



內政部國土測繪中心

---

100 年度建立航遙測感應器系統校正作業案



主辦單位：內政部國土測繪中心

建置單位：中華民國航空測量及遙感探測學會

---

中華民國 100 年 12 月 22 日



## 摘 要

內政部國土測繪中心基於確保測繪成果品質、落實測繪法令，於研擬「測繪科技發展後續計畫」中程綱要計畫時，爭取經費辦理「建立航遙測感應器校正作業」工作。委託中華民國航空測量及遙感探測學會探究建立國內航遙測感應器系統校正制度，並規劃建置完整校正體制，建立具有公信力校正場及研擬校正相關作業程序。

數位航測攝影機約自 2000 年興起後，拜電子科技之賜得以迅速發展，至今已有近十種品牌，且在不斷增加中。鑑於其較傳統底片式攝影機在構造上、成像原理上以及操作上遠較複雜且多樣性，先進國家近年來紛紛對其校正及認證進行研究並規劃校正制度。

推帚式(Push broom)衛星影像用於遙感探測的歷史雖然已久，但因解析力較航測攝影機差及受成像原理限制，長久以來對於否能用於測繪，尤其是對地物細節的判釋能力是否滿足測繪規範頗受爭議，且至今尚少有完全以衛星影像成功測繪向量式地形圖實例。如不追究幾何判釋的成功率，純就線列式成像幾何而言，當今已有不少商用軟體可以對其進行空中三角測量及立體測圖。因此本計畫亦應就衛星影像應用於測繪時應實施之校正項目及可行性加以研究。

此外，空載光達(Airborne LiDAR)、合成孔徑雷達(Synthetic Aperture Radar，簡稱 SAR)等設備亦逐漸用於測繪。近年更有以無人駕駛飛行載具(Unmanned Aviation Vehicle 或 Unmanned Aerial Vehicle，簡稱 UAV)搭載簡易攝影機進行航拍並用於測繪之倡議。因此亦有必要於本研究中一併研究此等設備用於測繪時應該校正之項目以及實施校正的可行性。

本計畫任務係參考各先進國家針對這些先進航遙測感應器設備進行校正及認證的發展經驗及成果，分析我國目前航遙測感應器使用

狀況及未來發展趨勢，研究我國目前建立航遙測感應器校正場時的應有作法並提出建議草案。

本計畫全程四年，第一年主要辦理國家校正場規劃及選定數位航測攝影機校正場位置及使用之可攜式校正標進行試作測試。本報告即為第一年工作進行到 100 年 11 月中時之工作成果總報告。內容包含彙整需求訪談、國內外相關文獻及校正場資料收集及分析、航測攝影機及空載光達校正場建置方案草案、場址選擇評估因素專家學者會議、可攜式校正標規劃設計及製作的辦理結果。

**關鍵詞：**航遙測感應器、校正場

# Abstract

In order to ensure the quality of surveying and mapping with airborne sensors, the establishment of a calibration field is planned by National Land Surveying and Mapping Center, Ministry of the Interior. This project is commissioned to CSPRS (Chinese Society of Photogrammetry and Remote Sensing). Based on this study, a calibration field designed for various airborne sensors will be established and maintained as a part of the standard operation.

Since 2000, digital aerial camera has been used widely. There are about ten models currently available. This development is mainly resulting from the technology advance of electronics, as well as computer sciences. As compared with analogue cameras, which use film, the design principle and operation procedures are far more diversified. Therefore, the calibration and certification of aerial mapping camera is becoming an important issue.

Despite of the long history of push broom sensors onboard of satellite, large scale mapping projects for vector maps with solely satellite push broom images are few. Never the less, this type sensor provides rich mapping information. And, the number of commercial mapping software packages supporting image triangulation and stereo compilation capabilities for this type images, is also growing. Therefore, the calibration and validation of satellite optical images are included in this study.

Besides the passive optical sensors, the use of airborne lidar and SAR (Synthetic Aperture Radar) is also becoming more frequent. The other new development is the use of UAV (Unmanned Aviation Vehicle)

with relatively simple imaging devices. These three subjects are also included in this study.

This project reviews the current development of calibration and certification standards and operations for aerial mapping sensors world-wide. Then, the plan dedicated to the environment and needs of our own country will be proposed and drafted.

For this four-year project, the first year is focused on the overall planning, calibration field site selection, and the design and test of portable field calibration standard. This report documents the first year of work, including survey of demand conducted through interviews, meeting with all private, academic, and public bodies. The result of literature review, site evaluation and selection, as well as the portable calibration standard, are all documented.

**Keywords:** Airborne Remote Sensing Sensors, Calibration Field.

---

# 目 錄

第 1 章 前 言 .....	1
第 2 章 工作內容及時程 .....	3
2-1 工作內容 .....	3
2-2 工作時程及應交付成果 .....	6
第 3 章 研究流程及方法 .....	9
3-1 研究流程 .....	9
3-2 研究方法 .....	10
第 4 章 國內外文獻收集及分析 .....	13
4-1 航遙測感應器介紹 .....	13
4-2 國內外航遙測感應器系統校正作業資料蒐集及分析 .....	26
4-3 需求訪談 .....	53
第 5 章 航遙測感應器系統校正場建置方案規劃及設計.....	55
5-1 航測攝影機校正場建置方案設計 .....	55
5-2 空載光達校正場建置方案設計 .....	58
5-3 校正作業場址綜合評量分析 .....	62
5-4 航測攝影機校正場址建議 .....	67
5-5 空載光達校正場址建議 .....	68
5-6 南投市南崗工業區場地規劃結果 .....	69
第 6 章 其他航遙測感應器系統校正場整體建置規劃及可行性評估 .....	73
6-1 衛星影像校正場整體建置規劃及可行性評估 .....	73
6-2 SAR校正場整體建置規劃及可行性評估 .....	75
6-3 非量測型攝影機及UAV系統校正場整體建置規劃及可行性評估 .....	77
第 7 章 航測攝影機校正標及維護方式規劃設計 .....	81
7-1 幾何校正標 .....	81

7-2 空間解析力校正標 .....	83
7-3 輻射校正標 .....	84
7-4 校正標維護方式規劃設計 .....	85
<b>第 8 章 空載光達校正標及維護方式規劃設計 .....</b>	<b>87</b>
8-1 幾何精度校正標規劃設計 .....	87
8-2 維護方式規劃設計 .....	91
<b>第 9 章 校正場作業機制 .....</b>	<b>93</b>
9-1 納入全國認證基金會認證可行性研究 .....	93
9-2 校正作業可行性評估 .....	95
9-3 作業網站平台規劃 .....	97
9-4 校正項目及作業程序 .....	99
<b>第 10 章 結論、建議及後續工作 .....</b>	<b>101</b>
10-1 結論與建議 .....	101
10-2 後續工作規劃 .....	103
10-3 下(101)年度作業流程 .....	104
<b>參考文獻 .....</b>	<b>107</b>
數位航空攝影機系統 .....	107
空載光達系統 .....	108
衛星系統 .....	108
SAR系統 .....	108
<b>名詞定義 .....</b>	<b>111</b>
航遙測感應器系統 .....	111
數位航空攝影機系統 .....	112
空載光達系統 .....	112
衛星系統 .....	113
SAR系統 .....	113



---

附件一：採購評選委員審查意見回覆彙整表 .....	115
附件二：國土測繪中心及業界訪談資料整理 .....	119
附件三：國內外航遙測感應器系統校正作業蒐集資料 ....	137
附件四：航測攝影機校正場建置方案（草案） .....	283
附件五：空載光達校正場建置方案（草案） .....	291
附件六：太空中心遙測影像地面控制點資料庫介紹 .....	299
附件七：非量測型攝影機及UAV系統校正場整體建置規劃及 可行性評估 .....	303
附件八：航測攝影機系統校正場綜合考量分析因素表 ....	311
附件九：空載光達系統校正場綜合考量分析因素表 .....	315
附件十：校正場選擇評估因素專家學者研商會議紀錄及意見 回覆彙整表 .....	319
附件十一：校正作業場址選定研商會議紀錄及意見彙整表 .....	333
附件十二：空載光達點雲密度取樣實驗 .....	347
附件十三：DMC及UltraCam率定報告書內有關相對波譜反 應強度樣本 .....	355
附件十四：Sioux Falls Range測試場簡介.....	359
附件十五：期中報告審查意見回覆彙整表 .....	365
附件十六：歷次工作會議紀錄 .....	375
附件十七：工作總報告審查意見回覆彙整表 .....	413

## 圖 目 錄

圖 2-1 計畫工作進度甘特圖 .....	7
圖 3-1 研究流程圖 .....	9
圖 4-1 全波形LiDAR紀錄示意圖 .....	17
圖 4-2 衛星成像原理示意圖 .....	22
圖 4-3 合成天線陣列示意圖 .....	25
圖 4-4 都卜勒波束削尖法 .....	26
圖 4-5 農航所校正場示意圖 .....	29
圖 4-6 NSPO調制轉換函數(MTF)測試標 .....	30
圖 4-7 彰濱工業區率定場示意圖(中興測量, 2007) .....	31
圖 4-8 台中港工業區率定作業示意圖(群立科技, 2010) .....	31
圖 4-9 彰濱工業區率定場示意圖(詮華國土測繪, 2010) .....	32
圖 4-10 美國地質調查所航遙測數位式攝影機室內校正場 .....	33
圖 4-11 美國EROS校正場 (摘自美國地質調查所官方網站) .....	34
圖 4-12 美國地質調查所現有航遙測感應器校正場分布圖 .....	35
圖 4-13 芬蘭Sjökulla測試場(Test Field)之影像品質校正標 .....	41
圖 4-14 芬蘭Sjökulla測試場幾何試驗場(Test Field)(a) .....	42
圖 4-15 德國Vaihingen/Enz檢定場(Test Site)航空影像 .....	42
圖 4-16 德國Vaihingen/Enz檢定場控制點分布示意圖 .....	43
圖 4-17 中國大陸嵩山綜合試驗場範圍及控制點分布圖 .....	43
圖 4-18 日本試驗場範圍及對空標分布圖 .....	44
圖 4-19 英國自然環境研究中心設置之空載光達率定場 .....	45
圖 4-20 美國俄亥俄州大學之空載光達實驗校正標(Csanyi, 2005) .....	46
圖 4-21 校正標實驗參數設定(Csanyi, 2005) .....	46
圖 5-1 空載光達脈衝雷射強度值示意圖 .....	60
圖 5-2 新竹區校正場址地形(左)與影像圖(右) .....	63
圖 5-3 新竹區地形剖面圖 .....	63
圖 5-4 彰濱工業區地形圖(左)與影像圖(右) .....	64
圖 5-5 彰濱工業區地形剖面圖 .....	65
圖 5-6 南投區地形圖(左)與影像圖(右) .....	66

---

圖 5-7 南投區地形剖面圖 .....	66
圖 5-8 南投場地規劃成果 .....	69
圖 6-1 衛星影像校正幾何標之形式 .....	73
圖 6-2 角反射器設計與製作 (Wikipedia, 2011).....	75
圖 6-3 不同形狀物體之雷達斷面(Granite Island Group, 2011) ...	76
圖 7-1 幾何校正標布標型式 .....	81
圖 7-2 校正場平面設計圖 .....	82
圖 7-3 幾何解析力校正標 (改良式西門子星) .....	83
圖 7-4 輻射校正灰階標 .....	84
圖 8-1 俄亥俄州校正標設計圖 .....	87
圖 8-2 俄亥俄州校正標現場圖 .....	87
圖 8-3 Leica ALS60 平面精度 .....	89
圖 8-4 Optech規格 .....	90
圖 8-5 改良式俄亥俄州校正標設計圖 .....	91
圖 9-1 全國認證基金會認證流程示意圖 .....	94
圖 9-2 校正場運作規劃示意圖 .....	96
圖 10-1 下(101)年度作業流程圖 .....	105

## 表 目 錄

表 2-1 計畫時程及繳交成果項目 .....	6
表 4-1 國內目前數位攝影機規格彙整表 .....	15
表 4-2 全球空載光達系統的發展歷程表 .....	17
表 4-3 國內空載光達之擁有單位及儀器型號 .....	19
表 4-4 國際間首次成功發射衛星次序表 .....	21
表 4-5 國際間航遙測感應器校正場 .....	27
表 4-6 國內航遙測感應器校正場 .....	28
表 4-7 美國數位航空攝影機校正與認證發展歷程表 .....	36
表 4-8 歐盟數位航空攝影機校正發展歷程表 .....	39
表 4-9 各國航測攝影機校正場運作情況分析表 .....	48
表 4-10 各國空載光達率定場分析 .....	50
表 5-1 新竹氣象站氣象資料 .....	64
表 5-2 梧棲氣象站氣象資料 .....	65
表 5-3 日月潭氣象站氣象資料 .....	67
表 5-4 土地所有權人設置校正標意願訪查統計表 .....	71
表 7-1 灰度校正標塗料配比 .....	85
表 9-1 建置校正作業網站預估經費及預估建置期程 .....	98





# 第1章 前言

航遙測影像資料內含豐富資訊，普遍已應用於各項測量工作，提供國土規劃、土地利用調查、防救災、環境與污染監控、資源探勘、地質分析等業務使用；隨著高精度航測數位攝影機的發展，大幅降低航測影像取得成本及作業時程，且影像品質提升及影像種類多樣化，促進航測影像使用範疇日益擴大；另空載光達問世，其快速獲取地面高程資訊，已成為目前地面高程資訊量取重要工具，且與航測攝影機整合，其應用層面更加廣泛。

國土資訊系統推動已久，對於全國性地理圖資之需求日漸殷切，然而，建置時在資料品質保障、精度控制及費用考量上，使得甚多政府單位及民間應用單位怯步。鑒此，行政院於民國 96 年 7 月 9 日院臺建字第 0960027673 號函核定經建會國土資訊系統推動小組之「國家地理資訊系統建置及推動十年計畫」，將全國「核心圖資建置與基礎圖資建置」納為重點工作，並預定於民國 104 年完成，包括各比例尺之基本地形圖、數值地形模型、影像資料(含航照影像資料與衛星影像資料)、門牌位置資料、地籍圖與臺灣地區通用版電子地圖等建置作業。其相關作業極度仰賴航遙測技術，有必要對其使用之基礎作業設備加以校正認證。

此外，國土測繪法應用測量實施規則第 12 條：「辦理應用測量使用之儀器裝備所為之校正，應依測量計畫目的及作業精度等需求辦理」，內政部國土測繪中心(以下簡稱國土測繪中心)基於確保測繪成果品質、落實測繪法令，於研擬「測繪科技發展後續計畫」中程綱要計畫時，爭取經費辦理「建立航遙測感應器系統校正作業」工作(規劃期程為 4 年期)，就國內航遙測感應器系統用於測繪時應辦理的校正項目以及如何建立校正制度予以探究，規劃建置完整體制，作為執行依據，以利整體航遙測作業發展與工作執行。計畫建置戶外的校正場、研擬校正標準作業程序及後續校正場維護、更新。本(100)年度依

以上計畫委託中華民國航空測量及遙感探測學會組成團隊辦理「100 年度建立航遙測感應器系統校正作業」案(以下簡稱本計畫)。

中華民國航空測量及遙感探測學會除了是航遙測專家學者們的社團法人組織以促進我國航遙測學術活動為宗旨外，其服務委員會還為國內少數歷史悠久的實際從事航遙測業務的機構之一。累積有 30 多年的正射影像製作、立體測圖、地圖編繪經驗以及多年地理資訊系統(Geographic Information System，簡稱 GIS)數值地形圖資料庫及地理資訊系統成果應用服務經驗。為提升對本計畫涵蓋的光達部分服務的品質，另外特別邀請由國內少數具有光達實際測量豐富經驗的前工業技術研究院原空載光達(Light Detection And Ranging，簡稱 LiDAR)團隊新創之達雲科技有限公司合作參與承辦本計畫。



## 第 2 章 工作內容及時程

### 2-1 工作內容

依據契約書規定，全年度主要工作項目包括：

- 一、至國土測繪中心辦理需求訪談。
- 二、規劃、設計國家航遙測感應器系統校正場建置方案及研擬作業機制
  - (一) 蒐集國外航遙測感應器校正場設置原理及方法：至少需蒐集 5 個校正場(至少 3 個國家)資料，所蒐集之校正場資料須為運作過的校正場。
  - (二) 蒐集國內學術或政府機關航遙測感應器校正相關作業設置情形。
  - (三) 校正場建置方案
    1. 航測攝影機系統校正場建置方案及規格設計。
    2. 空載光達系統校正場建置方案及規格設計。
    3. 衛星影像校正場整體建置規劃及可行性評估。
    4. SAR 校正場整體建置規劃及可行性評估。
    5. 非量測型攝影機及 UAV 系統校正場整體建置規劃及可行性評估。
  - (四) 研擬作業機制
    1. 本計畫各項校正項目納入全國認證基金會(Taiwan Accreditation Foundation，簡稱 TAF)校正領域認證項目可行性評估。
    2. 規劃建置校正作業訊息平台網站功能、經費、軟硬體等。

### 三、航遙測感應器系統校正作業場址

- (一) 影響校正作業環境及場址使用因素綜合考量及分析
  1. 航測攝影機系統校正場。
  2. 空載光達系統校正場。
- (二) 召開專家學者會議討論校正場選擇之評估因素，專家學者名單需報知國土測繪中心同意，並由國土測繪中心函請專家學者出席，召開會議所需場地、會議資料、餐飲、設備、委員出席及交通膳雜費用均由廠商自行負責。
- (三) 校正作業場址建議。
- (四) 邀集產官學界召開 1 次以上航測攝影機校正作業場址選定會議，並向國土測繪中心建議，由國土測繪中心裁定。產官學界名單需報經國土測繪中心同意，並由國土測繪中心函請產官學界代表出席，召開會議所需場地、會議資料、餐飲、設備、委員出席及交通膳雜費用均由廠商自行負責。
- (五) 協助校正作業場址所有權人聯繫相關作業，惟由國土測繪中心函文場址所有權人，請其同意國土測繪中心使用權。

### 四、航遙測感應器系統校正場校正標之標形、材質、尺寸、架設及維護方式之規劃設計與製作

- (一) 針對所需校正項目設計固定式及可攜式校正標規格：
  1. 航測攝影機系統校正項目包含幾何精度、幾何解析力、輻射域、輻射解析度、色彩平衡及所搭配直接地理定位系統精度等。
  2. 空載光達系統校正項目包含平面及高程精度。

- (二) 製作可攜式校正標：依照國土測繪中心審核同意之校正標項目及規格，如西門子星(Siemens Star)、灰度標(Grayscale)。

## 五、報告書製作及工作會議召開

- (一) 工作進度報告：自決標次日起，廠商應於每月 1 日前提出前一個月之工作執行情形報告，內容包含實際工作進度、工作協調事項及工作遭遇困難等，國土測繪中心得視實際需要隨時召開工作會議。

- (二) 期中報告書：

1. 本案研究方法。
2. 航遙測感應器介紹-航測攝影機及空載光達。
3. 國內外航遙測感應器系統校正作業蒐集資料及分析。
4. 校正場建置方案-航測攝影機及空載光達。
5. 校正作業場址綜合考量分析結果。
6. 校正場場址建議-航測攝影機及空載光達。
7. 航遙測感應器系統校正場校正標之標形、材質、尺寸、架設及維護方式之規劃設計結果。

- (三) 工作總報告書：

1. 前言及目的。
2. 本年度工作項目執行情形及成果。
3. 檢討與建議。
4. 下年度作業規劃及流程。
5. 圖表應包含校正場及校正標規格圖表。
6. 附件應包含歷次會議紀錄。
7. 電子檔包含公文電子檔、簡報檔等。

(四) 工作會議：每個月召開乙次工作會議為原則，必要時得調整之，請廠商將工作執行情形及困難、請國土測繪中心協助事項等，於召開工作會議時提出報告。

## 2-2 工作時程及應交付成果

一、本案分 2 期辦理，各期應交付成果項目及繳交期限如表 2-1：

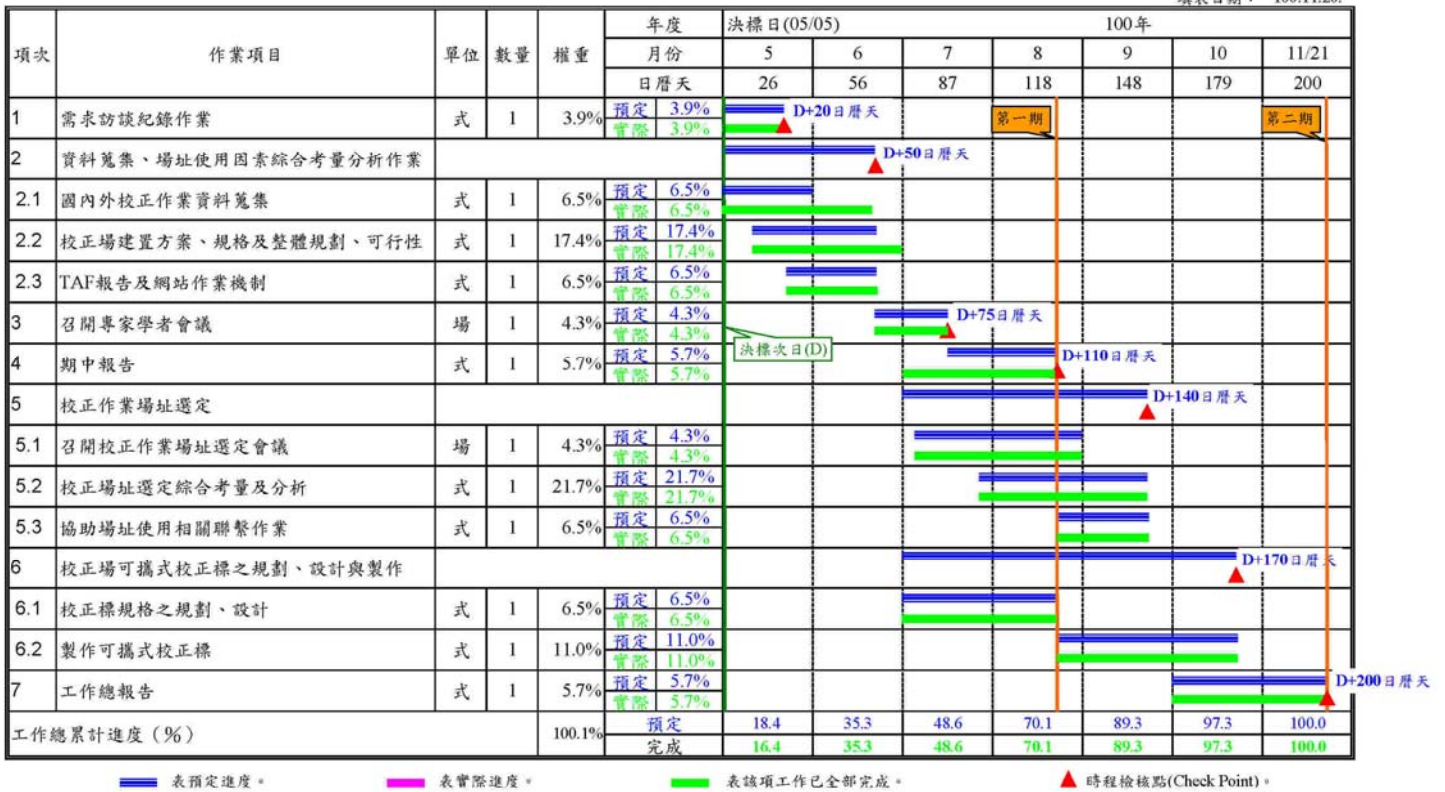
表 2-1 計畫時程及繳交成果項目

	成果交付項目	繳交期限 (決標次日起算)
第 1 期	需求訪談紀錄書面及電子檔各乙份	20 個日曆天 (100/05/25)
	國內外航遙測感應器系統校正作業蒐集資料、航測攝影機系統校正場建置方案、場址綜合考量分析因素書面 10 份及電子檔乙份	50 個日曆天 (100/06/24)
	專家學者會議簽到簿及紀錄書面及電子檔各乙份	75 個日曆天 (100/07/19)
	期中報告書書面 15 份及電子檔 2 份	110 個日曆天 (100/08/23)
第 2 期	校正作業場址選定第 1 次會議簽到簿及紀錄書面及電子檔各乙份	140 個日曆天 (100/09/22)
	可攜式校正標書面及電子檔各乙份	170 個日曆天 (100/10/22)
	工作總報告書書面 15 份及電子檔 2 份	200 個日曆天 (100/11/21)

二、至 100 年 11 月 20 日止工作進度之甘特圖如圖 2-1：

100年度建立航遙測感應器系統校正作業

填表日期： 100.11.20.



進度說明	
本月執行工作項目	1.完成期末工作總報告書。
本月進度	預定： 100.0 %； 完成： 100.0 %
本月累積工作數量	無
趕工計畫	無
待協調事項	無
來月進度說明	無

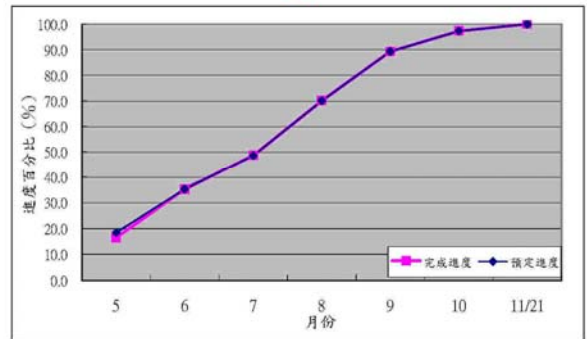


圖 2-1 計畫工作進度甘特圖



# 第3章 研究流程及方法

## 3-1 研究流程

本年度計畫之研究方法為需求訪談、業界訪談、國內外相關資料收集、分析、歸納，然後依據歸納結果設計適合我國使用的校正場建置方案，並製作可攜式校正標進行實地測試。

具體之研究流程如圖 3-1：

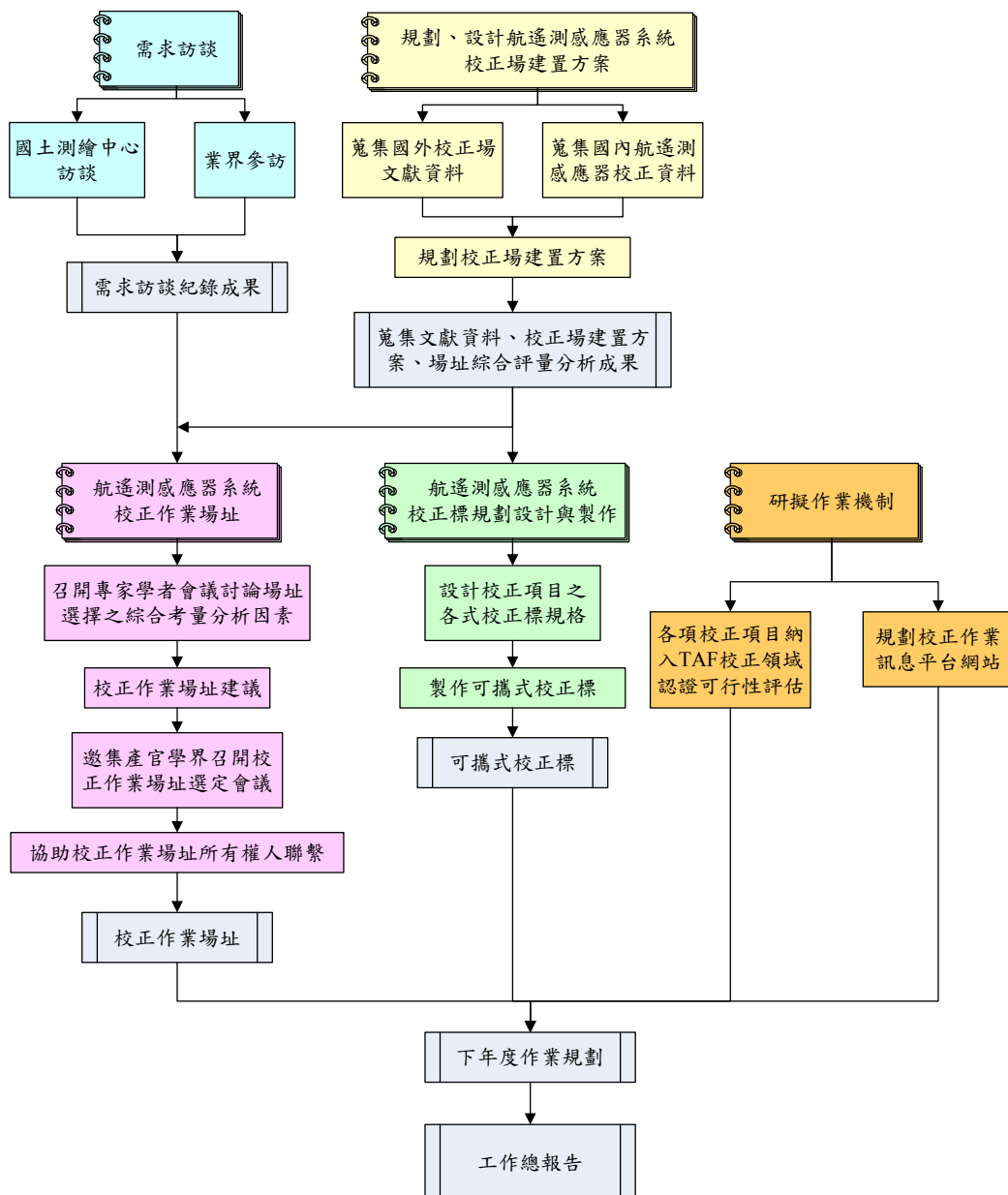


圖 3-1 研究流程圖

## 3-2 研究方法

各項工作之研究方法：

### 一、辦理需求訪談：

於作業初期由本團隊計畫主持人、協同主持人及專案聯絡人至國土測繪中心及感應器擁有者進行訪談，瞭解各界對此計畫之需求，供後續計畫執行之基礎。

### 二、規劃、設計航遙測感應器系統校正場建置方案：

本團隊計畫主持人、協同主持人、顧問、專案聯絡人及研究助理們蒐集國內外航遙測感應器校正場設置之原理及方法進行分析後，提出航測攝影機、空載光達系統校正場建置方案及規格設計，研擬校正場作業機制；對於衛星影像、SAR、UAV、非量測型攝影機之校正場進行規劃及可行性評估，於各次工作會議上討論定案。

### 三、航遙測感應器系統校正作業場址：

邀集專家學者及產官學界召開航測攝影機及空載光達校正作業場址選定會議，會後對國土測繪中心提出校正場建議，由國土測繪中心選定場址後，由本團隊協助國土測繪中心進行校正作業場址所有權人聯繫相關作業，並由國土測繪中心函文場址所有權人，請其同意國土測繪中心使用權。

### 四、研擬作業機制及可行性研究：

校正場設置完成後，實際校正作業時有諸多機制問題仍待研究確定。依據歐洲研究結果，實際作業時會遭遇以下幾個問題必須確認。首先是校正場本身需要維護，無論是控制點的標形、坐標都要保持在乾淨、準確的情況下，才可使用。因此不論是否全年 365 天隨時待命備用，需由專人負責維護



清理，此為待研究的問題。其次是校正飛行之規範，各類攝影機的重疊率及檢核點每點光線束、拍攝後應該量測之數據資料、數據計算工作採人工或自動化量測以及執行量測、計算、分析及出具認證報告等，應有標準規範來執行。校正場設置完成後營運費用來源，還是由待檢廠商自行執行量測、計算，然後另外委託具公信力機構逐案酌收作業費用予以查核確認，是否可以得到令人信服的結果也是必須研究的。此外，數位航測攝影機之校正是否應與國家標準認證組織甚或國際標準組織(International Organization for Standardization, 簡稱 ISO)連結亦必須詳細分析其利弊。對廠商而言未來每個航遙測攝 ISO 連結亦必須詳細分析其利弊。對廠商而言，未來每個航遙測攝影機多少時間必須校正一次必定十分注意，因為這牽涉到廠商的支出以及在受檢期間不能從事生產所受到的利潤損失。諸如此類作業機制問題本會均將在參考國外經驗後，衡量國內條件做出幾種可行性分析，供國土測繪中心參考。

