

# 建立不等徑彈簧 機械視覺量測系統之研究

許光城／國立高雄應用科技大學 機械工程系教授

湯逢成・李國維／國立高雄應用科技大學 機械與精密工程所研究生

林錦彰／國立高雄應用科技大學 應用工程科學所研究生

隨著時代的進步，電腦的處理速度日益增強，以機器視覺（Machine Vision）為基礎的自動偵測及控制技術逐漸地被廣用於工業上相關之生產製造、製程監控以及品質的管控。

本研究旨在建立一套汽車用壓縮彈簧的三維視覺量測系統。該壓縮彈簧常用於汽車懸吊系統，基於功能的要求需要形成不規則的螺旋線、無單一之中心線與外徑，所以其品質檢測需要考量的因素比一般常見的等徑壓縮彈簧複雜許多。一般市售的逆向量測產品，例如接觸式探針量測、雷射掃描與光柵投影非接觸式量測，雖能夠達到量測的效果，但仍需要花費較長時間與較高成本來建立。本研究則提出一種新的量測方法，並建立一套低成本的量測裝置，來探討不規則彈簧之量測技術。

本研究以Visual Basic 6.0來撰寫人機介面，並利用單顆CCD攝影機，搭配自行設計的三軸機構來進行逆向量測。利用CCD攝影機具固定焦距的特徵，配合影像處理與影像辨識技術，來達到對於物件的定位，而取得其量測之相對座標，將其點資料連接成其彈簧之螺旋線，最後可掃出整體彈簧。然後，使用Polyworks與Atos量測（光柵量測設備）之資料進行比對，可得最大上偏差值為3.3mm，最大下偏差為-2.7mm的彈簧模型。

關鍵字：CCD、機械視覺、彈簧、逆向工程

## 1. 前言

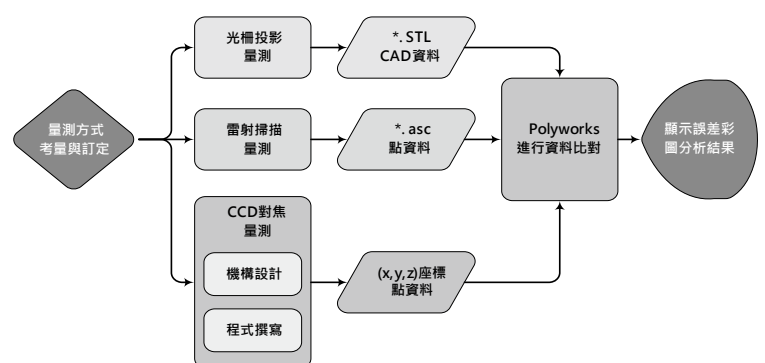
近年來隨著電腦的處理速度日益增強，影像處理[1]已成為各行各業應用的工具之一，其中逆向量測研究[2]大部分的研究都以非接觸式量測系統為主。

在逆向工程量測的方式中，可分為接觸式量測[3]與非接觸式量測[4,5]，針對特定量測對象時，使用自由度可預測之機構結合非接觸式量測媒介[6,7]、或接觸式量測媒介[8]進行特定目標量測之作法，於業界十分常見，一般接觸式量測方式較適用於形狀較為簡單的幾何形狀物體，並不適用於本研究之待測物件。其螺旋線不規則、無單一中心線、無單一外徑，與一般常見的壓縮彈簧不同。因此本研究將以機械視覺（Machine Vision）的方式結合機構建立量測系統，來量測出其螺旋線，並與雷射三角量測與光柵量測兩種量測方式的結果進行比較。

## 2. 研究設備與方法

### 2-1 方法概要

本研究整體流程將會使用Atos(光柵投影量測)、智泰科技雷射掃描（雷射掃描量測）與自行所設計之系統(CCD對焦量測)，分別對不等徑彈簧進行量測，其量測數據都是以點資料型態來建立，其流程如圖：



