

衛星科學酬載海洋環境照相儀

Marine Environment Multi-Spectral Imager of Satellite Scientific Payload

周世傑、陳建宏、黃柏涵、翁睿謙、廖泰杉、黃鼎名

Shih-Chieh Chou, Chien-Hung Chen, Po-Han Huang, Rui-Cian Weng, Tai-Shan Liao, Ting-Ming Huang

衛星科學酬載海洋環境照相儀可行性研究之目的是參考國內華衛一號海洋水色照相儀酬載之技術資料，研發國內自製新一代海洋環境照相儀，目標為地面解析度 500 公尺，具 8 個光譜波段區，平均耗電量與平均重量均滿足衛星科學酬載規格限制分別為耗電量 7.5 W 與重量 7.5 kg 之微衛星海洋環境多光譜照相儀。其性能遠較華衛一號海洋水色照相儀之 800 公尺解析度、6 個光譜波段區為佳，可對臺灣沿岸海域進行系統化且長期的環境觀測。整體光機設計與製作完全由國人獨立設計與製作，預計一年時間內製作出工程體驗證其可行性。

The purpose of this feasibility research, Marine Environment Multi-spectral Imager of Satellite Scientific Payload (MEMI), is to domestically develop a new generation of marine environment multi-spectral imager by referring to the technique materials from the ocean color imager (OCI) payload of FORMOSAT-1. The MEMI payload will achieve 500 m spatial resolution and 8 spectral characteristics. The power consumption is 7.5 W (average) and the mass is 7.5 Kg which meets the specification of scientific payloads. The performance of the new generation MEMI is superior to that of FORMOSAT-1 which can achieve 800 m spatial resolution and 6 spectral characteristics. The MEMI can be used to systematically and long-term monitor the marine environment near the coast around Taiwan. The entire opto-mechatronic system design and manufacture is independently developed by the domestic research group in Taiwan. This feasibility validation of the project is expected to be completed in one year.

一、前言

航空攝影開始於 19 世紀，當時從氣球上用攝影機拍攝城市照片，此時開創了空中觀察地球的歷史。1909 年美國的萊特從飛機上對地面拍攝照片，隨著飛機和攝影機等的迅速發展，航空攝影的重要性有很大的提高，不僅大量用於地圖繪製，而且在地質、農林、環境評估、軍事與醫學等領域中

得到廣泛應用。除了可評估自然災害，更可應用於都會區交通規劃，台灣西海岸海埔新生地變遷及外傘頂洲之變化監測、熱污染及海洋生態污染監視與調查、周邊海域資源調查探測，作物分類及地質研判等用途。

海洋水色資料 (ocean color data) 是指精確測量光在可見光波長的強度。海洋水色數據和上述成分是有關係的，因此，它可以用來計算物質在海水表

面的濃度和生物活動程度。衛星觀測海洋水色提供一個了解全球性的生物活動視野觀點，超越過去僅從海岸或船隻獲得資料⁽¹⁾。

本文研究的目的是在於設計衛星科學酬載海洋環境照相儀，其系統包含感測器電路模組、操作軟體、光學鍍膜、鏡頭設計、光輻射度校正、機構設計等光機電系統整合技術，初期驗證使用飛機空載平台，拍照時接收全球衛星定位系統 (GPS) 與同步接收飛航姿態資料 (IMU)，方便未來地面影像處理工作進行，其系統採用 CMOS 面型感測器同時擷取光譜資料與海洋空間資料^(1, 2)，規格如表 1 所列，採用飛機載具測試，飛行高度為 5000 英尺，飛行速度為 60 m/s。

二、設計方法

衛星科學酬載海洋環境照相儀的架構與設計上，主要分成：(1) CMOS 電子電路設計、(2) 海洋光譜波段選擇與組裝，(3) 焦平面組裝，(4) 光輻射度修正參數量測，(5) 電源模組及 (6) 飛航參數，此六部分進行討論與介紹。

1. CMOS 電子電路設計

本研究所選用的影像感測器⁽³⁾是 CMOS 公司

表 1. 衛星酬載海洋環境多光譜儀系統規格。

規格	B1 – B4
波長範圍 (nm)	443 ± 20
	490 ± 20
	550 ± 20
	875 ± 40
瞬間視角 (mrad)	0.5882
視角 (diagonal)	± 4.31°
CMOS(pixel number)	256 × 512 ; 256 × 128 (each band)
CMOS (Pixel size)	50 × 50 μm
焦長	85 mm
地面解析度 (GSD)	0.896 m
刈幅	229 m
影像重疊率	60% (each band)
取像率 (Frame rate)	1.31 frame/sec

所生產的 C650 Image Sensor，它是 256 × 512 個有效畫素的感測單位所組成的晶片，畫素大小 (pixel sizes) 為 50 × 50 μm，像素位元寬度為 12 bits，感測器內部架構如圖 1 所示。CMOS 感測器具有增益調整機制，當光線不足時可設定增益倍數來增加曝光量。CMOS 感測器具有防止曝光過度的閘道，可設計成電子式曝光控制，便於積分時間調整。

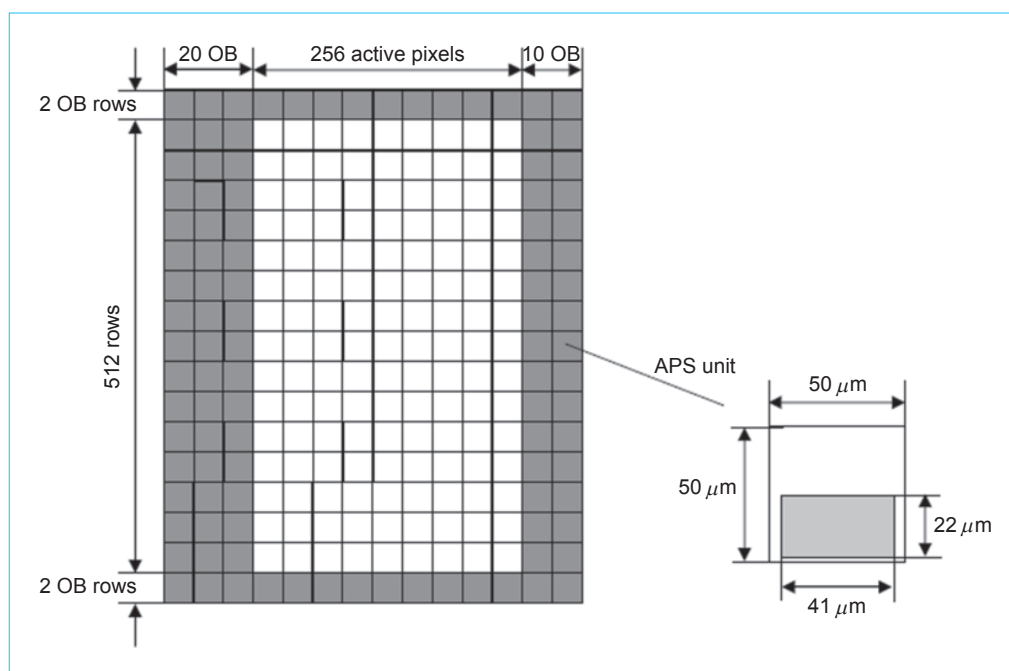


圖 1. C650 Image Sensor。

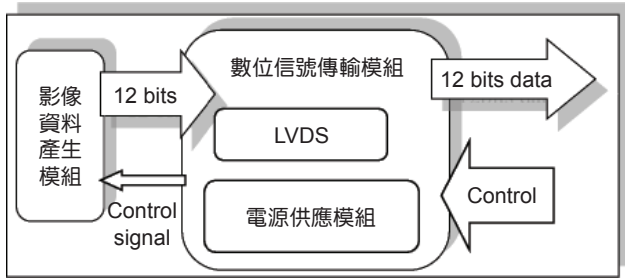


圖 2. CMOS 感測模組電子電路系統。

CMOS 電子電路之系統實現概念如圖 2 所示，CMOS 電子電路主要由影像資料產生模組與數位信號傳輸模組所組成。影像資料產生模組，其功能為當 CMOS 影像感測器在接收感光訊號後，將感光訊號透過光電訊號轉換與經前端電路放大，再傳送至類比/數位轉換電路 (A/D converter)，類比/數位轉換電路將類比資料量化成為 12 bits 之數位資料後，便可將資料輸出至數位訊號傳輸模組。而影像資料產生模組中最大的設計重點為時脈產生電路，此部分電路對驅動時脈的準確度要求較高，準確度將會嚴重影響感測器是否能正確輸出光電轉換訊號。而數位訊號傳輸模組接收後，再將資料轉成符合 LVDS 標準格式經由 LVDS 傳輸介面傳輸至 PC 端，PC 端亦經由此 RS232 傳輸介面傳送控制訊號控制本取像模組。數位訊號傳輸模組也內含整個電源供應模組。

圖 2 中的影像產生模組，使用時脈產生電路 (timing generator) 產生各種驅動時脈訊號驅動 CMOS 影像感測器，使感測器輸出正確之光電轉換訊號，數位時脈產生電路是採用美商 Altera 公司所生產的 FPGA。除了使用在時脈產生邏輯所花費的邏輯單位外，其餘的部分可以保留未來數位信號處理功能擴充時用，而波形產生的演算法是以 Verilog 程式撰寫。透過 Altera 的 FPGA 發展軟體 Max+PlusII 來模擬與實現燒錄至 FPGA 上。

CMOS 電源的電子電路系統由鎳鋅電池 (24V, 30A)/(12V, 60A) 提供的直流電壓 24V/12V 送至電路系統；在電路系統上再轉換成 5 V 為微處理器主要操作電壓與 3.3 V 為可程式單晶片 (CPLD) 主要操作電壓。電源電路模組主要即由圖 4 中之轉換晶片 (U1、U10) 電路產生 CMOS 電子電路系統所需

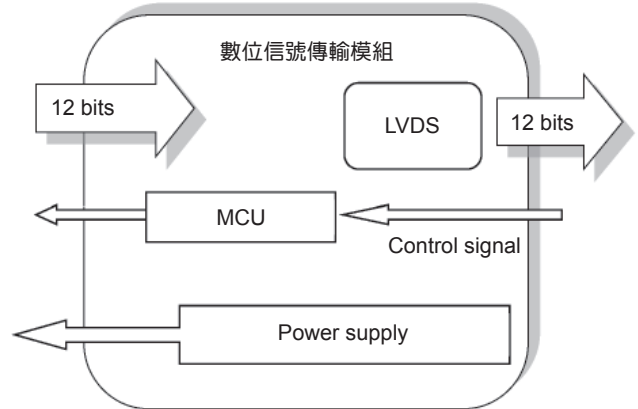


圖 3. 數位訊號傳輸模組之方塊圖。

之穩定電壓電流源。

圖 3 為數位訊號傳輸模組之方塊圖，主要為影像資料傳輸介面，將 12 位元影像格式轉換成差動 LVDS 訊號傳送至後端影像儲存系統 (PC)，以及 PC 端下達之控制訊號傳輸介面，以及整個 CMOS 面型影像模組電子電路系統之電源供應。微處理器電路的主要功能為接收電腦端控制命令，由電腦軟體視窗選擇控制命令輸出。U7 採用 Atmel 所生產之 MCS-51 系列的 AT89S52 微處理器。其具有 8K byte 的系統可程式快閃記憶體、256 byte SRAM、1 組全雙工串列埠 (UART)，其功能在於接上 RS232 可同時接收電腦端命令與傳送狀態，此交握程序包括參數解碼與編碼，傳送狀態至硬體 (FPGA) 端接收命令以改變曝光時間輸出。JP1 為微處理器燒錄接腳。

