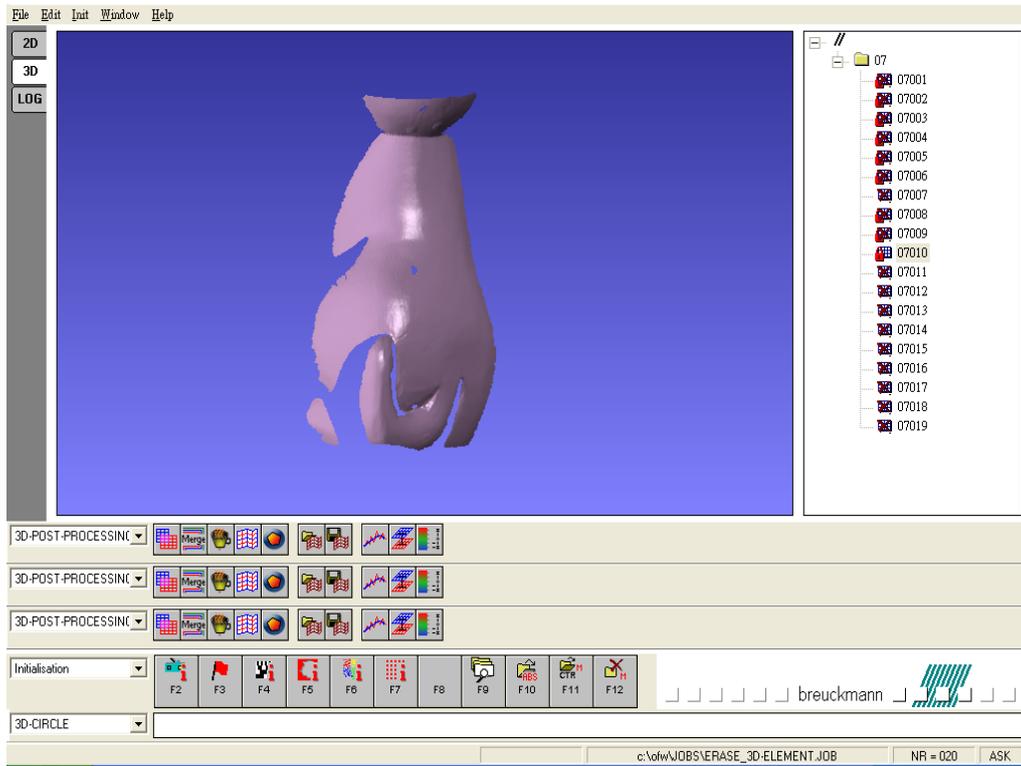


圖 4-11

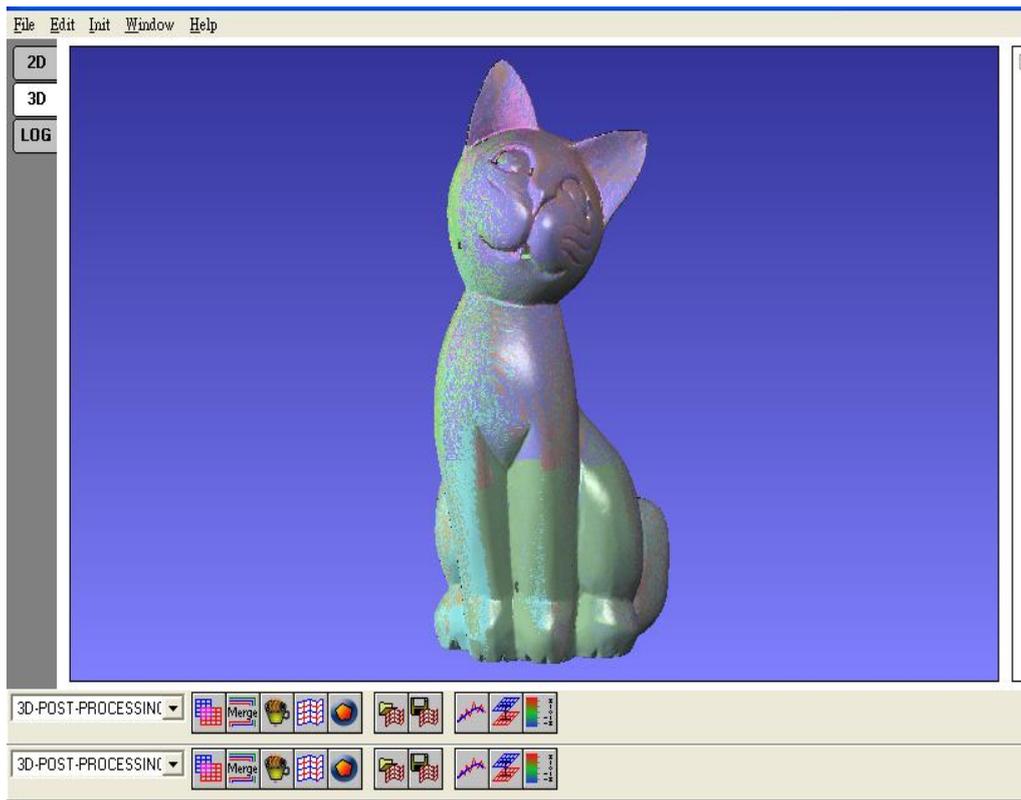


圖 4-12 完成掃描，並檢查、修補破洞。

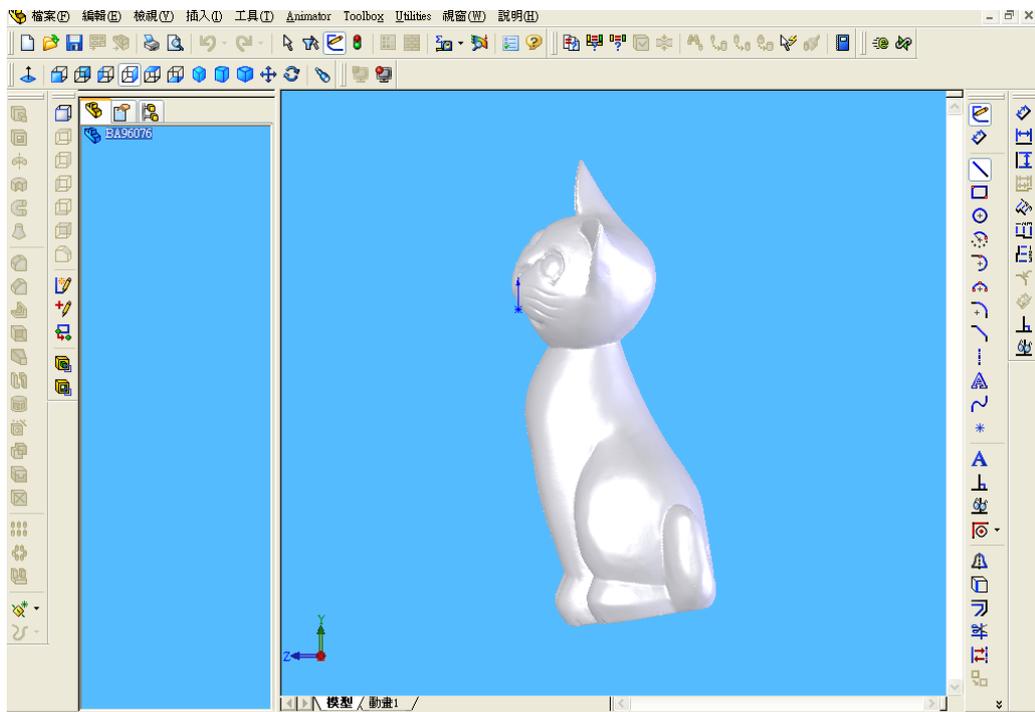


圖 4-13 將完成圖轉換成 Solid Works 檔