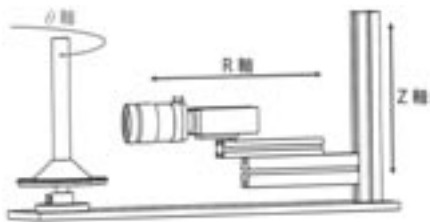
(圖1) 研究流程

### 2-2 研究設備

本研究量測的硬體主要包括 CCD 攝影機、變焦鏡頭、影像擷取卡、與自行配合待測件所設

計之機構。其CCD攝影機之解析度會大大地影響系統的整體精度；在量測時，為了避免鏡頭碰撞至待測工件，變焦鏡頭須與待測工件須保持適當的距離。

本研究設計三軸機構(R軸、Z軸與θ軸)來進行量測。R軸用於量測透過CCD攝影機來辨識待測之工件深度；Z軸用於量測待測工件之高度；由於待測工件彈簧為螺旋物件，因此本研究利用環物分度盤(θ軸)用於調整待測工件之角度。然而，為了在影像處理時，待測工件與其背景有明顯地對比呈現，因此在環物分度盤正中心裝置著半徑為2mm黑色圓柱作為背景。



(圖2) 量測機構示意圖

人機介面流程為設定擷取CCD所拍攝之影像，並透過影像前處理(二值化處理)，將圖片轉變為僅為黑白之分，隨之利用MIL之功能進行搜索在設定範圍待測工件的邊緣座標與中心座標，經過計算利用邊緣兩點距離來做為深度辨識之依據；利用中心點之y座標與畫面中心比較作為高度辨識之依據，最後以4個警示燈來傳達位置定位的訊息，使得使用上更為便利與清楚。



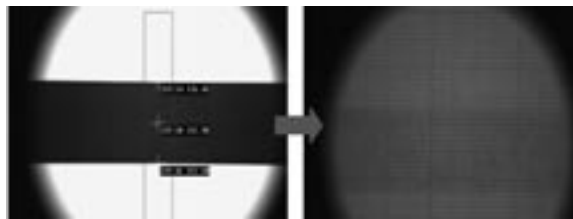
(圖3) 彈簧量測之人機介面

### 3. CCD對焦系統建立

本研究目的為應用機械視覺的方式進行不等徑彈簧的CAD建立。將線徑視為每段都為等徑之理想情況，利用CCD攝影機之焦距關係，來進行建立本系統。

#### 3-1 解析度探討

本研究進行解析度的探討，考量目前的量測方式旋轉盤為每次旋轉10度，因此選擇較大的解析度來搭配機構以利進行量測。



(圖4) 像素比例與現在實際尺寸作為換算

在焦距相同的情況，將拍攝物件更改為方格紙，並透過點選畫面中的方格紙，將像素比例與現在實際尺寸作為換算，在解析度640×480的情況下，可得到每Pixel為0.1099mm，經換算可以得範圍為7.02×5.27cm。