圖 4 為 CMOS 電子電路實體圖，圖中右側為資料轉換介面電路，此電路能將數位信號轉換成 LVDS 差動訊號給後端影像儲存系統 (PC)，與將控制命令轉換成脈波訊號傳送給電腦與慣性測量設備，故能同時拍照並同時紀錄每張影像的所有資訊。圖中下側電路板主要為數位處理電路模組以及電源電路模組。數位處理電路模組包含：觸發時脈產生電路、微處理器電路、資料轉換介面電路。

2. 海洋光譜波段選擇

海洋光譜波段設計部分，原計畫是將 8 個不同波段光譜採用光學鍍膜方式於影像感測器 (CMOS) 正面感光玻璃，因本中心鍍膜廠為完成華衛五號光

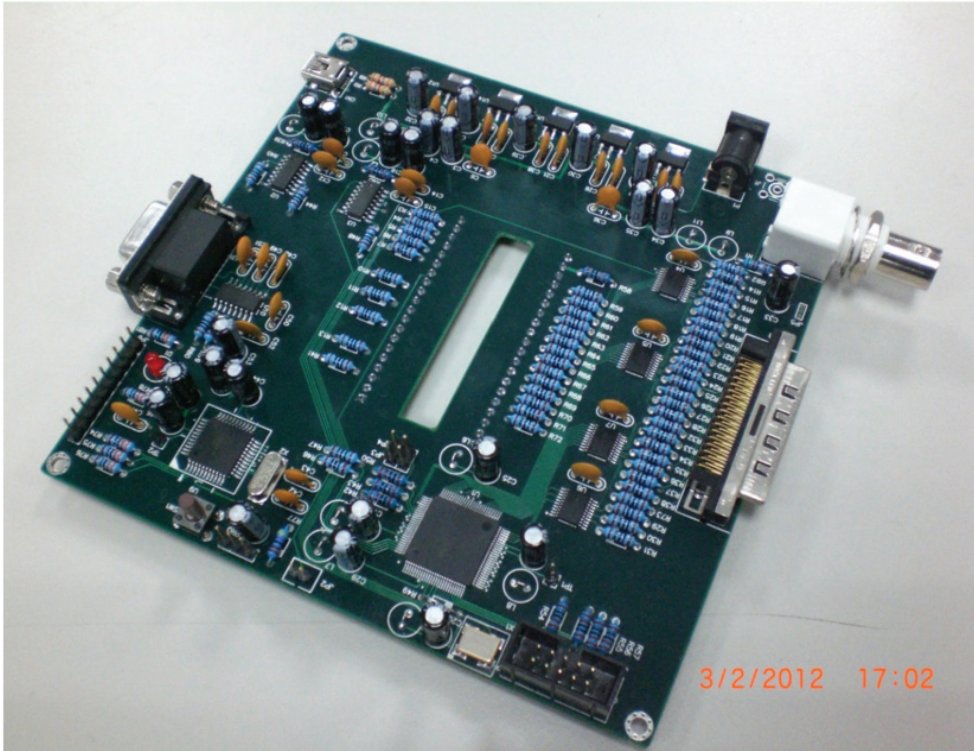


圖 4. CMOS 電子電路實體圖。

學鍍膜工作，時程上無法配合本研究光譜波段設計方式，且國外廠商無意願製作，本年度變更設計為一自行鍍膜且切割併合式 4 波段海洋環境照相儀。

在波段選取方面主要考量地圖繪製與植被生長偵測主要需求，選定的波段共選定 3 組可見光與 1

組近紅外等 4 個波段，其光譜範圍如表 2 所列。運用所觀測的海洋水色資料⁽⁴⁾，了解水中物質的含量，並把這資訊應用於漁業資源、生物、環境、全球變遷、汙染等各項研究上。近紅外線可測得海洋表面的顏色，用以研判海洋污染、水位變遷及潮流範圍等，而水色的分布及動態更可加以判斷漁場、生物資源分布、迴游魚群等相關漁業資訊。

濾光玻璃色片的設計規格如表 3 所示，本研究濾光玻璃色片的穿透光譜，其 B1-B3 的設計值分別為 443 nm ± 20 nm、490 nm ± 20 nm、550 nm ± 20 nm，各波段波長範圍須符合 ± 20 nm，且 B1 光譜上限為 463 nm 與 B2 光譜下限為 470 nm，須限

表 2. 波段選擇。

可見光	B1	413-453 nm
可見光	B2	470-510 nm
可見光	B3	530-570 nm
近紅外	B4	835-915 nm

項目	規格	驗收方式
Center wavelength		
λ_0 (B1)	443 nm ± 20 nm	Measured
λ_0 (B2)	490 nm ± 20 nm	
λ_0 (B3)	550 nm ± 20 nm	
λ_0 (B4)	875 nm ± 40 nm	
Mean Transmittance (Tmean) for B1, B2, B3, B4	> 90%	Measured

表 3. 濾光玻璃色片的設計規格。

表 4.
濾光玻璃色片切割尺寸。

項目	規格
Outer diameter (No mechanical container is needed)	$26 \pm 0.1 \text{ mm (L)} \times 15 \pm 0.1 \text{ mm (W)}$
Thickness	$2 \pm 0.1 \text{ mm}$
Wave front error of each side of the filter	$< 1/2 \lambda @632.8 \text{ nm}$

制相鄰 6 nm 誤差範圍，且 B2 光譜上限為 510 nm 與 B3 光譜下限為 530 nm，須限制相鄰 20 nm 誤差範圍，B4 的設計值為 $875 \text{ nm} \pm 40 \text{ nm}$ ，波段波長範圍須符合 $\pm 40 \text{ nm}$ ，濾光玻璃色片切割尺寸如表 4 所列，其尺寸配合 CMOS 影像感測器影像解析度 $256 \times 512 \text{ pixels}$ 分配，平均每個波段為 $256 \times 128 \text{ pixels}$ 。

在波段量測方面，使用本中心光譜量測系統進行光譜範圍量測，其量測環境如圖 5 所示，其量測系統包含光譜儀、光源、積分球、光纖、準直鏡等配件，光譜儀，是針對光電量測使用所設計的，內部通常有一個感測器 (CCD linear array)，其設計概念是待測物藉由外接光纖導入光譜儀的內部，透過光柵，打到 CCD sensor，再透過電路的判讀，精確的量測各種光譜分析量測。

量測之前先了解什麼是光譜圖，當連續光通過不同物質時，該物質對光線會有不同程度的吸收或透光度，進而產生不同高低的波峰圖形，此圖形即稱為光譜圖，如圖 6 所示。光譜圖中以波長與穿透值來分別表示 X 軸與 Y 軸單位，此圖稱為穿透光

譜圖 (transmission spectrum)。

濾光玻璃色片穿透率量測，也就是所謂的穿透率量測，透明玻璃色片對於不同波長的光線會有不同的穿透率，因此透過光譜量測系統的使用，可以量測出各種色片對於光的穿透率，光穿透率的定義：

$$T = (\text{射出光} / \text{入射光}) \times 100\%$$

濾光玻璃色片的光學鍍膜，要符合設計規格需進行至少 100–200 鍍膜次數，其鍍膜技術上有一定的困難程度，設計過程中也花費不少時間與精力，歷經國內兩間鍍膜廠商研製，研製結果不理想，主要因光譜範圍抑制能力較差 (out-of-band rejection)，以致於 B1 會覆蓋到 B2 的光譜，B2 會覆蓋到 B3 的光譜，廠商製作的結果無法達到驗收規格，最後才找到國外有符合波段的鏡片，採購回來後再進行玻璃切割與波段量測的動作，濾光玻璃色片研製共花費 3 個月的時間，在此方面，未來濾光玻璃色片研製，將由中心鍍膜廠為完成光學鍍膜

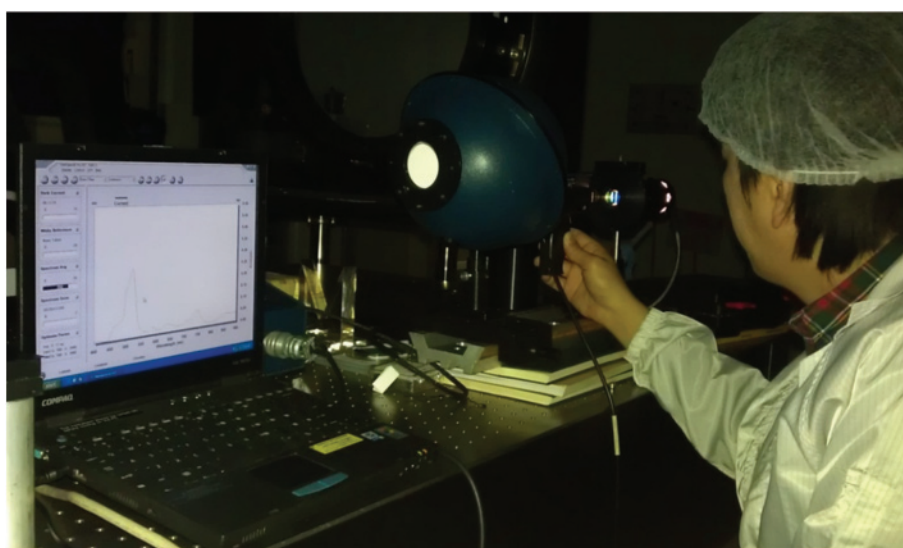


圖 5.
光譜量測系統。

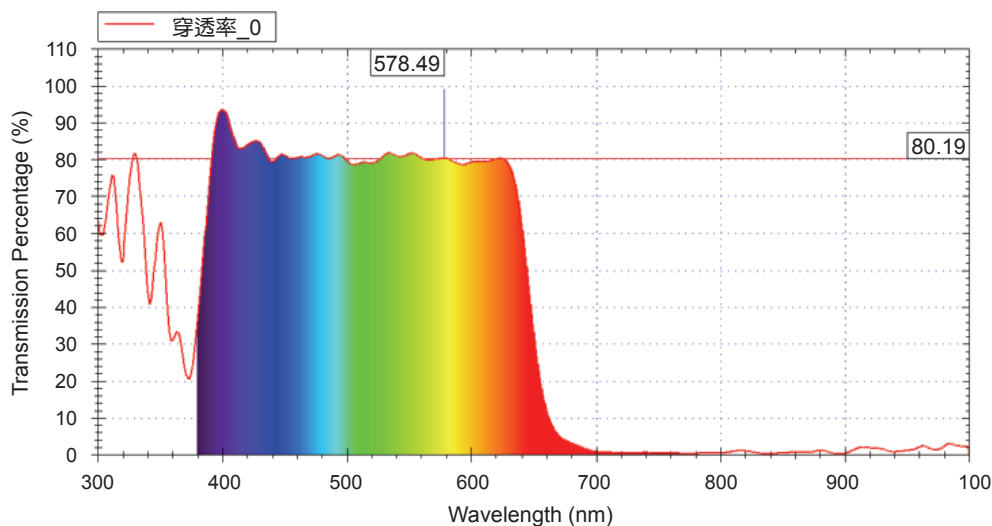


圖 6. 穿透光譜圖。

工作與完成原計畫 8 個波段的工作。

設計完成後，經由本中心光譜量測系統進行量測，其可見光波段 B1–B3 的量測結果如圖 7 所示，波長範圍分別為 420–460 nm、470–510 nm、525–570 nm，均符合設計值且穿透率達 90% 以上，由於 B3 均含有紫外光與近紅外光部分，這個部分在此波段加上 IR-Cut 濾光玻璃色片去除紅外光波段，來達到所要求之規格。近紅外光波段 B4 的量測結果如圖 8 所示，波長範圍為 830–915 nm，其波段符合設計規格。