另外，由於國土測繪中心「測量儀器校正實驗室」已通過全國認證基金會校正領域中認證。本計畫亦將分析本校正場校正項目納入全國認證基金會認證的適合性。

為便於校正場運作管理以及向業界公開本場資訊，本計畫將對作業訊息之平台網站進行規劃，內容還應包含校正場作業所產生的數據資料庫的管理及查詢。

#### **五、航遙測感應器系統校正場校正標之標形、材質、尺寸、架設及維護方式之規劃設計與製作：**

針對航測攝影機、空載光達系統需校正項目，設計固定式及可攜式校正標規格。設計時將考量目前臺灣地區常用的攝影機及空載光達類別、常用航高及校正場環境，參考先進

國家已建成並運作的校正場經驗，設計適合臺灣使用及方便維護的檢定標，設計經國土測繪中心認可後即實際製作可攜式校正標並洽商其它航測計畫於飛行時予以測試，作為未來正式設置校正場時之參考。

#### 六、報告書製作及工作會議召開：

於本計畫決標次月起，每月 1 日前提出前一個月之工作執行書面報告，並參與工作會議討論、工作協調事項及工作遭遇困難，且依據工作時程交付各成果項目。

## 第4章 國內外文獻收集及分析

### 4-1 航遙測感應器介紹

航遙測感應器為獲取空間資訊的系統，除了早期傳統的類比式像片系統外，還包含雷達影像、輻射電磁波影像、X 光影像以及最近的光達影像系統。

#### 一、航測數位攝影機系統

20 世紀初 Sebastian Finsterwalder 由氣球上攝影繪製地形圖，以及蔡司儀器廠的 Carl Pulfrich 發展出第一具立體坐標儀，用於地面攝影測量，於是開展了攝影測量的歷史

傳統底片式航測攝影機品牌少而且構造相同，基本上都是一個固定的鏡頭箱加上一個可拆卸的底片盒。它們的幾何結構簡單而且穩定，所有的原件都是特別為航空測攝影測量而製造的，工藝十分精密。它們成像的原理也非常簡單，地物點經中心透視投影到承影面成像，使用者拿到的就是原始影像，沒有經過任何加工（負片轉印正片不計）或轉換。

數位式航空測量攝影機約自西元 2000 年興起後，拜電子科技之賜得以迅速發展，至今已有近十種品牌，而且還不斷在增加中。當今使用的數位航空測量攝影機，它們主要是以市售常見的電子零件，如：電荷耦合裝置(Charge Coupled Device, 簡稱 CCD)、記憶體、訊號傳輸設備等加上光學鏡頭組合而成，而各家廠牌組合的構造及成像原理差異卻極大。由於所用的電子設備大部分係市面上現成的原件，並非專門為航測目的而製造者，其來源非常分歧，使得一般使用者並無能力追溯其源頭品質。而其成像原理更是遠較底片式攝影機為複雜，幾乎沒有一種廠牌攝影機的原始影像是可以直接

供航空測量使用的，都要經過軟體的轉換計算後，才輸出為成果影像供航測使用。目前常見的成像方式有採用多片面狀 CCD 拼接融合成像者，有採用多條線列式 CCD 掃描拼接融合成像者。而拼接影像的成像方式又有採交會式同步 (Synchronous) 攝影者，有採同位 (Syntopic) 攝影者，亦有採承影面移位方式同步 (Synchronous) 者。即使採大型單片面狀 CCD 者，如 Z/I DMC II 其影像也是由多鏡頭攝影融合而成。無論採何種方式成像，最終交出的成果影像都不是原始影像，而是由原始影像經過電腦軟體轉換而得到的。也就是同樣的原始影像，經由不同的轉換計算參數，卻可以得到不同幾何及輻射特性的成果影像，使得一些對航測精度影響極大的因素，如鏡頭畸變、內方位參數、解析力、像元的幾何精度與輻射特性等，都變得不如底片式攝影機那麼固定及明確。

國內目前數位航空測量攝影機使用已經非常普遍而且廠牌及型別也非常多樣，但每種型別數量卻很少，主要者如表 4-1。

表 4-1 國內目前數位攝影機規格彙整表

攝影機 規 格	ADS-40	DMC		UltraCAM		
			II	D	Xp	Xp w/a
攝影機型式	線列式	多片面陣式	單片面陣式	多片面陣式	多片面陣式	多片面陣式
影像大小(像素)	12000	13824*7680	12096*11200	11500*7500	17310*11310	17310*11310
像素大小(微米)	6.5	12	7.2	9	6	6
焦距(公釐)	62	120	91.98	100	100	70
視角(°, 交叉[沿飛行]方向)	64	69.3[43]	50.7[43.3]	61[42]	55[37]	73[52]
彩色影像大小(像素)	12000	3072*2048	6096*6846	3680*2400	5770*3770	5770*3770
GSD(公分, H=1000 公尺)	10.5	10	7	9	6	8.6
連拍時間間隔(秒)	—	2.1	2.2	1	2	2
彩色影像成像方式	3CCD	3CCD	3CCD	3CCD	3CCD	3CCD
儲存空間(張)	—	2200	1.5TB	2692	6600	6600
像移補償		TDI	TDI	TDI	TDI	TDI
使用單位(廠商)	農航所	農航所、 詮華	詮華	群立	自強	群立
備註				已升級		

## 二、空載光達系統

光達發展於 1970 年代。最初是由美國國家航空暨太空總署(National Aeronautics and Space Administration, 簡稱 NASA)研發出的雷射測距的設備, 當時只能測量地面上停放的飛機高程。在 1980 年代後期, 隨著全球定位系統(Global Positioning System, 簡稱 GPS)供民用的技術提高, 使得全球定位系統定位精度達到公分量級。且用於記錄雷射來回時間的高精度計時器和高精度的慣性導航測量儀(Inertial Measurement Units, 簡稱 IMU)相繼問世, 為空載光達的商業化打下了基礎。

在 1980 年代末, 德國的 Peter Frieb 和 Joachim Lindenberger 開始了有關光達技術的研究課題。1989 年他們

與 Fritz Ackermann 教授一起在德國斯圖加特大學(University of Stuttgart)進行首次試驗飛行。測試結果顯示出空載光達用於地形地物地貌測量和製圖方面有巨大潛力和發展遠景。

1992 年, Peter Frieb 和 Joachim Lindenberger 成立 TopScan GmbH 公司, 開始商業化空載光達的測試。TopScan 開始與位於加拿大多倫多市的 Optech 公司合作, 並且在 1993 年聯合進行空載光達原型機的試飛和測試。1995 年由 Optech 公司與 TopScan 共同推出 ALTM1020 光達系統, 並在 1997 年對其性能進行全面的提升, 雷射發射的頻率由 200Hz 提高到 5000Hz, 飛行高度也達到 1000 公尺, 與此同時, 德國的 TopSys 也開始發展 1225 光達系統。

1999 年時, 美國 EnerQuest 公司在 Robert Kletzli 的帶領下, 率先研發出配備數位攝影機的 RAMS 光達, 並且用於 2000 年的雪梨奧運。接著奧地利 Rieggl 公司於 2004 年推出的 LMS-Q560 是世界上第一款商業化進行數位化收集和處理光達全波形的二維雷射掃描儀。全波形空載光達是紀錄每個返回的雷射訊號, 這些訊號代表雷射波接觸的所有截面, 如圖 4-1 所示, 紀錄器數化雷射波反射的截面訊號, 以波形的型態紀錄(Lin, 2009)。此類資料收集和處理較能進一步地看到更多物體表面的細節、粗糙度和變化。

另外為提高點雲密度, Leica 公司在 2006 年 10 月 INTERGEO 大會上, 推出一項新技術: 空中多重脈衝技術 (Multiple Pulses in Air, 簡稱 MPiA)。它使得光達不需要等待是否收到了上一個雷射脈衝回波後才發出下一個新的雷射脈衝, 因此可以接受到較多的訊號。全球空載光達系統的發展歷程, 如表 4-2。

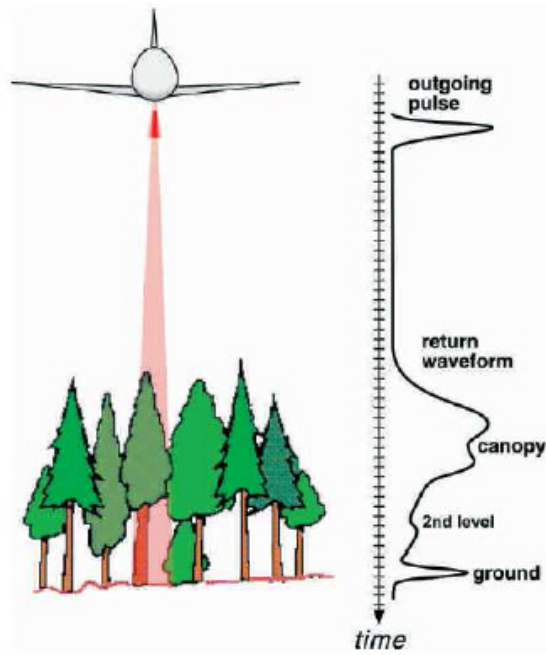


圖 4-1 全波形 LiDAR 紀錄示意圖

表 4-2 全球空載光達系統的發展歷程表

空載光達系統發展歷程概述		
年份	事件紀實	備註
1970	美國航太總屬 NASA 研發雷射測距技術。	
1975	奧地利維也納技術大學的 Riegler 教授創立 Riegler 公司。	
1980	後期，GPS 民用技術提昇以及高精度 IMU 的問世，開始進入空載光達商業化的時代。	
	末期，德國 Peter Frieb 和 Joachim Lindenberger 於攻讀博士學位期間，進行空載光達技術的研究。	
1989	Peter Frieb、Joachim Lindenberger 與 Fritz Ackermann 教授一起進行首次空載光達試驗飛行。	
1992	Peter Frieb 和 Joachim Lindenberger 獲得博士學位，並成立 TopScan GmbH 公司。	
1993	TopScan 與加拿大 Optech 公司合作，進行空載光達原型機的試飛和測試。	

空載光達系統發展歷程概述		
年份	事件紀實	備註
1995	Optech 公司 ALTM1020 光達系統上市。	
1996	Riegl 公司推出一系列(LMS 系列)二維雷射掃描儀。	
1997	Optech 公司將 ALTM1020 光達系統之雷射頻率由 200Hz 提高到 5000Hz，飛行高度達到 1000 公尺。	
	德國的 TopSys(Christian Weaver、Joachim Lindenberger)也開始發展 1225 光達系統。	
	美國從事製圖和 GIS 服務的 Azimuth 公司針對光達的不足之處，在技術方面進行了一些提升。	
1999	Azimuth 公司推出了 AeroSensor 光達系統，並與 EnerQuest 公司合作，由 EnerQuest 推出 RAMS 光達系統。	RAMS 先後賣給日本和澳洲。
2000	雪梨奧運會採用 EnerQuest 公司率先研發出配備數位攝影機的 RAMS 光達。	該 RAMS 光達在 Robert Kletzli 的帶領下研發完成。
2001	Leica 公司收購 Azimuth 公司，並將 AeroSensor 改名為 ALS40。同時引進推進掃描式的數位相機 ADS40。	
2003	Leica 公司推出 ALS50 空載光達。	
2004	Optech 公司推出於 1000 公尺的高空發射 100,000Hz 的 ALTM3100。	
	Riegl 公司推出 LMS-Q560，是世界上第一款商業化進行數位化收集和處理光達全波形的二維雷射掃描儀。	
2006	Optech 公司推出於近 2000 公尺的高空發射 100,000Hz 的 ALTM Gemini。	
	Leica 公司推出 ALS50-II 空載光達。10 月推出新技術：Multiple Pulses in Air (MPiA)。	



國內目前有 5 家擁有空載光達之公司，共有 7 部空載光達，擁有者與型號如表 4-3。

表 4-3 國內空載光達之擁有單位及儀器型號

廠牌及型號	引進時間	FOV (degree)	有效距離	特殊功能	同步相機	擁有者
Optech ALIM3070	2004.05	Max=45	3000m	NA	Rollei P45	中興測量
Leica ALS50	2004.10	Max=75	3000m	NA	Rollei P25	亞新國土
Optech Orion M200	2010.01	Max=50	2000m	compact	Rollei P45	詮華
Leica ALS60(2台)	2010.05	Max=75	3000m	MPiA FWD	Rollei P65+	群立科技 詮華
Riegl LMS-Q680i	2010.06	Max=60	1600m	FWD compact	IGI DigiCAM	自強
Optech Gemini	2010.08	Max=45	3000m	Gemini -MPiA	Rollei P45	中興測量 (已不使用)
Optech Pegasus	2011.01	Max=45	3000m	Dual laser	Rollei P45	中興測量

註：1. Compact：小型機型設計，可與航測攝影機一起組裝。

2. MPiA：空中多重脈衝功能(Multiple Pulses in Air)。

3. FWD：可進行全波形紀錄之功能(Full Waveform Digitization)。

4. Dual Laser：雙雷射發射系統，可提升點雲密度。

### 三、人造衛星系統

人造衛星(以下簡稱衛星)是人類建造太空飛行器的一種，也是太空飛行器中數量最多的一種。衛星以太空飛行載具如運載火箭、太空梭等發射到太空中，像天體衛星一樣環繞地球或其它行星運行。

衛星依用途可分為科學衛星、商業應用衛星、軍事衛星等。其中科學衛星為供科學研究用途的衛星，包含氣象衛星、地球觀測衛星(提供關於地球生態系統及空間資訊數據)、天文

衛星等。商業應用衛星則含有商業性質用途的衛星，包含廣播衛星、通訊衛星(電視轉播、電話及網路通訊)、導航衛星(GPS)等。軍事衛星為專門供軍事用途的衛星，包含偵測衛星、預警衛星、反衛星衛星等。

20 世紀末，全球只有少數國家進入太空俱樂部(具有獨立衛星發射能力的國家)。這些國家和地區包括(截至 2010 年)：前蘇聯、美國、法國、日本、中國大陸、英國、印度、以色列和伊朗。而伊拉克和朝鮮的發射並未被承認。巴西在 1997、1999 和 2003 年進行了 3 次發射嘗試，但均未成功。早期義大利和哈薩克都具備火箭和衛星研發技術條件，並且都有火箭發射場(聖馬科意海上平台和拜科努爾發射場，主要為美國和俄國擔負發射任務)。烏克蘭具備火箭製造能力但卻不具備發射場等條件。多國合作的歐洲太空總署(European Space Agency，簡稱ESA)，以及私人的海上發射公司等公司也被認為是太空俱樂部的成員。以下是太空俱樂部幾大成員首次成功發射的衛星(維基百科，2011)，如表 4-4：

表 4-4 國際間首次成功發射衛星次序表

次序	首次年份	國家或組織	衛星	酬載火箭	備註
1	1957	前蘇聯	Sputnik 1	Sputnik-PS	
2	1958	美國	Explorer 1	Juno	
3	1965	法國	Astérix 1	Diamant	
4	1970	日本	おおすみ /Osumi	Lambda-4S	
5	1970	中國大陸	東方紅 1 號	長征一號	
6	1971	英國	Prospero X-3	Black Arrow	在澳大利亞發射
7	1979	歐洲太空總署	CAT	Alian 1 type(L01)	
8	1980	印度	Rohini 1	SLV	
9	1988	以色列	Ofeq 1	Shavit	在西方發射
10	2009	伊朗	Safir 2	Omid 1	

地球觀測衛星(亦稱遙測衛星)是以離地約 450 公里至 900 公里間的軌道運行，用俯視方式觀測地表，是大面積地表探測的利器。它可以探測地表上地形地物、天災情況、污染情況、森林植被、生態聚落、礦產、海洋資源等。

國際間運作中的地球觀測衛星包含：國內的 FORMOSAT 系列衛星、法國的 SPOT 系列衛星、美國地質調查所(U.S. Geological Survey，簡稱 USGS)的 Landsat 系列衛星、美國國家航空暨太空總署的 MODIS 系列衛星、歐洲太空總署的 ERS 和 Kompsat 系列及 ENVISAT 衛星、日本的 ALOS 衛星、國際合作 ImageSat International N.V 公司的 EROS 系列衛星、美國 DigitalGlobe 公司的 Quickbird 衛星、美國 Space Imaging 公司(現為 GeoEye 公司)的 GeoEye 系列及 IKONOS 衛星等。

衛星攝影測量之感應器，以光學式為主，屬於被動式感應器，國際的光學攝影衛星有 3 個重要的里程碑。首先是 1972 年由美國國家航空暨太空總署發射運作的大地衛星 1 號

(Landsat I)，此衛星是全球第 1 顆民用的資源探測衛星，其每個地面像元解析度為 80 公尺\*80 公尺，開啟了衛星觀測地表的紀元。第二個里程碑是 1986 年 2 月法國發射的 SPOT 1 衛星，該衛星具有傾斜觀測的能力，因此，提供立體觀測與製作數值地形模型的能力，其地面像元解析度也提升至 10 公尺\*10 公尺。第三個里程碑是 1999 年由美國民間 Space Image 公司發射的 IKONOS 衛星，它是第一個由民間公司發射、運作的衛星，其地面像元解析度更提升至優於 1 公尺，開啟了 21 世紀高解析力衛星發展的紀元(陳哲俊、等，2009)。

由於衛星攝影測量為被動式感應器，需有光源才可感應，因此，衛星通常為太陽同步(Sun synchronous)衛星，同時為了降低雲層對光學影像的干擾，衛星通過測區的時間均安排在早上。現行適用立體測繪之衛星均採推帚式攝影(如圖 4-2)，感應器的主體由多個 CCD 感應元件組成 1 個線狀陣列，透過光學系統在取樣瞬間拍攝一系列的地面影像，衛星持續繞行軌道，便對地表進行連續但單列的掃描，衛星影像就由許多單列的影像所組成。

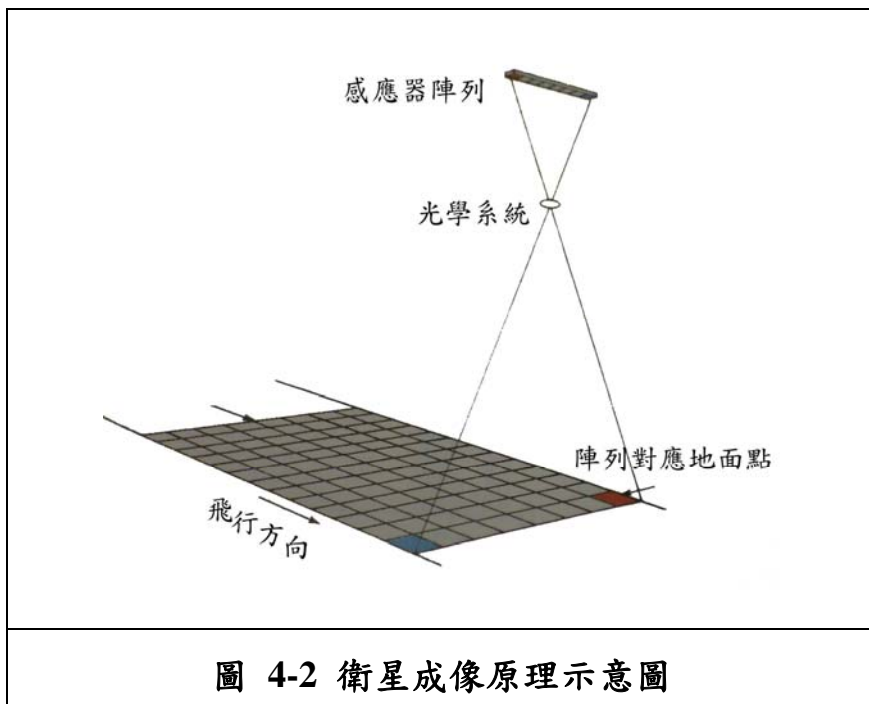


圖 4-2 衛星成像原理示意圖

#### 四、SAR 系統

雷達(Radar)系統包含 1 個微波發射器與 1 個接收器，以及將所接收到訊號加以處理、顯示、記錄的元件，屬於主動式感應器，可全天候及穿透雲層作業。在雷達系統發展後，一直被用來偵測及追蹤飛機與船艦等密標工具，1943 年美國海軍研究實驗室(Naval Research Laboratory，簡稱 NRL)研究完成一空載脈衝雷達系統。到了 1950 年，當時科學家基於軍事用途，將雷達天線架設於平行飛機的機身下方，並且朝側向偵測，藉以提升軌向(Along track)的解析度，此探測系統稱為空載側視雷達(Side-Looking Airborne Radar，簡稱 SLAR)。當時空載側視雷達主要是應用於軍事偵察上，後來發展出 35GHz 高頻掃描系統，解析力可達 10~20m。1951 年，Wiley 提出應用都卜勒(Doppler)頻譜分析技術，利用飛行方向的頻譜分析出兩個相當接近的目標物，利用都卜勒平移提高雷達解析力。直到 1953 年，Wiley 的觀念被應用到空載雷達系統，此為第一部空載合成孔徑雷達(Curlander and McDonough, 1991)。

1970 年代初期，美國國家航空暨太空總署於 DC-8 飛機上裝置合成孔徑雷達系統，稱為空載合成孔徑雷達(AirSAR)，美國噴射推進實驗室(Jet Propulsion Laboratory，簡稱 JPL)之空載合成孔徑雷達計畫因此開始(NASA/JPL 網頁，2002)。

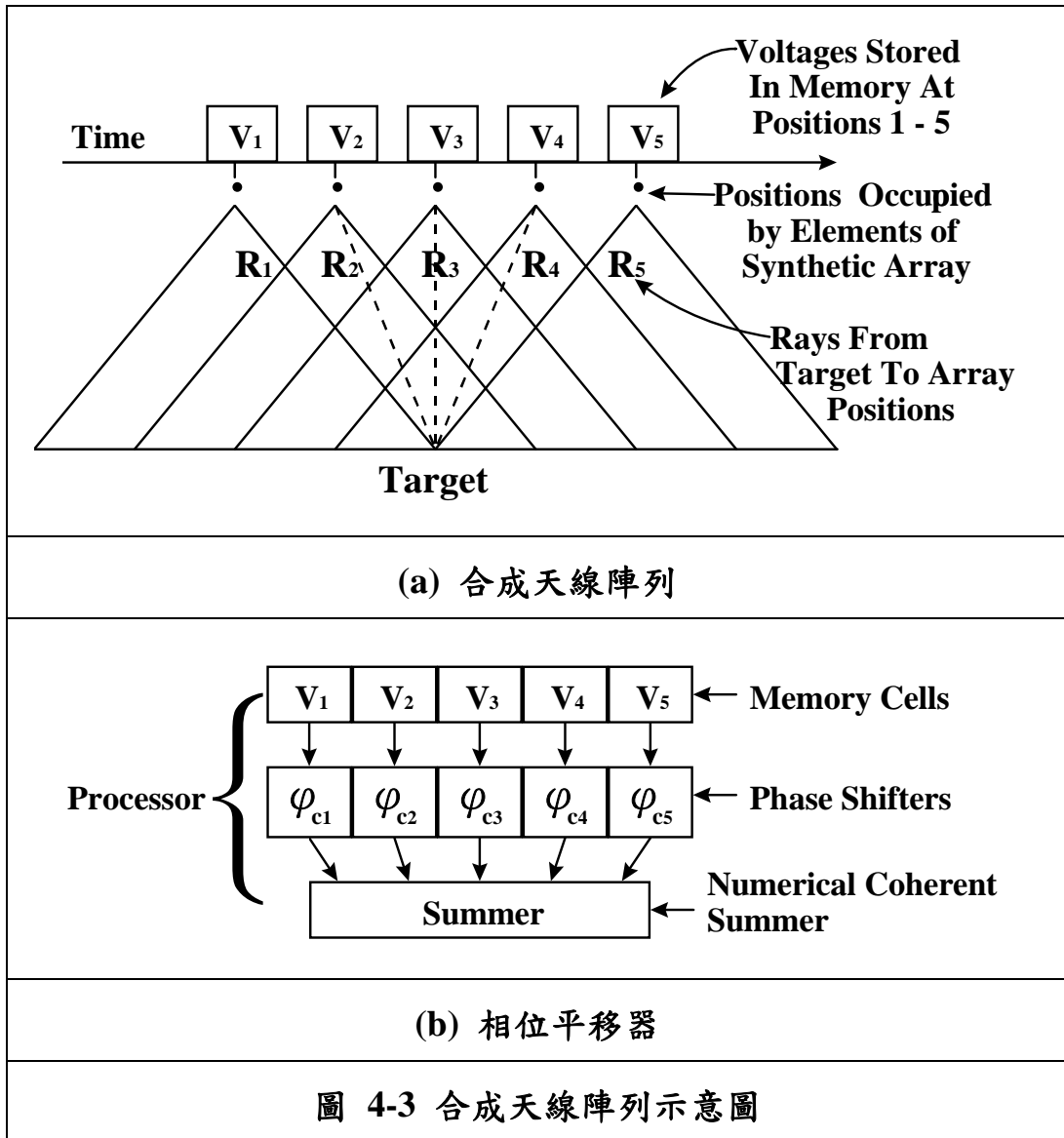
1974 年，Graham 首先以空載合成孔徑雷達干涉方式獲取地面高程資訊，此後合成孔徑雷達干涉技術(Interferometry Synthetic Aperture Radar，簡稱 InSAR)開始多樣的研究發展(Graham, 1974)。

1978 年 6 月美國成功發射搭載雷達感應器的海洋衛星 (Seasat) 後，歐洲、日本、俄羅斯、加拿大等國家相繼發射自己的 SAR 衛星，掀起主動式感應器觀測系統的熱潮(陳哲俊、等，2009)。

1986 年，美國國家航空暨太空總署將空載合成孔徑雷達系統安裝於 CV990 飛機上，並於舊金山完成面積大小 11 公里\*10 公里的數值高程模型(Zebker and Goldstein, 1986)。

合成孔徑雷達系統係應用一實際上較短的天線，但經由變更資料的記錄與處理方式的技術，使之有合成長天線的效果。其觀念可用兩種方式來解釋，一為合成天線陣列的方式；一為都卜勒波束削尖法(Doppler Beam Sharpening)。

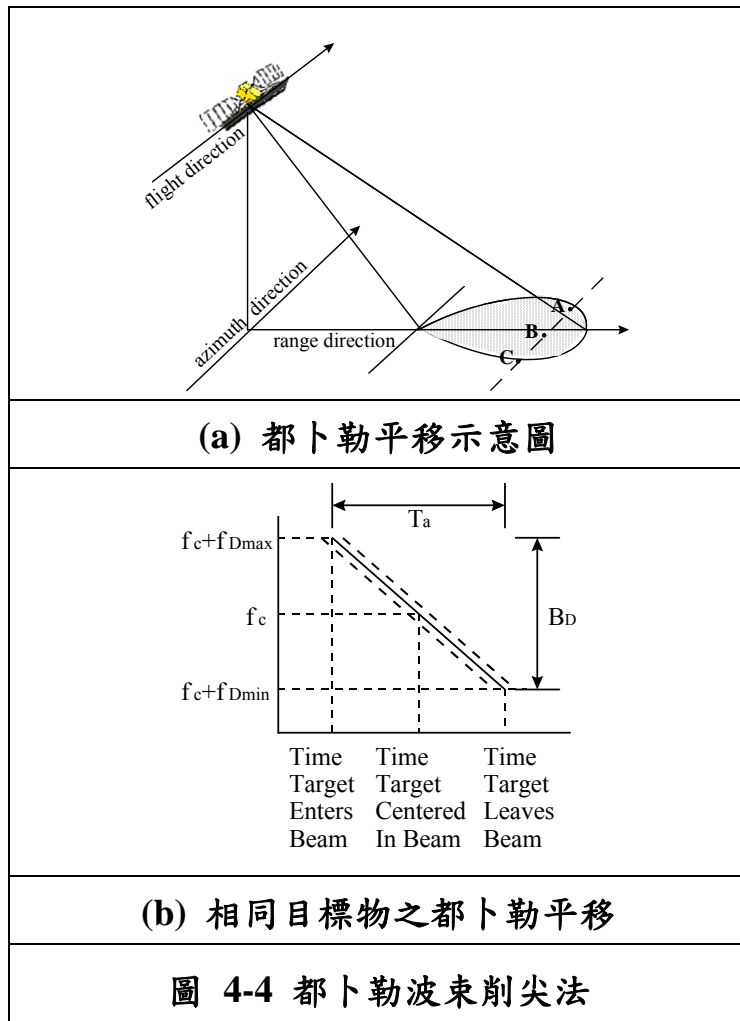
先以合成天線陣列的方式說明基本原理，攜帶著合成孔徑雷達的載具沿著既定的軌道向前運行時，在圖 4-3(a)所示的五個位置皆可看到目標物，然而雷達在這五個位置觀測同一個目標物的距離皆不同，所以訊號來回所需的時間並不相同，亦即目標物的回波會有不同的相位移，這些不同相位移的回波訊號分別被接收器接收之後，儲存在記憶體中不同的位置，接著再將這些訊號通過一相位平移器(Phase Shifter)，彌補原本存在各訊號中的相位差，最後再將各輸出結果加起來，如圖 4-3(b)所示。如此一來，在真實孔徑中無法分辨的目標物將會顯現出來。



其次，用都卜勒平移的觀念來說明合成孔徑雷達的基本原理，亦就是所謂的都卜勒波束削尖法。如圖 4-4(a)所示，籠罩在波束中的A、B、C三個不同目標物，與載具飛行方向有著不同的夾角，因此與載具的相對速度亦不同。依都卜勒原理，三個目標物對於雷達所發射的脈波將會產生不同的都卜勒平移，其中目標物A的回波會產生正的都卜勒平移；而目標物B因為與波束平行，故無都卜勒平移產生；至於目標物C的回波則會產生負的都卜勒平移。

隨著載具向前移動，目標物與雷達間的方位距離將隨著改變，而每一目標物的都卜勒平移量亦會不同。現在考慮一

固定目標物，可以發現其都卜勒平移會隨著時間成線性的變化，如圖 4-4(b)所示。



## 4-2 國內外航遙測感應器系統校正作業資料蒐集及分析

在世界各先進國家中，已有多個國家設置航遙測感應器校正場，並行之有年，經驗豐富，值得我國參考。目前數個已知且正在運作中的國際校正場情況如表 4-5。



表 4-5 國際間航遙測感應器校正場

國家名	城市名	維護機構	校正場名
芬蘭	Masaala	Finnish Geodetic Institute(FGI)	Sjökulla
德國	Stuttgart	University of Stuttgart	Vaihingen/Enz
德國	Stuttgart	University of Stuttgart	Bedburg
德國	Stuttgart	University of Stuttgart	Hambach
德國	Bonn	University of Bonn	Rheidt
挪威	Aas, Oslo	University of Life Sciences	Fredrikstad
義大利	Pavia	University of Pavia	Pavia
美國	Madison	USGS/OSU	Madison
美國	EROS campus	USGS/NASA	EROS Cage and EROS Range
美國	Sioux Falls, South Dakota	USGS/NASA	Sioux Falls Range
美國	Reston	USGS	OSL
美國	Stennis	NASA	Stennis Space Center
中國大陸	河南省登封市	武漢大學	嵩山校正場
日本	神奈川縣松田町	社團法人 日本攝影測量學會	日本攝影測量學會試驗場

在國內方面，數位式航遙測感應器引進國內約七、八年，型式種類眾多，但除了行政院農業委員會林務局航空測量所(以下簡稱農航所)於彰化縣鹿港鎮設有簡易式數位航空攝影機校正場外，其餘大多以既有地形地物地貌進行檢校，並未有規劃完善的校正場。目前數個已知且正在運作中的國內航遙測感應器校正場狀況如表 4-6。