#### 3-2 初步量測

機構與人機介面初步設計完成過後，進行第一次的彈簧機械視覺量測。但量測過程中會發生誤判的問題。量測至彈簧下半部分會發現有陰影產生，造成量測時的干擾。

透過實際拍攝的畫面，能發現彈簧在CCD拍攝時，其下半部會陰影出現，導致圖像在做二值化處理時，下半部面積會被二值化處理給消除，造成量測誤判。



(圖5) 二值化處理前後畫面

#### 3-3 增加光源打光與灰度分佈探討

為了解決陰影所造成的量測干擾問題，本研究於CCD上增添環形光源，並以前照式對待測物件進行打光，並透過影像的灰度分佈來探討結果。



(a) 陰影明顯

(c) 打光處理



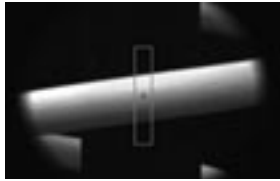
(b) 底部接觸

(d) 底部打光

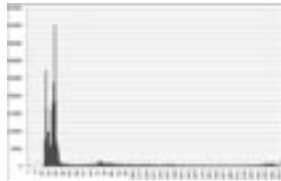
(圖6) 光源位置

### ● 陰影明顯

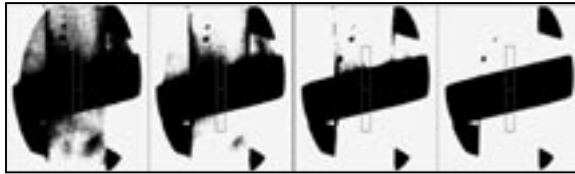
本研究將CCD至彈簧下半部進行拍攝，在不用光源照明時，光源從正上方照明，因此圖7拍攝畫面中可以清楚地看到彈簧之下緣處有明顯地陰影產生。



(圖7) 量測畫面



(圖8) 灰度分佈



(圖9) 二值化處理門檻值20、23、26、32(由左至右)

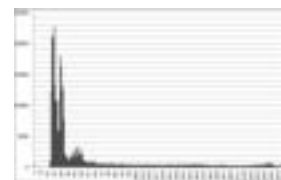
由圖9可發現當二值化處理，若其門檻值(門檻值20)設定過小時，其二值化處理過後的影像所含的錯誤資訊越多，黑色雜點也越多，會造成影像辨識時的誤判；若門檻值設定越恰當(門檻值32)，二值化處理過後的影像其彈簧線徑越為清楚。

### ● 底部接觸

拍攝彈簧與底座接觸時的情況，可以發現到彈簧底部與環物分度盤底座接觸處(圖10)，有彈簧遮蔽所造成的陰影存在形成一個死角。且由於環物分度盤底座為黑色金屬，會有些微反光的問題存在。此問題會造成二值化處理時，有部分並無法完全消除。



(圖10) 量測畫面



(圖11) 灰度分佈



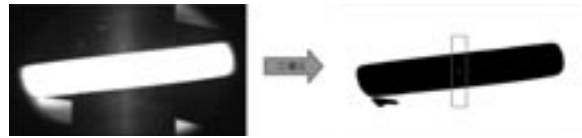
(圖12) 二值化門檻值20、23、26、32(由左至右)

若設定與陰影明顯處適當的門檻值(門檻值32)，對於環物分度盤的誤判並無法完全消除，但過高的門檻值反而會造成彈簧被截半的現象產生。

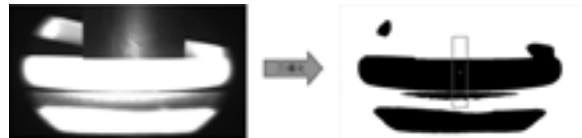
### ● 打光處理與底部打光

透過增加光源設備可大幅地增強畫面中黑白的對比度，如圖13、14所示。透過打光過後，影像灰度分佈圖主要都為集中於253，將門檻值都設為254進行二值化處理，在與底座接觸處，由

於環物分度盤底座為黑色金屬有明顯地反光的問題存在。



(圖13) 打光處理探討



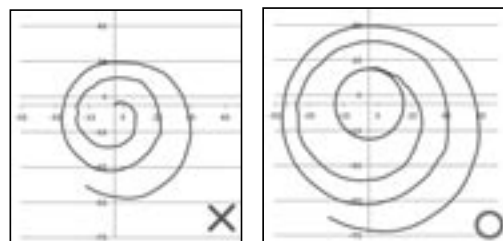
(圖14) 底部打光探討

增加光源照明所造成的影響：

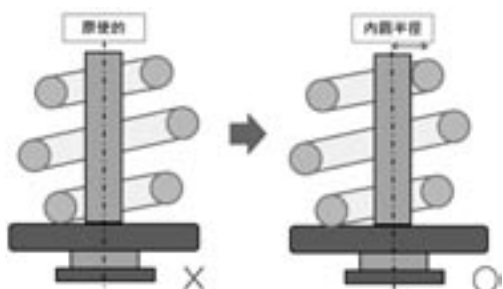
1. 由於是以硬體改良的方式來改善，此方式不僅能夠有效地改善陰影畫面中可能有雜點存在的問題，也因此省略使用閉合與斷開或是其他能夠濾波之功能，相對地簡化程式，減少其運算過程，進而達到提升程式運算速度。
2. 打光處理過後，透過灰度分佈觀看，可以發現到由於灰度值都值集中於254，故可將門檻值都設定為253來進行二值化處理。
3. 打光處理過後能夠有效地改善彈簧上半部，但環物分度盤反光問題卻更為明顯，故需進行底座反光的改善處理。

