

# 全景觀測系統發展沿革

## Technique Evolution of Panoramically Observing System

蔡和霖、蘇方旋、林修國、吳宗達

Ho-Lin Tsay, Fang-Hsuan Su, Shiou-Gwo Lin, Tzong-Dar Wu

全景觀測系統是一個於地面進行取像的影像掃描儀。該系統為國科會精密儀器發展中心研製之遙測鏡頭建立一測試平台，研製的同時也建立光學遙測系統的系統層級測試項目之設備與流程。由於其解析度高且影像一體成型，適合水壩與橋樑變形監測之用。

Panoramically Observing System (POS) is a pushbroom scanner operated on the ground. This system serves as a test platform for an already-developed remote-sensing telescope. It is also a remote-sensing instrument allowing PIDC engineers to perform system level tests. Due to high resolution of the images, calibrated POS can be applied to deformation monitoring of important building structures, such as dams or bridges.

### 一、簡介

國科會精密儀器發展中心(以下簡稱精儀中心)自參與華衛一號酬載海洋水色儀的計畫之後，即以海洋水色儀鏡頭為藍本，進行遙測鏡頭的製造與發展，因而提出軌道高度 600 公里時地面解析度為 16m 與 8 m 的遙測鏡頭研製計畫。這些採用線型感測器的望遠鏡頭於精儀中心進行實體製造與組裝，並於實驗室進行光學參數量測後，因欠缺掃描機制而無法得到掃描影像。因此之故，乃有全景觀測系統研發計畫的提出，作為望遠鏡頭取像驗證系統之用。

線型感測器單一方向的像素數目較多，經由掃描之後，可以提供高解析度且足夠視角的影像。基於衛星姿態相當穩定且影像資料必須下傳，衛星光學遙測系統於設計上普遍採用線型掃描方式。全景

觀測系統則於地面上應用旋轉平台轉動作為掃描機制，以模擬衛星上的線掃描遙測酬載。

對於設計用於衛星酬載的遙測鏡頭而言，於地面進行的組裝測試中，野外取像測試為最直接的驗證方式。取得影像可以直接驗證實驗室的整合與校正結果，並驗證鏡頭與感測器、旋轉平台整合特性等。

為因應進行野外取像的需求，整個系統設計上要求降低重量，同時要求重心維持於旋轉中心上以維持旋轉掃描時的姿態穩定。這兩個設計上的考量造成全景系統為一個可攜式的設計，即可以移動到適合的地方進行影像掃描。