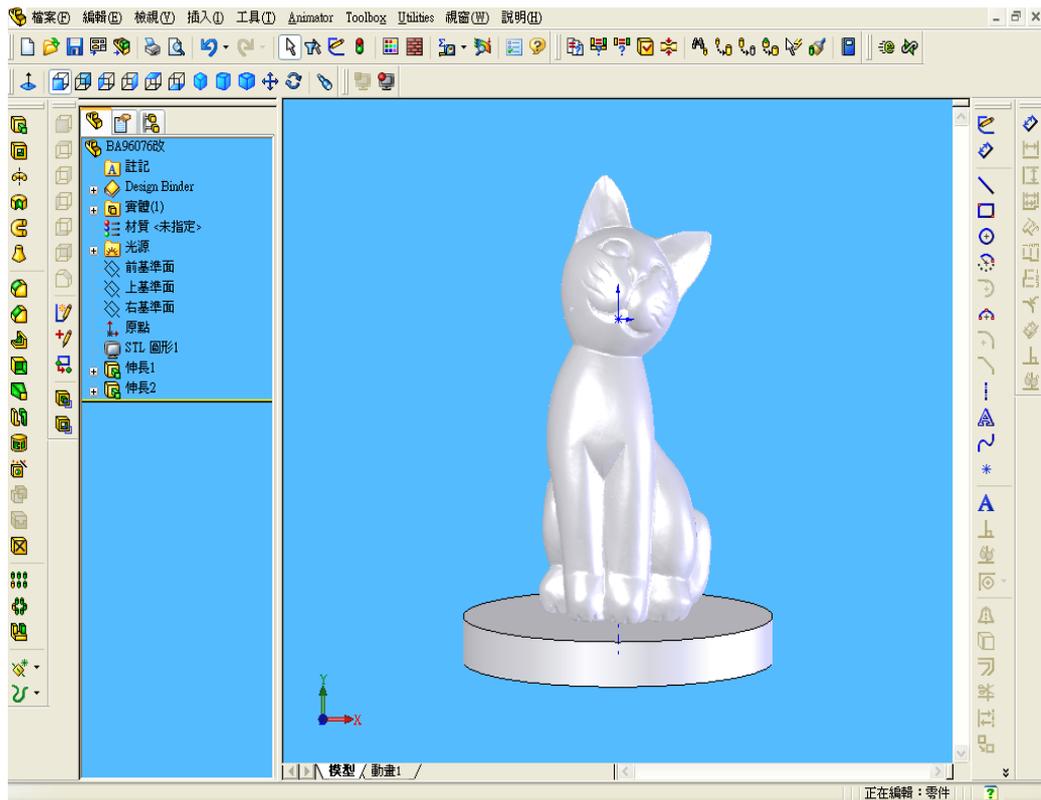


圖 4-14 並在成品中加畫底座

第七章 參考文獻

- 1、周弘裕 - 『逆向工程系統簡介』。
- 2、 『逆向工程技術及應用』，高利圖書出版。
- 3、周弘裕、張惠娟 - 『掃描加工技術與應用』。
- 4、 『逆向工程系統簡介』、機械工業雜誌。