### 3-4 基準圖訂定

原先並無基準圖訂定此項，而是直接以量測數值(R值與Z值)轉換為(x,y,z)空間座標，但是透過直接由量測數據所轉換的數值所構成之x-y平面(圖15)，可發現到由此方式所建立的圖形會明顯地窄於實體大小。可發現到若是以量測數值直接轉換並非實際空間中的點資料，而僅為以起始點為基準的增量，這也是所建立的資料為何形成會較小的彈簧的原因。



(圖15) 基準圖訂定前後

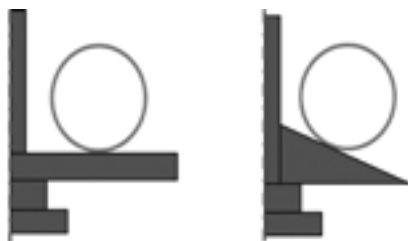


(圖16) 彈簧與中心圓棒接觸示意圖

因此需要訂定其基準圓直徑大小，才能建構出正確比例的彈簧模型。本研究使用的方式為更改彈簧置放的方式-原先彈簧置放的方式為任意擺放，只須盡量將彈簧中心對齊環物分度盤中心即可；現在，須將彈簧最上緣處來接觸環物分度盤中間那根圓棒。而所訂定的圓心半徑則為圓棒的半徑加上彈簧線徑之半徑如圖16所示。

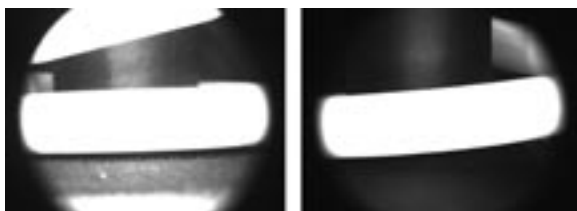
### 3-5 測量底座形狀更改

本研究加入錐形底座以達到改善接觸處遮蔽造成陰影的效果，如圖17所示，原先底座為平面的形狀，本研究量測的方式需要有彈簧截面圓的最高點與最低點來做為量測的依據，而原先的方式圓的最低點會與平面的底座接觸，因此導致陰影的影響，造成量測彈簧與環物分度盤接觸時，會因為彈簧截面圓下緣而誤判，以至於其量測數值都會較實體來得小。



(圖17) 彈簧置放平面(錐形)底座示意圖

本研究增添錐形底座以達到改善接觸處遮蔽造成陰影的效果，由於錐形底座與彈簧接觸點並非其彈簧截面圓最下緣處，因此透過此方法可改善原先平面底座所造成的接觸點為最低點造成的量測問題。



(圖18) 彈簧置放錐形底座前後

圖18可以清楚地看到原先增添深色布料後平面底座打光時的情況，與更改為錐形底座過後打光的情況。透過實際量測的情況，可以得知錐形底座不只改善接觸點的問題，也由於是底座為錐面的關係，使得環形光源投射的光源反射路徑改變，使得反射光不會反射到CCD攝影機上，因此改善了原先反光所造成的影響。