全景觀測系統採用遠心長焦距望遠鏡頭，解析度相對較高，且幾何扭曲較低，經由實驗室的量測驗證之後可以作為一測量取像系統。整個系統可以

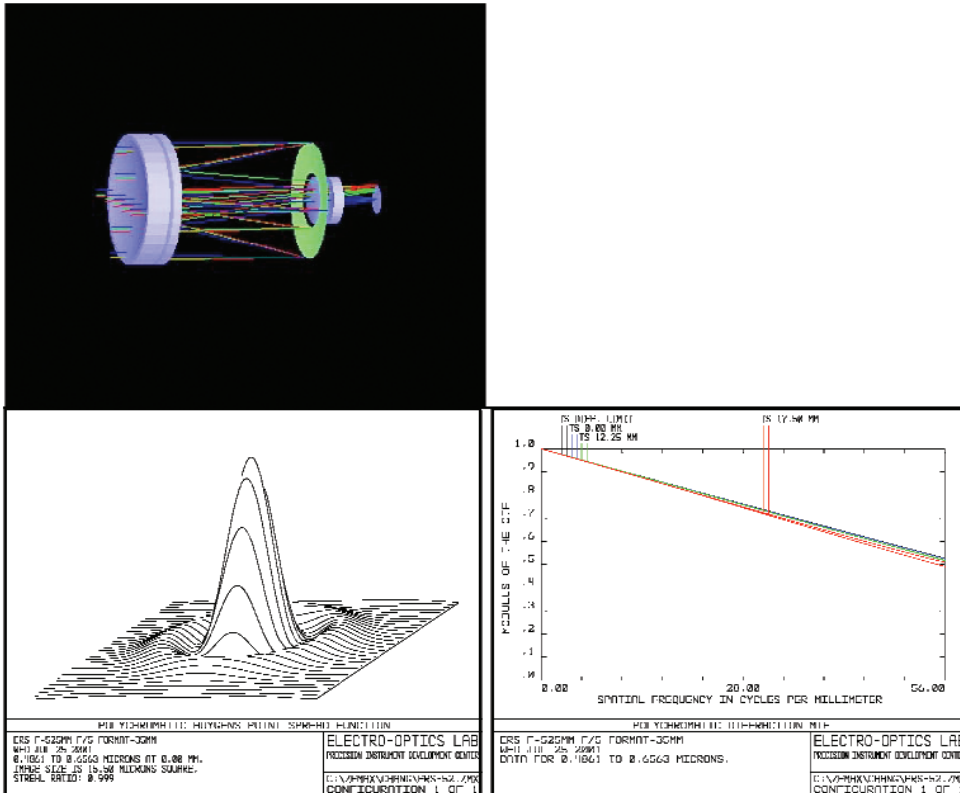


圖 1.  
全景觀測系統鏡頭光學  
設計模型、點擴散函數  
與 MTF 設計值。

進行 360 度旋轉取像，這個驗證系統於地面使用中適合用於水壩與橋樑變形監測。

本文介紹全景系統發展沿革，包括光學鏡頭、系統整合過程、實驗室校正過程與結果、野外取像測試過程及地面應用等。

## 二、光學鏡頭

### 1. 光學設計

採用本中心自製發展完成之望遠鏡頭。鏡頭部分由修正透鏡兩片、主鏡、次鏡與場修正透鏡兩片共六片折射與反射式鏡片所構成 F/5 折反射式 Maksutov-Cassegrain 光學系統，其口徑為 130 mm，焦長設計值 525 mm，背焦長 57.239 mm。光學設計如圖 1 所示，全視角為 3.8°，瞬間視角為 13.3  $\mu$ rad。

### 2. 鏡頭測試

系統整合前，光學鏡頭先進行基本參數量測，包括有效焦長量測、MTF 測試與鏡頭像扭曲量測。

### (1) 有效焦長量測

以 Ealing 公司之 EROS 量測儀進行全景觀測系統鏡頭之焦長量測，該系統首先以準直儀 (collimator) 產生平行光，再以可旋轉之平面鏡控制平行光入射待測系統之入射角，經由後端的成像分析器，可以讀出待測系統之焦長，以入射角 1 度，求得之焦長為 525.2 mm，與設計值誤差為 0.04%。由該焦長及 CCD 像元大小 (7  $\mu$ m) 推算，當物體距離三公里時解析力約為 4 cm。

### (2) MTF 量測

利用 MTF 量測儀量測鏡頭組裝 MTF 值，其量測配置如圖 2，結果示於圖 3。

### (3) 鏡頭像主點與像扭曲量測

幾何參數量測目的為確定調焦後之像主點及量測鏡頭影像扭曲 (distortion) 參數，作為建立影像處理鏡頭扭曲修正轉換的參數。像扭曲量測於 MTF 量測設備上進行。全景觀測系統調整以鏡筒與治具 (mount) 的接觸面為基準面，將鏡筒與治具接觸面