濾光玻璃色片 (filter) 的組裝方式如圖 9 所示，因 CMOS 影像感測器價格昂貴，避免於手工組裝黏貼過程中發生錯誤，且考慮 CMOS 可重複利用性，故採用 filter 黏貼至玻璃 (cover glass) 上，第一層也就是最上層為 filter，第二層為 cover glass，最下層為 CMOS 影像感測器，第一層與第二層採用太空規格黏膠 (DB490)，其黏貼方式由人員眼力與手工方式配合光學顯微鏡進行。

CMOS 影像感測器的空間域與時間域的設計方式如圖 10 所示，畫素大小為 $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ ，有

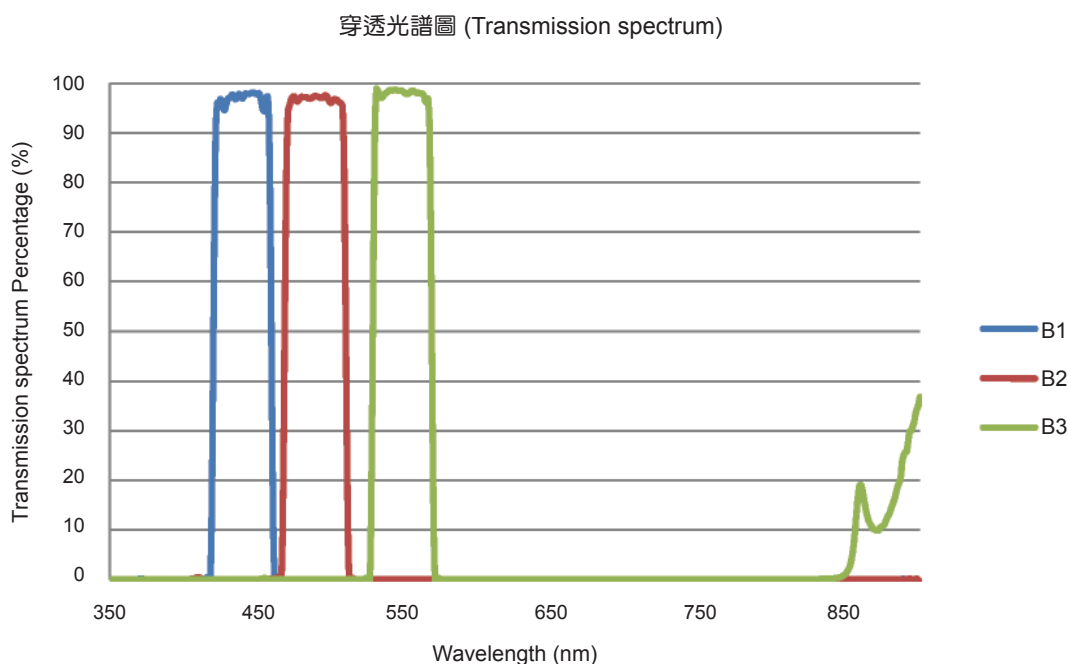


圖 7. B1–B3 穿透光譜圖。

穿透光譜圖 (Transmission spectrum)

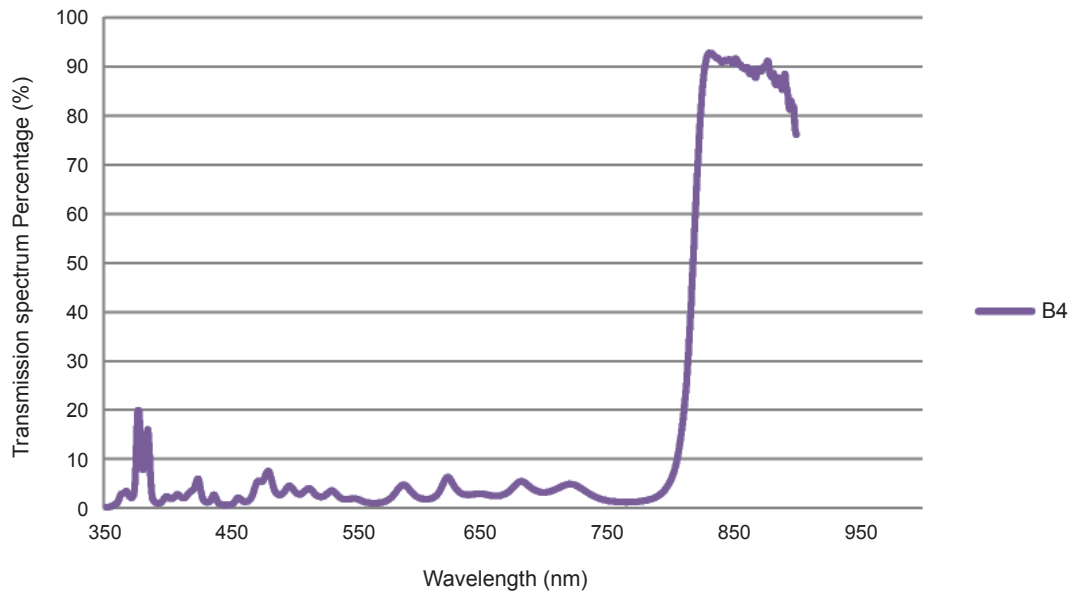


圖 8. B4 穿透光譜圖。

效影像畫素為 256×512 pixels，其空間域 (256 pixels) 也就是空間軸，時間域 (512 pixels) 也就是光譜軸，刈幅在地面解析度為 0.896 公尺時，於 1500 m 飛行高度預計可達 229 m，於 700 km 軌道高度預計可達 105 km。

如圖 10 所示，於 CMOS 影像感測器的有效影像畫素 256×512 pixels 下，平均分配給本研究設計 4 個波段 (band) 使用，每個波段為 256×128 pixels，於畫素大小為 $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ 計算下，切割濾

光玻璃色片的尺寸為 $15 \times 6.4 \text{ mm}^2$ ，其切割尺寸如圖 11 所示。濾光玻璃色片組裝機構如圖 12 所示，此機構為固鎖 CMOS 與濾光玻璃色片的鋁合金機件。

如圖 9 所示，濾光玻璃色片的組裝方式為濾光片 (filter) 為黏貼於 cover glasses 上，然後 cover glasses 在固鎖於 CMOS 影像感測器上，在波段黏貼方面，使用本中心高倍率電子顯微鏡量測系統進行，實驗方式為濾光片是否放置對的位置，所謂對的位置就是濾光片是否對齊於 CMOS 的畫素上，由於本實驗使用高倍顯微鏡，如圖 13 所示，其鏡

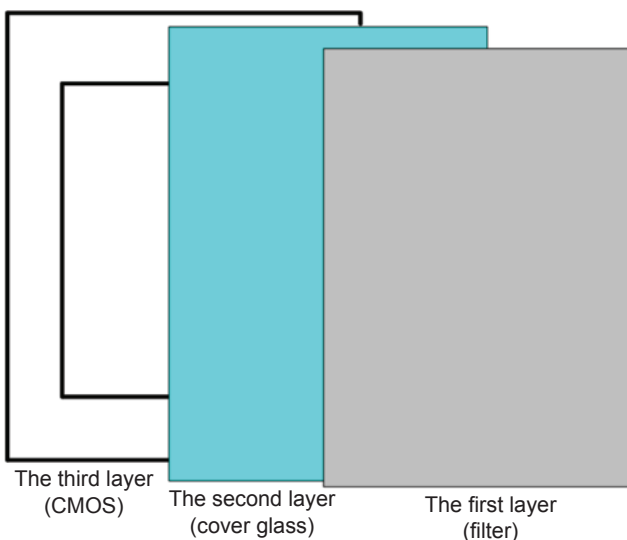


圖 9. 濾光玻璃色片的組裝方式圖。

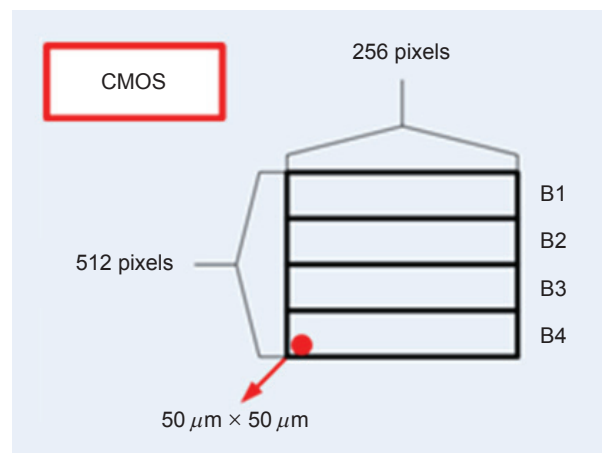


圖 10. CMOS 影像感測器的空間域與時間域設計圖。

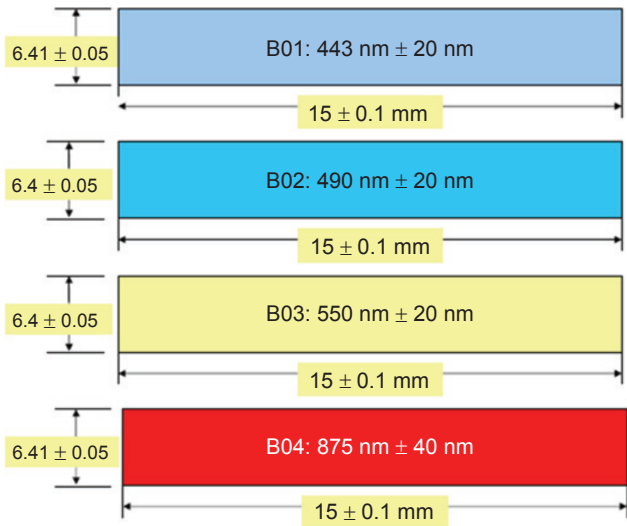


圖 11. 濾光玻璃色片切割尺寸設計圖。

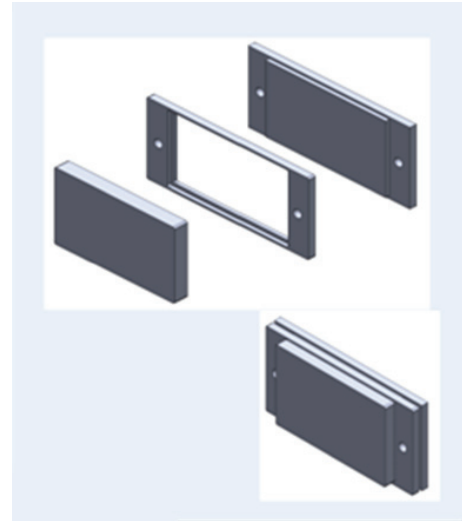


圖 12. 濾光玻璃色片組裝機構圖。

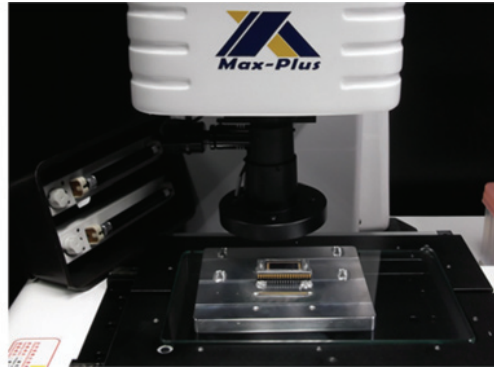
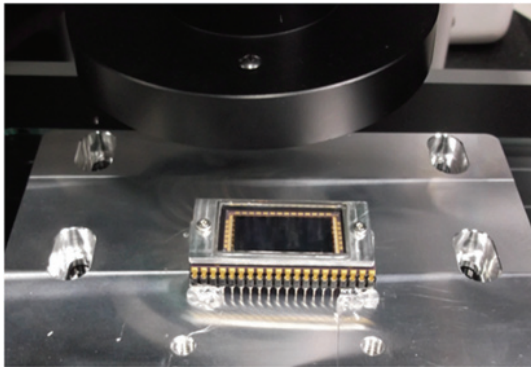
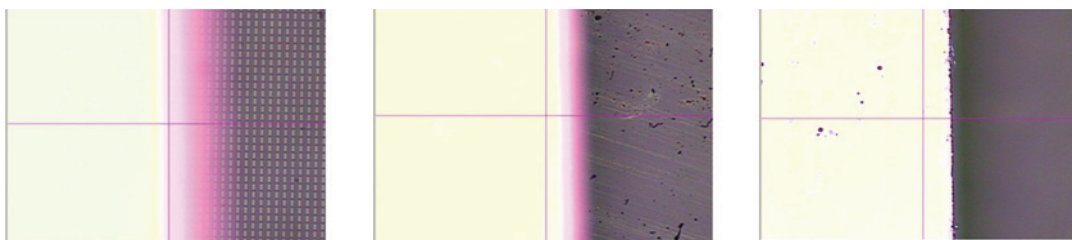