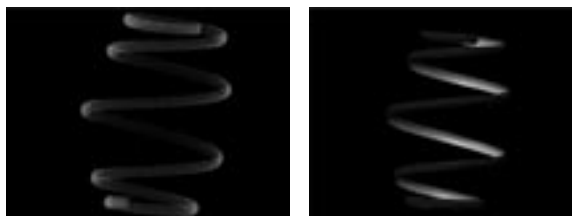
## 4. 實驗結果與討論

本研究以Atos所量測的CAD模型當作標準件，匯入Polyworks軟體，與另外兩種量測方式(雷射掃描量測與CCD對焦量測)進行比對，透過

其誤差彩圖來探討本研究所製作的量測系統其誤差數值。

### 4-1 3D雷射量測數據與Atos量測數據比對

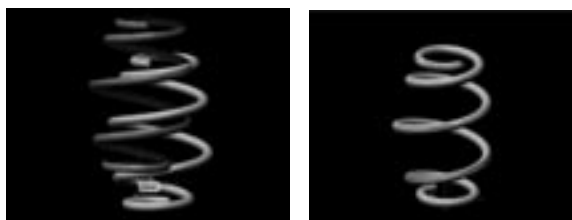
對於不等徑彈簧使用3D雷射量測設備，對待測工件進行雷射非接觸掃描量測，其掃描所取得的三維輪廓點資料(\*.asc)型態2。然再後將掃描的三維輪廓點資料，使用Polyworks之功能將其轉至成三角網格的型態。



(圖19) 三維輪廓點資料

(圖20) 轉成三角網格

分別將3D雷射量測數據與Atos量測數據匯入Polyworks，如圖21所示，並將兩筆量測數據以三角網格的型態呈現。先使用其編輯模組-三點對齊，使兩筆資料近似重疊，再使用編輯模組-最佳擬合對齊使得兩筆點資料達到重疊對齊，如圖22所示。

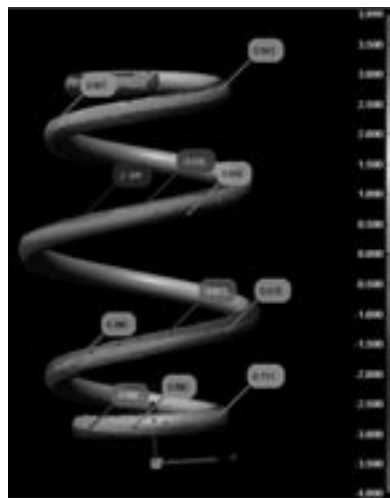


(圖21) 分別匯入Polyworks

(圖22) 最佳擬合對齊

將資料對齊之後，再使用編輯模組-誤差比對之功能。顯示出兩筆資料進行重疊過後，其誤差距離之彩圖。

最後，由誤差採圖上在不等徑彈簧均勻地點取150點，其最大上偏差值為1.3mm，最大下偏差為-0.67mm。



(圖23) 進行比對過後得到誤差彩圖

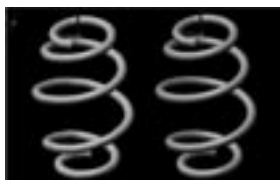
#### 4-2 CCD對焦系統與Atos量測數據比對

將量測的點資料透過CATIA的功能將其連成彈簧螺線，再將此資料匯至Pro-E，設定彈簧線徑大小並與彈簧螺線相切，最後掃出彈簧。



(圖24) 點資料連成線

將CCD對焦量測所建立的三角網格模型與Atos量測數據匯入Polyworks，如圖25所示，並將兩筆量測數據以三角網格的型態呈現。使兩筆資料重疊，再以Polyworks編輯模組-最佳擬合對齊，使得兩筆點資料達到重疊對齊，如圖26所示。