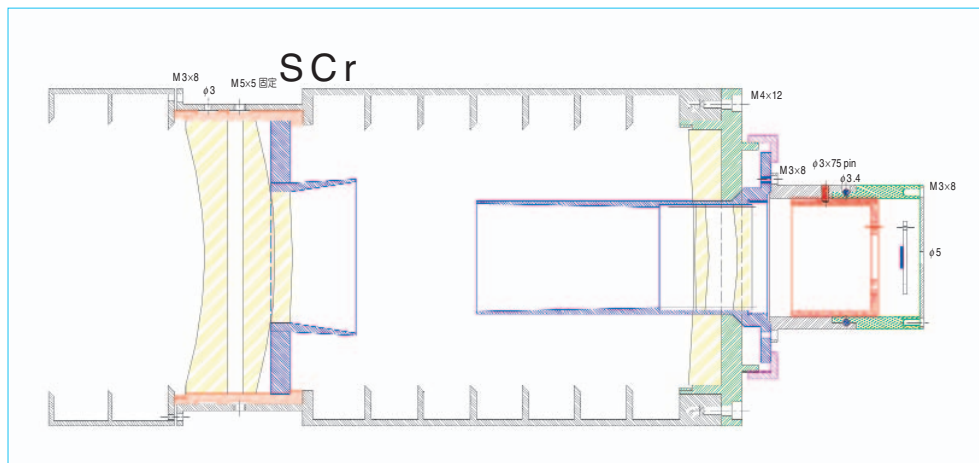


圖 2.  
全景觀測系統光機設計  
示意圖。

調整至與準直光束光軸平行。量測成像位置，此點即為入射場角為零時的成像位置。轉動大反射鏡 (folding mirror) 改變入射場角，量測不同入射場角的成像位置，並與其理論預期位置比較，其差值即為影像扭曲參數量。入射場角轉動精度為  $2''$ <sup>(1)</sup>。圖 4 為量測結果。用偶次多項式去最適化像扭曲量測結果，其對稱中心即為像主點所在位置。量測結果像主點所在位置為  $(+0.3^\circ)$ 。

### 三、系統整合過程

全景系統以光機鏡頭為核心，於機構上整合感測器與旋轉平台，取像上整合感測器、影像擷取卡與電控旋轉平台，整合過程簡述如下。

#### 1. 鏡頭與影像感測器的結合

望遠鏡頭與影像感測器透過一個調焦組件結合，如圖 5 所示。調焦機構利用螺紋調整焦平面位置，而螺紋有空隙的問題，焦平面調整因此受到影響，在焦平面調整機構中加入彈簧之後，螺紋空隙影響大為降低。此外調整機構並設計一夾緊固定墊片，用於完成調整之後固定調焦機構動件。如此經由調焦機構的改良，全景系統感測器與光學鏡頭完成整合。

#### 2. 鏡頭與旋轉平台整合

由於鏡頭光機設計上採用鏡筒方式 (圖 5)，機構上採用挾持方式與旋轉平台結合。量出鏡頭與感

測器結合後的重心，以此重心對準旋轉平台旋轉中心進行挾持。鏡頭、感測器與旋轉平台完成機構整合之後外觀如圖 6 所示。感測器與旋轉平台另有電源、控制及訊號線連接到取像控制電腦。

#### 3. 取像控制整合

全景系統採用 Basler Vision Technology 公司出產的 L203 線型 CCD，共 4096 像元，每個像元大小為  $7 \mu\text{m} \times 7 \mu\text{m}$ ，八位元類比／數位轉換，40 MHz 像元時脈，RS-644 LVDS 數位信號輸出；以 RS232 序列傳輸端調整信號增益以及偏移，可用外部時脈控制曝光時間以及讀取輸出，亦可用內建時脈控制；fixed pattern noise < 1%，photoresponse non-uniformity < 10%。影像擷取卡則採用 Euresys 公司出產的 multi card，屬 PCI-bus 32-bits LVDS I/O 擷取速率最大為 40 MHz。電控轉動平台為 Newport 公司出產的 Klinger UE30CC 機型。本系