圖 13. 儀科中心高倍率電子顯微鏡量測系統。

頭景深較窄，假設對焦至 CMOS 的畫素上則濾光玻璃色片呈像模糊，相對的，對焦至濾光玻璃色片上，則 CMOS 的畫素呈像模糊，如圖 14 所示。本研究使用直角十字方式，先對焦於 CMOS 的 pixel 上，然後在對焦於濾光片，其對準方式使用直角十字方式記住 x 、 y 座標，利用十字垂直與平行方式，來將濾光片對齊 CMOS 設計的畫素位置。

圖 15 所示為黏貼完畢的結果，黏貼的膠使用太空規格黏膠 (DP 490)，為美國 3M 公司所生產製造，為結構性 AB 二劑膠，含黏著劑與硬化劑。DP490 膠為硬膠，可作為結構性用膠，由於黏著強度非常高，因此常被使用在結構性之接合組裝上，其具有優良的黏著力及耐振動特性，常應用於金屬、玻璃及陶瓷之結構性強力接合。



Focus on the Pixel

Focus on the Cover Glass

Focus on the Filter

圖 14. 鏡頭景深示意圖。

3. 焦平面組裝

調焦之基本概念為將 CMOS 影像感測器放置於鏡頭之焦平面上，焦平面組裝時利用本中心大口徑量測設備 (EROS MTF) 輔助，調整架構如圖 16 所示。提供一準直的狹縫光源，此一準直光源可因 MTF 設備上之反射鏡移動位置及旋轉造成入射角度的改變^(5,6)。

調焦時依實際 CMOS 上之狹縫成像判斷是否到焦，如圖 17 所示，以訊號半高寬為判斷基準，組裝經驗中半高寬 1.5 pixels 為最佳值，實際組裝除利用墊片調整外，也利用鏡頭機構上的螺牙的進行前後調整，如圖 18 所示，得以快速得知需將墊片墊厚或減薄。除將光軸上點調到焦外，也需將軸外 ± 14 度的入射光也調到焦，調焦時也一併注意將像足點調至 CMOS 中心，調整位置確定後以螺栓固定鎖住。

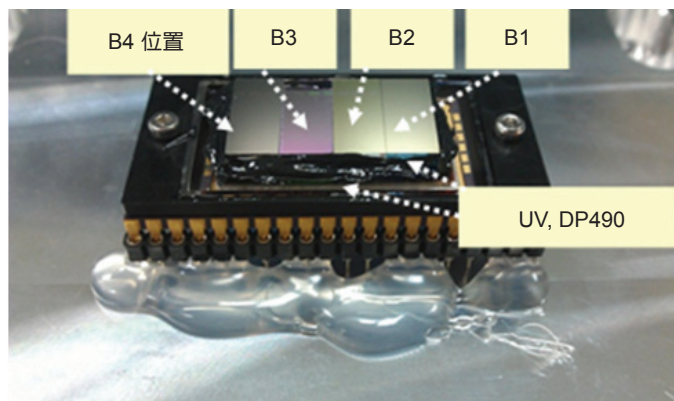


圖 15. 黏貼完畢的結果圖。

本研究的焦平面調焦結果如圖 19 所示，採用準直儀以產生無窮遠的物，以訊號半高寬為判斷基準，組裝經驗中半高寬最佳值約為 1.5 pixels，其四個波段焦平面均符合標準 (1.5 pixels)。

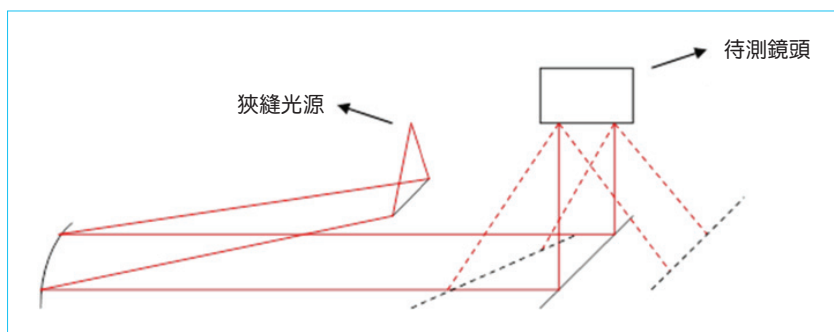


圖 16. 調焦光路圖。

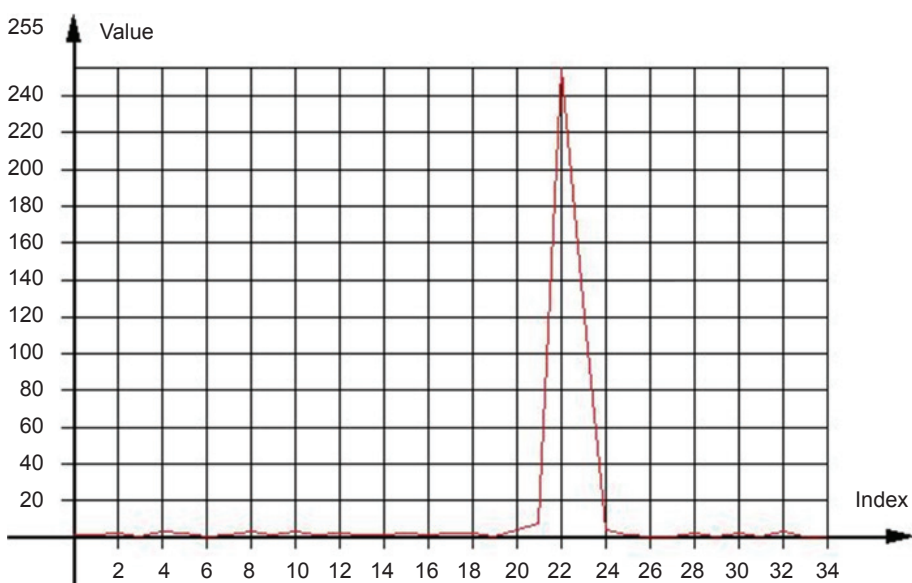


圖 17. 利用取像軟體擷取之狹縫成像 (圖中影像顯示到焦)。

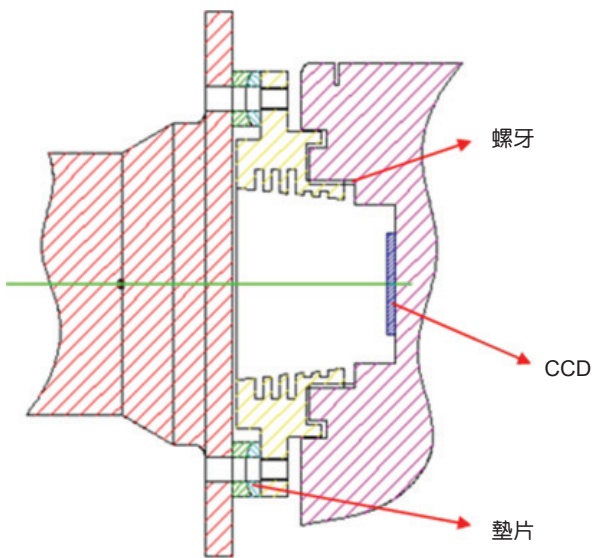


圖 18. 調焦時墊片與螺牙機構示意圖。

4. 光輻射度修正參數量測

鏡頭成像無可避免的會有中間亮而週邊較暗的情形，此因為鏡頭造成的輻射度誤差可以利用事先量測事後修正的方式加以消除。經由輻射度修正之後，影像上的讀值與對應的地面輻射度變成簡單的正比關係，從影像上的讀值就可得出地面輻射度。這樣影像就可以成為科學分析的工具，藉由影像得到的地面輻射度的分布可以判斷地表的特徵，植被生長情形。透過多光譜影像比較，可以分辨土壤的性質，植被的生長情形及種類等科學分析。