表 4-6 國內航遙測感應器校正場

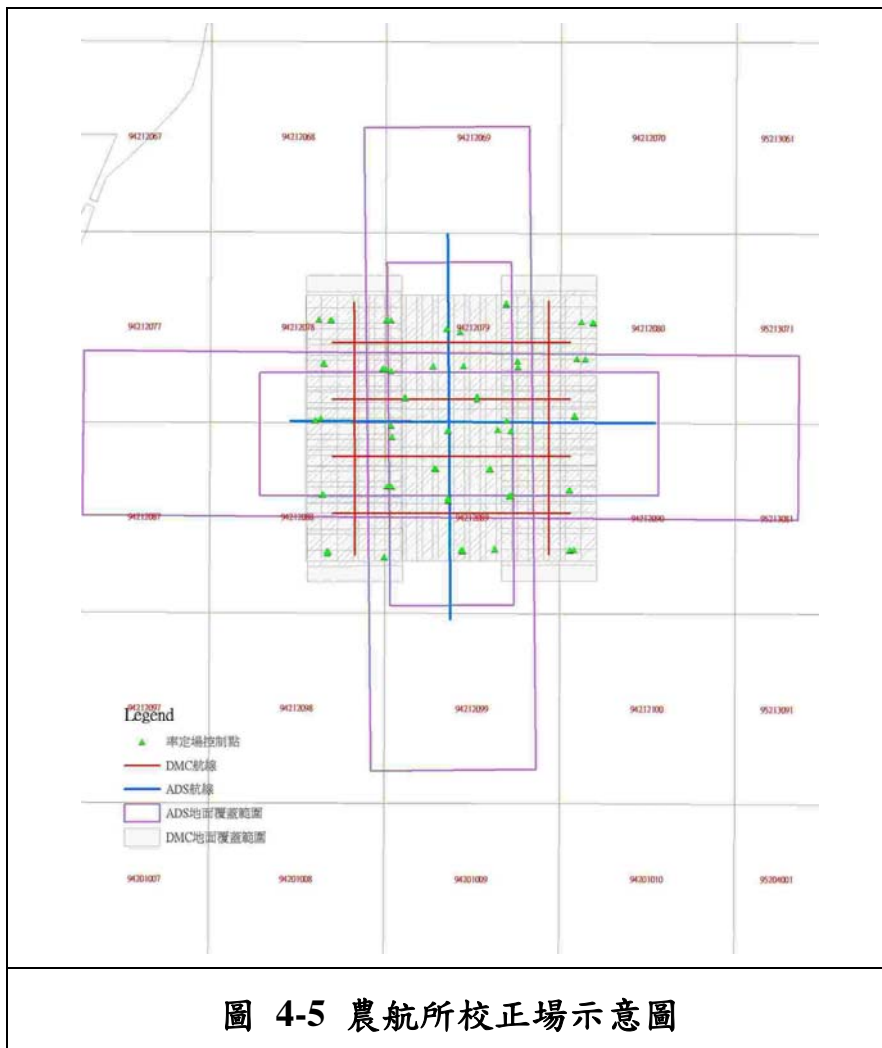
感應器種類	校正場所在位置	使用單位	維護狀況
航測攝影機	彰化縣鹿港鎮	農航所	不定期維護
航測攝影機	台中市北屯區大坑山區	農航所	不定期維護
航測攝影機	彰化縣鹿港鎮	詮華公司	不定期維護
衛星	澎湖機場	國家太空中心	每年至少一次
空載光達	彰化縣彰濱工業區	中興測量公司	無
空載光達	台中市台中港工業區	群立公司	無
空載光達	彰化縣彰濱工業區	詮華公司	無
空載光達	台中市台中港工業區	亞新國土公司	該公司之空載光達已不使用

本團隊蒐集國內外部分航遙測感應器系統校正場之設置方法，分述於後，以利於後續設計航遙測感應器系統校正場規格、場址選定及建置等作業參考之用。

#### 一、國內數位攝影機校正場

目前國內已建置的光學式航測攝影機校正場為農航所，該所目前設置有 2 座校正場，一為彰化縣鹿港鎮於中華民國 95 年 05 月設置，涵蓋大小約為 1/5,000 圖幅 4 幅左右，現場地面控制點大多採自然點布設，另一為台中近郊至大坑山區於中華民國 96 年 04 月設置，約 50 幅圖之場地，現場地面控制點大多採地面刷漆布設，但部分接近大坑山區屬軍事區，申請飛航許可不容易。該 2 座校正場僅作為農航所新購航空攝影機之驗收場地，作為參數率定(Calibration)或測試用途，並未使用於設備調整修正(Correct 或 Adjust)用途及對外營運，此外，2 座校正場未特別定期維護，至目前(中華民國 100 年 11 月)為止，維護次數為 2~3 次。

彰化縣鹿港鎮之校正場僅規劃供該單位所擁有之航測攝影機率定用，適合Leica ADS與DMC系列航測攝影機。ADS航線為東西向與南北向，地面覆蓋範圍大小約為10公里x2.5公里；DMC航線有4條東西向及頭尾2條南北向，地面覆蓋範圍約為4公里x4公里；範圍內布設有40多個地面控制點，惟該校正場尚未正式對外營運，現仍為測試階段。該校正場分布如圖4-5。



## 二、國內遙測感應器校正場

而國內遙測感應器(財團法人國家實驗研究院國家太空中心(以下簡稱國家太空中心, The National Space Organization, 簡稱NSPO)之福衛二號)的校正, 僅有於澎湖設

置簡易式解析力及輻射測試標(尺寸大小為 60 公尺x60 公尺，如 圖 4-6)，並無幾何校正場之設置。該校正場設立於西元 2001 年，目前平時由當地駐軍協助維護管理或每年一次派人前往該校正場定期進行維護。

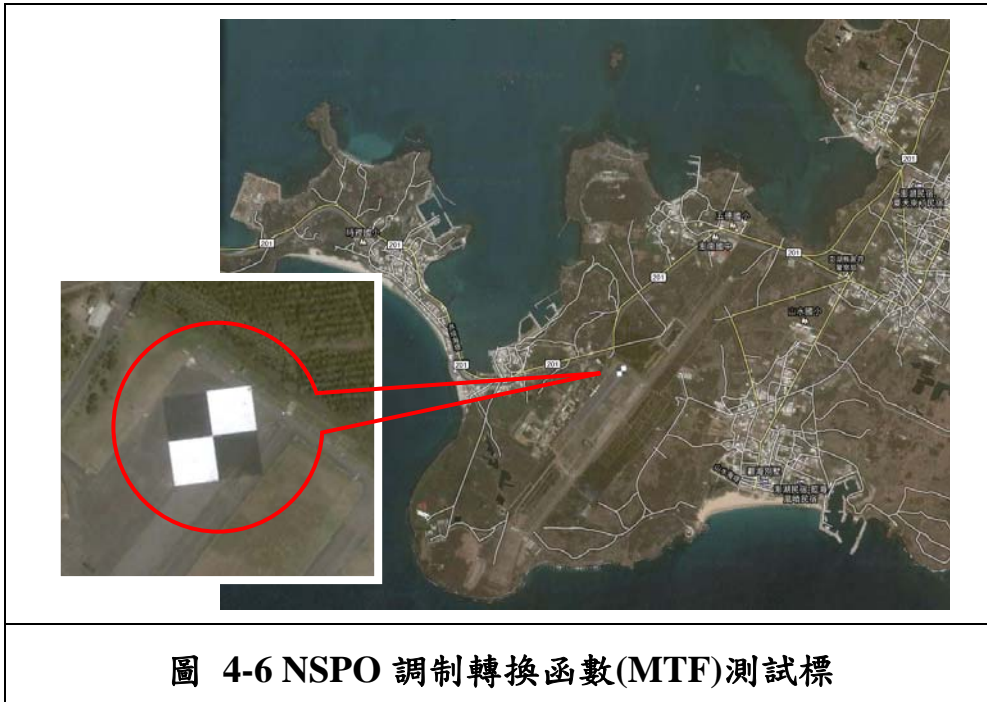


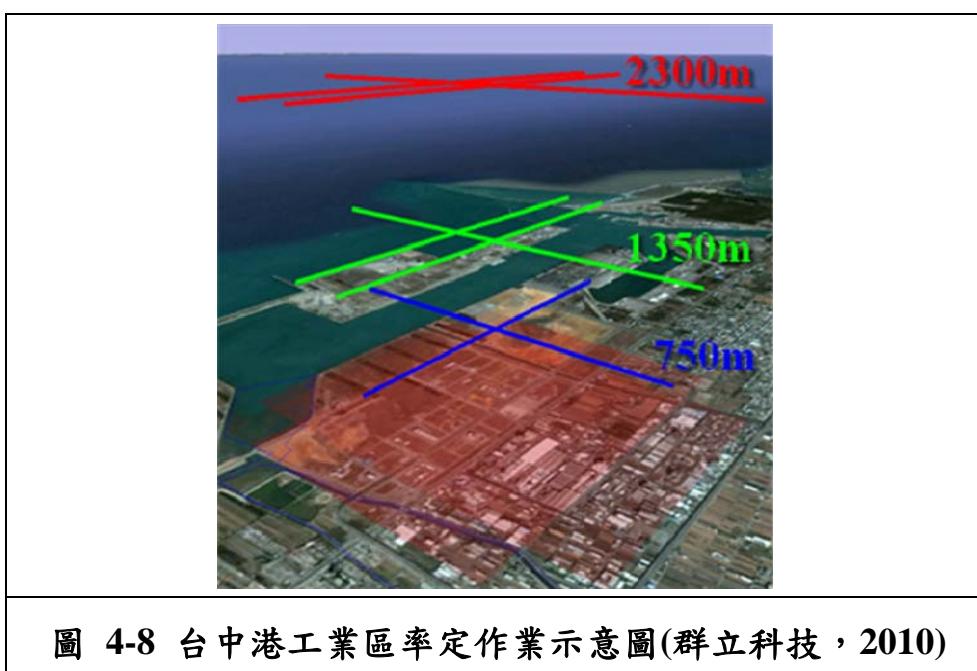
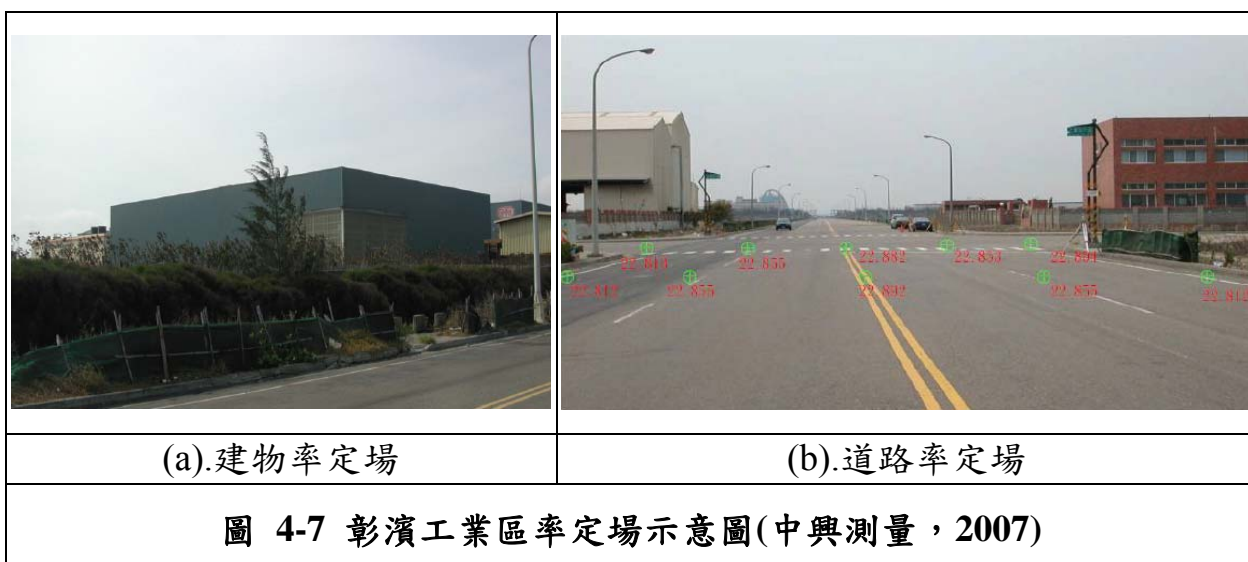
圖 4-6 NSPO 調制轉換函數(MTF)測試標

### 三、國內空載光達率定場

根據內政部「LiDAR 測製數值高程模型及數值地表模型標準作業程序(草案)」之內容，LiDAR 率定場設置之環境要求為：「標準的率定場面積為長寬各約 1 公里範圍，率定場內之地表坡度應平緩且植被覆蓋率應小於 10%，且應具有容易辨識之大型建物(平頂、斜頂)及道路標線等明顯特徵；通常可利用平原地區的工業區，但最好避免例行班機航道及軍事要地，並應避開大規模開發或地層下陷區域。」(內政部，2005)。

國內各空載光達業者均依前述規定自行設置校正場，例如：(1)中興測量有限公司設置Optech ALTM3070 之率定場，位於彰化縣彰濱工業區鹿工南五路，全長範圍約 2 公里x2 公里，另外範圍內包含獨立建物，供建物型式的率定場地，如 圖

4-7 所示。(2)群立科技股份有限公司設置Leica ALS60 之率定場，位於台中市台中港工業區，範圍約 2 公里x2 公里，範圍內並有大型獨立建物(廠房)，如圖 4-8 所示。(3)詮華國土測繪有限公司設置Leica ALS60 與 Optech ALTM Orion之率定場位於彰化縣彰濱工業區，範圍約 2 公里x2 公里，範圍內包含獨立建物與長 2 公里筆直道路，如圖 4-9 所示。(4)亞新國土科技股份有限公司，其先前空載光達設置之率定場位置與群立科技股份有限公司位置相同，惟該公司因公司營運方向調整，停用空載光達設備，也不再使用該率定場。



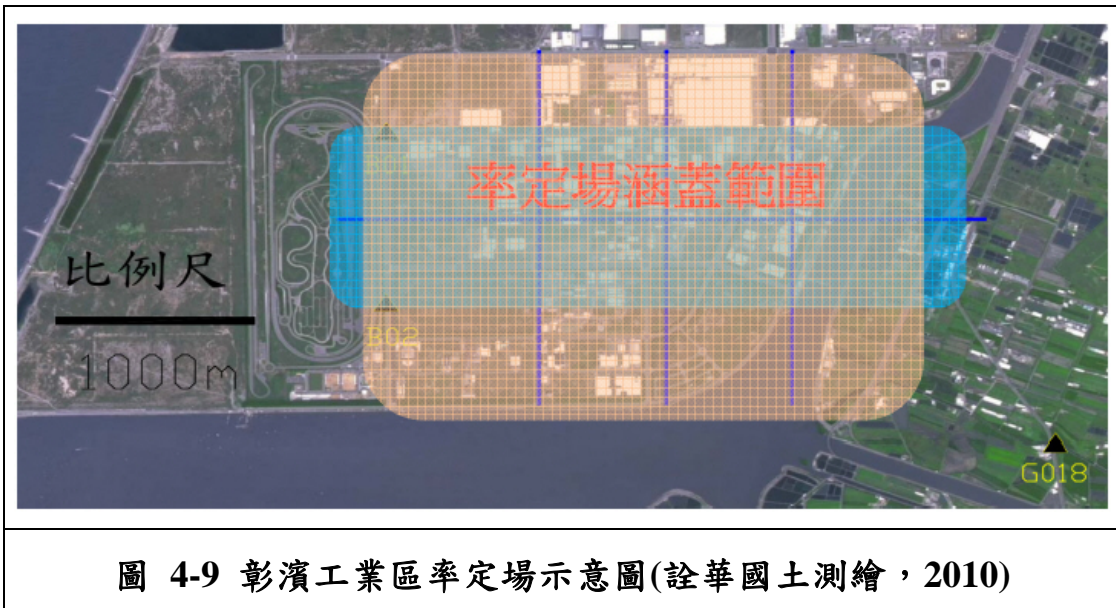


圖 4-9 彰濱工業區率定場示意圖(詮華國土測繪，2010)

此為標準作業程序(草案)所述之率定場主要目的僅在做視準率定(Boresight calibration)，這種率定要求平坦場地，但是平坦的率定場對光達的平面精度進行校正時鑑別度不高。故與本計畫之校正場有些許差異。本計畫之校正場是空載光達求得率定參數後，進行收集點雲資料，以確認不同航帶間之點雲無明顯偏移，並再次與地面實測點比較，其高程坐標差值應小於 10 公分(內政部，2005)。為了落實光達的整體校正，本計畫將研擬對光達平面精度進行校正之可行性分析及場地設計規劃。

#### 四、美國數位攝影機校正場

美國國家航遙測感應器校正場以美國地質調查所為主，該機構從 1970 年代初期開始，便提供類比(底片)式攝影機的校正。隨著數位式攝影機技術的不斷進步並且普及，該機構認為對於數位式攝影機成果的驗證(Verification)、校正(Calibration)與認證(Certification)有其必要性(Stensaas et al., 2008)。

因此，美國地質調查所在該機構下的地球資源觀測與科學中心(Earth Resources Observation and Science，簡稱EROS)

的數位攝影機校正實驗室(Digital Camera Calibration Lab)裡，設置能進行數位式攝影機空間幾何、解析力與輻射的驗證與校正設備(如圖 4-10)，目前該實驗室已能認證(型別認證，Type certification)七家(Applanix、Intergraph、Leica、Microsoft Vexcel、M7 Visual Intelligence、Pictometry 及 GeoVantage)數位攝影機製造商所產製的數位攝影機(<http://calval.cr.usgs.gov/digaerial/usgs-digital-aerial-type-certification/>)。

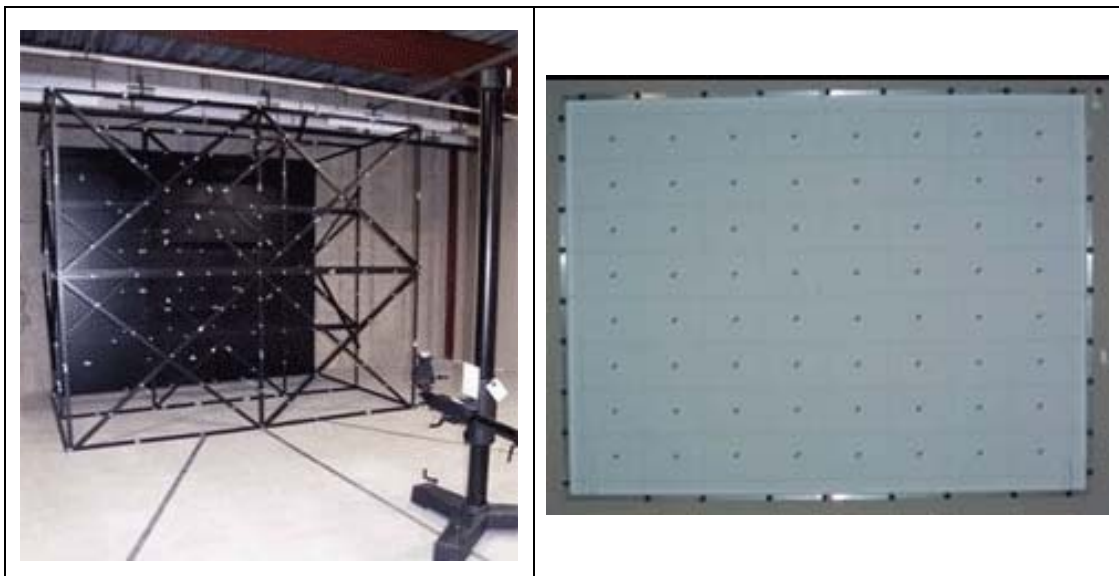


圖 4-10 美國地質調查所航遙測數位式攝影機室內校正場  
(摘自美國地質調查所官方網站)

美國地質調查所室外校正場(In Situ Calibration Ranges，簡稱 ISCRs)的規劃設計為 1750 公尺x2000 公尺，內含一個較小的校正場，大小為 600 公尺x750 公尺；場內地形的高度變化約 100 公尺左右，但坡度變化需有高低起伏；場區需容易並安全進入，校正場周圍 10 公里內不得有超過 100 公尺高的障礙物及航空管制區(USGS, 2008)。

校正場內至少有 50 個以上控制點及 25 個以上檢核點，分布位置須均勻分布於校正場區四個象限內，且每一個象限

內至少含有總數量 20%的控制點數，每一個控制點四周的障礙物仰角不得大於 45 度，檢核點的分布原則同於控制點。

基於以上的設計原則，美國地質調查所的地球資源觀測與科學中心在其位於南達科他州蘇福爾斯(Sioux Falls, SD)城之分校，建置 1 座 320 英畝(約 1.3 平方公里)的航遙測感應器室外校正場(如圖 4-11)，供各式各樣的航遙測感應器校正之用，該場地適用於各類型高解析度航遙測產品的校正，從地面解析度(Ground Sample Distance，簡稱GSD)15 公分(6 英吋)到 1 公尺的航拍影像，以及 15 公里以上的寬航帶衛星影像都可以於該場地校正。該場地地面控制點(外圍 34 個控制點，內部 43 個控制點)均勻布設於該城市內，其範圍不超過該城市邊境，且該校正場地鄰近美國國家大地測量局(National Geodetic Survey，簡稱NGS)的衛星追蹤站(Continuously Operated Reference Stations，簡稱CORS)，可提供飛行載具上的全球定位系統數據之後處理。

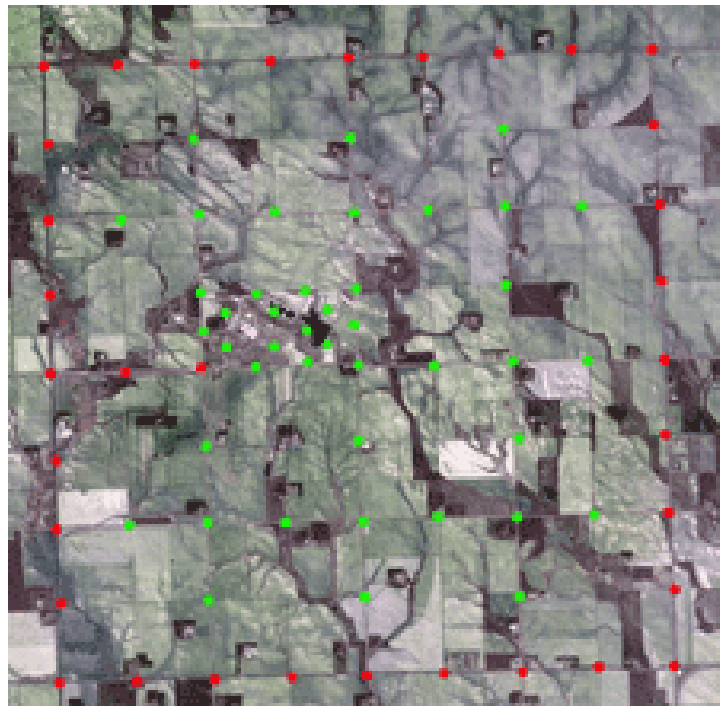


圖 4-11 美國 EROS 校正場 (摘自美國地質調查所官方網站)



美國國家本土內 48 州因幅員廣闊，上述校正場已於西元 2009 年正式營運外，美國地質調查所亦在西元 2010 年於美國中部密蘇里州及科羅拉多州兩州各建立一處航遙測感應器校正場(Rolla, MO及Pueblo, CO，如圖 4-12)，同時該機構也繼續尋找其他潛在的適合地點設置航遙測感應器校正場(USGS, 2010)，以利於該國內業界的驗證與校正作業。

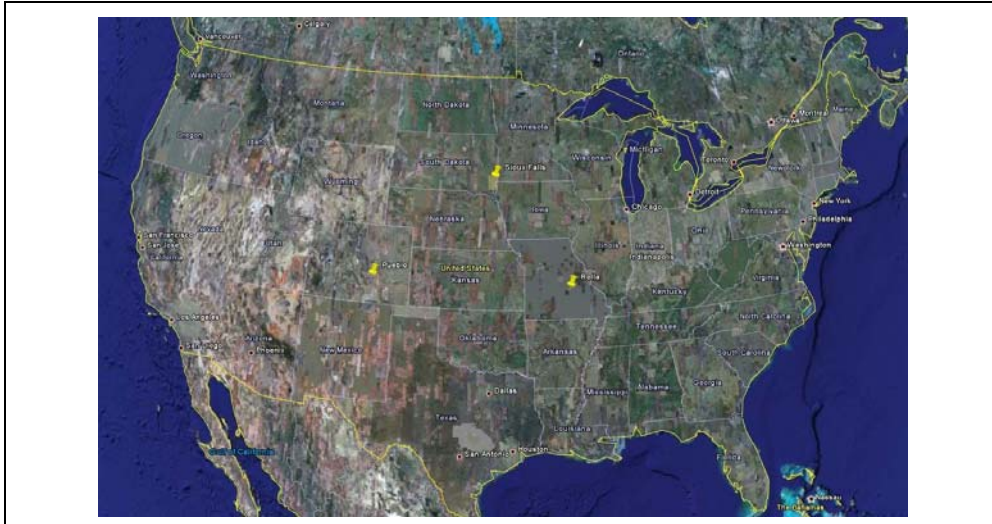


圖 4-12 美國地質調查所現有航遙測感應器校正場分布圖  
(黃色圖釘處，摘自美國地質調查所官方網站)

美國校正場之營運採儀器製造商自行飛越美國地質調查所的校正場，進行航空攝影並生產產品，再將產品提供給美國地質調查所進行評估(Stensaas et al., 2008)。因此美國地質調查所認證的方式並非對每一個航測攝影機感應器去認證，而是對生產感應器的廠商去進行認證。為了提升校正的自動化並減少地面控制點設置及維護成本，美國地質調查所打算對校正場進行高精度正射製作以及空載光達掃描製作數值高程模型(Digital Elevation Model，簡稱DEM)，以正射影像的影像區塊(Image chips)取代傳統的布標做為檢核點，要求受校廠商改為繳交正射影像校正，則可以用影像匹配的技術自動化量測檢核點上的誤差(參考附件十四：Sioux Falls Range測試場簡介)。

美國地質調查所對數位航空攝影機校正與認證發展歷程，詳如表 4-7。

表 4-7 美國數位航空攝影機校正與認證發展歷程表

年份	計畫項目	內容	細目	備註
2000	USGS 與 ASPRS 討論決定應發展數位攝影機進行校正能力。			
2001		研發中、小像幅室內校正設備。		
		研發中、小像幅室外校正設備及軟硬體。		
	組成跨機關數位攝影機工作組(IADIWG)。	分析聯邦機關需求及對建立校正及品保計畫之支持。		14 個大型對影像有需求的聯邦機構。
2005		建立數位影像品保程序。		
2007		建立品質計畫 (RST2007)。	擬定影像購置合約指導綱要。	
			攝影機型別認證。	認證攝影機製造商，而非認證其設備。
			影像拍攝者認證。	認證軟硬體設備整合符合航測需求(正確整合 GPS、IMU、航拍規劃軟硬體、正確操作攝影機)。
			航拍廠商影像品質合格驗證。	
	推動國際通用校正場。	與加拿大、歐洲合作。	(降低廠商負擔)	建議 ISPRS 承擔推動責任。
			幾何校正。	
			輻射校正。	
			建議增加遙測影像校正與認證。	

## 五、歐洲數位攝影機校正場

歐洲空間資料研究網路(Europe Spatial Data Research Network, 簡稱 EuroSDR, 其網站為 <http://bono.hostireland.com/~eurosdr/start/index.php>)組織對建立歐洲數位攝影機認證的研究歷史發展：

該組織之前身為歐洲實驗攝影研究組織(The European Organisation for Experimental Photogrammetric Research, 簡稱 OEEPE)是歐盟成立之前歐洲各國政府及學術機構聯合組成的攝影測量研究協會(Cramer, 2008)。歐盟成立後擴大成為空間資訊學術研究協會。成立的宗旨是建立歐洲各個國家測圖機關、地籍機關與研究機構、大學之間的連結，以推展空間資料的供應、管理及傳輸的應用研究為目的的非營利性的研究網路。本身並非另外成立一個凌駕於各國之上的固定研究單位，而是協調及資助歐洲各國現有的空間資訊相關機構，包含各國測繪及地籍機關與其附屬研究機構、各大學及研究所等，合作協力進行普遍適用於全歐洲空間資訊系統的相關研究。

2003 年時，該組織首次提出應該對市場上正在發展的數位攝影機進行認證的研究倡議。經過一系列的討論會及初步研究，決定分為二個階段完成歐洲的數位攝影機檢定及校正研究。

第一階段：蒐集分析已經公開發表的有關數位攝影機的資料，撰寫詳細的有關現有的檢定校正的作業及方法。

第二階段：依據專家們的經驗及建議，進行實際測試，提出能為多數人所認同的校正及驗證方法。

第一階段的報告在 2004 年 10 月完成，第二階段工作在 2006 年正式展開。計有 8 個攝影機系統製造商、12 家測量軟體系統開發商及測繪科技研究機構、16 所歐美大學以及歐美 16 個國家的測繪機關參與了研究網路，並由德國斯圖加特大學為中心協調組織人。2006 年底公布了初步實驗結果，而在 2007 年開始又擴大了第二階段後續計畫之第 b 階段的實驗(詳如表 4-8)，最後實際積極參與實驗的有 13 個機構於 2007 年完成全部計 80 個實驗的分析。初始時，表達參加意願的攝影機生產廠商很多，但是最後實際參加實驗的攝影機只有目前市場上銷售最多的 ADSL、DMC 及 UltraCAM 三種。實驗結果主要內容曾發表於 2007 年在德國漢諾威大學舉辦的「高解析力對地觀測影像」研討會，以及 2008 年在北京舉辦的國際航遙測學會(International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 簡稱 ISPRS)大會上(Cramer, 2008)。

依據該研究結果，認為有必要建立歐洲自主的數位空載攝影機認證制度，也就是將原本僅針對數位空載攝影機的檢定及校正的研究，延伸為要為歐洲建立一個正式的認證制度。於是研究團隊提出新的計畫，並經 2007 年 5 月在荷蘭鹿特丹舉行的歐洲空間資料網路研究組織的科學委員會及成員國代表會會議上，正式通過了歐洲數位空載攝影機認證(European Digital Airborne Camera Certificate, 簡稱 EuroDAC<sup>2</sup>)創制計畫，邀請所有軟硬體廠商及使用者參與研究建立一個在歐洲普遍適用的認證程序。

該創制計畫主要的依據是認為數位攝影機的檢定與校正確實與傳統攝影機不同，有必要另外設計專用的校正及認證方法程序。而由於數位攝影機廠牌眾多，製作原理與結構分歧，認證時必須注意普遍適用原則，不可有特殊優遇或歧視現象。雖然美國地質調查所已有認證辦法，但是由於數位空

載攝影機大多為歐洲生產，而且美國的認證方法中有的不適用於歐洲，所以歐洲有必要自行建立認證制度。預計分5個階段完成認證計畫。(1)評估由各國測繪及地籍機關提出的使用者需求。(2)評估數位空載攝影機生產者的意見。(3)認證程序的定義。(4)認證程序的認可(國家測繪機關、數位空載攝影機生產廠商及其它相關者共同認可)。(5)正式實施認證制度。

表 4-8 歐盟數位航空攝影機校正發展歷程表

年份	計畫項目	內容	參與機構
2003	歐洲空間資訊研究組織 EuroSDR 啟動數位攝影機校正研究計畫。		由德國斯圖加特大學主持。
2004	第一階段。	完成已發表之航測數位攝影機校正資料蒐集並整理成報告。	
2006	第二階段。	進行初步之實際校正測試。	邀請了8個攝影機製造商、12個軟體系統開發商及測繪科技研究機構、16所大學、16個國家測繪機關參與第二階段研究。
2007	第二階段後續計畫。	完成80個實驗，成果發表於2008年北京ISPRS大會。	實際參與機構僅13個，參與攝影機僅DMC、ADS、UCD三種。
	歐洲數位空載攝影機認證 (European Digital Airborne Camera Certificate, 簡稱 EuroDAC <sup>2</sup> ) 計畫。	研究建立一個歐洲普遍適用的認證程序。其階段分為： a. 評估由各國測繪及地籍機關提出的使用者需求及數位空載攝影機生產者的意見。 b. 認證程序的定義。 c. 研擬之認證程序的認可(由國家測繪機關、數位空載攝影機生產廠商及其它相關者共同認可)。 d. 正式實施認證制度。	邀請所有軟硬體廠商及使用者。
2008		增加攝影機輻射研究及中像幅攝影機之校正認證。	
2011		53屆航測週報告攝影機輻射問題研究現況。	

除了上述校正及認證計畫外，歐洲空間資料研究網路組織於2008年又啟動了對數位攝影機的輻射特性研究以及對中像幅數位攝影機應用潛力等的後續與數位攝影機有關的研究。這些方面也是我國遲早將面臨的問題，建議將此部分一併納入本研究計畫內，持續關注收集歐洲在此方面的最新研究成果，供日後擴大本計畫的參考依據。