圖 3. 全景觀測系統外形。

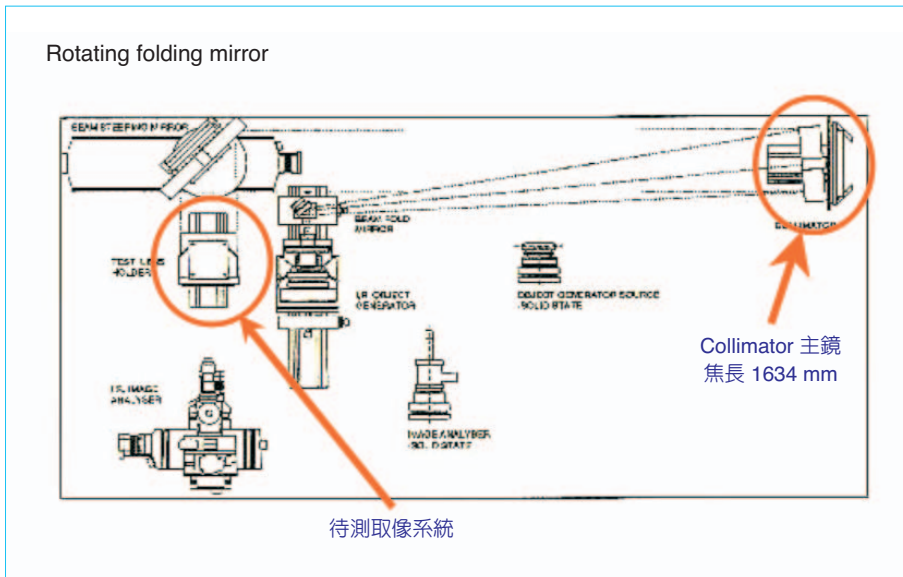


圖 4. 鏡頭 MTF 量測儀器配置。

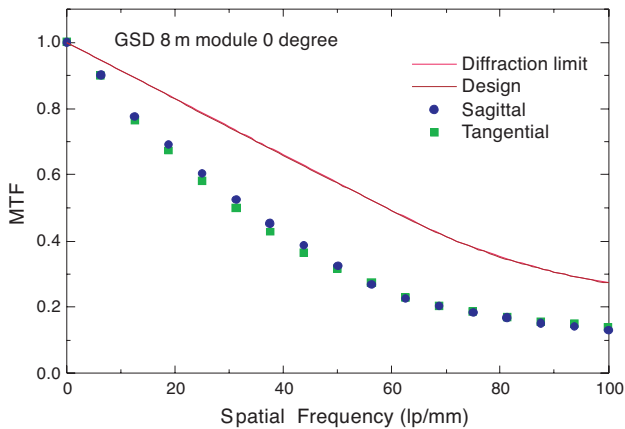


圖 5. 鏡頭 MTF 值量測結果。

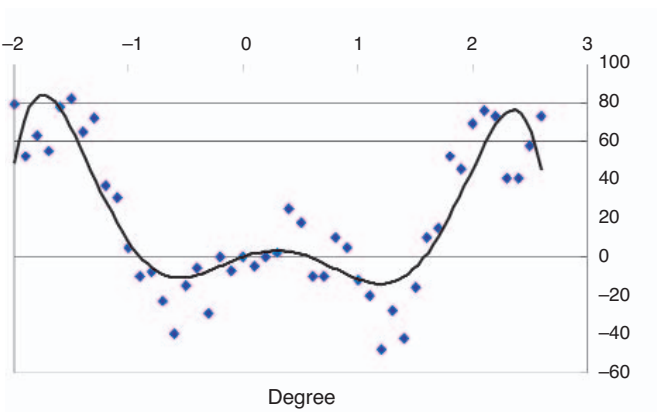


圖 6. 徑向像扭曲量測實驗結果。

統以自行撰寫 C++ 程式控制影像擷取卡驅動感測器進行取像，同時驅動電動旋轉平台使整個系統進行掃描。此程式於測試時發生掃描影像資料龐大，因而佔滿所有規劃暫存區，造成取像掃描中斷的問題，經採用循環記憶體使用的方式後順利解決此問題。經種種努力，最後將電控平台轉動與取像等動作整合，由單一個人電腦進行控制。