輻射度量測以積分球為均勻光源進行測試，其實驗佈置如圖 20 所示，光源於光學系統入口均勻度在 99% 以上。此積分球光源出口直徑為 350

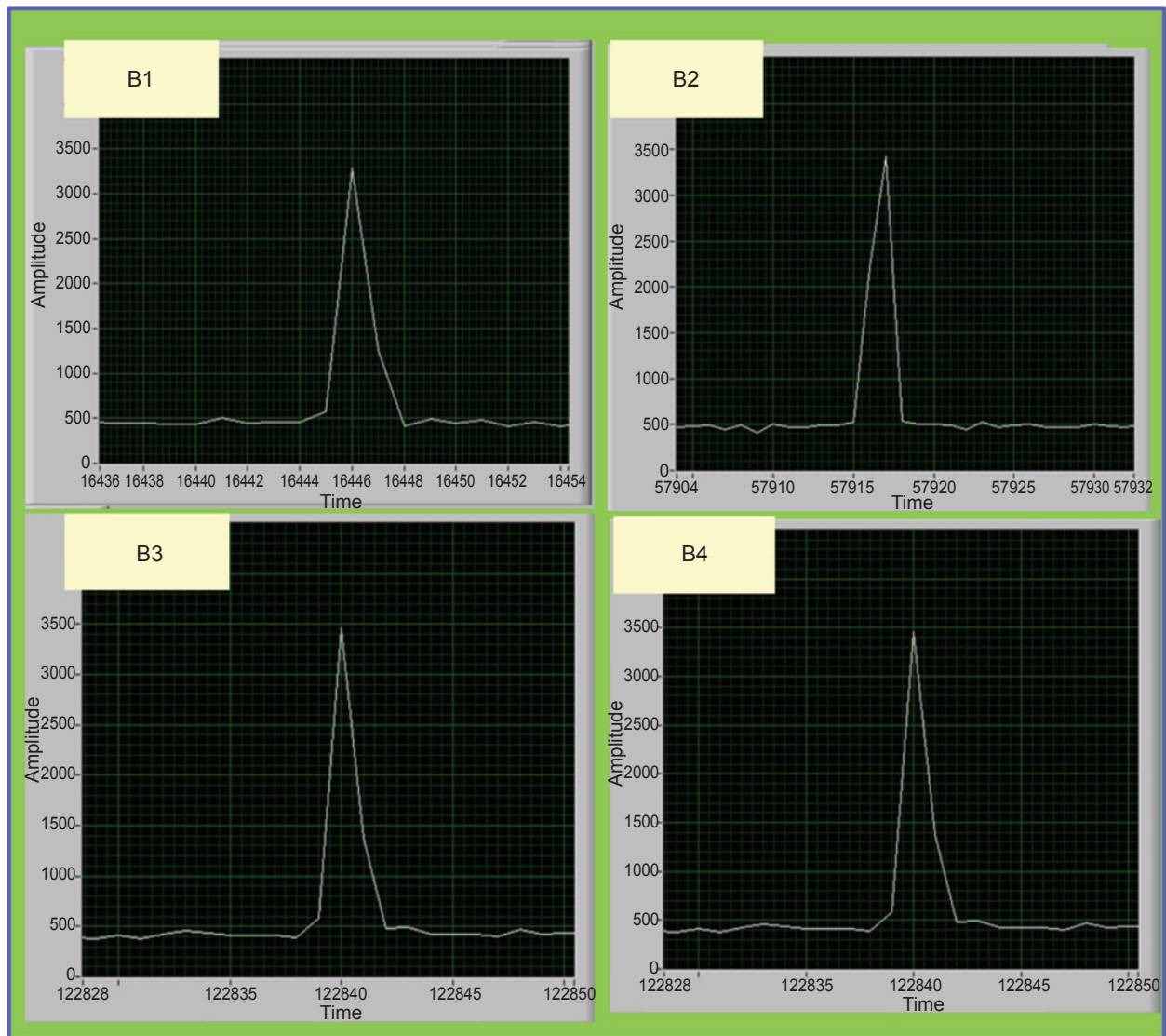


圖 19. 四波段調結果。

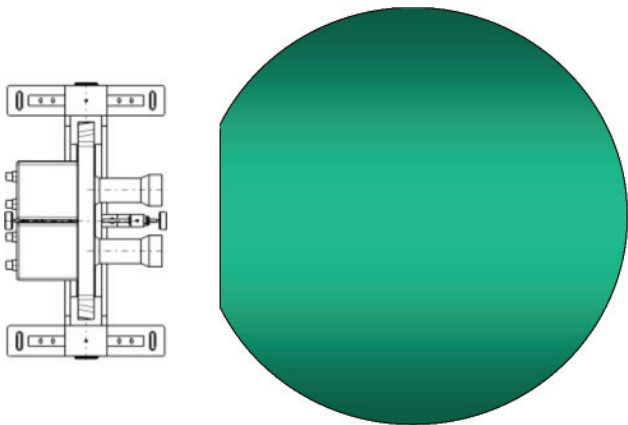


圖 20. 輻射度量測實驗佈置。

mm，其穩定度由積分球內建之感測器監控，而分光輻射度經由校正過之分光輻射度計進行監測。

利用校正後的積分球光源產生均勻場 (flat field)，調整輻射強度進行取像，計算其相對響應並修正為均勻影像，其修正結果如圖 21 所示。

訊雜比 (SNR)，研究以計算影像感測器之 SNR 參數計算為範例，SNR 常被使用在長距訊號

傳輸、類比轉數位電路系統或影像訊號上等，在長距離訊號傳輸中如網路訊號，在訊號兩端算其 SNR 值，藉此評斷訊號衰減量，另一為算 GPS 訊號中的訊號載波 (Carrier) / 雜訊 (Noise)；在類比轉數位電路系統中最常見的就為類比數位轉換器 (analog to digital converter)，在市售的類比數位轉換器規格書上都會標示此參數以便使用者選用，另外整體電路系統也可利用此參數來做系統穩定度的評判。影像訊號的 SNR 常被用來對像素的穩定度或是整體系統品質，此參數是為設計者在選擇時重要的依據與考量，因此本文也針對影像訊號的 SNR 做探討。計算 SNR 的過程當中是以統計的概念做為基礎，先對訊號源做取樣，而後再對樣本資料做計算。需要計算的參數如下所示。

在工程當中 SNR 的表示法為訊號功率 (power of signal) 與雜訊功率 (power of noise) 的比例關係，

$$SNR = \frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}}} = \left(\frac{A_{\text{signal}}}{A_{\text{noise}}} \right)^2 \quad (1)$$

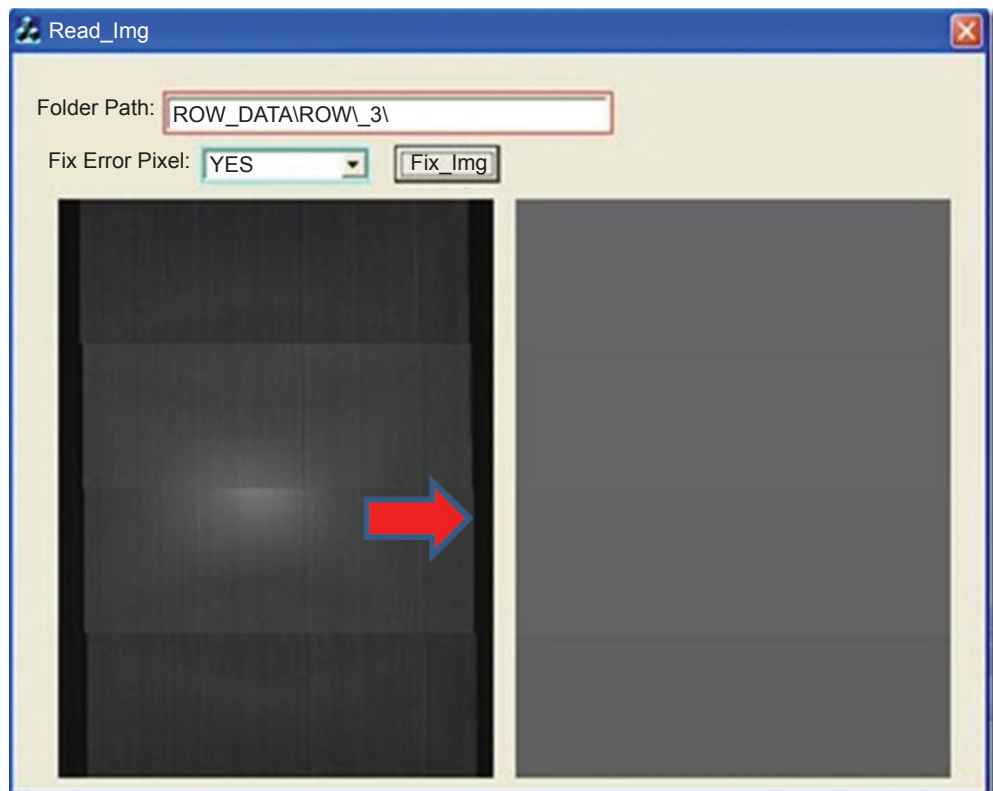


圖 21.
光輻射度修正。

校正前

校正後

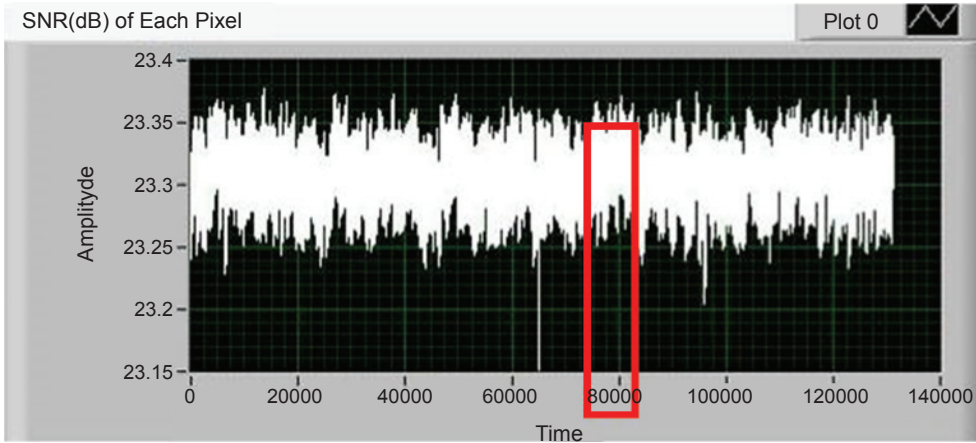


圖 22. 影像感測器每一像素之 SNR。

式子前半段是利用功率的方式做運算，求得功率的量測過程必須要在相同的條件下進行。當訊號與雜訊是在同一阻抗下做量測時（一般是同一時間可以得到訊號與雜訊值），則可利用式子後半段做表示，其中通常 A 為振幅的均方根值 (root mean square, RMS)。而均方根值的算法如下式：

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n}} \quad (2)$$

因為 SNR 算出的數值會很大，所以其的單位一般使用分貝做為表示，其值為十倍對數訊號與雜訊功率比：

$$SNR(dB) - 10 \log_{10} \left(\frac{P_{signal}}{P_{noise}} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{A_{signal}}{A_{noise}} \right) \quad (3)$$

在 SNR 公式來看，SNR 值越大代表訊號品質越好，越小則越差。基於上述的公式，可以依序求出 SNR 值，主要的問題是在如何知道式子中訊號 (A_{signal}) 與雜訊值 (A_{noise})。在此 A_{signal} 的求法為先對同一光源重覆取樣多次，在算其平均值 (mean)，如下式：

$$\mu = \bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (4)$$

而 A_{noise} 的求法則是在資料中算其標準差 (standard deviation)，如下式：

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2} \quad (5)$$

再依上面的 SNR 求出，利用 Mean 與 STD 求出其訊號與雜訊，取代求其均方根值。取樣數的多寡是基於統計的原理，資料量必須讓資料的分布呈現為常態分布 (normal distribution)，也有人稱為高斯分布 (Gaussian distribution)，分布圖會依不同的 μ 值與 σ 值呈現位置與胖瘦的不同。取樣數大約至少要 30 筆資料以上，越高的取樣數所算出的 SNR 可靠度也就越高。

在 CMOS 影像參數計算，必須要有夠多的重覆量測資料量，因此儲存在隨身碟內的資料讀取出並處理。圖 22 顯示各個像素值之 SNR，由圖中也可看見在六萬多點的像素 SNR 值明顯偏低 (紅色框架)，因此也可透過結果來考慮此像素點是否要取用。我們在此也實際量測一影像感測器，其像素為 512×256 ，並測試不同光流明度下的 SNR 值，而表 5 為測試像素飽和度分別在 5%、50% 與 90% 的實際平均值，也間接驗證了系統可行性。

表 5. 不同像素飽和度之平均 SNR 值。

像素飽和度	SNR 值 (dB)
5%	40
50%	41
90%	51

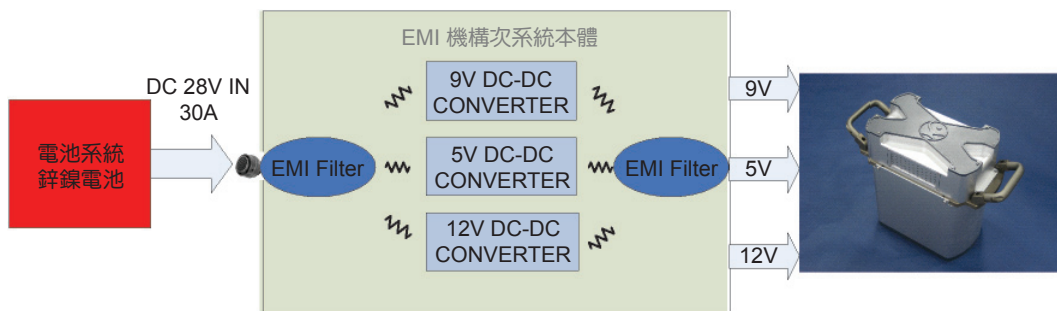


圖 23. 系統電源模組。

5. 電源模組

設計海洋環境光譜儀全系統電源模組^(7, 8)，目前以減輕重量為前提下，又能使航拍電力使用時數拉長至 2 小時又 30 分鐘以上之續航力，且為了不使用飛機電源，因需達到防治 EMI 的各種強度干擾以防護人員及飛安上的安全，所以不使用飛機電源，故目前更換使用 DC-DC 二顆鎳鋅電池重量約 30 kg。電腦電源也換至直流 DC-DC 電源供應。圖 23 為系統電源模組示意圖。