該機構用於研究的校正場有 4 個，分別為在芬蘭的 Sjökölla、德國的 Vaihingen/Enz、挪威的 Fredrikstad 及義大利的 Pavia(Casella and Franzini, 2005)。此四個校正場均非新設而是各國原本即已經設置之校正場。以德國 Vaihingen/Enz 為例，係由德國斯圖加特大學於 30 多年前所設置，芬蘭的校正場也早在歐盟數位攝影機校正研究計畫立案之前即已設置，並且持續用於芬蘭國內底片式攝影機校正之用。歐洲空間資料研究網路為了進行數位攝影機校正研究，才邀請各廠商參與，目前研究還正在進行中，所以至今在歐洲尚未針對航測數位攝影機訂有正式具有強制性的校正規定及法定校正場。

4 個校正場都是各國原有的以幾何校正為主的舊校正場，但是為前開研究均作了些微改進。尤其是為了校正輻射解析力部分，增加了不同光譜反射的校正能力。但是只有芬蘭校正場最後被選為研究輻射校正之用。

位在芬蘭的 Sjökölla 測試場(Test field)為芬蘭大地測量研究所(Finnish Geodetic Institute, 簡稱 FGI)於 1994 年在 Sjökölla 設立一個永久性試驗場，作為高解像力航測與衛星攝影機在幾何、輻射及空間解像力等之校驗，以及相關測試之用。此試驗場的特色是利用礫石作為解像力與反射率的測標。礫石測標的優點是不受天氣影響，下雨後礫石表面灰塵被清除，

下雪與結凍不至於影響圖案，而且不同種類的礫石之反射特性不同，適當的混和可以得到不同的光譜反應特性。Sjökulla 測試場並設有許多輔助測標，提供作為航遙測攝影測量校正場之用。同時，除永久固定式測標外，也開發移動式輔助測標(Honkavaara et al., 2008)。

Sjökulla 測試場規劃設置的基本原則，包括：維持全年可用、降低維護成本、可以長期使用、經常性的監測、開放給所有影像生產者自由且方便使用。

Sjökulla 測試場位於芬蘭鄉村地區，周圍為田野、湖泊、與森林，與芬蘭大地測量研究所及機場都很近。此試驗場包括 1 個影像品質試驗場(如圖 4-13，圖中第 6 區塊為可移動式西門子星測標，第 7 區塊為可移動式輻射校正標，其餘為永久式固定測標)與 1 個可適用 3 種以上比例尺的控制點基準測網(每 1 種比例尺至少有 50 個地面控制點，如圖 4-14)。前者供輻射校驗與空間解像力校驗，後者供幾何校驗。



圖 4-13 芬蘭 Sjökulla 測試場(Test Field)之影像品質校正標

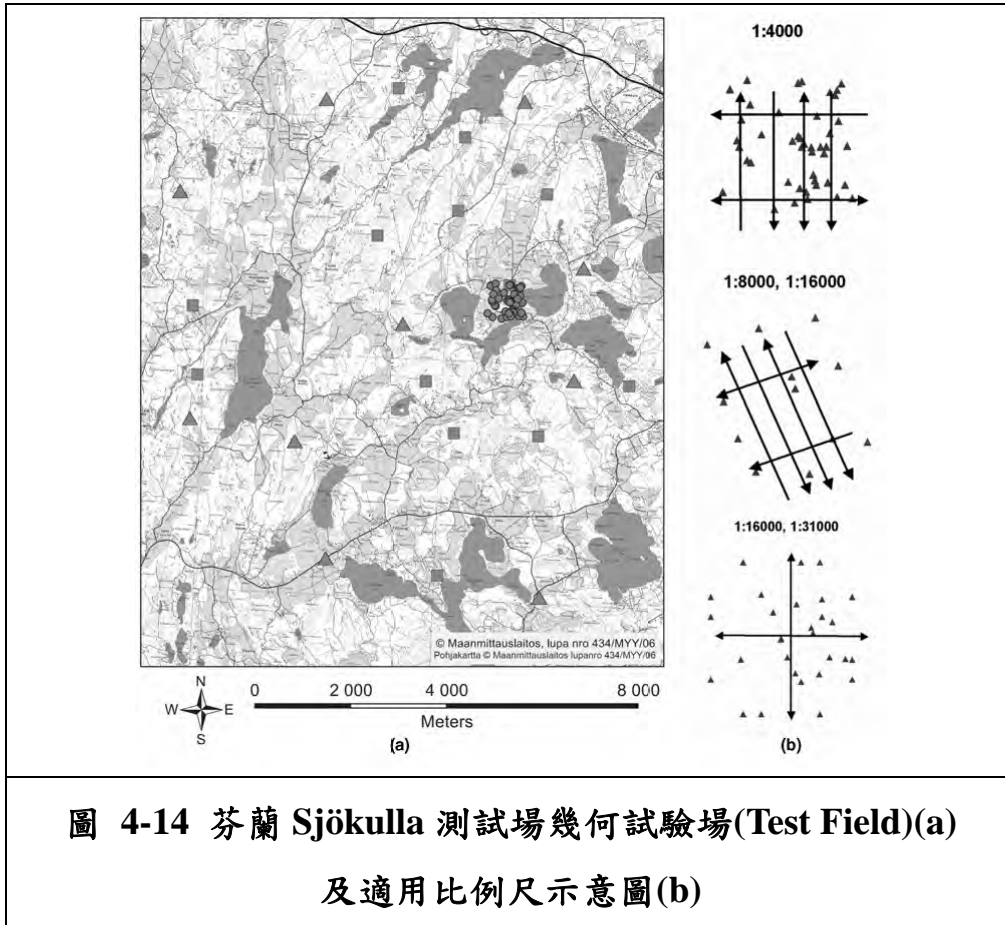


圖 4-14 芬蘭 Sjökkulla 測試場幾何試驗場(Test Field)(a) 及適用比例尺示意圖(b)

德國的Vaihingen/Enz檢定場(Test site，如圖 4-15)涵蓋約 7.5 公里x4.8 公里，布設了 200 多個精密測定的控制點。為高、低不同的航高分別設計了二種不同的空標尺寸，分別為 1 公尺x1 公尺及 0.25 公尺x0.25 公尺，測區為在德國西南部的丘陵區，有足夠的高差，地面主要為農業用地夾雜小的村落 (Cramer, 2009b)。



圖 4-15 德國 Vaihingen/Enz 檢定場(Test Site)航空影像



其 200 多個控制點分布狀況，如圖 4-16 所示。其中位在西側的控制點較密，可供低空攝影校正之用。

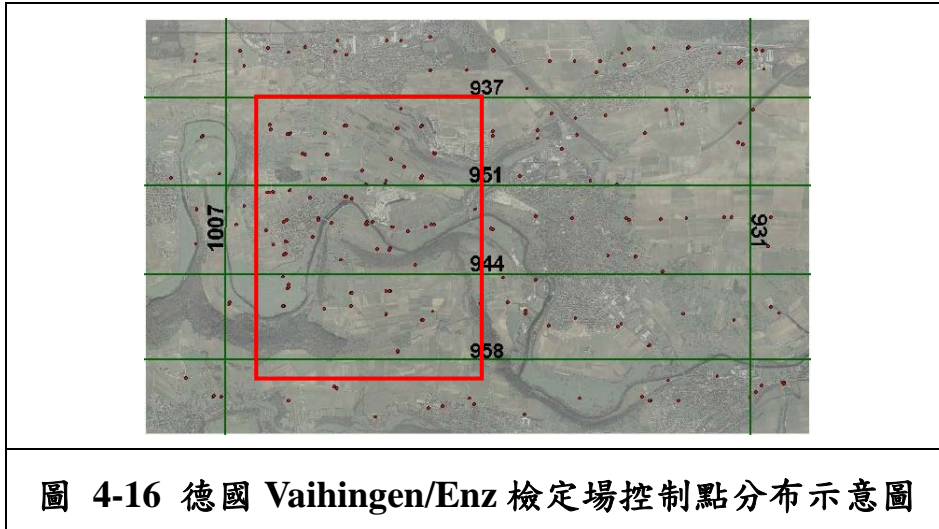


圖 4-16 德國 Vaihingen/Enz 檢定場控制點分布示意圖

#### 六、亞洲數位攝影機校正場

除了上述歐美國家，中國大陸國家測繪局亦曾在山西省太原市建置一座專供航測光學感應器檢校的幾何校正場，惟目前已廢棄不用；中國大陸亦有供給遙測(衛星)影像輻射校正專用的青海校正場和敦煌校正場。另武漢大學測繪遙感信息工程國家重點實驗室於河南省登封市之嵩山附近，建置一座航空攝影測量與遙感綜合試驗場(如圖 4-17)，其中包含有航測感應器系統校正場(約 64 平方公里)、攝影測量與遙感綜合試驗場(約 900 平方公里)、遙測感應器校正場(約 8000 平方公里)，能進行航遙測感應器系統之幾何與輻射校正作業(許妙忠、等，2009)。

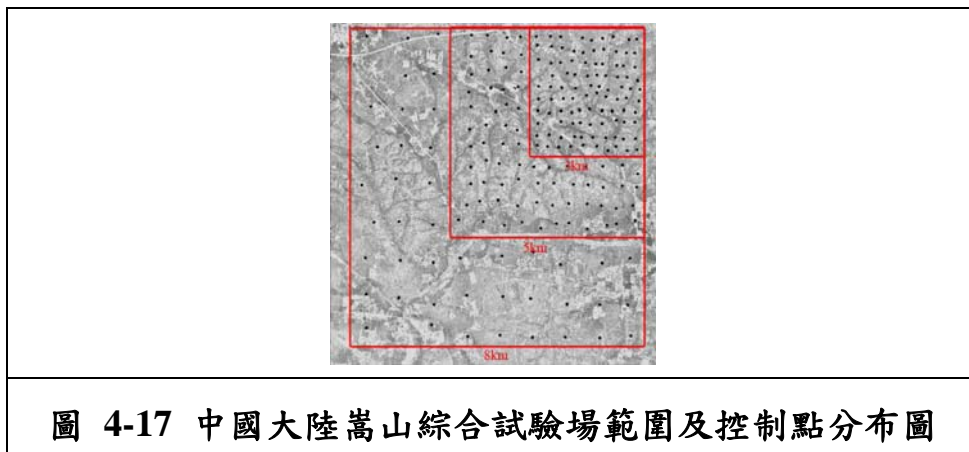


圖 4-17 中國大陸嵩山綜合試驗場範圍及控制點分布圖

此外，日本的攝影測量學會「航測驗證委員會」(航測驗證委員會，Committee of Test Field)於 2002 年 9 月籌組成立試驗場，開始使用後四年，於 2006 年 12 月~2007 年 3 月實施改正測量。該試驗場位於日本神奈川縣足柄上郡松田町附近地區。五萬分之一地形圖之圖名為「秦野」。最近火車站為「小田急線新松田駅」，車程約 15 分鐘。

試驗場之長度為 3 公里，寬度為 1.5 公里。對空標之形狀為圓形，直徑 60 公分，包括：白色圓形鐵板、塗料塗布、岩石露頭上黃色塗裝。對空標設置之數量總共 64 個，包含：鐵板 4 個、移動式 38 個、邊坡岩石塗裝 22 個。其分布如圖 4-18。

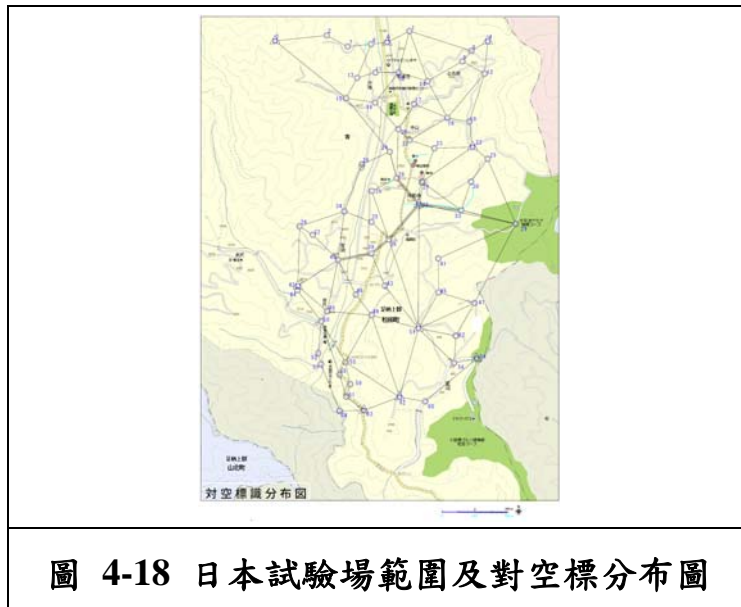


圖 4-18 日本試驗場範圍及對空標分布圖

## 七、國外空載光達率定場

國外目前尚未有正式之空載光達校正場(Calibration field)，文獻中所見的校正場大多為空載光達產品服務業者及儀器製造商為了率定出廠設備或檢驗設備是否正常而必須設置之視準率定場(Boresight calibration field) 而不是某客觀第三方面為出具設備是否合格證明而特別設置的校正場。

文獻中所見由廠商自行所建的率定場設置之規格與國內空載光達設備擁有者自設率定場相近，主要差別為國外有較

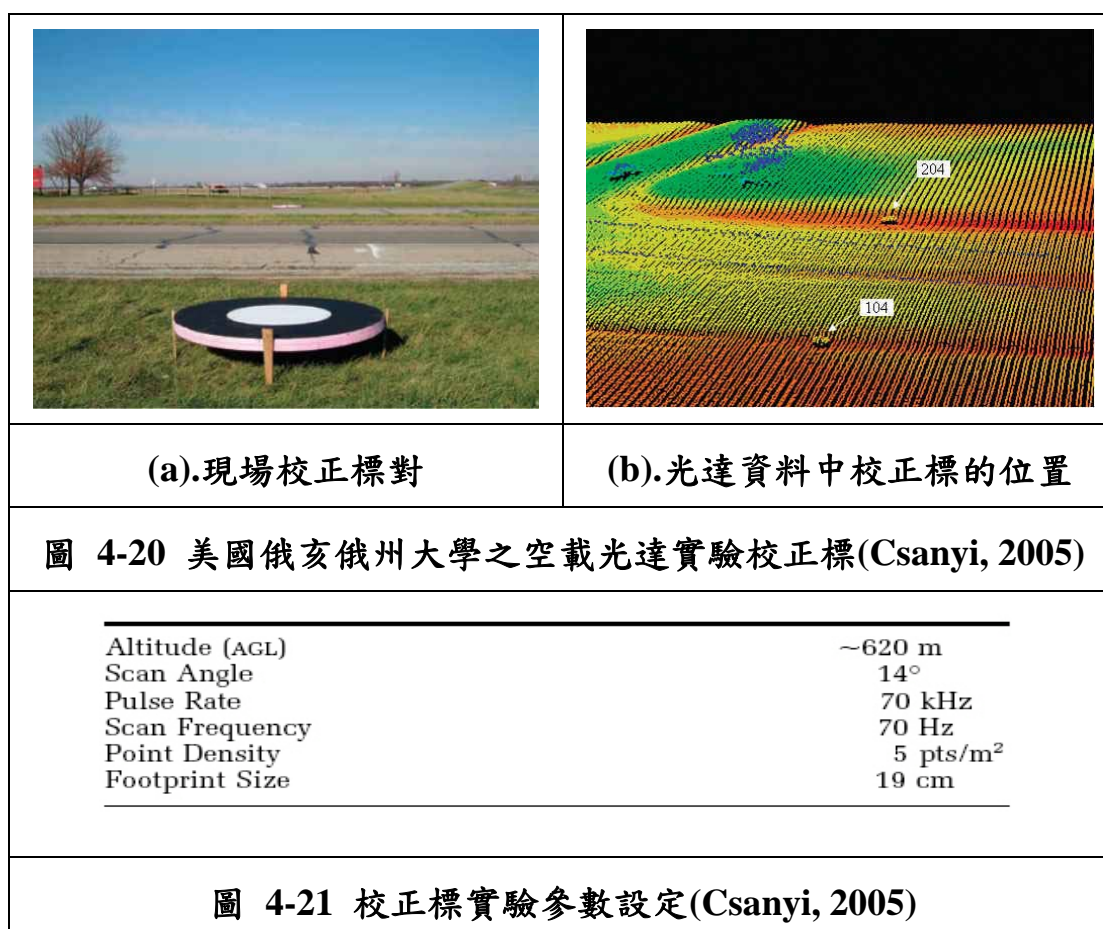
多的小型機場，其地形平坦，資料取得容易，且對低空航空管制不如我國嚴格，因此常以機場作為視準率定場。例如英國的自然環境研究中心(Natural Environment Research Council，簡稱NERC)所設置之率定場，位於英國南部之格洛斯特(Gloucester)，範圍大小約 1.5 公里x1.5 公里，如圖 4-19 所示，圖中紅線代表飛行之航線，圖上數字為率定時所需之道路實測點編號，此率定場建置目的為進行空載光達之視準率定。



圖 4-19 英國自然環境研究中心設置之空載光達率定場

由目前收集到的資料顯示，尚沒有國家為了測繪目的對空載光達實施校正。所見極少數的校正均為研究機構所做，並非國家測繪規範要求者。研究用之校正大多利用既有地形地物為校正使用並未設置額外之校正標，目前僅知美國俄亥

俄州大學於空載光達測試實驗中設計專用校正標 (LiDAR-Specific Ground Targets, 如圖 4-20), 用以調查各項數據, 如飛行參數、地面控制點的分布等。該校正標為雙同心圓, 外圓半徑 1 公尺、內圓半徑 0.5 公尺, 中心設置衛星定位儀天線, 用於標定校正標位置。校正標置於俄亥俄州的 Ashtabula 長 23 公里的道路兩邊, 對稱放置 15 對, 平均 1.6 公里放置一對校正標, 利用筆直道路, 對於空載光達進行點雲的平面與高程精度探討。此研究是利用 Optech ALTM 30/70 進行校正標平面精度之研究, 實驗參數設定如圖 4-21, 飛機距地距離 (Above Ground Level, 簡稱 AGL) 約 620 公尺、掃描角度 (Field Of View, 簡稱 FOV) 約 14 度、掃描頻率約 70Hz, 點雲密度需達  $5 \text{ pts/m}^2$ 。此篇研究報告並未提供實驗時的飛行速度, 因此利用 Leica 的飛航規劃軟體 AeroPlan 軟體, 根據實驗中飛行參數設定, 粗估飛行速度約 90~110kts(節)。



芬蘭大地測量研究所曾利用航測攝影機校正場的輻射校正標對光達輻射校正可行性做過的研究，但是沒有對光達的幾何精度進行校正。

綜合以上所蒐集國內外航遙測感應器校正作業資料，本團隊進行比較分析如表 4-9 及表 4-10。

表 4-9 各國航測攝影機校正場運作情況分析表

國名 項目	美國	德國	挪威	義大利	芬蘭	中國大陸	日本	中華民國	
提出機關/學校	USGS	Stuttgart 大學	Agricultural 大學	Pavia 大學	FGI	武漢大學	社團法人日本攝影測量學會	NSPO	AFASI
建置年代(西元年)	2000	2003	1992	1997	1994	2007	2002	2004	2006
設置位置/場址名稱	美國 SD、MO 及 CO 州	Stuttgart	Aas	Pavia	Masaala	河南省嵩山附近	神奈川縣松田町附近	馬公機場	彰化縣鹿港鎮
場地尺寸大小(公尺)	1750*2000 600*750	4800*7500	4500*6000	4500*6000	10000*10000	3000*3000 5000*5000 8000*8000	1500*3000	60*60	10000* 10000
校正項目	幾何精度、空間解析力	幾何精度	幾何精度	DG 直接地理定位、GPS/IMU	幾何精度、輻射及空間解析力	幾何精度	幾何精度	輻射校正	幾何精度
校正感應器機種	Applanix, Intergraph, Leica, Vexcel, M7 Visual Intelligence, Pictometry, GeoVantage	ADS40	DMC、UltraCamD	Applanix	DMC、UltraCamD、ADS40	ADS40、DMC、ALS50	無限制	福衛二號	ADS40、DMC

國名 項目	美國	德國	挪威	義大利	芬蘭	中國大陸	日本	中華民國	
校正比例尺/GSD	—	GSD 18·26cm	GSD10~34cm	1:5000、 1:8000、 1:18000	GSD 4~50cm	GSD 6~30cm	—	—	—
運作機制	廠商繳交成果至 USGS	未定	未定	未定	未定	尚未實際運作	僅提供場地，不負責認證	未對外營運	未對外營運
地面控制點形狀	圓形或十字形	—	—	正方形	圓形、正方形及三角形	正方形	圓形	正方形	十字形
地面控制點數量	50 個以上控制點及 25 個以上檢核點	200 個以上可供控制及檢核的地面點	51 個明確且永久性標誌	230 個人造物及 62 個自然點	44 大比例尺 12 中比例尺 23 小比例尺	214 個永久性地面控制點	64 個	—	40 多個
出具認證書/報告	是，但不做合格與否判定，僅作可達到的幾何精度等級評定	研究中	研究中	研究中	研究中	否	否	否	否
參與認證組織	否	研究中	研究中	研究中	研究中	否	否	否	否
備註	1.設置地點除上述3處，尚有2處評估中 2.採儀器擁有者和製造商認證				1.有可攜式校正標及灰度標設計	1.人造衛星綜合試驗場，範圍1000平方公里 2.標石尺寸有0.4及1.0公尺	1.鄰近有滑翔翼與飛行傘等飛行休閒遊憩區 2.控制點直徑60公分鐵板或油漆	校正場僅供衛星輻射校正用	1.校正場僅供率定或測試用 2.未特別維護

表 4-10 各國空載光達率定場分析

國名 項目	美國		加拿大	荷蘭	瑞士	芬蘭	中華民國		
提出機關/學校	美國俄亥俄州交通局		Calgary 大學	ITC	EPFL	FGI	群立科技	中興測量	自強工程顧問
提出年代(西元年)	2008	2006	2010	2008	2007	2006	2010	2007	—
儀器設備	Optech ALTM 30/70	Optech ALTM 30/70	Optech ALTM 2050	FLI- MAP400	Optech ALTM3100 , Leica ALS 50 , Riegl LMS Q240-x	Optech ALTM 3100	Leica ALS60	Optech ALTM 30/70	Riegl LMS-Q 680(i)
校正項目	roll、pitch、heading、Scale、Elevation	利用校正標進行點雲的水平與高程經度探討	利用 Simplified method 與 Quasi-rigorous method 方法進行視準率定	利用屋脊線進行精度評估	roll、pitch、heading	Intensity values	roll、pitch、heading、torsion	roll、pitch、heading、Scale、Elevation	—
場地特性	俄亥俄州麥迪遜市，筆直道路、大型倉庫與工廠和一般住宅	俄亥俄州的 Ashtabula 的 23 公里長筆直道路	Simplified method：需在平坦地形進行，Quasi-rigorous method：無地形限制	Brabant 的 Dutch national elevation model (AHN)，province of Zeeland 的高程模型，city of Enschede 的高程模型	於城市中，且具有較大的屋頂，並且具有不同方向與傾角	採用芬蘭的 Sjukulla 測試場，輻射灰度標的反射率分別為 5%、10%、20%、25%、30%、45%、50%和 70%	台中港工業區，地形平坦、有斜頂建築、裸露地	彰濱工業區，有斜頂建築、筆直道路	雲林縣西螺鎮街道



項目	國名		美國	加拿大	荷蘭	瑞士	芬蘭	中華民國		
場地大小	0.3平方公里	長度23公里的道路	—	—	Brabant：16條航帶，Zeeland：9條航帶，Enschede：15條航帶	—	—	4.75平方公里	4平方公里	—
航線	4條，兩平行兩垂直	第一次測試：2平行航線，第二次測試：2垂直航線	8條	—	Brabant：航帶寬550m，航帶重疊55m。province of Zeeland：航帶寬460m，航帶重疊100m。city of Enschede：航帶寬330m，航帶重疊100m	4條，兩平行兩垂直	3條平行航線	8條，兩航高兩平行兩垂直	4條，兩平行兩垂直	—
航高(公尺)	—	第一次測試：610，第二次測試：700	1000、2000	—	Brabant：航高1000m。province of Zeeland：航高375m。city of Enschede：航高275m	ALTM3100：550、1100，ALS 50：1000、1500，LMS Q240-x：無特別說明	200、1000、3000	1350、2300	800	—

國名 項目	美國		加拿大	荷蘭	瑞士	芬蘭	中華民國		
飛行參數	脈衝頻率： 70kHz， 掃描頻率： 50Hz， FOV：40 度，點雲 密度： 5-8pts/m <sup>2</sup>	第一次測試- 脈衝頻率： 70kHz，掃描 頻率： 70Hz， FOV：14 度， 點雲密度： 5pts/m <sup>2</sup> 。第 二次測試-脈 衝頻率：33、 50、70kHz， 掃描頻率： 36-70Hz， FOV：10 度、 20 度，點雲 密度： 5pts/m <sup>2</sup> 。	—	—	ALTM3100- 脈衝頻率為 75 KHz， FOV：44 度。ALS 50- 無特別說 明。LMS Q240-x-無特 別說明	—	—	pitch-脈衝 頻率： 71kHz，掃描 頻率：0Hz， FOV：0 度， roll-脈衝頻 率：71kHz， 掃描頻率： 20Hz， FOV：25 度，scale-脈 衝頻率： 71kHz，掃描 頻率： 50Hz， FOV：25 度， elevation-脈 衝頻率： 70kHz，掃描 頻率： 50Hz， FOV：25 度	—
備註		利用校正標 進行精度測 試		利用重疊航帶進行 屋脊線萃取					

### 4-3 需求訪談

本計畫 100 年 05 月 05 日於國土測繪中心進行採購評選會議，會中各委員們對本團隊的意見及指導，彙整並回覆如 附件一：採購評選委員審查意見回覆彙整表。

本團隊自 100 年 05 月 13 日至 100 年 06 月 03 日，參訪國土測繪中心、行政院農業委員會農林航空測量所、國家實驗研究院儀器科技研究中心、自強工程顧問有限公司、詮華國土測繪有限公司、群立科技股份有限公司、中興測量有限公司、亞新國土科技股份有限公司、台灣鷹圖股份有限公司及宏遠儀器有限公司等多家公民營擁有航遙測感應器之機構，就國內航遙測感應器種類、自我校正項目、內容及方法，目前原廠校正之方式、頻率、費用，儀器需要校正之時機，儀器使用目的及以往承辦計畫案種類，和對國內校正認證制度之看法、校正內容需求、校正機制、費用、頻率、場地位置的意見。

目前國內航遙測感應器的率定為儀器出廠時原廠自行率定，再提出率定報告書，使用者購買後原廠會協助在國內建立簡易率定場，進行自我率定，利用率定場所收集的資料，與原廠出廠時所建立的原始資料比對，若發現有差異，再送回原廠檢修，並無強制定期送回廠檢查；考量費用(每次新台幣 100~300 萬)及時間(每次約 1 個月)因素，因此國內航遙測感應器自出廠後大多未回原廠檢修。

基於以上之因素，國內航遙測感應器使用者都期望能建置校正場，便於國內使用者進行校正。但校正場的場址及大小能多加考量各種因素，以方便、安全及實用為主。校正場的使用期間能分為開放期間與非開放期間，校正場開放期間，其場地維護與設備檢測(如：地面控制點的坐標)皆須達到一定水準，非開放期間，亦能供使用者使用，惟其成果由使用者自行負責；開放時間除考量氣候因素外，儘可能與政府標案招標時間配合，訪談內容詳 附件二：國土測繪中心及業界訪談資料整理。



## 第 5 章 航遙測感應器系統校正場建置方案規劃及設計

### 5-1 航測攝影機校正場建置方案設計

傳統底片式航測攝影機出廠後需要校正的機率甚低，在業界的習慣是當某型攝影機經過某些使用者校正確認無誤後，其他使用者往往就以出廠校正報告為使用依據（稱為型別認證；Type certificate），除非遭遇碰撞或水浸等意外事件，或是使用者由空中三角測量成果中察覺有異狀，否則很少再進行校正。

但是當今使用的數位航測攝影機所用的電子設備大部分係市面上現成的元件，並非專門為航測目的而製造者，其來源非常分歧，使得一般使用者並無能力追溯其源頭品質。而其成像原理更是遠較底片式攝影機為複雜，一般使用者根本無法瞭解，只能相信生產廠商的出廠報告。但是生產廠商本身卻往往並未經任何公正的第三方面再加以認證過。有時同一廠牌的不同型號產品之間的差異也很大，不僅如此，成果影像必須經由轉換計算才得到的後果是同一廠牌的同一型產品，其內方位的參數品質有時也會完全不同。還有一點與傳統機械式攝影機不同的是數位攝影機採用的電子零件都是日新月異，幾乎沒有機會經過長時期使用測試，到底由它們組裝而成的系統隨著時間產生的衰退如何，連廠商自己都不知道，常見的情形是某型的產品出廠才二、三年，還沒有機會經過時間考驗，裡面使用的電子零件就已經被更新的產品淘汰了。因此自 2000 年起，美國航測及遙測學會即對美國政府提出建議，應該建立對數位航測攝影機建立校正的機制，經過十年的研究及階段性試驗，終於在 2010 年由美國地質調查所(美國聯邦測繪主管機構)正式提出校正運作建議。該運作機制包含很廣泛，不僅是校正而已，還包括對攝影機操作廠商的認證以及政府影像採購及驗收規範的訂定等，故統稱為「數位航空影像品質保障計畫」(USGS,

2010)。美國提出的這個計畫，僅針對影像幾何部分作校正，並未包括輻射校正。

2004 年起歐盟也開始對數位攝影機校正的問題進行研究，經過三年的研究，在 2007 年決定要建立一個歐洲普遍適用的校正及認證機制(Cramer, 2009)。初期僅以幾何校正為目標，但是在研究中發現輻射校正的需求以及困難，所以至今還在陸續針對如何進行輻射校正作研究。此外也同時針對校正場是否應參與國際認證以及參與何種認證的問題等進行研究，所以至今尚未全面正式開始實施校正運作。

依據第 4-2 節，對美國、歐盟、日本等國家相關建置計畫研究分析之結果可知美國地質調查所提出的美國聯邦「數位航空影像品質保障計畫」最為完整。要保障影像品質必須同時兼顧四個面向，那就是（1）攝影機生產廠商的調查及攝影機型別認證。（2）拍攝機構執行航拍能力及產品品質的認證。（3）有效的影像購置或拍攝規範。（4）每個航拍影像成果的檢核方法及工具開發。該計畫的特點是由攝影機生產廠商支付費用，由美國地質調查所聘請的專家們親赴攝影機生產廠商調查分析其某型攝影機生產過程及成果是否如同廠商所宣稱。一旦某型別攝影機型別經過認證後，基本上就可在美國執行航拍。美國地質調查所並不判定某型別是否合於某種精度航測之用，只認證該型攝影機是否達到如同廠商宣稱品質，亦即低品質之攝影機也可通過認證。至於經認證過的型別其個別單獨售出的攝影機是否能生產出如廠商所宣稱的品質產品，則交由航拍廠商自行利用美國地質調查所校正場去舉證。舉證的方法則是航拍業者自行前往美國地質調查所設置的校正場盡最大的努力拍攝出最好的成果提交美國地質調查所認證。提交的成果包含檢核點坐標以及正射影像。

歐盟的機制則是對個別攝影機進行校正，其作法是每一台在歐洲使用的攝影機應自行前往校正場依據規範拍攝影像，交由客觀的第三者進行量測分析後出具校正報告。某攝影機雖經校正通過後，以後是

否由合格的人員執行正確的操作以及是否能轉換出合格的成果等問題，則非校正場的責任。

日本的作法也是由攝影機擁有者自行前往日本航測學會所設的校正場拍攝，但是校正的工作是攝影機擁有者自行去做。也就是業者必須憑良心自己負所有責任，如有作假是沒有第三方面來查核的。

美國的作法在我國並不可行，第一是我國目前由於攝影機廠牌分歧，每種型別數量卻很少，不可能要求廠商支付我國專家前往攝影機生產場所進行調查認證。第二是如果舉證的責任是交給廠商自行量測及製作正射影像成果送審，而做為比對用的標準檢核點坐標及標準正射影像卻都是已知的公開資料，既然答案都是已知，很難避免廠商作假。

由於目前攝影機生產廠商大多在歐洲，所以歐洲的作法要求廠商於攝影機出廠時都自行前往歐洲的校正場拍攝也不是什麼問題。但是在我國顯然不能要求攝影機生產廠商來台申請校正。