#### 四、實驗室測試流程與結果

系統測試可分為輻射度響應量測與幾何校正兩個部分，分別說明如下。

##### 1. 輻射度響應量測

輻射度量測以積分球為均勻光源進行測試，其實驗布置如圖 7 所示，光源於光學系統入瞳均勻度

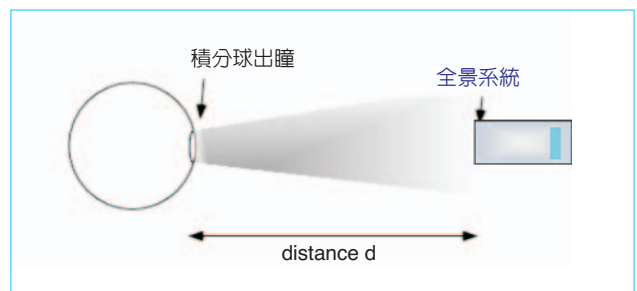


圖 7. 輻射度量測實驗布置。

在 99% 以上<sup>(2)</sup>。此積分球光源出瞳直徑為 350 mm，其穩定度由校正過之分光輻射度計監控<sup>(3)</sup>，其分光輻射度經由校正過之分光輻射度計進行量測。量測結果可分為下列三個項目。

### (1) 暗訊號

全景系統考慮暗訊號的不均勻性而對每個像元的暗訊號進行修正。暗訊號隨積分時間長短而變化，變化積分時間量測以取得不同積分時間的暗訊號，圖 8 為暗訊號均值在不同積分時間下的變化情形。

### (2) 響應均勻性

圖 9 為均勻場下相對響應曲線 (line profile)，顯示系統相對響應趨勢。掃描影像是由每條影像線組成，每條影像線個別進行輻射修正轉換。量測取得每一個像元在各個輻射度的讀值，建立每個像元的輻射度修正轉換關係式。利用這些關係式對取得影像進行輻射度修正。全景觀測系統每一個像元的讀數與輻射度可以用線性關係來表示：