鎳鋅電池 A (24V, 30A)，電池充滿電壓為 28.5 V，重量約 15 kg，所供電負載為海洋環境光譜儀相機、電腦螢幕。鎳鋅電池 B (12V, 60A)，電池充滿電壓為 15.5 V，重量約 15 kg，所供電負載為全系統取像電腦。

進行燒機測試，圖 24 為本研究的電池供電系統架構，系統使用兩組鎳鋅電池分別供應給 PC 與 CCD 電路，實驗測試的部分將進行全系統的實驗，此實驗為 CMOS 連續影像拍攝與影像儲存，

測試電池的使用時間。測試電壓數據 (101/06/26)：電池 A 為供應電源至相機持續連續取像及存檔。電池 B 為供應電源於全系統取像電腦。

(1) 下午 15:30 開始測試

瞬間同時電腦及相機動作，電池 A 相較滿載電壓 (28.5 V) 下降 0.8 伏特，電池 B 相較滿載電壓 (15.5V) 下降 1.3 伏特。

(2) 下午 16:30 測試電壓

相機持續進行連續取像及存檔，電池 A 相較滿載電壓 (28.5 V) 下降 4.5 伏特，電池 B 相較滿載電壓 (15.5V) 下降 2.54 伏特。

(3) 下午 17:30 測試電壓

相機持續連續取像及存檔，電池 A 相較滿載電壓 (28.5 V) 下降 6.4 伏特，電池 B 相較滿載電壓 (15.5 V) 下降 2.63 伏特。

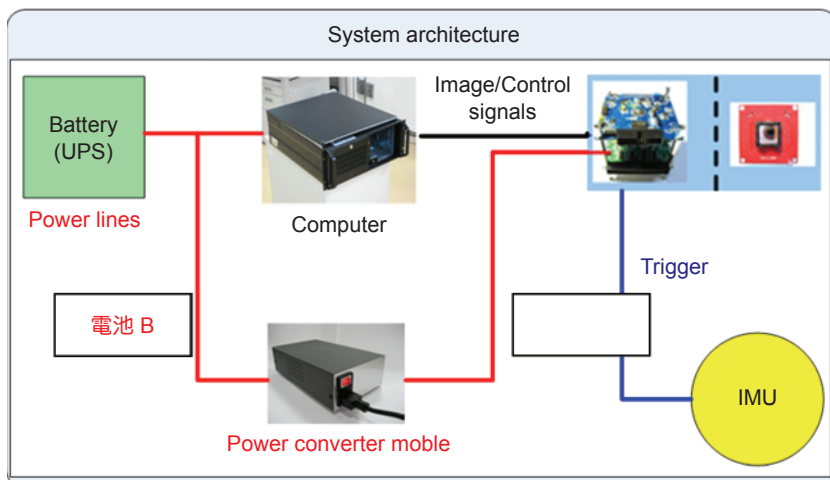


圖 24. 電池供電系統架構圖。

電池 \ 時間	15:30 開始測試	16:30 測試電壓	17:30 測試電壓	18:00 測試電壓
電池 A	27.7 V	24 V	22.1 V	20 V
電池 B	14.2 V	12.96 V	12.87 V	12.7 V

表 6.
電池電壓數據。

(4) 下午 18:00 測試電壓

相機持續連續取像及存檔，電池 A 相較滿載電壓 (28.5 V) 下降 8.5 伏特，電池 B 相較滿載電壓 (15.5V) 下降 2.3 伏特。此時，電池 A 與電池 B 均能繼續供電。

測試結果的量測電壓如表 6 所列，結論：經由電池 A 與電池 B 的供電數據，本電源供應系統預估能供電 2 小時之航拍。

6. 飛航參數

科學酬載海洋環境照像儀於飛航規劃之前，必先了解與飛航相關的取像參數有地面解析度、影像覆蓋率、CMOS 的積分時間，以下將對這些取像參數的設定作一介紹。

(1) 地面解析度

進行空照前，必須從地圖的等高線中得到空照區域的地面高度，飛機的高度為地面高度加上空照高度，如此影像才能得到正確的解析度。以本研究設計的科學酬載海洋環境照像儀來說，距離地面為 1700 公尺時所對應到的像素大小為 1 公尺，當空照區域的地面高為 100 公尺時，飛機必須飛 1700 公尺才能得到像素大小為 1 公尺的地面解析度，其中 1700 公尺即為空照高度。地面解析度的算法如圖 25 所示。

圖中 x_1 為 CMOS 的像素大小， f 為系統的焦距， d 為空照高度， x_2 為地面解析度。科學酬載海

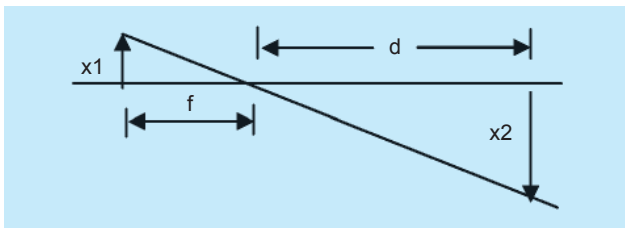


圖 25. 地面解析度的算法。

洋環境光譜儀所使用的 CMOS 的像素大小為 $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ ，焦長為 85 mm，當空照高度為 5000 英尺時，地面解析度可利用簡單的相似三角形來求得 $x_2 = 0.896 \text{ m}$ 。

(2) 影像覆蓋率

為了讓影像與影像之間有 60% 的覆蓋率，必須依據當時空照高度所對應的影像大小來決定於航線上拍照時間的間隔。假如空照高度為 5000 英尺，科學酬載海洋環境光譜儀的像幅大小為 229×114 公尺，因此影像與影像之間，刈幅 229 公尺至少必須重疊 137 公尺，與刈幅 114 公尺至少必須重疊 68.8 公尺，才能達到 60% 的覆蓋率。

通常空照時飛機的飛行速度每秒鐘約飛行 60 公尺，設定飛機飛行以刈幅 229 公尺為空間軸與刈幅 114 公尺為時間軸，就時間軸而言影像與影像之間至少必須重疊 68.8 公尺計算，當飛行距離到第 45.2 公尺時取像軟體就必須觸發 CMOS 取像，以飛機時速 60 公尺/秒，而飛機飛行 45.2 公尺約須花費 0.764 秒。因此在空照高度為 5000 英尺的情況下於航線上拍照時間的間隔為 0.764 秒，但是軟體送觸發訊號到 CMOS 通常會有一個時間差 (time delay)，因此實務上將拍照時間的間隔縮短來得到較大的影像覆蓋率，防止這樣的時間差造成影像覆蓋率低於 60%。

(3) CMOS 的積分時間

科學酬載海洋環境照像儀的 CMOS 是使電子式快門來控制 CMOS 的曝光量，調整 CMOS 的積分時間就是控制這個機械式快門的速度。海洋環境照像儀的四個波段模組共用一個 CMOS 來取像，然而不同的波段對地表上的資源皆有不同的響應特性，因此必須依據空照區域的地形特徵來調整 CMOS 的積分時間，避免影像過亮或過暗。不同波段模組對不同地表資源的反射率如圖 26 所示。

由圖 26 得知，近紅外線 (b4) 對植物有較大的反射率，因此當空照區域為植物時，如稻田、山區等，B4 的積分時間就不能太長，否則影像將會太亮。在調整 CMOS 的積分時間時，使用直方圖 (histogram) 來當作調整積分時間的參考，直方圖如圖 27 所示。

由圖 28(a) 得知影像太亮，因此必須降低 CMOS 積分時間，由圖 28(c) 顯示影像太暗，必須增加 CMOS 的積分時間，由圖 28(b) 表示這樣的 CMOS 積分時間是適當的。當影像太暗時，必須增加 CMOS 的積分時間，如果積分時間超過一個像素的地面解析度將會造成影像模糊的現象，所以積分時間必須小於或等於一個像素的地面解析度。

CMOS 的積分時間是由當時像素的地面解析度及當時飛機的速度來計算，假如飛機每秒鐘飛行 60 公尺且像素的地面解析度為 0.896 公尺，則 CMOS 的積分時間為 $(1/60) \times 0.896 \approx 14.93 \text{ ms}$ ，因此 CCD 的積分時間必須 $\leq 14.93 \text{ ms}$ 。

三、實驗測試

科學酬載海洋環境照像儀系統架構圖如圖 28 所示。本研究設計的四波段海洋照像儀將裝設於飛機上，由系統架構圖中，系統使用乾電池當作電源，目前使用兩組鎳氫 12V 60W/24V 30W 分別供應給 PC 與 CMOS 電路。拍照時，CMOS 傳送影像訊號給 PC 與觸發訊號給 IMU，達到航拍紀錄的目的。與設計取像控制軟體，透過控制軟體來調整電路的積分時間參數來調整影像以免過亮或過暗等現象。與設計機構外罩，為固鎖於海洋水攝儀於飛機機腹，機構為減輕重量而採用鋁合金設計。

1. 取像控制軟體

取像控制軟體為控制科學酬載海洋環境照相儀取像用，為在個人電腦上發展的應用程式，用於連接 CMOS camera 與影像擷取卡，使用者可在取像控制軟體的環境中設定取像參數並對影像進行擷取、儲存與處理。本軟體除可應用於機載取像中外，並可作為實驗室內調焦用輔助工具。

取像控制軟體，使用美商國家儀器 LabView

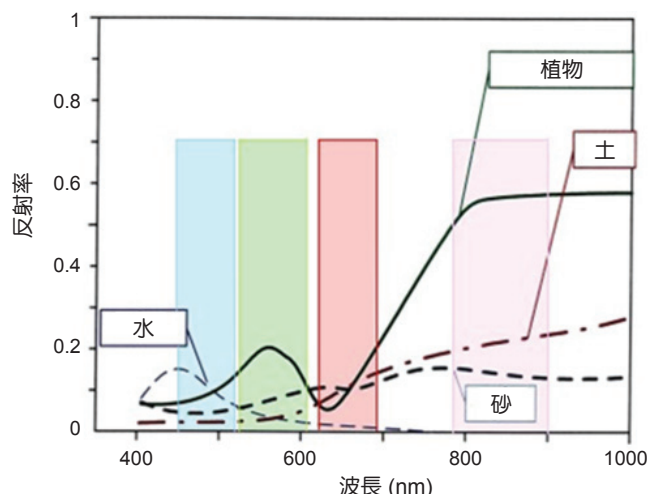


圖 26. 不同波段模組對不同地表資源的反射率。

2012 來發展，並架構在 Microsoft Window 7 作業系統，此外也相容於 Microsoft windows 平台之其他作業系統。取像控制軟體開啟如圖 29 所示，主要分為開始執行區、程式控制區、資訊區、一維資料區與二維資料區這五部分。以下就各部分開始說明。