因此本團隊經過與國土測繪中心、攝影機擁有者、執行航拍的航空公司以及國外攝影機代理商等相關單位進行訪談後提出的方案是比照美國「數位航空影像品質保障計畫」四個面向中的第二個，要求攝影機擁有者前往國家校正場拍攝。但是校正及認證則比照歐洲交由獨立的第三者來執行。如此不但對攝影機本身進行校正，也順便對拍攝者的能力進行或多或少的確認。校正場設計的結果如 附件四：航測攝影機校正場建置方案（草案）。

此方案內所設計場地尺寸及 200 個控制點數目都是假設在最理想的情況方式所設計的。以目前臺灣現有的攝影機而言，這樣的設計基本上能使廠商在受校時只要對向飛行南北向各一條及與其正交的對向東西向各一條航線，即可達到統計檢定需要的足夠可靠度。所需的時間不到 10 分鐘，無論由臺灣哪個機場起飛都可輕易在一個架次

內完成校正攝影。如果經過實地勘測，無法找到如此理想的場地的尺寸或控制點數目，則可酌予改變。

在控制點(含檢核點)數目方面，以美國地質調查所頒布的校正場設置規範為例，最少只要有 50 個控制點即可。而且可參照美國地質調查所打算對校正場進行高精度正射製作以及空載光達掃描製作數值高程模型，以正射影像的影像區塊取代傳統的布標做為檢核點，利用影像匹配的技術自動化量測檢核點上的誤差，由此使用影像區塊的方式，可以增加或替代控制點。

在場地尺寸方面，如果場地尺寸不足，則長、寬最小可以減少至一半。

如採減少控制點或縮小場地尺寸，則都必須以增加側向重疊方式(增加航線)飛行補足校正之可靠度，務使控制點最終出現在影像的各個位置的數量足夠且均勻。例如場地尺寸如果較理想的尺寸少一半，則可規定在中央航線左右各增加側向重疊為 50% 的航線，此時原來中央航線側邊沒有涵蓋到控制點的區域則恰好可以由增加的航帶的側邊補足。如果更要求增加航線側向重疊為 75% 則更可以提高每個控制點觀測到的光線數。至於到底應該設計何種航線，還待校正場實際建置完成後，依據實際遭遇到的情況，設計因應的校正飛行作業規範。

## 5-2 空載光達校正場建置方案設計

將光達安裝於航空器，整合雷射掃描儀、衛星定位儀與慣性導航系統，進行雷射掃描獲得高精度的三維坐標，目前商業用的空載光達系統其雷射脈衝每秒可獲得約 10~40 萬筆三維資料。由於空載光達是結合三個系統進行整合的測量系統，因某些參數與系統整合有關，無法在出廠前於實驗室內獲得，需進行實際掃描計算推求獲得，如視準率定。



全球已有多家廠商生產不同之空載光達掃描儀，台灣目前引進的有 Optech、Leica 及 Riegl 三個廠牌，其系統的設計原理十分類似，然而不同廠牌或不同型號的掃描儀，由於機構的設計上的不同，對於視準率定參數的率定方式與演算法也不盡相同。因此國內外空載光達的使用上，目前均為儀器製造商配合其儀器的設計與搭配的軟體，對於視準率定參數，提供率定的方法與率定場設置的規格，再由儀器使用者配合使用。

Leica 的率定方式是利用兩個不同航高與 8 條航帶針對建物與道路進行掃描。再將掃描後的資料放入 Leica 提供之率定軟體求取率定值。

Optech 進行率定時，分別針對建築物及道路率定場進行各航線之掃描飛行，利用 10 條航線與不同航高進行率定作業。再將掃描成果放入 Optech 提供之軟體求取率定值。

Riegl 進行率定時所需條件如下：1、有各方向的屋頂，2、兩平行兩垂直航線與不同航高，3、航帶重疊要大於 50%，4、點雲密度要達  $4\text{pts}/\text{m}^2$ 。再將成掃描成果放入 Riegl 提供之軟體求取率定值。

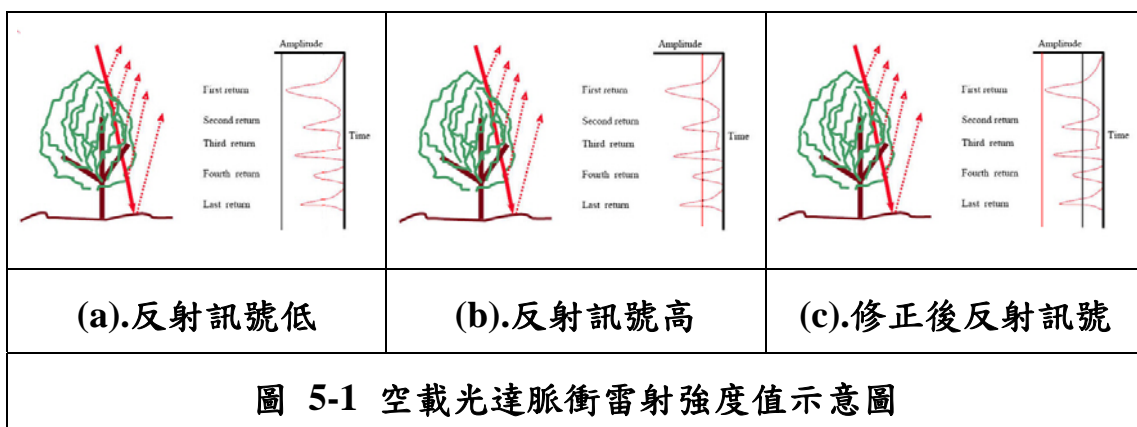
因各廠牌儀器的率定方式不一，國內外關於空載光達率定的文獻，均為各機型系統針對率定方式或演算法進行研究，其場地直接使用城市現有之建物、道路進行數據收集，與本計畫需求校正場沒有直接相關，而國際上也尚未找到已建立校正場的國家或機構，因此與建立校正場相關之文獻蒐集，僅能參考各文獻中進行率定時所使用的率定場資訊。因此本案所建立之校正場，不進行視準率定的參數改正，而是針對空載光達在完成視準率定後，對其掃描的點雲(Point cloud)成果進行平面與高程精度的比較。

由於全波形空載光達只是記錄雷射波與地表截面的反射波形，由波形推求正確之雷射波往返地面時間，進而獲得測距。其測距原理與

坐標定位原理與一般空載光達並無太大差異。因此，本校正場亦可對全波形空載光達進行平面與高程校正。

因此本團隊經過與國土測繪中心、空載光達服務業者、航空公司等相關單位進行訪談後，了解國內業界空載光達實際作業的參數設定與率定方式，進而設計接近實際作業飛行參數。一般國內在進行空載光達作業時掃描角度設定為 40 度，飛機距地距離為 1200 公尺，則地面上掃描的寬度為 900 公尺。另外，為避免單一航線掃描時，發生點雲分布不均，使得校正上造成誤差，需有兩個航線進行垂直交叉飛行。

空載光達的雷射掃描系統在進行雷射測距時，是利用返回波的峰值及強度值(Intensity)求取脈衝雷射往返地表與接收儀的時間，當接收器接收到的反射訊號強度偏低或偏高時，如圖 5-1(a)、圖 5-1(b)，反射訊號低於黑線或高於紅線，儀器會自動加入乘常數(Gain)與加常數(Offset)的機制進行訊號強度放大與縮小，以提高測距的靈敏度，如圖 5-1(c)，乘常數與加常數將反射訊號修正至介於紅、黑兩線之間。因此空載光達點雲所記錄的強度值通常並非原始數值，而各廠牌各機種儀器屬於商業機密範疇不易取得，所設定的強度值調整範圍與頻率也不一致，再加上文獻中提到強度值受大氣穿透率等非儀器因素之影響，因此進行空載光達強度值的校正較易引起爭議。



再者「Calibration」這個詞代表太多的意思，因此可以查到很多文獻，但內涵卻不一定相同。本計畫的中文名詞定義如下：

率定：計算系統誤差值，並加以改正。例如：視準率定是根據坐標的誤差值，計算方位角(Heading)、傾角(roll)、仰角(Pitch)的系統誤差值後，再加以改正。

校正：找出相對或絕對的系統誤差與隨機誤差，提供使用者的精度參考。例如本計畫設置校正場後，可根據掃描後的點雲，計算水平與高程方向坐標的系統誤差值與隨機誤差值。告訴使用者這部儀器在水平與高程方向的精度。

而文獻「Calibration of the Optech Altm 3100 Laser Scanner Intensity Data Using Brightness Targets」是說明 LiDAR 的強度值，可以透過下列項目的計算，使不同狀況下的強度值可以較為接近。因此這裡的「Calibration」暫時用"改正"來表示。

- (1) 距離(Range)
- (2) 入射角(Incidence angle) (Both BRDF and range correction)
- (3) 大氣穿透率(Atmospheric transmittance)
- (4) 雷射衰減(Attenuation)
- (5) 雷射功率(Transmitted power)

本計畫的目的是"校正"，是要告訴使用者某台儀器的偏差量是多少，這在水平及高程方向用坐標值來說明是很明確。目前除少數學術研究外，國際上還沒有建立輻射值校正機制之例，主要是因為若強度值要校正，則要依據何種基準，說明幅射的相對或絕對偏差量是多少？且因強度值在有自動乘常數控制(Auto Gain Control, 簡稱 AGC)的狀態下，已非原始之輻射值，如要校正勢必要原製造廠商提供目前格式中一般沒有提供的資料，這點目前不易做到。所以本計畫亦不進行強度值校正。

為獲得較佳的校正結果，校正場的設計，需針對誤差容易出現的地方進行規格設計。校正場設計的結果如 附件五：空載光達校正場建置方案（草案）。

## 5-3 校正作業場址綜合評量分析

目前國內各類型航遙測感應器於原廠出廠時，原廠均在實驗室內進行率定校正，並提出出廠率定報告書，因此，本計畫並不考慮建置室內校正場，僅為室外校正場之規劃設計，但實驗室內環境皆為可控制，不若室外環境變化之複雜。

雖然室外校正場變化較為複雜，但本團隊還是就建置場址所需考量之因素進行全面評估。其中有關影響航測攝影機校正場址選擇之評估因素，依優先順序排列：飛行方便性(飛航管制、起降機場距離)、控制點測量及維護(交通狀況、門禁)、場地尺寸及形狀(場地使用、土地使用權)、與全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System，簡稱GNSS)永久追蹤站的距離、地形起伏(至少起伏 100 公尺)、天候(雲霧遮蔽日數、氣象站距離)等，詳細條件內容如 附件八：航測攝影機系統校正場綜合考量分析因素表。而有關影響空載光達校正場址選擇之評估因素，依優先順序排列：飛行方便性(飛航管制、起降機場距離)、控制點測量及維護(交通狀況、門禁)、場地尺寸與現有之特徵物(場地使用、土地使用權)、與全球導航衛星系統永久追蹤站的距離、地形起伏、天候(每月平均日照時數、氣象站距離)、校正標等，詳細條件內容如 附件九：空載光達系統校正場綜合考量分析因素表。

另外就各場址所在地之地理及氣象特性再進一步分析如下：

新竹區：

新竹科學園區地區(包含國立交通大學校區)：位於新竹市區，高程在 59~130 公尺之間，其地形剖面圖如 圖 5-3，各剖面位置分別為 圖 5-2 中 A1-A2、B1-B2、C1-C2 線段所在位置，圖中黃色與紅色框分別為航測與空載光達校正場之範圍，此區域中，以國立交通大學校區地形起伏較為平緩。由相距 6 公里的新竹氣象站氣象資料可知(如 表 5-1)，1992~2010 年每月平均雲量除 9 月與 10 月為 5，其餘都大於 6(氣象學上將天空劃分為 10 等分，以人工觀測天空總雲量佔全天

空幾等分，以該等分數為雲量之數值)。2010 年每月平均日照時數約 150 小時，每月平均降雨日數為 11 日。最近之全球定位系統連續追蹤站為 TNML，相距 6 公里。無飛航管制。

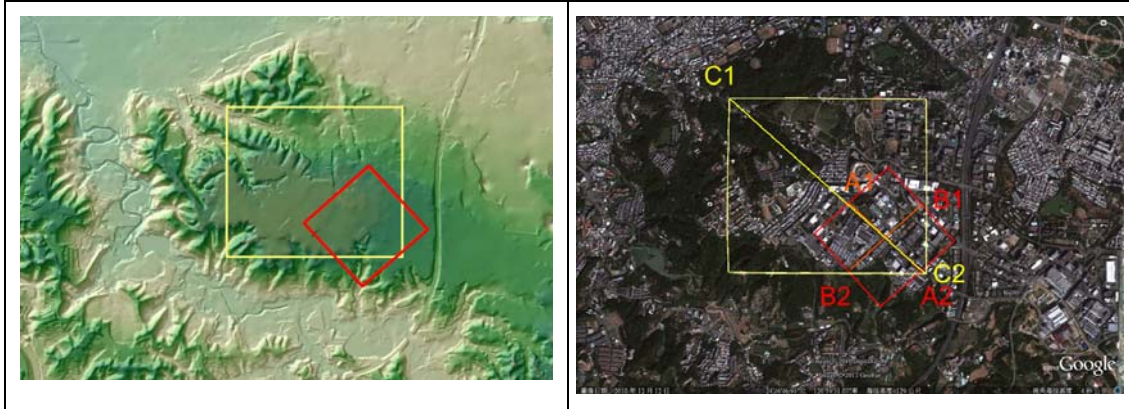


圖 5-2 新竹區校正場址地形(左)與影像圖(右)

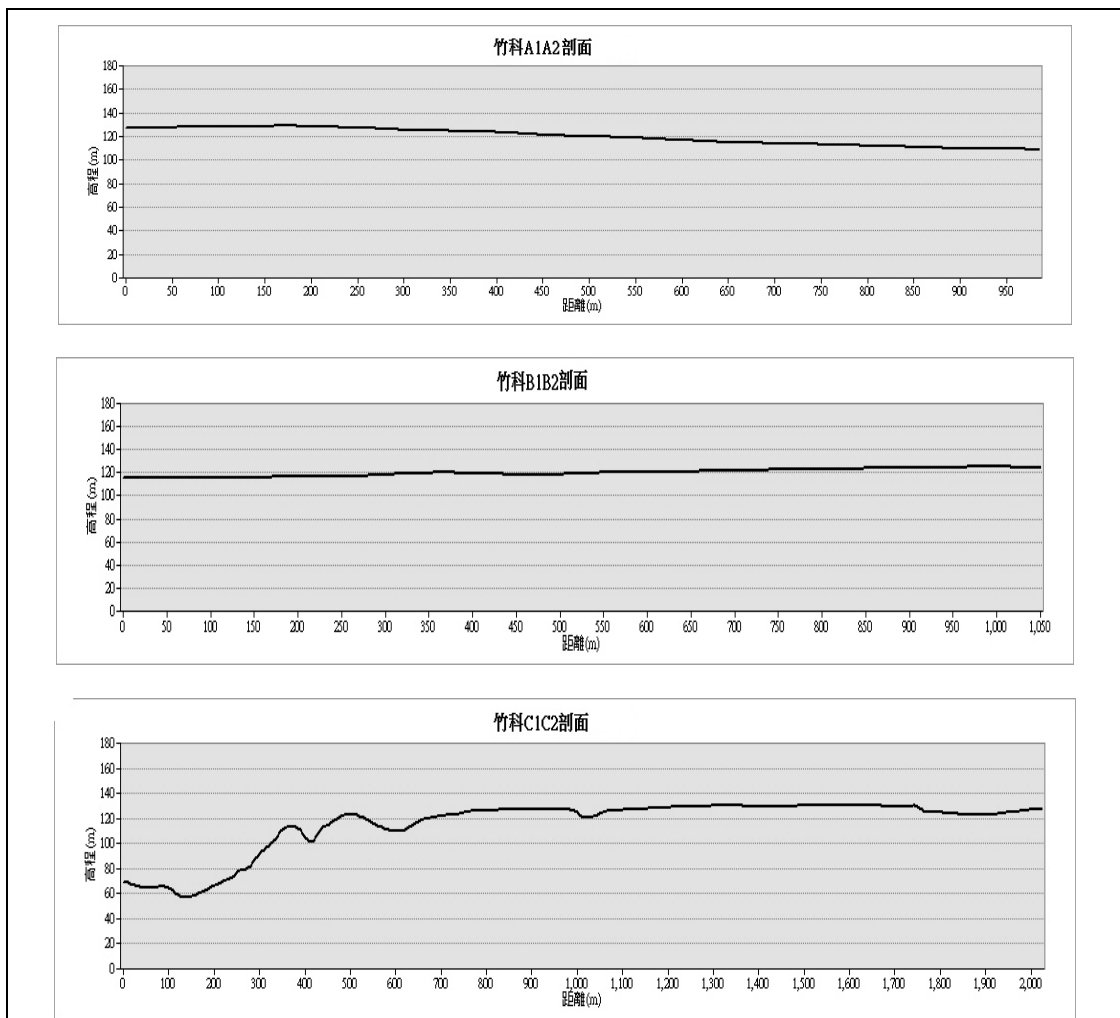


圖 5-3 新竹區地形剖面圖

表 5-1 新竹氣象站氣象資料

	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	平均	統計期間
雲量	7	7	8	8	7	7	6	6	5	5	6	6	6	1992-2010
日照時數	121	75	131	84	136	118	250	240	207	130	132	177	150	2010
降雨日數	11	15	7	18	13	15	6	9	10	11	9	6	11	2010

彰化區：

彰濱工業區：位於彰化縣鹿港鎮邊緣上，剖面位置分別為圖 5-4 中 A1-A2 與 B1-B2 線段所在位置，高程變化不大，高程介於 4~5 公尺，其地形剖面圖如圖 5-5。由相距 27 公里之梧棲氣象站之氣象資料可知(如表 5-2)，2010 年整年每月平均日照 171 小時，10、11、12 月降雨天數少，雲量低，日照時數高。最近之全球定位系統連續追蹤站為 VR01，相距 12 公里。

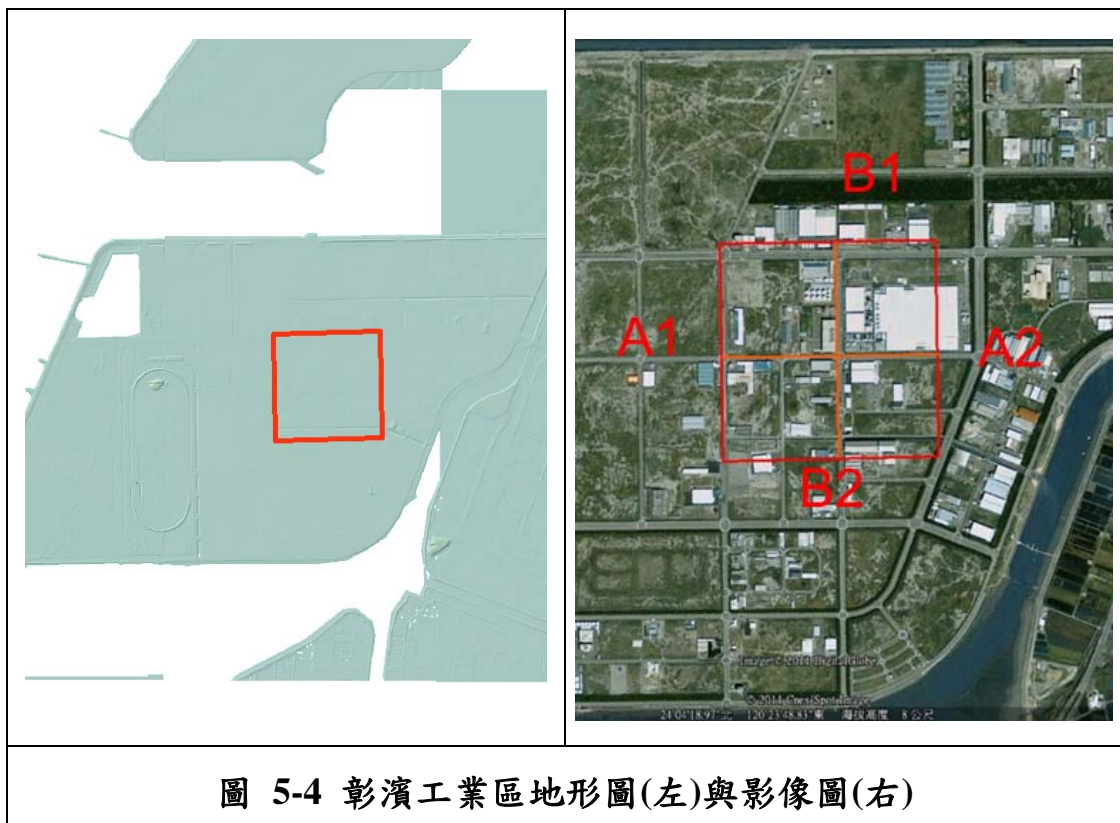


圖 5-4 彰濱工業區地形圖(左)與影像圖(右)

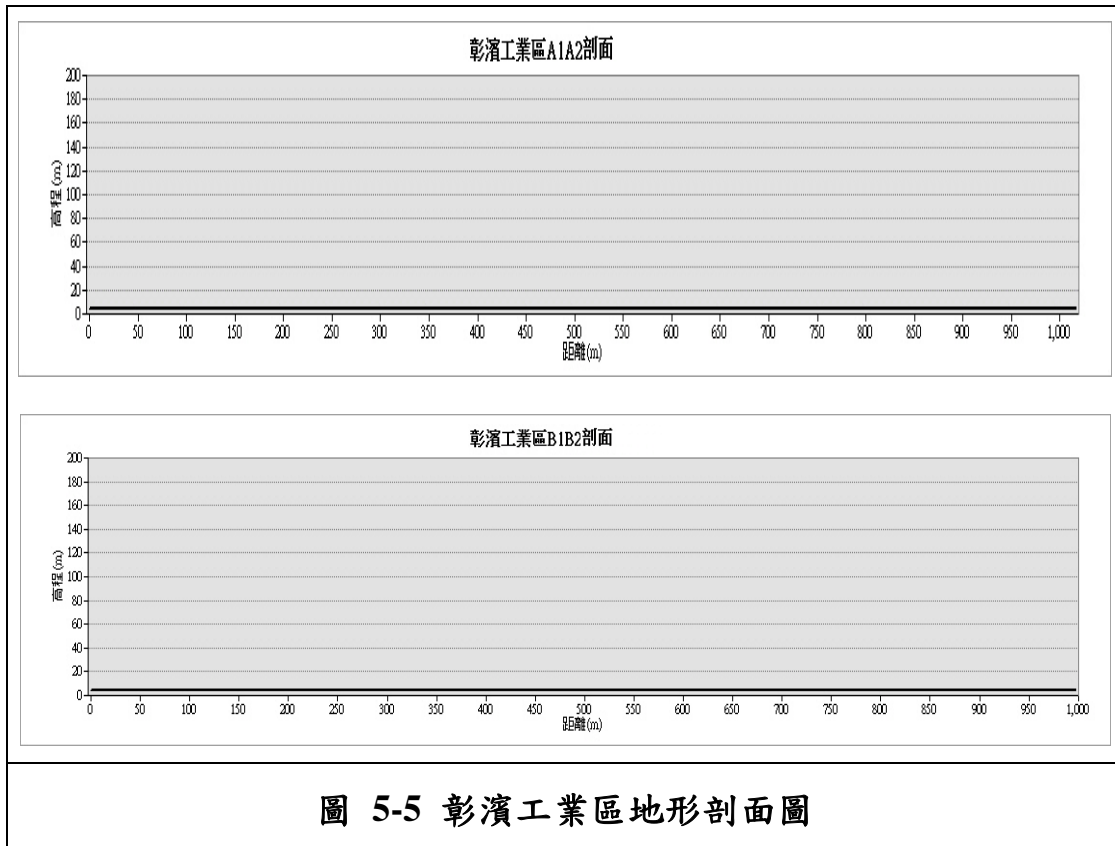


表 5-2 梧棲氣象站氣象資料

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均	統計期間
雲量	6	7	7	7	7	7	5	6	5	4	5	5	6	1981-2010
日照時數	133	105	169	121	154	132	242	229	208	184	165	215	171	2010
降雨日數	9	12	3	13	11	17	6	9	13	4	6	2	9	2010

南投區：

南崗工業區南崗工業區位於南投市，高程在 95~275 公尺之間，其地形剖面圖如圖 5-7，各剖面位置分別為圖 5-6 中A1-A2、B1-B2與C1-C2 線段所在位置，圖中黃色與紅色框分別為航測與空載光達校正場之範圍。由相距 26 公里的日月潭氣象站氣象資料可知(如表 5-3)，1992~2010 年每月平均雲量除 12 月為 5，其餘都大於 6。2010

年每月平均日照時數約 132 小時，每月平均降雨日數為 13 日。最近之全球定位系統連續追蹤站為CAOT，相距 6 公里。無飛航管制。

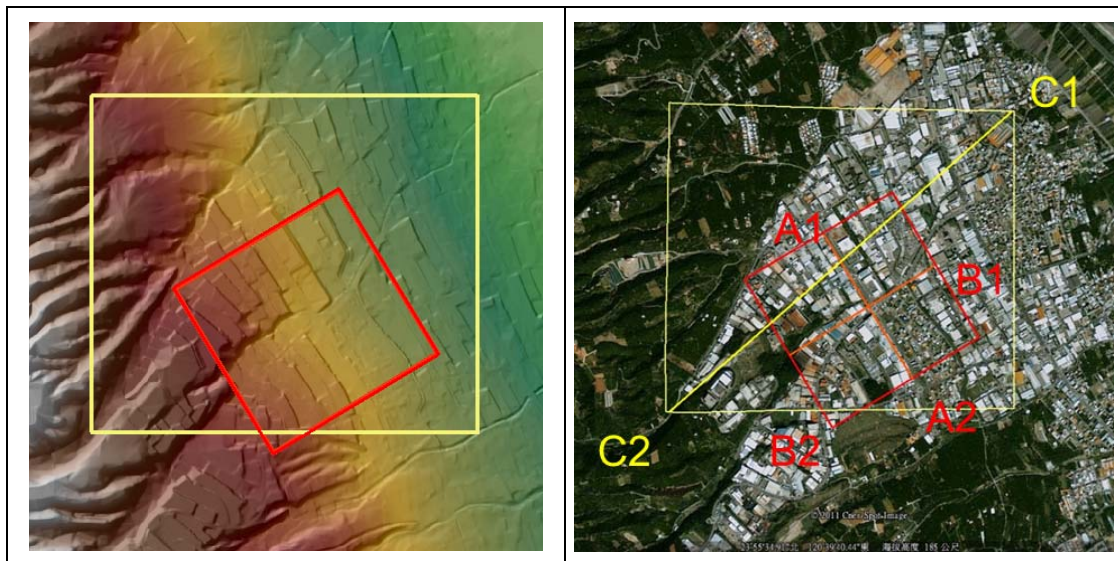


圖 5-6 南投區地形圖(左)與影像圖(右)

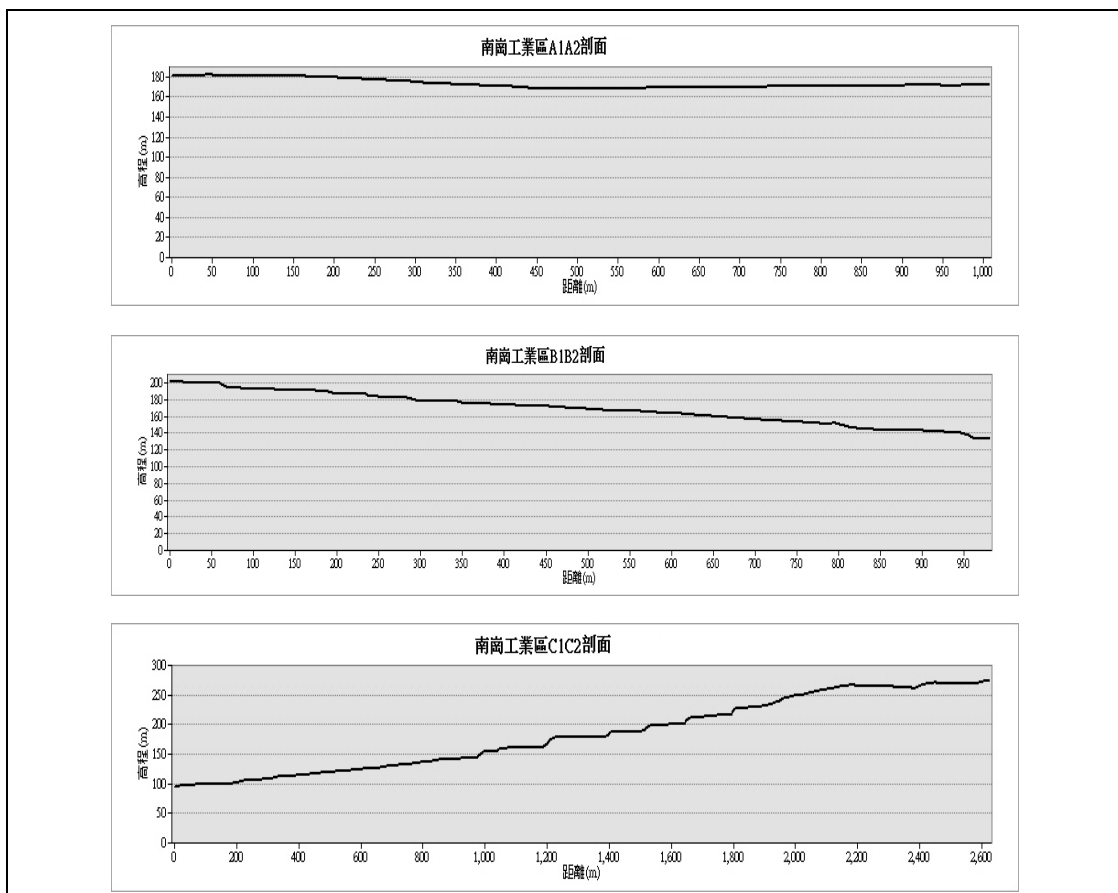


圖 5-7 南投區地形剖面圖



表 5-3 日月潭氣象站氣象資料

	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	平均	統計期間
雲量	6	6	7	8	8	8	7	8	7	6	6	5	6	1981-2010
日照時數	155	134	157	100	118	70	141	138	121	120	165	168	132	2010
降雨日數	9	13	7	18	14	21	19	20	14	5	6	5	13	2010

## 5-4 航測攝影機校正場址建議

本團隊於 100 年 07 月 15 日在國土測繪中心舉辦校正場選擇評估因素專家學者研商會議，共 30 多位專家學者與會，會中就第 5-3 節校正作業場址綜合評量分析所提出考量因素進行討論，並提出多處場址建議，其詳細內容如 附件十：校正場選擇評估因素專家學者研商會議紀錄及意見回覆彙整表。

由於考量布標位置使用權取得的便利性，故建議校正場址以設置在工業區、科學園區或學校再搭配週邊區域為原則。初步選出的場址有宜蘭縣龍德工業區、新竹市新竹科學園區、新竹縣工業技術研究院、台中市台中港區、台中市鐵砧山、台中市大坑、彰化縣彰濱工業區、彰化縣鹿港鎮、南投縣南崗工業區及台北市國立政治大學校區周邊等。

依據校正場選擇評估因素專家學者研商會議之結論，航測攝影機系統與空載光達系統校正場，應優先考慮設置於同一位置為原則，以利管理維護作業，因此為避免重複論述，本節僅論及航測攝影機校正場之差異性，各場址內之地理及氣象特性詳述於第 5-3 節校正作業場址綜合評量分析中。

就飛航方便性而言，鐵砧山為航道區，不適建置校正場。就交通而言，建議場址的交通都非常方便。就土地使用權，台中港區、鐵砧

山、大坑及鹿港不易取得。就與全球導航衛星系統永久追蹤站的距離而言，新竹科學園區(1 公里)為最近，其次為南崗工業區(6 公里)、工業技術研究院(6 公里)、台中港區(6 公里)。就地形高差而言，南崗工業區(高差 180 公尺)為第 1，鐵砧山(高差 134 公尺)為第 2，新竹科學園區(高差 71 公尺)為第 3。就天候因素，台中氣候較佳，台灣北部尤其是新竹區，冬天風力強、氣流不穩，航線不易精準控制，不適合航拍。就空氣品質因素，校正場選擇評估因素專家學者會議會中學者意見表示考量大氣輻射校正，外島或離島環境較佳，但交通不便，台灣本島以南投市南崗工業區環境為最佳。經過考量專家會議結論以及與國土測繪中心研商結果，最後提出以南投市南崗工業區為優先建議場址。