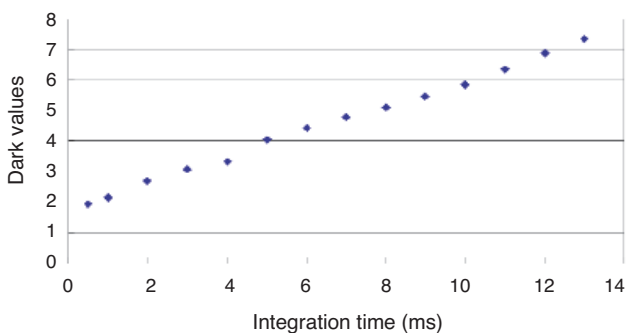


圖 8. 暗訊號均值與積分時間的關係。

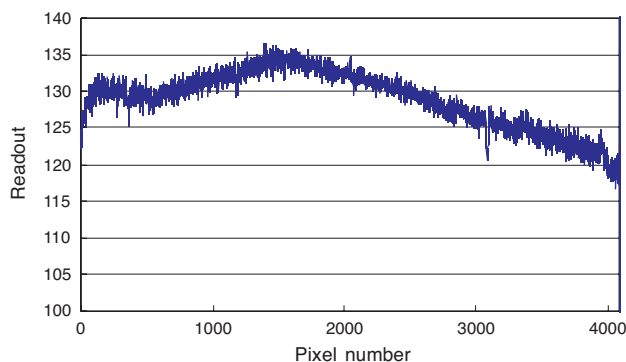


圖 9. 均勻場影像的相對灰度值曲線。

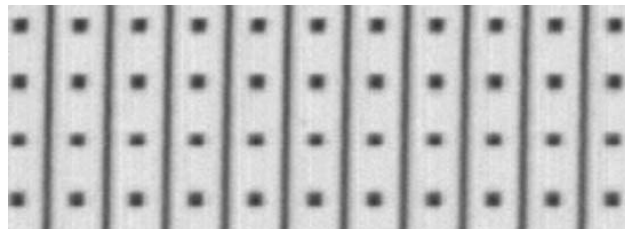


圖 10. 方格玻璃局部影像圖 (橫向為 CCD 方向)。

$$X_i = A_i L + B_i \quad (1)$$

其中， $L$  為輻射度， $X_i$  為像元讀值。由於響應不均勻，每個像元有自己的  $A_i$  與  $B_i$ ，利用這個關係式可以求出輻射度大小，再利用均值的關係式對每一個像元的讀值進行修正。

### (3) 響應線性度

影像輻射度關係式假設影像讀值與輻射度之間有一簡單的線性關係。輻射度與影像讀值的關係與線性關係偏離的程度即為修正誤差。此修正誤差為輻射度校正誤差的一部分。像元 (2041) 的測量結果其輻射度響應非線性度為 0.43%。

## 2. 幾何校正

由於本系統成像方式是由線型 CCD 掃描取像，因此沿 CCD 方向及旋轉方向之幾何形變並不相同，沿 CCD 方向的形變主要由鏡頭的畸變及 CCD 本身位置精度決定，由於 CCD 位置精度可達  $1 \mu\text{m}$  以內，因此縱向幾何形變主要由鏡頭造成。而橫向的幾何形變則是由旋轉機構的不穩定所造成。

為了取得兩個方向的幾何形變資料，於實驗室模擬野外掃描取像方式，利用精密方格玻璃 Vexcel US 5000 作為標準，其尺寸為  $478 \text{ mm} \times 324 \text{ mm}$ ，每一方格大小為  $240 \pm 1 \mu\text{m}$ ，而整體精度在  $3 \mu\text{m}$  以內，方格間距為  $1 \text{ mm}$ ，以精密方格玻璃可以看出於物空間規則之圖形經系統成像後之形變，藉此可進行整個系統之幾何校正。實驗配置係將該方格玻璃置於準直儀焦點處，方格圖形藉由準直儀投射出來，再以全景觀測系統進行掃描取像，圖 10 為取得之局部影像，圖 11 為沿 CCD 方向之局部剖面圖。

圖 11 中灰度值最小的點即為圖 10 中黑線中央的位置，可以看到第 2041 個像元為一黑線中央，以此處為中心每隔 20 條黑線將其位置紀錄下來，將成果列於表 1 中。由表 1 中可以看出沿 CCD 方向之影像畸變甚小，除第 3043—3545 像元之距離為 502 像元外，距離均為 501 像元。

表 2 列出沿旋轉方向黑點中央位置之像元數。由於成果較不規律，表 2 中列出較多的數據供參考，由局部的間距來看，其速度的不穩定度多在 1 個像元左右。當實際進行精密觀測時，建議以較慢的旋轉速度於旋轉方向取得較高的取樣速率，再以取平均的方式來獲得較高的精度。

## 五、野外取像測試

為了驗證實驗室整合測試結果，全景系統進行野外取像測試。考慮本系統對焦到無窮遠，取像地點選取以遠距離目標可大角度取景為主，分別於八里、九份、文化大學、華江橋與日月潭等地進行野外取像，並於日月潭完成 360° 取像測試。圖 12 為淡水渡船頭掃描影像。由影像中物體的大小與實際現場查看物體大小，並測量物體到取像系統距離，本系統的解析度達到設計目標。實驗室以準直儀投射目標調整出的焦平面位置也被驗證。旋轉平台轉動速度穩定度也可從影像檢視。

## 六、地面應用

全景觀測系統除了作為衛星酬載地面驗證模組之外，所得影像解析度高 (瞬間視角  $13.3 \mu\text{rad}$ )，經由校正後可以成為測量取像系統，加以架設於旋轉