(1) 開始執行區

主要控制有「執行程式」與「結束程式」兩部分。

1. 開始程式：可以讓影像感測器擷取資料與儲存檔案。
2. 結束程式：可以讓程式在任何時間下停止程式。

(2) 程式控制區

主要控制有「IMU 同步訊號輸出」、「顯示即時影像」、「存檔」、「停止程式」四部分。

1. IMU 同步訊號輸出：為送出同步訊號給 IMU 以便後續的影像校正用，此按鈕需確定其它參數都設計確認後，再將此訊號輸出，特別是在飛航到了預定拍攝點後將程式停止，再開此按鈕，而後讓程式重新開始並輸出 IMU 訊號。
2. 顯示即時影像：為將影像輸出至一維與二維區並顯示，此部分在飛航到了預定拍攝點之前，進行影像資料判讀與透過影像來調整積分時間參數，以免影像過曝或過暗情形發生。

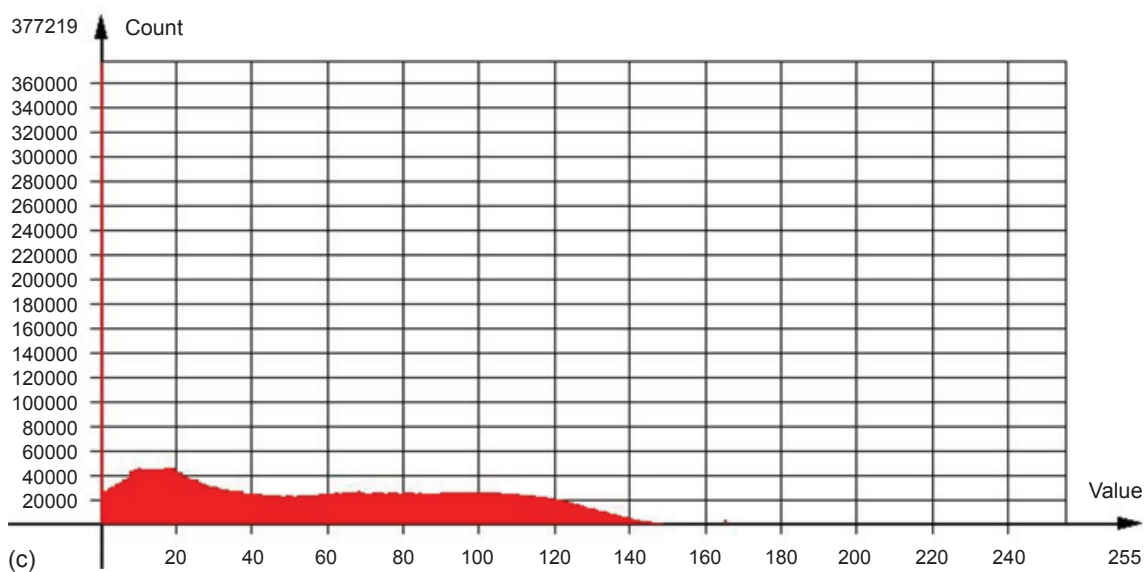
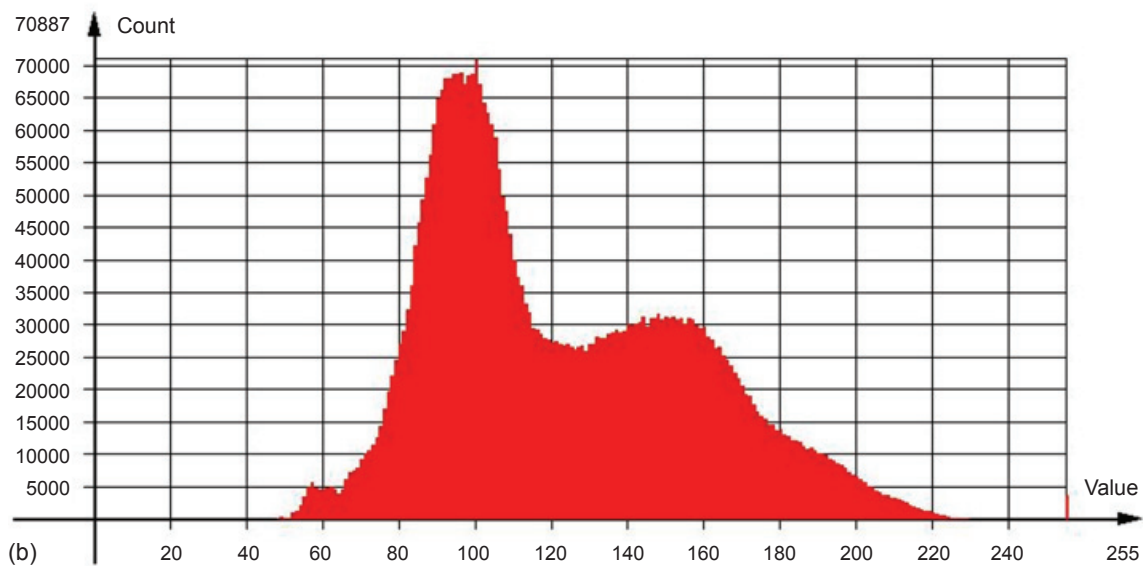
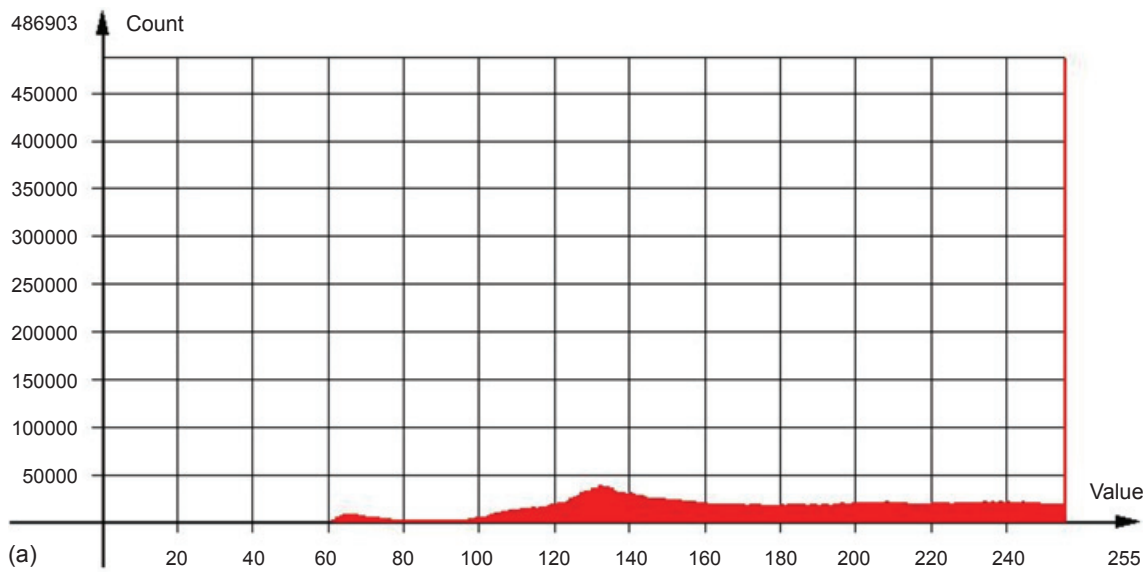


圖 27. 直方圖，(a) 太亮，(b) 適當，(c) 太暗。

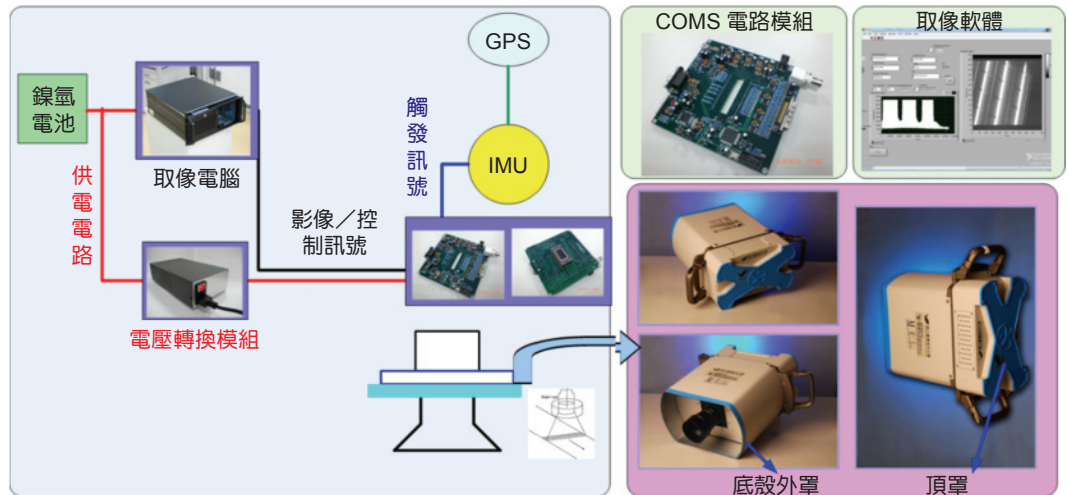


圖 28. 實驗系統架構圖。

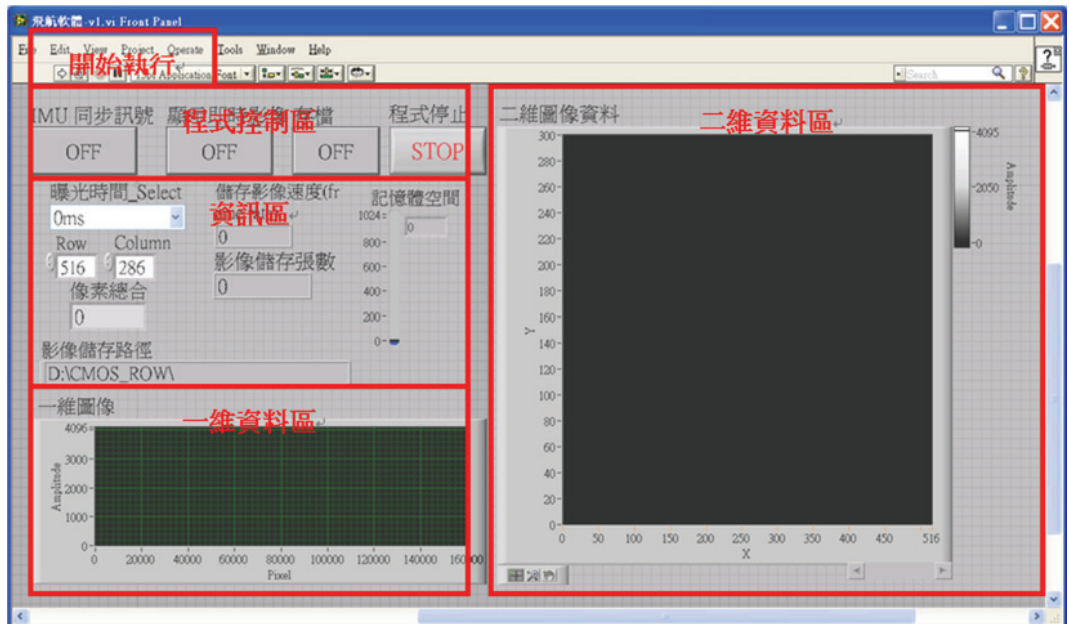


圖 29. 取像控制軟體圖。

3. 存檔：為選擇程式執行要不要儲存檔案。
4. 停止程式：可以讓程式在任何時間下停止程式。

(3) 資訊區

主要控制有「曝光時間選擇」、「影像 row 與 column」、「影像速度」、「儲存張數」、「記憶體空間」與「儲檔位置」六部分。

1. 曝光時間選擇：為提供選擇曝光時間量的下拉式選單。
2. 儲檔位置：為影像儲存位置，預設檔案路徑為 D:\CMOS_ROW。

3. 影像速度：為顯示影像的 Frame Rate，單位為張／秒。
4. 儲存張數：為顯示同一航道拍攝的影像檔案總數目。
5. 記憶體空間：為顯示電腦硬碟容量剩下的記憶體空間。
6. 儲檔位置：為顯示同一航道影像的檔案位置。