## 5-5 空載光達校正場址建議

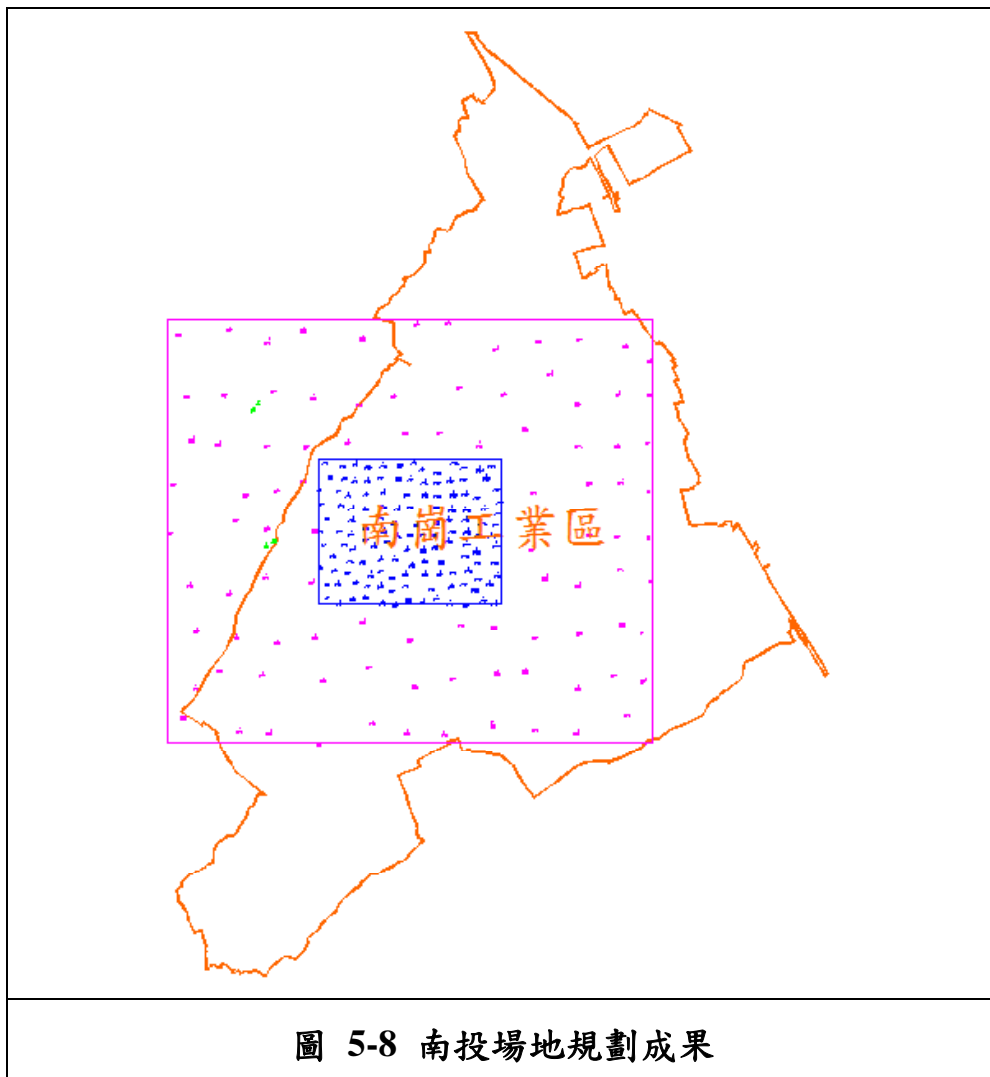
根據第 5-3 節 校正作業場址綜合評量分析，台中市的台中港、鐵砧山與彰化縣鹿港鎮因場地使用與土地使用權不易取得，因而不易布設校正標，故不建議使用。另外，宜蘭縣龍德工業區，因位於東部，使用上容易造成不便。

優先考慮場址維護與管理的方便，建議空載光達校正場與航測攝影機校正場一起設置。且空載光達校正場設置條件相較於航測攝影機校正場是較為寬鬆，空載光達進行平面與高程校正時，需有長約 1 公里之筆直道路、斜頂屋頂與可供設置校正標之平面，允許有和緩的地形起伏。故由上述分析，新竹區的新竹科學園區、彰化區的彰濱工業區與南投區的南崗工業區皆可做為空載光達之校正場。考慮與航測攝影機校正場一起設置，則建議新竹區的新竹科學園區或南投區的南崗工業區為校正場場址。如果考量與航測攝影機校正場址同址，則建議以南投市南崗工業區為優先。

## 5-6 南投市南崗工業區場地規劃結果

依據校正場選擇評估因素專家學者會議會中結論，先行對南投地區場地進行規劃，以南崗工業區的範圍為優先考量，規劃設計長邊 2,000 公尺，短邊 1,750 公尺之場地。場地內劃分一小的矩形校正場供低空飛行之校正用，其邊長分別為 750 公尺及 600 公尺。

本團隊利用航測立體影像資料，並依據 附件四：航測攝影機校正場建置方案（草案）中點位布設方式，於全場地內選擇布設 219 個地面幾何控制點，其點位分布如 圖 5-8 所示。小範圍內部布設 130 點(藍色點)，小範圍外部至大範圍界線內布設 89 點(粉紅色點)，另規劃兩處置放輻射校正標及西門子星校正標(綠色點)。



地面控制點選擇完成後，國土測繪中心原希望召開校正作業場址所有權人說明會議，但是考量各業主出席意願可能不高，再加上要於短時間內協調出 80 多個單位的所有權人之大多數有相同時間可以會合在一起聆聽說明的困難度，而未辦理。

本團隊遂於 100 年 10 月 12 日先行電話抽樣訪談，徵詢所有權人意見，部分單位因主管人員無法聯繫，僅有 3 個單位獲得回應，但因多種因素，不便提供場地，因而婉拒設置校正標。

為了協助國土測繪中心完成校正作業場址之設置，本團隊於 100 年 10 月 18 日及 100 年 10 月 19 日兩日再度派遣人員，攜帶各點位正射影像、全區點位布設圖及相關證明文件，先至南投縣南崗工業區服務中心拜訪該中心服務組劉組長。劉組長表示工業區支持國家政策，請國土測繪中心正式行文各欲布設校正標的公司，並告知南崗工業區服務中心，若遇執行有困難的公司，再由工業區服務中心派人陪同前往該公司解說，徵得所有權人同意。

會後並至南投縣政府、南投市公所及抽樣 24 家工業區內私人廠商進行現場訪談，徵詢所有權人意見。其中公務部門皆無特殊意見，表示由國土測繪中心發出公文給該單位，基本上不要有破壞行為(如：砍伐樹木、挖掘路面)，該單位皆會支持。

部分私人公司行號有多種考量因素，如：屬甲種營業場所、公司商業機密、公司精密製程不容干擾、校正標設置時間過久、屋頂施工考慮公共安全等，婉拒設置校正標，但若由國土測繪中心發給該單位公文，可以再行考慮商權。

部分私人公司行號有條件式允諾設置校正標，如：協助校正標周遭環境美化，避免校正標與公司原有景觀衝突，產生景觀不協調；此外，國土測繪中心於設置前能正式發文告知。

土地所有權人為個人者(非公司團體)，本團隊再於 100 年 11 月 11 日派人前往訪查意願，但因個人因素(如：土地要蓋建物、作業時須進出個人住所)，婉拒設置校正標。

由以上各項訪查，若無國土測繪中心發給該各單位公文，統計所有權人同意設置校正標意願者甚少，詳如表 5-4。

表 5-4 土地所有權人設置校正標意願訪查統計表

次序	所有權人	訪查日期	訪查方式	訪查數量	同意數量	不同意數量	意願未定數量	備註
1	公司行號	100.10.12.	電話	3	0	3	0	
2	公司行號	100.10.18.	現場	12	1	2	9	
3	公務機關	100.10.18.	現場	2	2	0	0	
4	公司行號	100.10.19.	現場	12	0	1	11	
5	公務機關	100.10.19.	現場	1	1	0	0	
6	私人	100.11.11.	現場	16	0	16	0	
7	公務機關	100.11.11.	電話	1	1	0	0	

考量於私人所有權人均不同意於其土地上設置校正標，為利於後續作業(101 年度工作規劃)，於布標設置條件容許情況之下，移動校正標的原有位置至鄰近公有地上(如：道路、公園)。本團隊並協助國土測繪中心製作點位布設說明表，由國土測繪中心發文所有權人請其同意提供土地布設校正標。

經過此次實際訪談，發現要在私人土地上布設控制點並油漆校正標困難度很高。一種解決方案是布標在道路上，其缺點是維護不易。另一種解決方案是參照美國地質調查所未來打算以正射影像建置影像控制區塊做為校正點的方式（參考附件十四：Sioux Falls Range 測試場簡介），以高精度及高解析度的航空攝影測量取得大量的自然地物點取代人工布標、測量的控制點做為校正點。第二種方式是美國未來計畫採用的方式，顯然有其理由。建議可於後續計畫中研究採用。

## 第6章 其他航遙測感應器系統校正場整體建置規劃及可行性評估

### 6-1 衛星影像校正場整體建置規劃及可行性評估

衛星影像種類繁多，此處所稱之衛星影像僅指具有測繪應用潛力之光學影像。目前最常見者均為線列推帚掃描式之光學影像，例如福衛二號、QuickBird、WorldView 等。由文獻上所見之校正項目包含幾何精度、幾何解析力及光譜反應值校正等，與航測攝影機校正項目類似，祇是其像元涵蓋地面尺寸較航測影像大，因此各類校正標的尺寸亦需依比例放大，在布標及選址上將更形困難，可行性亦需進一步研究。

#### 整體規劃建置

- 一、幾何精度驗證所需之點位，須有廣域之設置，故不適合於單一校正場之設計，而點位標誌尺寸之選取，亦與標的影像之空間解析度相關。因此，目前建議以國內自有衛星之高空間解析度光學感應器進行規劃，並盡可能分布均勻，且擴展到最大區域，涵蓋全台灣及離島。

以福衛二號為例，設置的標形可以使用如圖 6-1 之形式，以達多重解析度之功能。

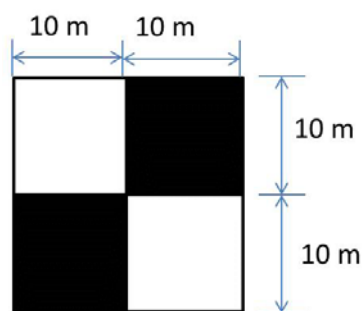


圖 6-1 衛星影像校正幾何標之形式

二、幾何解析力之檢定，由於衛星影像地元尺寸較大，不便以西門子星來校正其解析力，建議比照圖 6-1 標形設計解析力校正標，以量測計算邊散函數(Edge Spread Function，簡稱ESF)方式反推調制轉換函數(Modulation Transfer Function，簡稱MTF)校正其解析力。只是解析力校正標的尺寸要較幾何精度校正標為大，每個邊長建議要在 15 個地元尺寸以上，以避免黑白邊緣處的摺積(Convolution)效應影響到中央均調區部分強度值量測的正確性，如果還要考慮到校正衛星影像側視時的解析力，則還要加上地元放大的效應來設計標的尺寸。

三、由於用於測繪或製作正射用的衛星影像一般並不需要做嚴密大氣修正，而是逕以廠商所提供僅做過基本內部輻射改正以及幾何改正後的影像進行立體量測或製作正射，所以本項校正僅指直接在購置得到的影像內量測校正標上的相對輻射強度比值是否與校正標實際比值相符。而所謂相符指的是其偏差在一定的限度內，此限度尚待另外以實際影像測試後訂定之。

### 可行性評估

目前國家太空中心為福衛二號光學影像設計有布設人工標及自然物之控制點資料庫，可以作為本項工作使用與參考。目前作為幾何精度檢核用之布標點標形主要採十字標形(請參考附件六：太空中心遙測影像地面控制點資料庫介紹)。

如果國家太空中心的校正機制經研究已可滿足國土測繪法對於測繪用影像校正的需求，則建議逕行採用該中心的校正標，並嘗試與其合作維護。

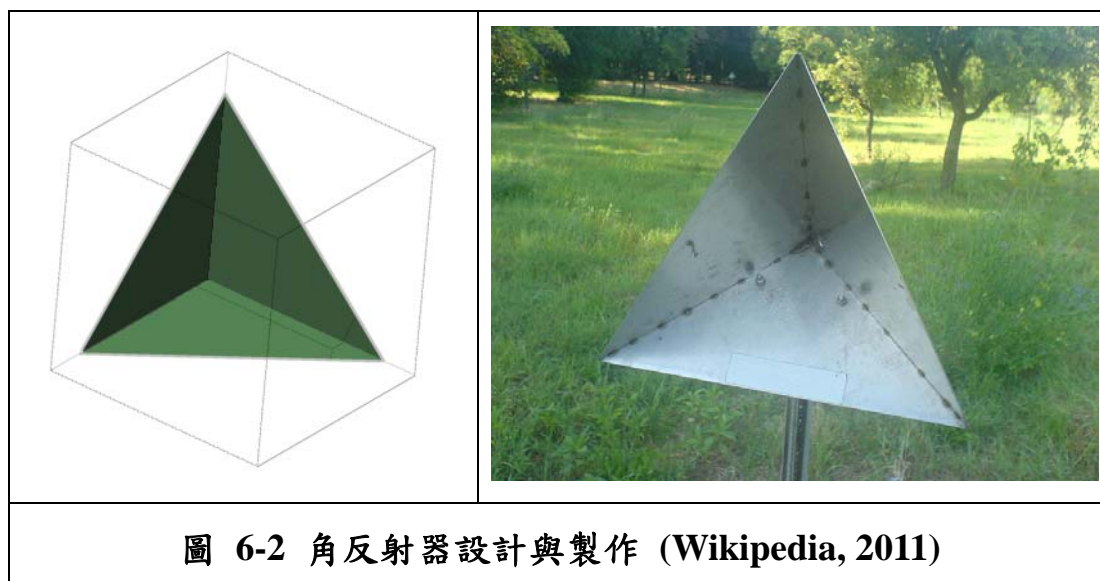


## 6-2 SAR校正場整體建置規劃及可行性評估

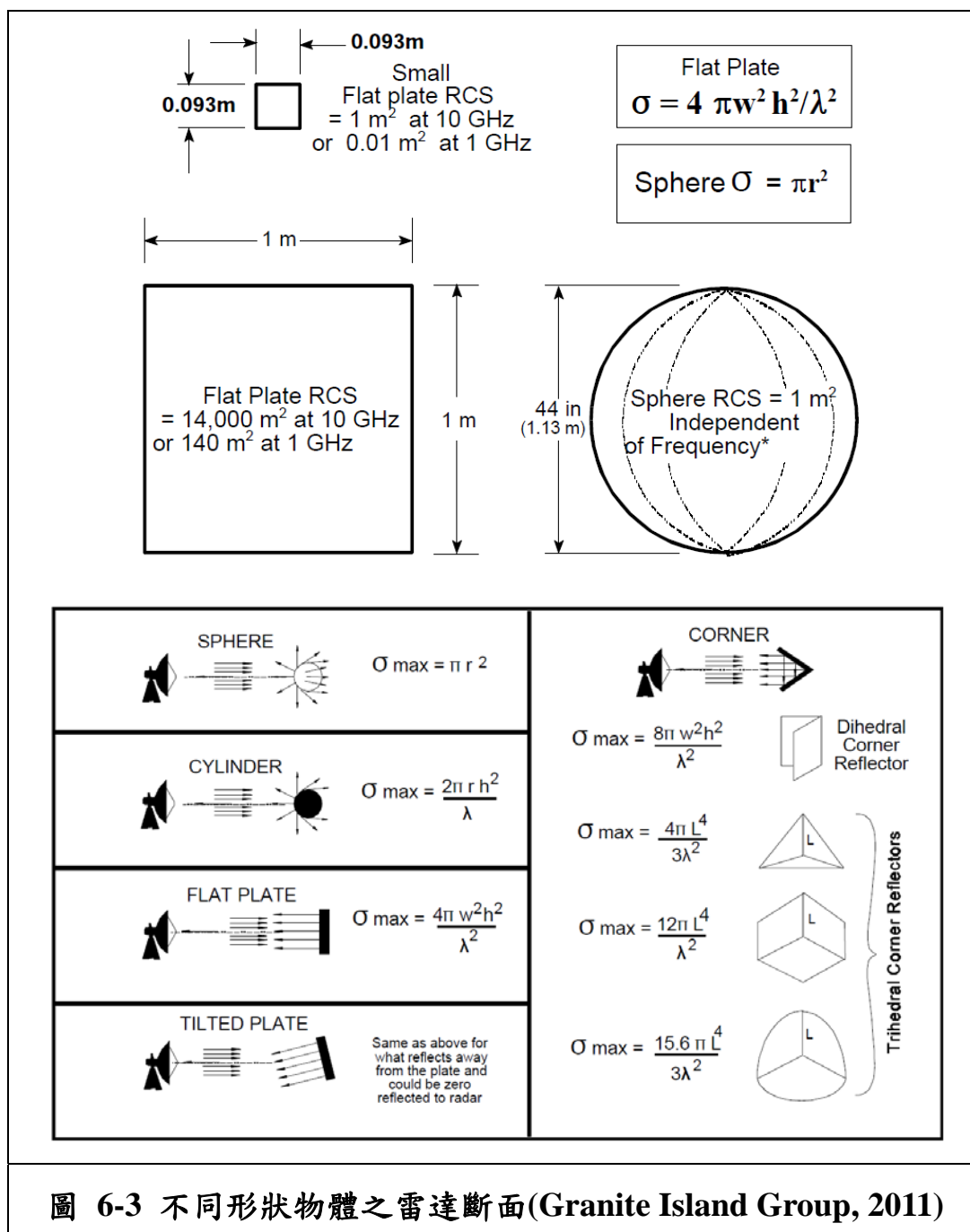
本項規劃係針對合成孔徑雷達影像，項目包含幾何精度、及輻射值校正。

### 整體規劃建置

合成孔徑雷達影像地面校正場多以設置角反射器(Corner reflector)做為校正標。其形狀如圖 6-2。



- 一、幾何精度驗證，以由影像求取角反射器坐標後，與地面實測值比對進行。
- 二、輻射值之檢定，亦可由角反射器在影像上之雷達斷面(Radar Cross Section, 簡稱RCS)提供資訊。所謂雷達斷面指的是該物體對某雷達波長而言，反射時所顯示的斷面大小。此大小與該物體的三維空間形狀有關，同樣實體尺寸的物體，如果形狀不同，對雷達波而言，其斷面並不一樣。圖 6-3 所示即為一些不同形狀的物體對雷達波所顯示的斷面大小。



### 可行性評估

合成孔徑雷達之檢校，目前仍為相關領域之研討熱門議題。每年均有相關學術會議，如CEOS SAR Calibration & Validation Workshop。由圖 6-3 中公式可見，校正目標物雷達斷面之大小與雷達波長相關。本規劃僅提供初步概念性參考，實際規劃時建議應另行召集專家學者會議，確定依據測繪需求應該有的校正目標後，再做更詳細的規劃。

## 6-3 非量測型攝影機及 UAV 系統校正場整體建置規劃及可行性評估

就測繪立場來看，非量測型數位攝影機與航測專用數位攝影機的差異主要有以下幾點：

### 一、內方位的穩定性不同：

航測攝影機之內方位係經過精密率定而且保持穩定，基本上經過測試，證明其不受高空環境低溫、氣壓、濕度等急遽變化而有顯著的變化。而非量測型攝影機之內方位一般是未知而且並不固定，即使經過事後率定，一般也未經過證明其在日後使用時，在不同的溫度、氣壓、濕度等環境下仍然保持不變。尤其是非量測型攝影機大多具有自動調焦或變焦裝置，除非特別對此功能加以排除，否則即使對其實施率定亦毫無意義。

### 二、幾何精度不同：

航測攝影機的像元幾何精度均經過實驗室率定以及校正場空中三角測量驗證過，並附有率定報告，說明幾何精度的檢定結果數據。而非量測型攝影機生產原廠並不作此方面的率定及檢核。

### 三、像幅及焦距尺寸不同：

航測數位攝影機像幅尺寸目前都在 10000\*10000 像元以上(一億像元以上)，以便獲取足夠的涵蓋以及足夠的基高比(B/H)，得到足夠的立體測量精度。而非量測攝影機像幅一般較小，即使目前較高端者，其像元數也不過僅在約二千萬元之譜。要獲得足夠的基高比較困難。

### 四、彩色成像原理不同：

航測數位攝影機的彩色(包含近紅外光)部分,是由多鏡頭同步拍攝的多譜影像融合至高解析力的全色態影像而成。而非量測型攝影機的彩色影像大多採用貝氏過濾(Bayer's filter)原理內插而得。因此航測攝影機所拍攝得到的全色態影像各像元顯示的為真實解析力,而非量測攝影機則沒有全色態影像,而是直接拍攝彩色影像。但是由於彩色影像的每個像元採用貝氏過濾原因,涵蓋的波譜並不完整,原始的一個像元只有紅、藍、綠其中的一個波段,其餘二個是經由內插而得,亦即其色彩解析力是遠低於像元數的數字所顯示的。此外,航測攝影機各波段是獨立拍攝,所以可以使用延遲積分(Time Delayed Integration, 簡稱 TDI)技術做前移補償,而非量測攝影機三個彩色波段同在一片 CCD 上,則無法使用延遲積分技術,因此拍攝時對於光線強度以及曝光時間的需求較航測攝影機為嚴格。

### 整體規劃建置

如果經過某些特殊處理後,使得非量測型攝影機的內方位穩定,而且內方位也經過率定已知,則在不考慮基高比及色彩偏移等條件下,原則上非量測型攝影機也可以用於航空攝影測量。

可是如果非量測型攝影機用於航空攝影測量時,使用的載體並不是配備有航測專用導航設備並且由人駕駛的固定翼飛機,而是安裝於無人駕駛(遙控)的飛行器上,則又會產生重疊率及航傾角與航偏角是否合規範的問題。因為一般航測規範內除了對於攝影機本身品質進行規範外,為了維持立體測量的精度,還會對航帶內的前後重疊率、航帶間的側向重疊率、影像的航偏角及傾斜角等,都有嚴格的規範。而對於大部分簡易的無人駕駛飛行載具而言,很難達到此種規範的要求。

但是不論非量測攝影機及無人駕駛飛行載具的組合為何，如果廠商宣稱其非量測攝影機及無人駕駛飛行載具的組合可以符合航測規範的要求，則可以比照航測攝影機校正方式對其加以校正。其校正程序與場地可以直接引用航測校正所用的程序及場地。祇是要額外增加對於其所使用的無人駕駛飛行載具拍得的重疊率以及航偏角、航傾角進行校正。

### 可行性評估

針對非量測攝影機與無人駕駛飛行載具組合系統校正場規劃設計結果，如 附件七：非量測型攝影機及UAV系統校正場整體建置規劃及可行性評估。



# 第 7 章 航測攝影機校正標及維護方式規劃設計

依據 附件四：航測攝影機校正場建置方案（草案）對於校正場規劃設計，校正場內的校正標可分為三大類：幾何校正標、空間解析力校正標及輻射校正標。

## 7-1 幾何校正標

幾何校正標校正項目為：幾何精度、直接地理定位系統精度。

幾何校正標即為一般所謂地面控制點及地面檢核點，參考中國大陸設置之校正標，並考量本校正場校正目標訂為地面解析度為 8 公分～25 公分，故採用的形狀為邊長 1 公尺的黑白相間正方形(如 圖 7-1)，正方形的中心貼上鋼標。幾何校正標之材質為合板、水泥、尼龍布(Polyvinyl Chloride，簡稱PVC)或其他合適之材質，依據選定點位的環境而定，表面塗料以油漆為主。

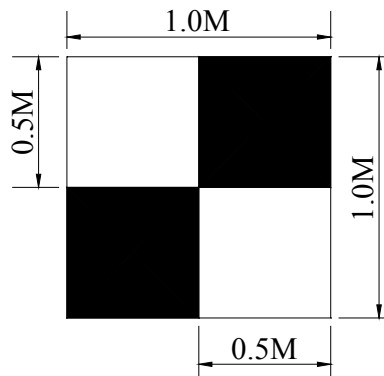


圖 7-1 幾何校正標布標型式

在理想的狀況下，校正場內布設約 200 個幾何校正標(如 圖 7-1)，以使單一像幅即可涵蓋足夠數量的校正點，將校正飛行的時間縮到最短。東西向及南北向各飛一條對向航線，在 10 分鐘之內即可完成，廠商隨後即可繼續飛往它處執行正常航拍任務。如果因為場地使用權取得困難造成尺寸及點數不如理想，則可酌予減少。此時為了

達到與減少前同樣的統計檢定可信度，必須規劃多條高側向重疊的航線，加以補強。

場內的點位應隨機並均勻分布於全校正場。以矩形校正場中心為基準的任何象限內的點數不得少於總點數的 20%。其中約一半布設於小校正場內，其餘布設於小校正場外。圖 7-2 所示理想狀況時斜線區為小校正場，其內標示的數字 30 為小校正場每象限理想的平均布設控制點數，外圍大校正場內每象限括弧中標示的數字為 20，此為不含小校正場控制點時理想的平均點數，因此大校正場每個象限內包括小校正場的點在理想狀況下至少有 50 點。

小校正場內控制點之間的距離不得小於 45 公尺，大校正場內控制點之間的距離不得小於 100 公尺。布設時應考量點位四周環境的透空度，避免幾何校正標被遮蔽或無法進行點位坐標量測，控制點及檢核點之施測精度(中誤差，即標準偏差  $1\sigma$ )應優於 2 公分。為適應可能遇到的不同校正需求，建議本場可同時採用地心坐標、經緯度地理坐標、橢球高地圖投影坐標及正高地圖投影坐標等多種坐標系統。

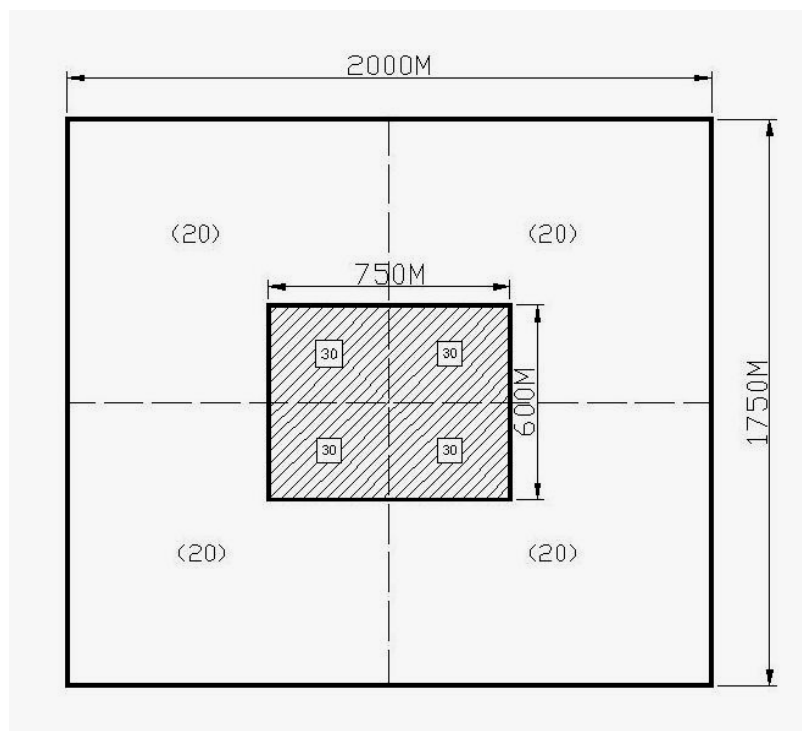


圖 7-2 校正場平面設計圖



## 7-2 空間解析力校正標

目的在校正拍攝影像的幾何解析力。

參考美國之經驗(USGS, 2008)，解析力校正標採用可攜式改良之西門子星 (Siemens star)，黑底白標，其尺寸大小如圖 7-3 所示。美國原設計者為一個星分解為四個象限，以便能檢核出平行及垂直飛行方向解析力的差異，但是由於我們設計的校正飛行採南北及東西向正交對向飛行，因此可以設計成 1/4 的星即一個象限即足夠。因為它會出現在所有不同的方向上。為了能適合 8 公分及 20 公分不同的地面解析度，所以比照美國地質調查所的方式設計了二種扇形寬度。

解析力校正標之材質本報告採用尼龍布為基底材質，其表面塗料以油漆為主，布標時選擇校正場內一處平坦地，將校正標水平的固定於地面上，待使用完畢再將其拆除。

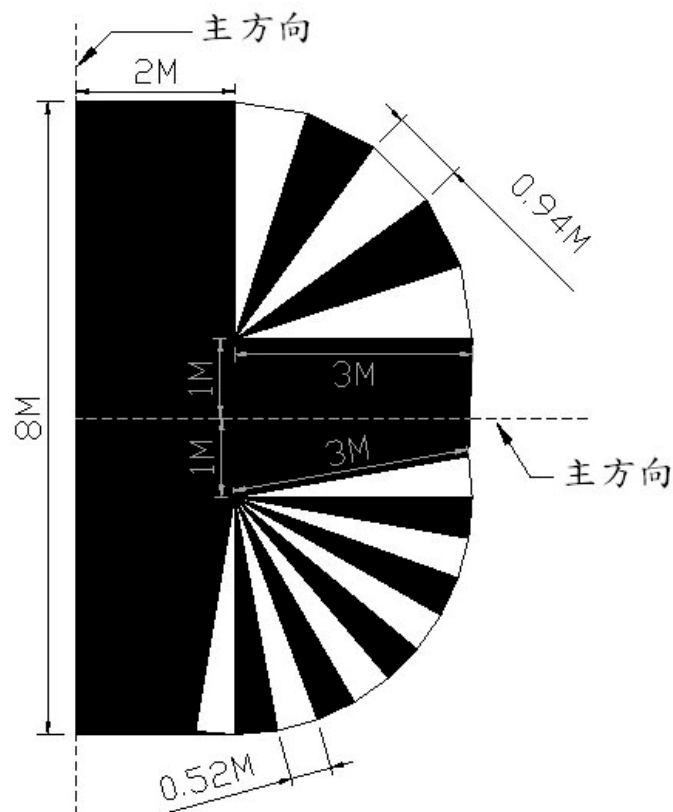


圖 7-3 幾何解析力校正標 (改良式西門子星)

## 7-3 輻射校正標

校正項目：輻射域、輻射解析度、色彩平衡。

因絕對輻射校正係由攝影機製造廠商於室內校正場實施，本校正場僅對攝影機的全色態、紅、綠、藍及近紅外光感應器相對強度感應是否正確以及原廠所宣稱的相對感應強度比值及反應的線性度（Linearity）是否屬實（如「附件十三：DMC及UltraCam率定報告書內有關相對波譜反應強度樣本」所示）。參考芬蘭之經驗，本場係設置一近似藍勃特(Lambertian)散射面的可攜式對空八階之灰度標，其尺寸大小如圖 7-4 所示。

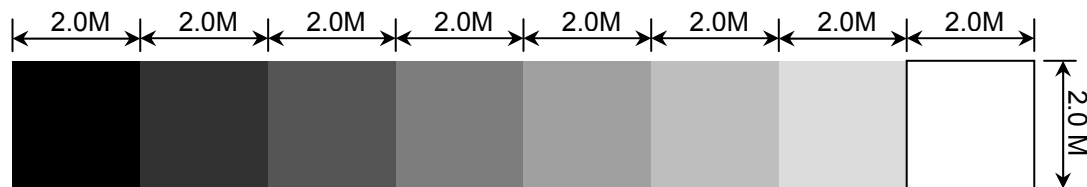


圖 7-4 輻射校正灰階標

輻射校正標之材質本報告採用尼龍布為基底材質，其表面塗料以油漆為主，布標時選擇校正場內一處平坦地，將校正標攤開並水平的固定於地面上，待校正飛行結束後再將其拆除。

此校正標均事先以光譜計精確量測其波譜反應強度做為計算相對強度比值的標準。由於測繪用影像輻射校正的目的主要在為正射影像提供最基本品質判斷的標準，而正射影像製作時本來就還要再對色調及色彩加以調整，並不會完全拷貝原始影像的色調及色彩，所以對原始影像中灰階標波譜反應強度的量測精度要求不必很高。只要能達到驗證其與原廠宣稱的數據相符而且可以用為正射影像製作即可。詳細的校正目標應於後續計畫中，以實際影像測試後再予以訂定。