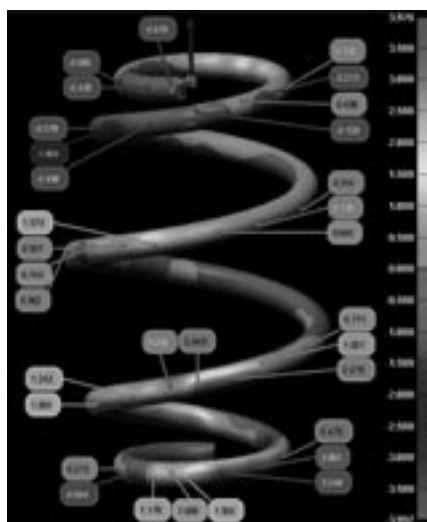


(圖25) 分別匯入Polyworks



(圖26) 最佳擬合對齊

將兩筆量測數據對齊之後，再使用「Polyworks編輯模組-誤差比對」之功能。能夠顯示出兩筆資料進行重疊過後，其誤差距離之彩圖。



(圖27) 比對過後之誤差彩圖

誤差採圖上在不等徑彈簧外圍部分均勻地點取150點，其在彈簧未接觸底座部分，偏差部範圍為 $\pm 1.8\text{mm}$ ；在彈簧與接觸底座部分，最大上偏差值為 $3.3\text{mm}$ ，最大下偏差為 $-2.7\text{mm}$ 。

#### 4-3 量測數據比較

本研究會根據以上量測的量測數據，分別針對市面上量測設備所重視的量測速度與量測誤差去進行比較，探討所建立之量測系統與其他量測設備之差異。

##### ●量測速度比較

透過Atos量測設備所量測的時間為120分鐘；智泰3D雷射量測設備測時間為25分鐘；而本研究目前為透過人工調整機構的方式進行量測，量測時間為150分鐘，如表1所示。

(表1) 設備量測時間

設備名稱	量測時間	量測形狀	設備費用
Atos量測設備	120分鐘	完整彈簧	350萬
3D雷射量測設備	25分鐘	外圍掃描點	150萬
CCD對焦量測系統	150分鐘	中心螺旋線	30萬

由上表可以發先到3D雷射量測設備量測速度(25分鐘)量測速度遠比Atos量測設備與CCD對焦量測系統來更為省時。

若CCD對焦量測系統目前僅為以人工方式來調整機構，此作動方式相當耗費時間。未來若將量測機構改以伺服馬達搭配滑軌來作動，計算伺服馬達的轉速去估計計算，量測時間可以縮為僅3分鐘左右。

##### ●量測誤差比較

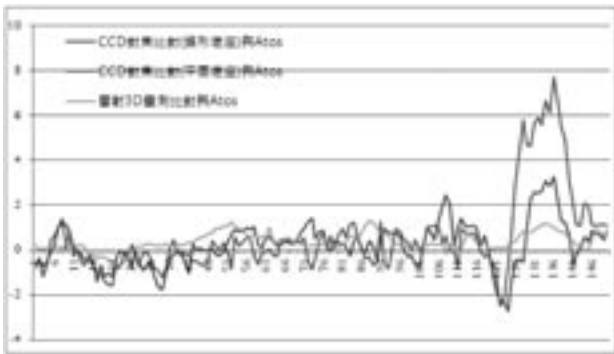
本研究是以Atos量測設備之量測數據做為標準件，因此將會與3D雷射量測設備所量測之數據進行以及自行量測的數據作比較，探討其誤差。

3D雷射量測設備所量測之數據為彈簧外圍的掃描點。因此在6-2將量測數據匯入Polyworks比對時，是量測彈簧外圍的誤差彩圖上有顯示部分來進行量測。量測其外圍150點，其最大上偏差值為 $1.3\text{mm}$ ，最大下偏差為 $-0.67\text{mm}$ 。

在未裝置錐形底座時，其在彈簧未接觸底座部分，偏差部範圍為 $\pm 1.8\text{mm}$ ；在彈簧與接觸底座部分，最大上偏差值為 $7.7\text{mm}$ ，最大下偏差為 $-2.5\text{mm}$ ；裝置錐形底座過後，其在彈簧未接觸底座部分，偏差部範圍為 $\pm 1.8\text{mm}$ ；在彈簧與接觸底座部分，最大上偏差值為 $3.3\text{mm}$ ，最大下偏差為 $-2.7\text{mm}$ ，其數據如表2所示。