(4) 一維資料區：以波形方式顯示影像。

(5) 二維資料區：以圖片方式顯示影像。

B1



B2



B3



B4



圖 30. B1—B4 地面拍攝圖。



圖 31. 影像套疊圖。

2. 地面取像測試

地面取像測試的目的，(1) 測試全模組鏡頭性能，如鏡頭組裝之後焦距是否正確，(2) 測試取像控制電腦資料儲存能力足以應付實際測試，與確定取像控制軟體功能正常，(3) 測試積分時間調整功能，如測試影像是否過亮或過暗等現象。地面測試暫於本中心窗口進行地面取像測試，拍攝結果如圖 30 與圖 31 所示，分別為 B1 至 B4 地面拍攝結果與 B1 至 B4 影像到套疊結果。

3. 機載測試

機載測試最終目的為確定科學酬載海洋環境照像儀可拍攝穩定且經校對之影像，供後段影像處理

及應用。本階段機載取像測試為第二階段測試，目的為：(1) 測試全模組鏡頭性能，如像幾何扭曲、取像控制軟體功能及鏡頭光機穩定性，(2) 測試取像控制電腦資料儲存能力，(3) 測試光輻射度修正及幾何參數修正結果，(4) 測試波段影像套疊能力，(5) 測試影像最後影像正射化結果。

(1) 裝機作業

在裝機前後也需要航空隊人員幫忙拆除與安裝飛機上座椅，中心人員負責的實際裝機作業包括安裝儀器架、安裝控制器、安裝取像鏡頭、安裝鎳鎘電池及取像控制程式測試。於 7 月份裝機測試時約進行 4 小時。花費較長時間者為儀器安裝 (約 3 小



圖 32. VCDi 裝機完畢後情形 (機艙內及機腹下方影像)。

時)，此外為取像測試。安裝完畢後之狀況如圖 32 所示。

(2) 航道規劃

經由本文計算得知的地面解析度、影像覆蓋率、CMOS 的積分時間，來與飛航公司人員進行飛行時之航道規劃，飛行時必須依據規劃的航道飛行，如此才不致偏離航道，造成不同航道間之影像無法套疊的情形，航道與航道之間必須有 50% 以上的覆蓋率。圖 33 所示為基隆港航道規劃圖，圖中規劃 11 條航線，航線規劃涵蓋海洋、港口與陸地，每條航線以重疊度為 60%，來預估航線拍攝投影於地面之範圍，已避免空隙 (gap) 的發生。

(3) 航拍影像

航拍完成後，需進行影像光輻射度修正、影像套疊工作，航拍影像如圖 34 所示，CMOS 影像感測器影像解析度 256×512 pixels 進行分配，平均每個波段為 256×128 pixels，考慮 B1-B4 濾光玻璃鏡片使用人工切割其切割精度問題，玻璃鏡片接縫處影像則不使用，拍攝後的影像進行切割，平均每個波段為 256×89 pixels。



圖 33. 基隆港航道規劃圖。

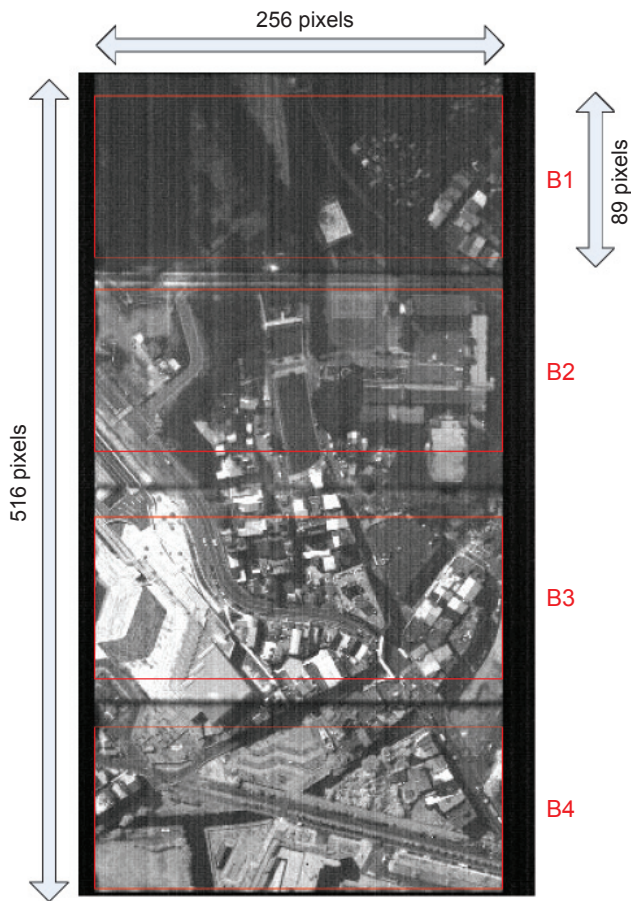


圖 34. 航拍影像。

四、結論與未來工作

本文研究目的為設計一衛星科學酬載海洋環境照相儀，系統設計製造測試由國人自製，目前採用飛機進行初期測試等動作，未來可應用於衛星上以臺灣沿岸海域環境的長期觀測及為主，必要時亦可即時提供災害防救之用。除對臺灣沿岸海域的觀測外，亦可對黑潮洋流及其支流的流場變化、東南亞地區生質燃燒造成的大氣變化及水質影響等科學議題，均有其可能的附加價值，對於經濟與環保有積極之貢獻。經此次全模組機載取像測試後，可得下列結論：

(1) 本階段全模組機載取像測試，由於在全體人員共同合作下，事前規劃得宜，前置作業完善，因此取像測試成功，共取得基隆港地區影像，計飛行 11 航道。

(2) 機載測試目的為取得儀器系統驗證。

(3) 依目前架構，若飛機上座椅已由航空隊人員協助拆除，與穩定平台已由航空隊人員協助安裝，之裝機作業可於 1 小時內完成，拆機可於 30 分鐘內完成。

就功能而言，仍有多項問題有待改善，才能使更加完美，以下就此類問題分項討論並說明：

1. 濾光玻璃色片設計：濾光玻璃色片採用玻璃切割與黏貼方式，玻璃切割精度造成接縫處影像無法使用問題，以致於可用影像區域縮小，改善的方式為使用單一玻璃色片進行光學鍍膜，預計今年年底華衛五號工作完成後，本中心光學鍍膜廠就可以進行，鍍膜方式比照華衛五號 mask 製鍍方式進行。
2. 儀器自動決定自動積分時間：實際機載取像前，通常需決定各波段鏡頭之積分時間，此部分工作以人工方式進行，若欲節省人力，方便使用，宜有一自動決定積分時間機制，此部分可以軟體方式進行，利用拍攝影像之 histogram 來協助判斷，且決定後之積分時間仍造成有部分影像有少數局部曝光過度的現象 (由於屋頂之鐵皮或水塔直接反射陽光造成)，因此仍有待繼續改進。
3. B1-B4 影像波段反射率問題：不同波段模組對不同地表資源的反射率，且 B4 波段對於植物有較大的反射率，如稻田、山區等，B4 的積分時間就不能太長，否則影像將會太亮。但是本研究設計 B1-B4 波段共用一組 CMOS 感測器，CMOS 感測器的積分時間調整較長則 B4 影像太亮，導致 B4 影像過曝，CMOS 感測器的積分時間調整較短則 B1 影像太暗，導致影像為暗電流，此部分未來可考慮在 B1-B4 光學鍍膜鏡片加上不同減光係數的 ND-Filter，因此仍有待繼續改進。
4. 溫度問題：本研究初期採用機載方式進行，飛機機載平台對於溫度的影響較低，未來若放置太空載具上，太空環境對於溫度的影響比較大，此部分未來能於溫度這方面多多著墨，且國家實驗研究院太空中心對於溫度這方面有多年經驗，因而有必要與其單位合作。

誌謝

本文研究經費由國科會計畫補助，計畫編號為 NSC 100-2119-M-019-004，計畫名稱為「衛星科學酬載海洋環境照相儀可行性研究」，使本研究研究得以順利完成，在此致謝。

參考文獻

1. 郭慧君, 黃鼎名, 蔡和霖, 陳至堅, 蘇方旋, 科儀新知, **25** (4), 6 (2004).
2. 黃基哲, 吳孟修, 林群富, 黃哲政, 科儀新知, **27** (1), 49 (2005).
3. 陳榕庭, 彭美桂, CCD/CMOS 影像感測器之基礎及應用, 初版, 臺北: 全華, 5 (2005).
4. O. Frette, J. J. Starnes, and K. Starnes, *Applied Optics*, **37** (36), 20 (1998).
5. Ho-Lin Tsay, Fang-Hsuan Su, Hui-Jean Kuo, Ruei-Hung Tsai, and Ting-Ming Huang “Geometric Measurement of Air-borne Digital Sensor VCDI”, CVGIP 2004, Hualien (2004).
6. Meng-Hsiu Wu, Ting-Ming Huang, Che-Cheng Huang, Chun-Fu Lin, Tai-Lun Huang, Shyh-Jye Jou, “RGB & SWIR Airborne System Development in Taiwan”, Asian Association on Remote Sensing (2007).
7. E. M. Mikhail, J. S. Bethel, and J. C. McGlone, “Introduction to Modern Photogrammetry”, chapter 2, John Wiley and Sons, Inc., NY, USA (2001).
8. W.-C. Lin, H.-L. Tsay, M.-Y. Hsu, P.-H. Huang, C.-F. Ho, and T.-M. Huang, “Opto-mechanical Design of Airborne Remote Sensing Instrument”, Proc. SPIE, 7813, San Diego, USA (2010).



周世傑先生為國立雲林科技大學電機工程碩士，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心副工程師。

Shih-Chieh Chou received his M.S. in electrical engineering from National Yunlin University of Science and Technology. He is currently an associate engineer at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.



陳建宏先生為國立成功大學醫學工程碩士，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心副研究員。

Chien-Hung Chen received his M.S. in biomedical engineering from National Cheng Kung University. He is currently an associate researcher at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.



黃柏涵先生為國立彰化師範大學機電工程碩士，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心助理研究員。

Po-Han Huang received his M.S. in mechanical-electrical engineering from National Changhua University of Education. He is currently an assistant researcher at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.



翁睿謙先生為國防大學中正理工學院電機電子工程碩士，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心助理研究員。

Rui-Cian Weng received his M.S. in electrical and electronic engineering from Chung-Cheng Institute of Technology, National Defense University. He is currently an assistant researcher at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.



廖泰杉先生為中原大學電子工程博士，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心研究員兼任副組長。

Tai-Shan Liao received his Ph.D. in electronic engineering from Chung Yuan Christian University. He is currently a researcher and Deputy Division Manager at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.



黃鼎名先生為國立成功大學航太博士，現任儀器科技研究中心研究員兼任組長。

Ting-Ming Huang received his Ph.D. degree in aeronautics and astronautics engineering from National Cheng Kung University. He is currently a researcher and Division Manager at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.