由於校正標為大型物件布設於空曠地，所承受的風力較大，要達到耐久使用之目的，該材質採用厚度約 0.5 公釐，重量約每平方公尺

650 公克，抗撕裂強度達 20 公斤，價格約每平方公尺新台幣 800 元之尼龍布。

塗料部分，含油漆、消光劑、溶劑及人工噴塗施工費用約每平方公尺新台幣 900 元。

輻射校正用之八階灰度標，其灰度變化所採用黑、白兩色塗料的配比，約如表 7-1。

表 7-1 灰度校正標塗料配比

單位：公克

黑色塗料	白色塗料	消光劑	溶劑	備註
100	0	20	150	
100	4	10	150	
100	6	10	150	
100	9	10	150	
100	12	10	150	
100	15	10	150	
100	21	10	150	
0	100	10	150	

附註：因各廠商塗料中基料(一般為樹脂)、顏料及添加物有所不同，上列為青葉油漆塗料測試所得數值，其比值僅供參考。

## 7-4 校正標維護方式規劃設計

由於幾何校正標數量較多，維護不易，原則上場地於開放之前對全部幾何校正標進行坐標檢核測量並檢視標況即可。必要時應對其進行清掃或補漆，以使各類標能維持清晰可辨識。如在檢視後又發生毀損或移動，則必須藉助校正空中三角測量加以偵測出來，並採取剔除或於附近量測自然地物點替代之補救措施。

原則上幾何校正標應維持永久性，不應任意移除，但若有需要移除之顧慮時，如要採非破壞性移除鋼標，建議採中性矽氧樹脂(俗稱矽利康或 Silicone)為黏著劑較易移除，油漆則可用去漆劑清除。

解析力校正標及輻射校正標每日開放時段結束後，應攜回室內保存，避免污染或褪色。每年開放期前應以光譜計對輻射校正用之灰階標做量測，確定其波譜反應強度現狀。開放期結束後再對其做一次量測，以確認在整個開放期之間，其反應強度變化量維持在量測精度容許範圍內。若發現有超出容許範圍的變化量，則應以內插方式推定開放期間內每日的變化量，做為該日校正的標準依據。此容許範圍應於後續研究中以目前常用的航測攝影機實際測試其強度反應靈敏度以及衡量校正場上長年氣象干擾雜訊大小後合理訂定之。

如果未來改為採用影像控制區塊做為幾何校正標，則得免去每年定期之坐標檢核及幾何校正標形維護。改以在每年校正測量時，於校正飛行影像中進行影像控制區塊相互一致性之檢核，找出有變位或錯誤的點位加以剔除，並另於影像中覓得新點於原始建立影像控制區塊時所用的高精度影像或另外經過驗證精度足敷使用的航測影像以立體量測遞補之，或逕以地面測量補測之。

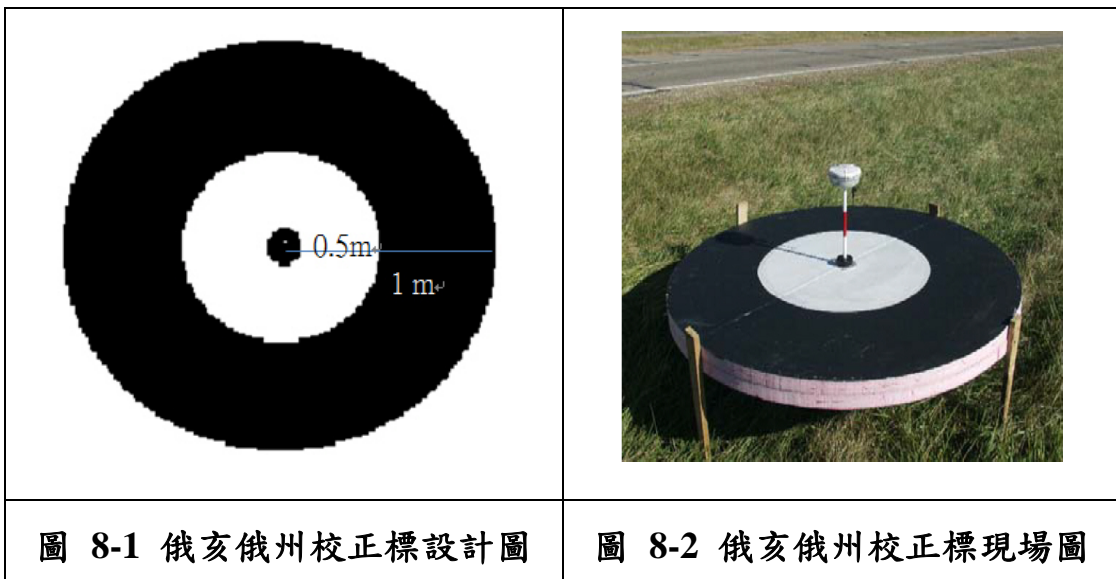
# 第 8 章 空載光達校正標及維護方式 規劃設計

## 8-1 幾何精度校正標規劃設計

校正項目：平面及高程精度。

針對空載光達之平面與高程精度之校正而言，高程精度可利用校正場中穩定而堅固之裸露地面，例如：水泥地、停車場、道路及屋頂等，以實測點進行高程校正；而空載光達不易確認單一雷射點之位置，因此平面精度較需要設置校正標，再以計算的方式進行校正。

針對空載光達平面精度校正標設計，本團隊根據俄亥俄州(Ohio Department of Transportation)所設計的空載光達校正標為雙同心圓進行改良。俄亥俄州校正標為一實驗性質之校正標，其外圓半徑 1 公尺、內圓半徑 0.5 公尺(如圖 8-1)，中心設置衛星定位儀天線，以求得校正標中心點之精確坐標(如圖 8-2)，用於進行點雲的平面與高程精度校正。在利用此校正標進行點雲平面與高程精度測試時，飛機距地距離約 620 公尺、掃描角度約 14 度、掃描頻率約 70Hz，點雲密度需達  $5 \text{ pts/m}^2$  (Csanyi and Toth, 2007)。



因俄亥俄州所設計的校正標為實驗性質之設計，與國內儀器擁有者實際飛行施測之參數設定有所出入過大，因此為符合實際測量之參數設定，依據俄亥俄州校正標的大小與校正時所需的點雲數量，推估本案校正場光達校正標之大小與點雲密度。俄亥俄州校正標半徑 1 公尺，面積為  $1 \times 1 \times \pi \text{ m}^2$ ，則理論上一個校正標會有  $5 \times 1 \times \pi$  個雷射點，即 15.708 個雷射點，利用這些雷射點數進行精度校正。

一般國內進行空載光達率定時，飛機距地距離介於 1000~2000 公尺之間，掃描角度約 40 度左右，以飛機距地距離 1200 公尺，掃描角度為 40 度估計，此時的點雲密度約  $2\text{pts/m}^2 \pm 10\%$ 。根據俄亥俄州校正標實驗中校正標要有 15.7 個雷射點，則本案之改良式光達校正標半徑需為  $\sqrt{\frac{5}{2}}$  公尺，即 1.58 公尺。

針對上述推估數據，本團隊利用一筆飛行參數較為相近的點雲資料進行點雲密度取樣之實驗，以評估點雲密度為  $2\text{pts/m}^2 \pm 10\%$  時，做為計算平面精度之可行性。資料為 2011 年 6 月 16 號台中港工業區點雲資料，掃描角度約 40 度，飛機距地距離為 1351 公尺，掃描頻率 56.1Hz，航速 81.478 knots(節)，實驗內容詳如 附件十二。實驗結果說明點雲密度在  $2\text{pts/m}^2 \pm 10\%$  具有驗證空載光達平面精度之能力，實驗中取樣之範圍大小與上述校正標大小雖有些許差異，但並不影響實驗之正確性。

然而半徑 1.58 公尺的校正標面積太大，在實際布設上極為困難，如：布設地點不易尋找、場址所有權人不同意等問題，因此還是優先考慮以現場既有建築物或或其附屬建物較為可行，如：水泥製之固定水塔、大樓頂之電梯機房等，然而若場址客觀條件無合適人工建物，則仍須使用前述依據美國俄亥俄州交通局之改良式校正標，以滿足校正標之布設需求。

然而，使用既有建物作為校正標時，因各建物屋頂面積皆不一致，因此作為校正標時，應選擇大於原校正標面積之屋頂，以使得有

足夠的雷射點推估屋頂中心。由 附件十二的實驗 1 可知，在建物屋頂較大時，校正所需的點雲密度較小，以原校正標  $7 \text{ m}^2$  之面積而言，當點雲密度在  $2 \text{ pts/m}^2 \pm 10\%$  條件下，利用落在平頂屋頂的雷射點所推估之中心點與實際屋頂中心進行校正，原則上具有校正之能力。

國內現有之空載光達設備有 Leica ALS60、Optech ALTM 3070 與 Riegl LMS-Q680i，儀器商所宣稱的平面精度 Leica ALS60 在 1500 公尺的飛行高度，平面精度為 18 公分左右(如 圖 8-3)。Optech ALTM 3070 平面精度為「 $1/5500 * \text{飛機距地距離}$ 」，如在 1500 公尺的飛行高度下，則平面精度約為 27 公分(如 圖 8-4)。Riegl LMS-Q680i 手冊只說明垂直精度為 2 公分，並無提供平面精度。根據儀器商所宣稱之平面精度，本實驗設計之點雲密度約  $2 \text{ pts/m}^2$  時具有驗證儀器平面精度的能力，故可依據本實驗所設計之參數進行校正。

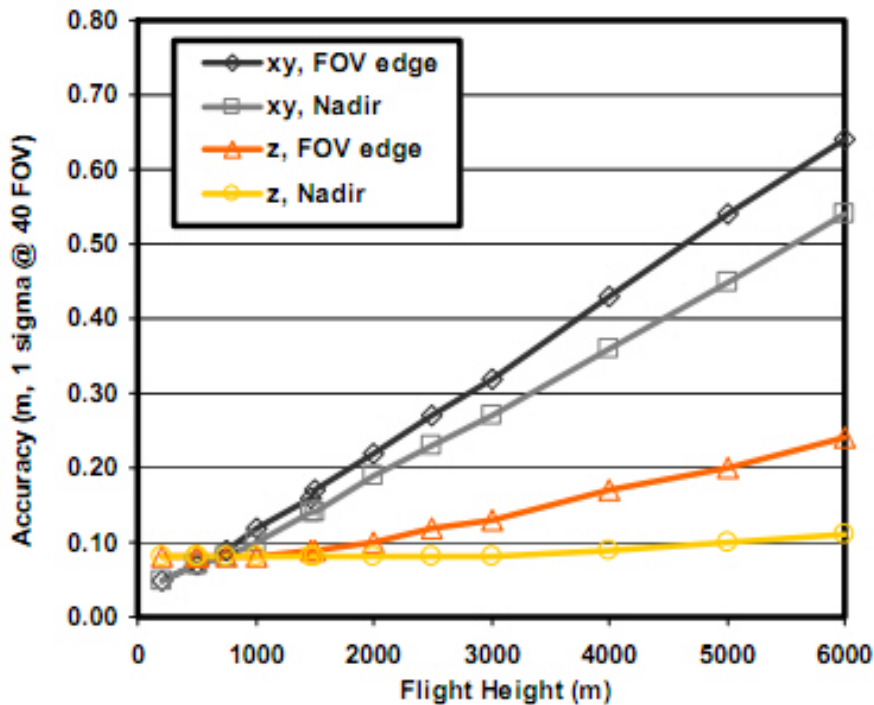


圖 8-3 Leica ALS60 平面精度

Parameter	Specification
Operational envelope <sup>1,2</sup>	300 - 2500 m AGL, nominal
Horizontal accuracy <sup>2</sup>	1/5,500 x altitude; 1 $\sigma$
Elevation accuracy <sup>2</sup>	< 5-15 cm; 1 $\sigma$
Effective laser repetition rate	Programmable; 100 – 500 kHz
Scan width (FOV)	Programmable; 65° max.
Scan frequency <sup>3</sup>	Programmable; 140 Hz max.
Roll compensation	Programmable; $\pm 5^\circ$ min.
Position and orientation system	POS AV™ 510 (OEM) 72-channel dual frequency GPS/GNSS/L-Band receiver
Minimum target separation distance	< 1.0 m
Range capture	Up to 4 range measurements for each pulse, including last
Beam divergence	0.20 mrad (1/e)
Laser classification	1064 nm; Class IV (US FDA 21 CFR 1040.10 and 1040.11; IEC/EN 60825-1)
Intensity capture	12-bit dynamic measurement and data range
Data storage	Removable solid state disk SSD (SATA II)
Image capture	Small format progressive scan digital camera (standard) Embedded 60 MP medium format camera (optional)
Full waveform capture system	Optional
Power requirements	28 V; 600 W; 21 A
Dimensions and weight	Control rack: 650 x 590 x 490 mm, 46 kg Sensor head: 630 x 540 x 450 mm, 49 kg
Humidity	0 – 95% non-condensing

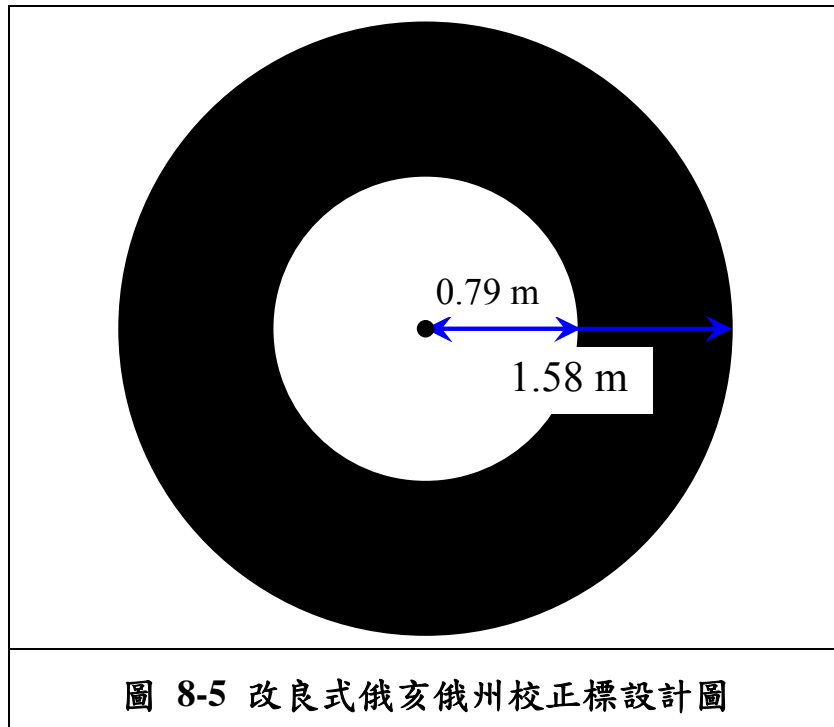
- 1 10% reflective target  
2 Dependent on selected operational parameters using nominal 50° FOV in standard atmospheric conditions  
3 Dependent on system configuration



### 圖 8-4 Optech 規格

當場址客觀條件無合適之建物時，則採用根據俄亥俄州設計之原理改良設計之校正標，此校正標半徑 1.58 公尺之黑色同心圓，內圓半徑 0.79 公尺之白色同心圓 (如圖 8-5)，中心設置衛星定位儀天線或水準點，並且搭配校正場內之斜頂建築及裸露地進行精度校正。內圈白、外圈黑設計是方便視覺上之辨識，若全黑、全白或其他顏色亦無不可。校正標設置時，需離地 30 公分，以便進行點雲之分類。校正標設置高度會影響校正成果，其影響約為「設置高度/飛機距地距離」，若設置離地約 30 公分，則對校正影響約為原誤差之 1/4000，此誤差可以忽略不計。





由於本案之校正標直徑長達 3.16 公尺，不易攜帶，因此建議以固定標方式進行布設，以堅固之材質為校正標主體，如：不鏽鋼板、大理石、水泥灌漿或其他合適之材質製成，表面塗料以油漆為主。

為方便校正場址維護與管理，空載光達校正場與航測攝影校正場可設置於同一場地，但空載光達與航測攝影校正原理不一樣，因此兩者標形不一致，故不建議航測幾何標與空載光達校正標共用點位。

## 8-2 維護方式規劃設計

光達校正標原則上以自然建物為主，若場址客觀條件無合適之建物時，則利用第 8-1 節所設計之校正標進行布設。其維護方式規劃如下：

- 一、以建物作為自然標時，需在開放校正飛行前，對自然標進行各個角度之拍照，並與前次之照片進行比較，以確定作為自然標之建物屋頂有無增建、改變樣式或毀損，如增建天線、不鏽鋼水塔、太陽能板或建物屋頂毀損等。除此之外另需對每個自然標之屋角進行衛星定位儀測量或利用全測站測

量，以確認坐標之一致性與穩定性。自然標如遇毀損，則於開放期前選擇附近其他之備用自然標代替。

二、使用自行布設之改良式校正標時，需在場地開放校正飛行前，使用衛星定位儀對校正標進行檢核測量，確認坐標一致性，並檢視標況是否完整，必要時進行清標或補漆。

## 第9章 校正場作業機制

### 9-1 納入全國認證基金會認證可行性研究

本計畫具體目的是建置國家級航遙測感應器校正作業室外場，原則上如果以國家公權力來執行，其本身即具有公信力，並不需要藉助第三者加以認證，美國地質調查所建置之校正場即為一例。美國地質調查所要求所有執行美國政府航測業務之航測攝影機均必須經過其所設置的校正場進行校正，但對於非政府業務者，不做硬性接受校正之規定。由於不牽涉到干涉私人業務的情形，因此並未就該校正場申請過任何第三者的認證。世界其餘各國校正場也沒有辦理過認證的先例。歐盟目前還正在研究是否需要認證以及如果需要認證，應該申請哪些項目以及由誰來認證的問題。

但是我國為外銷導向的國家，為了與世界接軌使得產品獲得世界認同，目前正推行建立工業品質保證觀念，希望藉由現代化的認證機制，建立各類實驗室、校正場重視品質保證的認知。由於測繪之基礎在使用正確的設備，而設備正確與否若能經由經過認證的機構來評定，可以具有公信力。因此國土測繪中心已經加入全國認證基金會量測實驗室的認證，本校正場如果也能申請得到認證，亦具有導入品保觀念，進行自我品保要求的意義。

鑑於本校正場內容與一般工業實驗室不同，全國認證基金會未來將如何進行認證將是一大困難。本團隊將依據全國認證基金會目前所依據的國際規範及認證程序提供相關的文件，協助其進行認證。另外由於全世界沒有類似的校正場有過申請認證的案例，全國認證基金會在執行評鑑時可能會有無法以經過認證的相同實驗室進行比對的困難。本團隊將儘量以提供航測攝影機校正相關的國際研討會論文、國外類似校正場校正報告及研究論文、協助聯絡國外校正場相關負責人、推薦國內外有關校正作業的專家學者名單等方式協助全國認證基

金會進行認證。如果國土測繪中心經費許可，甚至可以邀請全國認證基金會認證專家赴國外類似校正場實地考察，做為評量本場的參考依據。

本校正場目的在於建立能出具有公信力的校正報告，基於此條件之下，必須由沒有利益衝突的單位來執行此項作業。本團隊目前規劃由國土測繪中心執行此項作業，一來國土測繪中心現為全國認證基金會會員，部分建置作業目前已完備，二來國土測繪中心為公務機關，不涉及私人利益；本團隊將於後續工作中協助國土測繪中心取得校正場認證。

目前全國認證基金會校正領域認證的流程，如圖 9-1 所示：

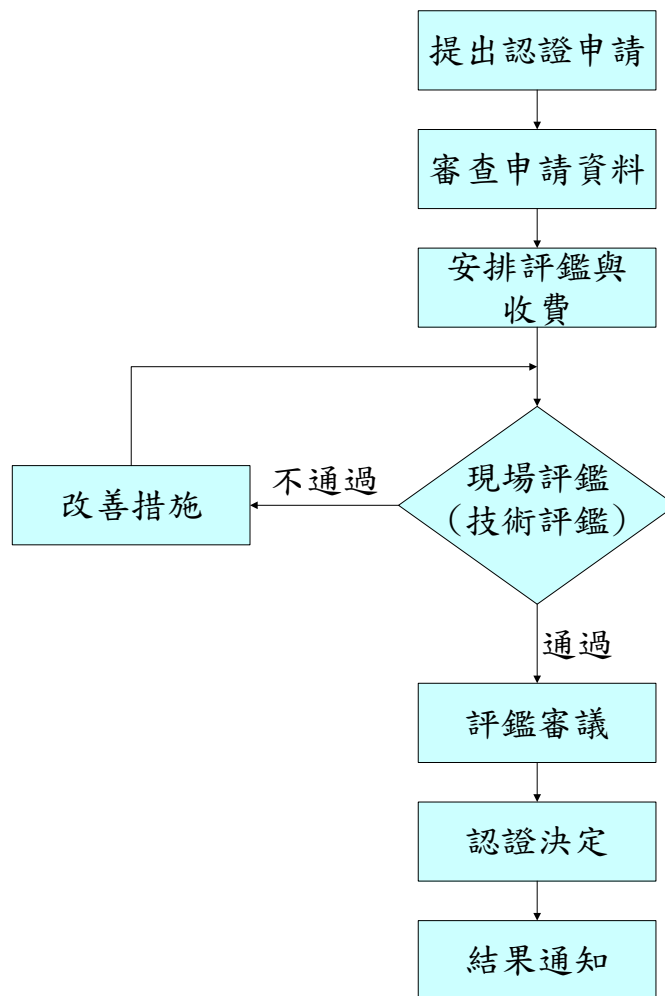


圖 9-1 全國認證基金會認證流程示意圖

## 9-2 校正作業可行性評估

由以上各章之分析，可知航測攝影機校正已是各國正在進行或研擬將要進行的工作，所以在學理及技術上確屬可行，而且我國與其他先進國家相比，有國土測繪法授權對應用測量所需設備進行校正，所以又多了法源上的優勢。因此建立航測攝影機校正場實屬必要。

至於在光達測量方面，雖至今仍未見有國家以公權力實施校正者，但是由於在我國已將空載光達測量應用於數值地形模型測製，所以此系統已屬於國土測繪法所稱之應用測量使用之設備，因此建議亦應對其實施校正。惟光達系統十分複雜，既包含硬體方面之雷射訊號發射、掃描、接收、紀錄、飛行器之導航等，又包含軟體方面的飛行方式、回波分析計算法則、點雲分類法則等，到底應該校正之內容與項目為何，並無先進國家之規範可以參考。但是衡量光達系統測繪之複雜性與全球導航衛星系統十分類似，因此建議校正規劃可以參考全球導航衛星系統之校正。以全球導航衛星系統而言，其整個性能是由地球框架定義品質、衛星軌道參數品質、衛星硬體性能、無線電波訊號發射品質、無線訊號接收器硬體性能、電波接收品質、相位角解析力、校正期間衛星的顆數分布與品質、載波訊號計算法則、計時系統品質、整數週波求解運算法則等綜合表現的結果。但是目前針對全球導航衛星系統所做的校正並不是對以上各個環節或組成單元單獨項目進行校正，而是藉由對其計算得到的最終成果(坐標差或基線)與標準值之比對而間接反證該系統總成在應用測量的適用性。因此建議對空載光達的校正也比照現行對全球導航衛星系統校正的方式，間接藉由將其測量成果(三維空間點坐標)與標準值比較的方式，來進行校正該系統總成是否適用於國土測繪。

在執行機構方面，由於國土測繪中心具有充分之人力及資源，而且為政府機構具有公信力，因此建議本校正場之作業由國土測繪中心負責。目前國土測繪中心已有的航測儀器設備及軟體，如立體量測、

空中三角測量平差計算，以及各式衛星定位測量儀器設備等，基本上已足敷航測攝影機校正量測作業及參數計算使用。而其餘輔助性軟體，如誤差統計分析、校正結果表格製作、網站行政作業軟體等，本會將在經過校正場實際測試，擬定校正內容細節及作業程序後，於後續計畫中陸續開發測試。

校正場運作規劃如圖 9-2 所示：

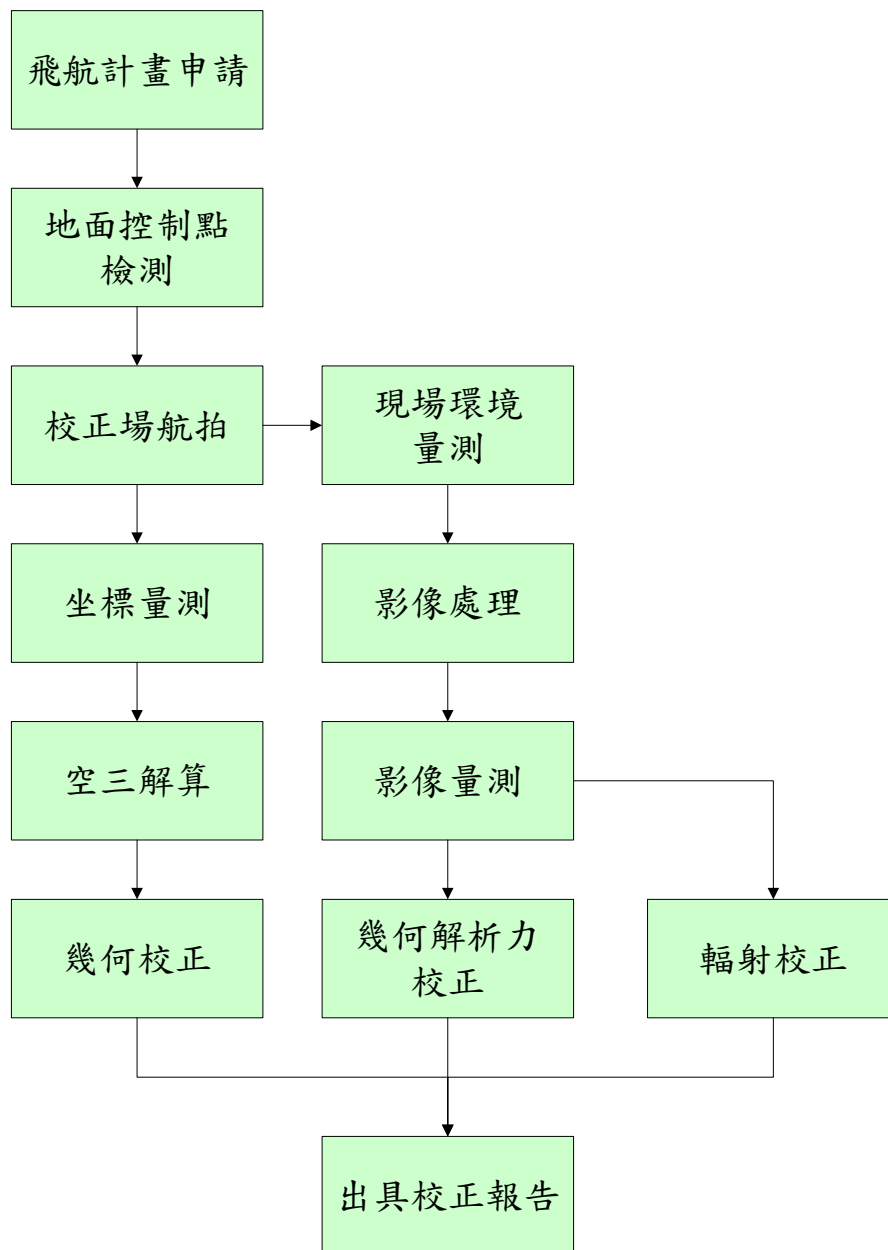


圖 9-2 校正場運作規劃示意圖

## 9-3 作業網站平台規劃

隨著校正場的建置完成，未來校正場的實際執行運作時，所產生資料數據的儲存及管理，必須有系統化的作業程序。另外，校正場營運的管理、送校儀器履歷等行政管理業務，也必須有系統化的作業程序。科技的進步，運用網頁、網站與資料庫連結，並藉著現今電腦強大的運算能力，針對前述各項作業程序進行分析、判斷、統計及儲存，以利推動本校正場長期的營運執行。規劃後續的校正作業網站平台主要功能包括：校正作業營運狀況與校正業務執行兩大子系統。前者是對外公開的作業，後者是內部作業用。

### 一、校正作業營運狀況子系統：

本系統之子系統包括校正作業場的現況、校正標的相關資料(包含場址正射影像、標位、標尺寸等)、收費標準、校正作業準則(包含校正內容、各類地面解析度及攝影機組合適用的航線規劃、重疊率、應繳交影像成果及附屬資料等)，當日校正場的氣象資料、當日校正場的校正行程、廠商紀錄等。

### 二、校正業務子系統：

本系統之子系統包括預約校正、收件、審查、登錄、校正作業(包含量測、計算、分析、統計等工作程序)、報告製作、變更管理、繳款狀況、結案、異議處理等。

網站硬體設備建構在國土測繪中心所在地，儘量利用國土測繪中心現有之硬體設備(如：主伺服器)。系統軟體則可用一般架構網站之作業平台，再配合本團隊自行開發上述兩子系統的系統管理程式平台，對於未來校正場的管理可以快速將技術移轉給國土測繪中心。

本團隊針對以上兩子系統具備之功能及網站硬體設備，於坊間進行初步估價約需新台幣 65 萬，如表 9-1。惟實際作業網站平台之內容尚待後續校正場建置完成後，經過實際測試，並諮詢國土測繪中心

對於未來校正場運作構想，如執行人員來源、校正頻率、使用軟體等，再另行做細部規劃及設計。因此，該初步估計費用僅供參考，實際執行所需費用必須依國土測繪中心最後之需求而定。

表 9-1 建置校正作業網站預估經費及預估建置期程

項次	項 目	單位	數量	預估建置期程	分項總價
1	校正作業營運狀況子系統	式	乙	90 工作天	20 萬元
	1.1. 作業場現況				
	1.2. 校正標資料庫				
	1.3. 收費標準				
	1.4. 校正作業規範文件				
	1.5. 當日氣象資料				
	1.6. 校正場當日行程				
	1.7. 廠商紀錄				
2	校正業務子系統	式	乙	90 工作天	25 萬元
	2.1. 預約校正				
	2.2. 收件				
	2.3. 審查				
	2.4. 登錄				
	2.5. 校正作業(量測、分析)				
	2.6. 報告製作				
	2.7. 變更資料				
	2.8. 收費狀況(已/未繳費)				
	2.9. 作業狀況(已/未結案)				
	2.10. 異議處理				
3	伺服器				
	3.1 機架式主機(1U)	部	乙		15 萬元
	3.2 資料庫(MSSQL)	套	乙		5 萬元
總				價	65 萬元

註：預估建置期程包含需求訪談、規劃設計及資料測試之期程。



## 9-4 校正項目及作業程序

依據目前初步研究結果，校正項目應該包含 1.幾何精度校正，2.重疊度及航偏角、航傾角校正，3.幾何解析力校正，4.相對輻射反應強度及相對反應線性度校正。

其中第 1 及第 2 項利用校正場中地面上分布均勻的幾何校正標，並藉由被校正影像的空中三角測量解算而得之數據與原廠宣稱比對而得，同時檢核所達之精度是否符合內政部有關基本圖及各類比例尺地形圖測製規範要求的標準。所需軟體為立體量測影像內控制點的影像工作站軟體以及光束法空中三角測量軟體。至於航線規劃、空三連結點強度、控制點及檢核點分配比例及位置等，尚待校正場完成後始可進行規劃。

第 3 項則藉由量測西門子星的頻率與相對反應強度值擬合調制轉換函數曲線而得，亦可藉由量測西門子星黑白邊緣的邊散函數的標準偏差，然後利用調制轉換函數與邊散函數之關係式而得(Becker et al., 2006)。本計畫將以實際影像進行測試，驗證二者的關係。任何一個可以量測影像各波段灰值的商用軟體，例如 Photoshop，都可以供本校正量測之用。至於點散函數 (Point Spread Function, 簡稱 PSF) 計算程式，本學會參考國際學術研究論文(Li, 2000)，已自行開發設計完成。