(表2) 量測誤差比較

設備名稱	量測形狀	未接觸底座部分	接觸底座部分
智泰雷射量測設備	彈簧外圍掃描點	最大上偏差： $1.327\text{mm}$ 最大下偏差： $-0.699\text{mm}$	
CCD對焦量測系統(未裝錐形底座)	彈簧線徑中心的螺旋線	最大上偏差： $1.8\text{mm}$ 最大下偏差： $-1.8\text{mm}$	最大上偏差： $7.703\text{mm}$ 最大下偏差： $-2.501\text{mm}$
CCD對焦量測系統(已裝錐形底座)	彈簧線徑中心的螺旋線	最大上偏差： $1.8\text{mm}$ 最大下偏差： $-1.8\text{mm}$	最大上偏差： $3.272\text{mm}$ 最大下偏差： $-2.701\text{mm}$



(圖28) 量測偏差比較圖

透過圖28可以得知本研究所建立之量測設備，其量測品質目前並沒有3D量測設備來得好。其影響原因為，目前的機構為人工控制量測，在量測過程中會有震動或受力不均造成量測上的誤差。經由比較過後可以明顯地得知裝置錐形底座過後能夠有效地改善了原先未裝置前的，量測的品質有明顯地改善。

## 5. 結論

本研究CCD對焦量測系統建立可發現透過取得深度的變化量與高度位置，再利用三角函數換算可得到空間中的三維座標。而本系統量測點資料為彈簧線徑中心之螺旋線，可透過CATIA與Pro-E利用此螺旋線建立出立體CAD模型。

在量測數據方面，本研究將量測過後的數據都分別匯入Polyworks進行數據比對。將智泰3D雷射量測數據與Atos量測數據比較資料和CCD對焦量測數據與Atos量測數據比較資料進行比對，探討其了量測速度比較以及量測誤差比較。透過個別的實際使用發現在量測速度方面，可以發先到智泰3D雷射量測設備量測速度（25分鐘）量測速度遠比Atos量測設備與CCD對焦量測系統來更為省時。但在成本方面，CCD對焦量測較現有逆向量測設備更為經濟。

CCD對焦量測方式在未裝錐形底座前，在未裝置錐形底座時，其在彈簧未接觸底座部分，偏差部範圍為 $\pm 1.8\text{mm}$ ；在彈簧與接觸底座部分，最大上偏差值為 $7.7\text{mm}$ ，最大下偏差為 $-2.5\text{mm}$ ；裝置錐形底座過後，其在彈簧未接觸底座部分，偏差部範圍為 $\pm 1.8\text{mm}$ ；在彈簧與接觸底座部分，最大上偏差值為 $3.3\text{mm}$ ，最大下偏差為 $-2.7\text{mm}$ 。3D雷射量測設備其最大上偏差值為 $1.3\text{mm}$ ，最大下偏差為 $-0.67\text{mm}$ 。其量測品質較CCD對焦量測方式來得佳，而CCD對焦量測方式誤差會較大之原因可能為目前的機構為人工控制量測，在量測過程中很容易會有震動或受力不均造成量測上的誤差。

## 參考文獻

1. R.C. Gonzalez, R.E. Woods, Digital Image Processing Second, Edition Prentice Hall · 2002.
2. 章明·姚宏宗·鄭宗元·林震生·姚文隆·逆向工程技術與系統·全華科技圖書有限公司·2005。
3. P. Bourdet, C. Lartique, and F. Leveaux, "Effects of data point distribution and mathematical model on finding the best-fit sphere to data", Prec. Eng. 15, 150-157,1993.
4. Z.Q. Xua, S.H. Yea, G.Z. Fan, "Color 3D reverse engineering", Journal of Materials Processing Technology 129 495-499,National Taiwan University, Taiwan, 2002.
5. 林耀文·簡易之非接觸式三次元自動化量測·碩士論文·國立台灣工業技術學院·台北·台灣·1994。
6. 鈴木聰·スプリングライン測定装置·JP·P2001-289633·2001。
7. 横山淳·スプリング検出装置·JP·特開平9-63238·1997。
8. 三菱原子燃料株式会社·スプリング検出装置及びプレナムスプリング供給装置·JP·特開2005-331336。