表 1. 沿 CCD 方向黑線中央位置之像元數。

黑線中央位置之像元數	離 2041 像元之距離	離 2041 像元物空間實際距離 (mm)
538	1503	60
1039	1002	40
1540	501	20
2041	0	0
2542	501	20
3043	1002	40
3545	1504	60

平台上可以進行大角度掃描取像，對於長條狀標的物如水壩與橋樑等其取像可以一次完成。與使用面型取像系統比較，除了取像方便之外，影像處理更直接，只要定點定時取像，即可由新舊影像比較來監測水壩與橋樑變形。

## 七、結語

精儀中心以自行發展遙測鏡頭為主體，發展出一套地面掃描取像系統—全景觀測系統，同時為此掃描系統發展出測試與驗證流程。其中在系統層級

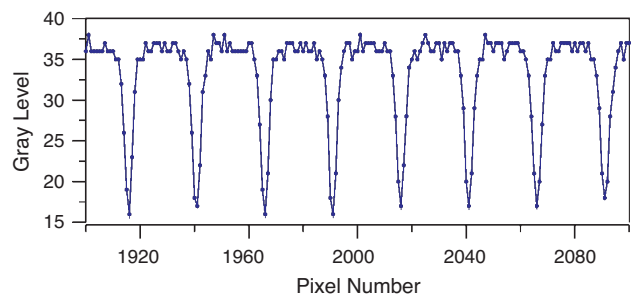


圖 11. 沿 CCD 方向之響應曲線。



圖 12. 淡水渡船頭掃描影像。

表 2. 沿旋轉方向黑點中央位置之像元數。

黑線中央位置之像元數	離 2033 像元之距離 (像元)	離 2033 像元物空間實際距離 (mm)
1052	981	39
1076	957	38
1101	932	37
1508	525	21
1609	424	17
1633	399	16
2033	0	0
2058	25	1
2108	75	3
2589	556	22
2640	607	24
2665	632	25
3046	1013	40
3069	1036	41
3097	1064	42
3525	1492	59
3575	1542	61

上主要以輻射度校正及幾何校正為測試重點，並進行野外取像驗證。在校正的過程中亦建立起輻射度校正與幾何校正的設備，可提供將來發展取像系統儀器校正用。此系統可以進行 360° 連續取像，更加以解析度高，於地面應用方面的水壩與橋樑變形監測深具潛力。

## 參考文獻

1. Test report 21599-4-1, Labsphere Inc. (1998).
  2. Test report A901345, National Measurement Laboratory R. O. C. (2001).
  3. C. L. Wyatt, *Radiometric Calibration: Theory and Methods*, Academic Press Inc., 92 (1978).
  4. *EROS Optical Testing-Photography User's Guide*, Ealing Co. (1995).
- 
- 蔡和霖先生為國立中山大學電機博士，現任國科會精密儀器發展中心副研究員。
  - 蘇方旋先生為中華大學光電碩士，現任國科會精密儀器發展中心助理研究員。
  - 林修國先生為國立中央大學大氣物理博士，現任新埔技術學院資管系助理教授。
  - 吳宗達先生為國立中央大學電機博士，現任國科會精密儀器發展中心副研究員。
  - Ho-Lin Tsay received his Ph.D. in electrical engineering from National Sun Yat-Sen University. He is currently an associate researcher in Precision Instrument Development Center, National Science Council.
  - Fang-Hsuan Su received his M.S. in electrical engineering from Chung-Hua University. He is currently an assistant researcher in Precision Instrument Development Center, National Science Council.
  - Shiou-Gwo Lin received his Ph.D. in atmospheric physics from National Central University. He is currently an assistant professor in the Department of Information Management at St. John's & St. Mary's Institute of Technology.
  - Tzong-Dar Wu received his Ph.D. in electrical engineering from National Central University. He is currently an associate researcher in Precision Instrument Development Center, National Science Council.