第 4 項校正項目，需參考儀器製造原廠商校正項目，因目前各儀器製造廠商校正項目並不一致，未來必須與各原廠商協商，取得各原廠商認可，才正式列入校正項目，避免儀器製造廠商有不公平待遇的非議。本項校正藉由量測八階輻射校正標的波譜反應強度，並依據實驗校正飛行結果與目前國內已有之各型航測攝影機校正報告書內所列之值進行比對後，再訂定量測方法以及合理的合格標準。相對輻射反應強度相對比值以及反應線性度，如 附件十三：DMC及UltraCam 率定報告書內有關相對波譜反應強度樣本所示。



## 第 10 章 結論、建議及後續工作

### 10-1 結論與建議

- 一、數位航測攝影機構造、成像原理複雜且內部元件生命週期短促，致一般影像使用者，無法如以往底片時代瞭解影響影像品質的因素。為保障成果品質，各國都逐步推展數位航測攝影機校正機制。
- 二、目前我國數位航測攝影機及空載光達儀器設備密度高可能居世界各國之冠，但設備擁有者或資料購買者，對設備或成果品質尚無認證能力，只能相信儀器生產廠商提供之校正報告。國土測繪中心為落實國土測繪法規定，規劃進行校正作業，保障測繪成果品質並且為民服務，達到雙贏目標。且推展速度快於歐美日等先進國家，提昇我國國際能見度。
- 三、除美國已完成航測數位攝影機幾何精度校正機制並於政府採購案採強制校正外，多數國家校正機制尚在研究或試辦中，目前為止尚未完成強制性校正機制。各國雖有公信力研究機構設置幾何校正場供校正使用，惟歐洲及日本目前作法是由購買影像單位決定是否需進行校正，雖歐盟已倡議建立強制性校正制度，但仍處規劃研究階段。
- 四、一般使用者使用數位航測影像時，最明顯問題是不同廠牌攝影機拍得影像無法製作出色調一致的正射像片圖，另也苦於無法證明到底何者較接近「真實」色彩。因此除幾何校正，數位航測攝影機輻射校正在實用上也很重要。截至目前為

止，尚無國家規定數位航測攝影機須辦理輻射校正。歐盟已率先認知此需求，並開始針對輻射校正問題進行研究，但因數位航測攝影機色彩波段分布歧異，尚在研議合理輻射校正項目與標準中。

五、空載光達技術雖已實際應用於測繪工作，尤其是應用在數值高程模型測製方面，惟至今尚無國家規定須經由國家校正認證。目前作法為由生產廠商為設備運作自行實施必要率定。但可預見的是，未來隨著空載光達使用頻率增加以及使用者對品質要求提昇，各國也會評估建立校正機制。

六、各國至今尚未建立國家之空載光達校正場，許多校正標設計仍屬理論，建議未來進行實際飛行測試，獲取實際數據，作為未來實際建置依據。本會設計之空載光達校正標直徑 3.16 公尺，攜帶上十分困難，不宜作為可攜式校正標；若製作組裝型校正標，則組裝接縫恐造成校正標標面不平整，影響幾何穩定性。因此直接於校正場內選擇合適之自然建物作為校正標較為可行，建議使用平頂屋頂作為自然標，且屋頂不得設置天線或不鏽鋼水塔等影響平頂屋頂平整性之附屬物。平頂屋頂校正標之坐標可用衛星定位儀或是全測站儀測量屋角坐標，推求屋頂幾何中心供校正使用。

七、空載合成孔徑雷達之校正目前仍為相關領域之研討熱門話題，本案之空載合成孔徑雷達校正場規劃僅提供初步概念性參考，實際規劃時建議應另行邀集專家學者召開會議，確定依據測繪需求與校正目標後，再做更詳細規劃。

八、國家太空中心的衛星影像校正場目前以福衛二號為規劃標的，可適用於任何空間解析度優於福衛二號者。如果國家太空中心的校正機制經研究已可滿足國土測繪法對於立體測繪用影像校正的需求，則建議逕行採用該中心的校正標，並嘗試與其合作維護。

## 10-2 後續工作規劃

- 一、依據 100 年度規劃結果，建置校正場，包括選點、布標、坐標測量、資料建檔等。
- 二、進行校正測試飛行。選擇一種或數種航測攝影機赴校正場進行實驗性校正飛行，取得校正資料，據以設計具體校正項目及訂定的合格標準。召開業界說明會，聽取業界對於校正項目及合格標準的意見，進行修正。
- 三、依據測試飛行校正結果及參考業界意見撰寫校正作業程序以及校正作業手冊。
- 四、設計開發校正作業所需作業平台。原則儘量利用國土測繪中心現有軟體，例如衛星定位儀資料解算、立體影像測量、空中三角平差計算、微軟 Excel 統計表格製作、微軟 Access 資料庫軟體等，如有不足，則凡屬市面上商品化軟體，建議國土測繪中心另行添購，非通用軟體則由本會自行開發。
- 五、辦理校正軟體操作技術教育訓練，包含上機操作衛星定位儀資料解算、立體影像量測、空中三角平差計算及一般常用商業軟體等。

- 六、依據實驗校正的結果，細部規劃未來校正場網站應有的功能及網站負荷估計、安全措施等。
- 七、鑑於地面幾何校正布標點維護不易，且美國正研究以正射影像及影像控制區塊取代地面控制點，加速校正作業自動化，本會將研究以拍攝校正場高精度高解析度航測影像取代地面布標及控制測量做為幾何校正標之可行性。
- 八、與美國及歐盟校正場保持聯繫，獲取最新發展資訊及尋求顧問並收集國際校正研討會成果資料。依據國際最新發展，提供與中程綱要計畫執行方案有關建議供國土測繪中心參考。

### 10-3 下(101)年度作業流程

下(101)年度作業規劃為建置航測感應器系統校正場、辦理航測攝影機校正初步測試作業、研擬航測感應器系統校正標準作業程序、開發校正作業程式及購置軟硬體設備。

其作業流程如圖 10-1：

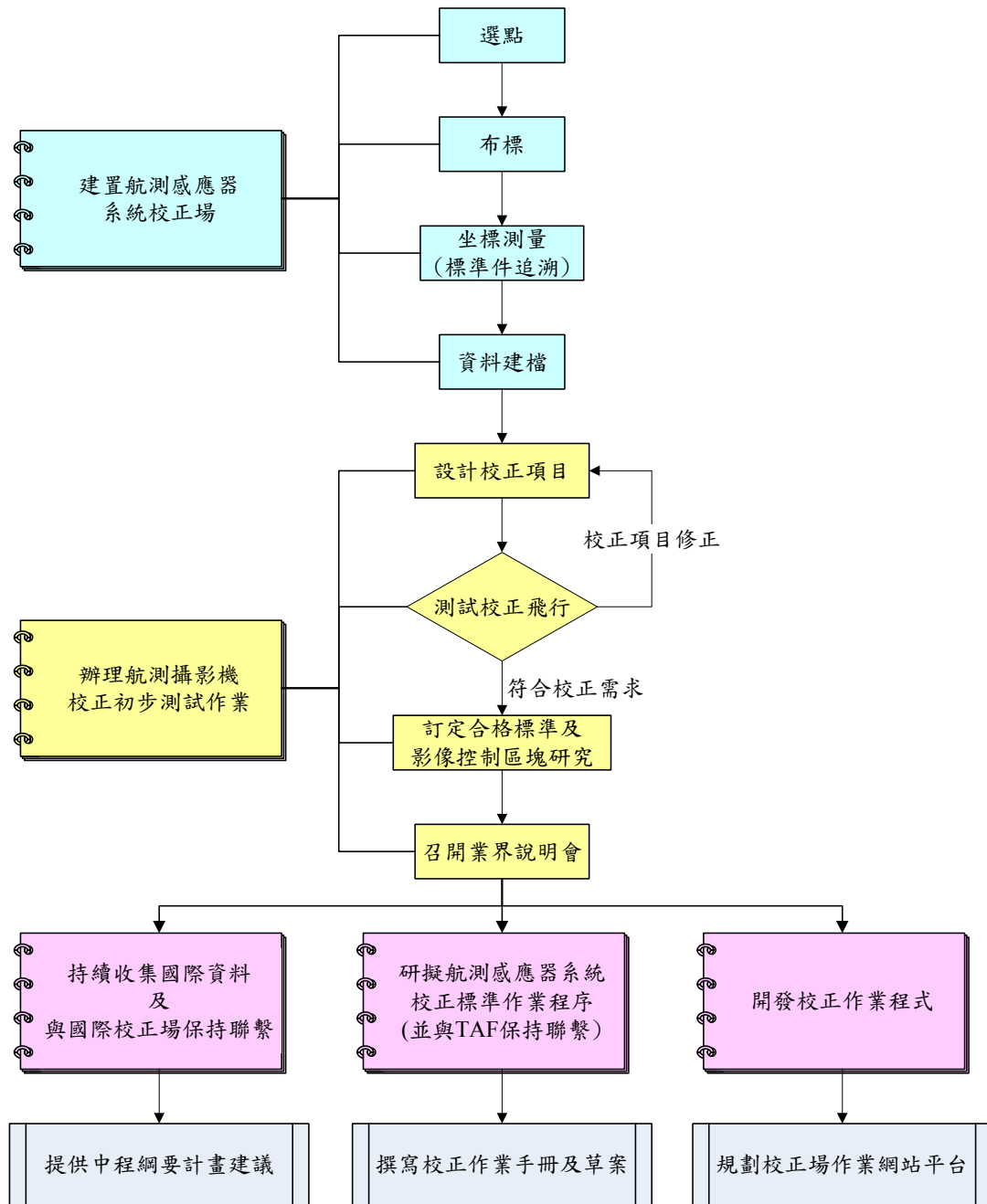


圖 10-1 下(101)年度作業流程圖





---

## 參考文獻

### 數位航空攝影機系統

- 內政部，2010。基本地形圖測製說明，內政部，台北。
- 內政部，2011。建置都會區一千分之一數值航測地形圖作業工作手冊，內政部，台北。
- 許妙忠、尹粟、李振濤，2009。航空幾何定標場建設技術研究，2010 年亞洲地理資訊系統國際研討會暨台灣地理資訊學會年會，兩岸四地 GIS 與應用遙感研討會論文集，高雄。
- Becker, S., Haala, N., Honkavaara, E., and Markelin, L., 2006. Image Restoration For Resolution Improvement Of Digital Aerial Images: A Comparison Of Large Format Digital Cameras, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVI. Part1.
- Casella, V., and Franzini, M., 2005. Experiences In GPS/IMU Calibration. Rigorous And Independent Cross-Validation Of Results, <http://www.ipi.uni-hannover.de/fileadmin/institut/pdf/113-casella.pdf>，上次查詢：2011-11-20。
- Cramer, M., 2008. The EuroSDR Approach On Digital Airborne Camera Calibration And Certification, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII. Part B4: 1753-1758.
- Cramer, M., 2009a. Digital Aerial Camera Calibration, *The Official Publication of EuroSDR*, No.55.
- Cramer, M., 2009b. The EuroSDR Performance Test For Digital Aerial Camera Systems, *Photogrammetric Week 09*, pp.89-106.
- Honkavaara, E., Markelin, L., Ahokas, E., Kuittinen, R., and Peltoniemi, J., 2008. Calibrating Digital Photogrammetric Airborne Imaging Systems In A Test Field, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII. Part B1: 555-560.
- Li, J., 2000. Spatial Quality Evaluation Of Fusion Of Different Resolution Images, *The International Archives of the Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIII. Part B2: 339-346.
- Stensaas, G., Lee, G.Y.G., and Christopherson, J., 2008. The USGS Plan For Quality Assurance Of Digital Aerial Imagery, [http://calval.cr.usgs.gov/digital\\_aerial\\_imaging\\_quality\\_assurance.php](http://calval.cr.usgs.gov/digital_aerial_imaging_quality_assurance.php)，上次查詢：2011-11-20。

USGS, 2008. Digital Aerial Imagery Calibration Range Requirements Version 0.2, EROS Remote Sensing Technology Project, [http://calval.cr.usgs.gov/digital\\_aerial\\_imaging\\_quality\\_assurance.php](http://calval.cr.usgs.gov/digital_aerial_imaging_quality_assurance.php), 上次查詢：2011-11-20。

USGS, 2010. USGS Quality Assurance Plan For Digital Aerial Imagery, Implementation Proposal, [http://calval.cr.usgs.gov/digaerial/digital\\_qa/](http://calval.cr.usgs.gov/digaerial/digital_qa/), 上次查詢：2011-11-20。

## 空載光達系統

中興測量有限公司，2007。大台北地區特殊地質災害調查與監測—高精度空載雷射掃描(LIDAR)地形測製與構造地形分析(3/3)暨 94-96 年度計畫總報告，經濟部中央地質調查所，台北。

內政部，2005。LiDAR 測製數值高程模型及數值地表模型標準作業程序，內政部，台北。

群立科技股份有限公司，2010。莫拉克災區 LiDAR 高解析度數值地形製作(1/3)—空載光達掃描儀率定報告書，經濟部中央地質調查所，台北。

Csanyi, N., and Toth, C.K., 2007. Improvement Of Lidar Data Accuracy using Lidar Specific Ground Targets, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 73, No. 4, April 2007, pp. 385–396.

Lin, Y.C., 2009. Digital Terrain Modelling From Small-Footprint, Full-Waveform Airborne Laser Scanning Data, *Ph.D. Dissertation*, School of Civil Engineering and Geosciences, Newcastle University, Newcastle upon Tyne, UK.

## 衛星系統

陳哲俊、陳良健、王蜀嘉、史天元、吳水吉、劉進金、鄭祈全，2009。航遙測技術在自然資源之應用，財團法人中正農業科技社會公益基金會，台北。

維基百科，2011。人造衛星，<http://zh.wikipedia.org/wiki/人造衛星>，上次查詢：2011-11-20。

## SAR 系統

NASA/JPL 網頁，2002。Chapter 1 : Historical Overview, <http://airsar.jpl.nasa.gov/documents/genairsar/chapter1.pdf>，上次查詢：2011-11-20。

Curlander, J.C., and McDonough, R.N., 1991. Synthetic Aperture Radar: Systems And Signal Processing, *John Wiley & Sons Inc.*, New York.

Graham, L.C., 1974. Synthetic Interferometer Radar For Topographic Mapping, *Proceedings of the IEEE*, Vol. 62, pp. 763-768.

Zebker, H.A., and Goldstein, R.M., 1986. Topographic Mapping From Interferometric Synthetic Aperture Radar Observations, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 91, pp. 4993-5000.



---

# 名詞定義

## 航遙測感應器系統

校正(Calibration)：

一詞源自 Caliber 指槍砲的口徑，而 Calibration 則為測定槍砲口徑之行為。後衍生為修正或檢核任何儀器之刻度的行為或程序。在航測領域內則以 Morain 及 Zanoni 2004 年在 ISPRS 年會發表的文章內的定義最具代表意義。他們把 Calibration 定義為「測定一個系統對已知且受掌握的信號的反響程序」。目前文獻所見歐美各國對航遙測感應器所做的檢查行為均稱其為 Calibration，其意義乃為與一已知的標準(Benchmark)相比較；亦即類似維基百科(Wikipedia)所定義之「兩種量測值的比較，第一個是以某設備量到的已知或正確值，另一個則是在另一設備上儘量以相同方式量到的值」。Calibration 一詞雖具多重意義，惟包含”與標準(Benchmark)相比較”之意義，參考目前歐美各國所建置類似校正場亦稱為 Calibration Range，故本計畫中所設定名稱仍維持原計畫名稱為校正場。

驗證(Verification)：

經由測試或檢核以確認儀器的精度、正確度或生產廠商所宣稱性能的真實性。

認證(Certification 或 Validation)：

將儀器經由校正場驗證的結果出具報告書的行為。

視準率定(Boresight calibration)：

對二不同測量儀器系統坐標軸之間不平行狀態進行的量測及改正程序。一般特指因慣性量測系統單元(Inertial Measurement Unit, 簡稱 IMU)中心與航測攝影機或雷射掃描系統稜鏡旋轉中心間之安置偏差量。

## 數位航空攝影機系統

側角或傾角(Roll)：

指飛機側向滾轉的行為或角度。

仰角(Pitch)：

指飛機前後俯仰的行為或角度。

定向角或方位角(Heading)：

指飛機機體坐標系基準軸的方位角。

## 空載光達系統

傾角(Roll)誤差：

是 IMU 與雷射掃描系統在 X 軸方向出現偏移，原本預定掃描的點位與實際掃描的點位不同，使得 X 軸方向發生斜距誤差。

仰角(Pitch)誤差：

是 IMU 與雷射掃描系統在 Y 軸方向出現偏移，使得 Y 軸方向發生斜距誤差。

定向角(Heading)誤差：

是 IMU 與雷射掃描系統在 Z 軸方向出現偏移，雷射的旋轉軸中心向某方向偏轉，使得掃描時所有資料向某方向出現旋轉。

旋轉鏡變形(Torsion)誤差：

是因雷射掃描系統旋轉時，雷射鏡頭中心與邊緣的角速度不同，發生的誤差。

支距或力臂(Lever Arm)誤差：

進行雷射感應器與 GPS 天線相位中心的率定。

## 衛星系統

邊散函數(ESF)：

由於光的繞射特性，此函數用來描述光學系統對於相鄰邊點源解析能力的函數。

調制轉換函數(MTF)：

測試鏡頭反差對比度及銳利度的評估方法，也就是光學鏡頭記錄影像細節的解析度(Resolution)能力。

## SAR 系統

雷達斷面(RCS)：

指物體對於某種雷達波長，反射時所顯示的斷面大小。





---

附件一：採購評選委員審查意見回覆彙整表



## 「100 年度建立航遙測感應器系統校正作業」

### 採購評選委員及工作小組初審意見回覆彙整表

委員別	審查意見及建議事項問題	回覆辦理情形
劉委員至忠	1.訪談航遙測感應器擁有者之主要目的為何？	1.為瞭解並配合使用者之需求，使校正場能發揮最大功效，因此對使用者進行訪談。其主要內容項目請參閱附件 B。
	2.校正後之資訊可否做為後續成果製作修正之資訊？校正之目的為何？	2.本計畫之校正意義為包含”與標準(benchmark)相比較”之意義，僅驗證儀器是否達到廠商所宣稱之精度。
	3.校正標之型式設計，是否有智慧財產權之問題？	3.目前已知校正標為各國通用，但本團隊會與國外校正場聯繫確認。
夏委員榮生	1.請說明校正軟體開發是否由計畫團隊執行？	1.本團隊有經驗豐富的軟體工程師，將自行開發軟體。
	2.請說明國內及現有國外在校正場設計之條件差異性？	2.請參閱期中報告書第 4-2 節。
	3.請說明在選定各項校正場規格需求及場址之條件評估模式及機制為何？	3.請參閱期中報告書第 5-3 節。
	4.請說明校正場完成後之可能之維護機制與自我檢校模式為何？	4.請參閱期中報告書第 5-6 節。
	5.請說明校正場各項校正項目之品質指標要如何制定？若以幾何精度上考量，會以多大比例尺為標準及如何規劃？才能保有未來不同成像幾何照相機之校正能力。	5.請參閱期中報告書附件 D 及附件 E。
賈委員自強	1.團隊有極多工作經驗，主持人學經歷豐富，但缺乏檢核方面設置經驗？	1.本團隊承辦國內各機關各項測量相關業務多年，監審、檢核經驗豐富。
	2.各人員分組看起來都是實作人員，非規劃校正人員。本投標是否有共同投標協議書。	2.本團隊承辦國內各機關各項測量相關業務多年，監審、檢核經驗豐富。

「100 年度建立航遙測感應器系統校正作業」案

委員別	審查意見及建議事項問題	回覆辦理情形
	3.儀器設備列有 Leica & SR9500 及 SR9500 共 8 部。應至少有 12 年以上，是否有送 TAF 檢核？	3.本團隊目前承辦國土測繪中心及台北市政府監審案，使用儀器皆送國家實驗室認證。
	4.目錄頁碼的編排有錯誤。	4.感謝委員細心，已修正。
	5.校正場設立與校正時機是否考慮業界使用便利性？校正週期如何計算？	5.藉由訪談業界儀器擁有者，已考慮便利性及校正週期。
朱委員杏修	1.請再說明服務建議書所擬定的數個初步校正場場址。	1.已於期中報告書第 5-4 節及第 5-5 節中加以說明。
	2.初步校正場場址選擇的其位置特性及理由為何？	2.請參閱期中報告書第 5-3 節。
工作小組	1.可攜式校正標設計建議採用西門子之星校正標(p34)，請說明製作可攜式灰度(gray scale)校正標之規劃。	1.參考國外之設計，及國內規範製作可攜式校正標，請參閱期中報告書第 5-6 節。
	2.P38 工作進度甘特圖中「5.2 校正場址綜合考量及分析」+140 日，所列時程不符服務建議徵求書應於決標次日起 50 日完成之規定，另「3 召開專家學者會議及校正作業場址選定會議」與「5.1 召開校正作業場址選定會議」重複，第 3 項中”校正作業場址選定會議”部分應刪除。	2.依委員建議修正工作進度甘特圖內容，請參閱期中報告書圖 2-1。

---

## 附件二：國土測繪中心及業界訪談資料整理



# 內政部國土測繪中心

## 「100年度建立航遙測感應器系統校正作業」

### 需求訪談會議紀錄

時間：100年5月13日14:30~17:00

地點：國土測繪中心施政資料中心

主席：王教授蜀嘉

記錄：林孜彥

出席人員：如簽到單

### 壹、討論事項：

#### 一、國土測繪中心對於本年度作業期程之要求及期望

本案作業期程非常緊湊，且各項作業環環相扣，請務必注意各項成果交付期限，相關前置作業需提早進行與準備。例如提早調查預選之校正場址所有權人相關資料、提前於召開專家學者與場址選定會議前2~3週函報專家學者名單給國土測繪中心，俾國土測繪中心函請專家學者出席，且會議召開需提前至少2~3天在會議紀錄交付期限前完畢。

#### 二、對感應器擁有者訪談

(一) 規劃訪談單位：行政院農業委員會農林航空測量所、中央大學太空及遙測研究中心、群立科技股份有限公司、詮華國土測繪有限公司、中興測量有限公司、亞新國土科技股份有限公司、自強工程顧問有限公司、國家實驗研究院儀器科技研究中心。

(二) 規劃訪談事項：儀器類別及內容，收集原廠校正項目、內容及方法，目前自我校正之方式、頻率、費用，儀器需要校正之時機，儀器使用目的及以往承辦計畫類別（期望精度、地形圖、比例尺、DEM、三維模型），對國內校正認證制度之看法，對校正內容需求，對校正機制、費用、頻率、場地位置的意見。

### 三、 校正場址選定考量因素

- (一) 場址大小及條件：以適合目前航空攝影機最大像幅為原則（地面大小為 2.0km \* 1.75km），如果確有困難，則以增加飛行重疊度及航線數，務使檢核點能在足夠密度的前提下，均勻分布於全像幅以便能達到與大區域相同效力。場地選定另需注意避開航道、空域管制區、多雨多霧地區，並符合具足夠高差等條件。
- (二) 場址使用權：以初步規劃之建置方案，製作簡易圖說，赴候選場址進行說明，徵得土地所有權人初步同意後，請國土測繪中心發文徵求同意。儘量以使用公家機關（含公營事業、政府支助之單位）、學校、工業區等為原則。國土測繪中心建議加入工業技術研究院院區為候選場址。需要校正場土地所有權人資料，由學會請國土測繪中心協調土地所有權人所在之地政事務所提供所需資料。

### 四、 校正場建置方案

- (一) 校正標：原則上採用美國地質調查所或其他具公信力國際校正場使用的各類標型即可，不需另行設計新型校正標。
- (二) 輻射標：輻射檢定用的色彩平衡標及色調檢定標以光譜儀量測，依據國際照明學會定義之紅、綠、藍三色平衡為準。表面應達到藍勃特散射面為原則，其繞天頂方向 45 度範圍內的反射強度差異應在 40% 以內。
- (三) 地面解析力標 (GSD)：以目前使用最多的大比例尺測圖應用，亦即地元 GSD 為 10 公分為準設計，並儘量以多重疊及多航線方式，容納 GSD 為 25 公分的校正。
- (四) 幾何位置檢核點：全部校正影像實施空中三角測量完畢並經套疊後，檢核點總數不少於 400 個，其位置需均勻分布於全像



幅，每個檢核點被觀測到的光線數至少為 4。

## 五、 召開專家會議

國土測繪中心建議邀請工業技術研究院相關人員加入專家會議，其餘人員由學會依專長考量邀請對象。

## 六、 航測像機及空載光達所有校正項目及校正方法說明

- (一) 校正項目蒐集：除目前已收集之室外校正場資料外，增加收集感應器製造原廠之室內實驗室校正項目及校正方法。
- (二) 空載光達：研究空載光達平面精度校正可行性、預期可達精度與校正標型。

## 七、 校正場運作準備

- (一) 認證：學會先確認本案校正項目納入 TAF 目前實驗室認證項目，要求的基本條件、需準備資料及是否可行？對國內目前使用的攝影機及空載光達而言是否可滿足。若納入 TAF 認證確不可行，請提出其他規劃。建議於聯繫國外校正機構時詢問國外校正場管理單位認證相關問題如儀器設備追溯，以確保校正結果的公正性。
- (二) 網站：規劃校正場網站功能時，除場地營運資料及申請使用等基本功能外，應包含個案校正程序及校正資料公開等功能。

## 八、 後續三年(101-103 年)完整規劃

期望與國外校正場管理單位進行資料交流(如：管理人 E-mail、校正場建置資料、校正之感應器、運作遭遇困難、相關規範或要點、作業程序、規劃書、報告書、作業手冊、認證機構與情形等)，俾利我國校正場建置參考。

貳、訪談會議：



參、簽到單：

內政部國土測繪中心  
「100年度建立航遙測感應器系統校正作業」  
第一次需求訪談會議

壹、時間：100年05月13日星期五 下午02:30

貳、地點：內政部國土測繪中心 會議室

參、主席：王理事長蜀嘉

記錄：林孜彥

肆、出席人員：(如簽名)

內政部國土測繪中心

蔡季凡

李佩珊

中華民國航空測量及遙感探測學會

王蜀嘉

陳偉成

邱榮基

鐘郁翔

林孜彥

校正場使用者需求訪談議題要點整理：

訪 談 內 容	訪 談 時 間
<p>議題一、儀器室內(原廠)校正之內容及頻率。</p>	
<p>詮：數位航空攝影機原廠僅提供率定報告書，所使用率定設備不知道，將與臺灣代理商鷹圖公司聯繫，瞭解室內校正之設備。 除航空攝影機在操作上有明顯異狀或更新硬體設備，需送原廠校正外，每年將像機上之 Logfile 回傳臺灣代理商，再送原廠檢校該檔案，校正完成後，將新檔案複製到像機內即完成校正手續。 硬體設備目前有兩套，目前採資料確認而未將硬體送回原廠校正。 LiDAR 採購一年多未回原廠校正。</p>	100.05.18. 10:00
<p>農：ADS40 與 DMC 至目前為止，未回原廠校正。但利用拍攝後，將原始影像資料回傳給原廠，原廠再將修正資料，以檔案方式傳送回來，將該檔案複製到機器內，由機器自行裝取修正影像。</p>	100.05.18. 14:30
<p>群：數位航空攝影機原廠僅提供率定報告書，於 93 年採買一套，99 年該套寄回原廠回收，再升級為 XpW。前三年保固期內每年將硬體寄回原廠保養(合約規定)，保養期約為 4~6 星期，費用為運費及保險，其餘在保固期內免費，約為 10~20 萬元左右；保固期後每年將拍攝後的原始影像資料寄給原廠，原廠發現有問題，再進行修正，目前硬體皆未回原廠。LiDAR 採買 1 年多，未回原廠。</p>	100.05.19. 10:30
<p>中：由原廠出廠時，在實驗室內校正，並提出出廠率定報告書，另有一上小型像機與 LiDAR 主機結合在一起，其率定由國外原廠率定，並提供率定報告書。</p>	100.05.19. 13:30
<p>鷹：無強制送廠，由使用者自行決定送驗，通常為影像或硬體儀器有異樣，使用者送廠。保固期內(一年一期，保固費約 10 萬美金左右)，除運費外免費。</p>	100.06.03. 10:00

(續下頁)

訪 談 內 容	訪 談 時 間
宏：建議兩年內回廠檢修，但目前仍無送廠維護之儀器，費用約 100 萬新台幣左右。	100.06.03. 14:00
自：原廠校正方法有二。一是相機送回原廠，或是將相片寄回原廠。校正時，進行 cross fly，航高分別為 1000 m 與 2000 m，率定用面積為 1 km*1 km。	100.05.17.
亞：LiDAR 部分：ALS50 自 2010 年 10 月已未再使用。LiDAR 原廠沒要求回廠校正，但原廠要求代理商定期清潔光纖接頭。LiDAR 用的相機為 Rollei 的，自 2010 年 10 月已未再使用	100.05.18.
國：校正內容有內方位校正，積分球進行輻射校正。平均一年進行一次校正。	100.05.25. 多光譜儀 VCDi， 高光譜儀。

詮：詮華國土測繪有限公司。

農：行政院農業委員會農林航空測量所。

群：群立科技股份有限公司。

中：中興測量有限公司。

鷹：台灣鷹圖股份有限公司。

宏：宏遠儀器有限公司。

自：自強工程顧問有限公司。

亞：亞新國土科技股份有限公司。

國：國家實驗研究院儀器科技研究中心。

訪 談 內 容	訪 談 時 間
<p>議題二、儀器戶外作業時，自我校正方法、校正場址。</p>	
<p>詮：數位航空攝影機利用檢查空中三角測量之平差報表來實行自我檢校硬體設備，至目前為止，透過外業查核與空中三角測量解算之精度至模型上機檢查，並與前次作業之成果互相比對，未發現有精度不足或差異，顯示硬體無明顯之問題。</p> <p>色彩(輻射)校正目前採用原廠的校正表調整色彩，再軟體自動匹配，若發現色彩有錯開現象，則修正。若供應影像給後續使用者，則影像色彩隨影像使用者之視覺效果偏好而有些微調整。</p> <p>航空攝影機校正場目前有維護的場址設置於彰化縣鹿港鎮內大小約 3 公里見方，地面有 20~30 個地面標，飛行採用井字形方式飛行。</p> <p>LiDAR 校正場設置於彰濱工業區內，平直的道路，長度約 1.2 公里左右，寬度約為 20 公尺左右，每 5 公尺以全測站(Total Station)量測道路剖面高程，約量測兩千多個地面點位(未設置明顯物)高程，與 LiDAR 實測值比對。利用兩條航線間同一建物之屋頂邊界線來確認平面的相對位置，若有差異，則會調整 IMU 上的參數值來進行修正。</p>	
<p>農：ADS40 與 DMC 之率定場皆相同，位於彰化縣鹿港鎮，涵蓋大小約為 1/5,000 圖幅 4 幅左右。另於台中近郊至大坑山區約 50 幅圖之場地，僅作為本所新購數位航空攝影機之驗收場地，且皆為四翼標，未特別維護，但部分接近大坑山區屬軍事區，申請非航許可不容易。以上場地，本所皆作為參數率定(calibration)或測試用途，並未使用於設備校正(correct 或 adjust)用途。</p> <p>利用立製作業時發現問題，或硬體有拆裝時，就校正場飛行測試率定。</p>	
<p>群：LiDAR 校正場設置於台中港附近，根據原廠說明書規定尋找，需有傘狀及圓形建物，且地面道路上無車通行，才能提供給原廠校正檢查。但該校正場位於台中機場民航機航道之下，因此沒有航班飛行時，才能進場拍攝，通常為中午時刻。每月飛行一次校正場，並與前次參數比對，有差異才進行修正。</p>	

(續下頁)

訪 談 內 容	訪 談 時 間
<p>中：LiDAR 利用校正場內大型房屋的邊界線以相鄰航帶的資料，來進行平面的相對精度校正。LiDAR 校正場設置於彰濱工業區內，且建物容易取得。</p>	
<p>自：目前國內無自己的相機校正場。</p>	
<p>亞：1、在每次進行施測作業時，在台中港工業區進行校正。校正時，找有斜屋頂且建物分布平均的地方，進行 8 次 cross fly，航高 750m 及 1500m。</p> <p>2、校正時，進行 cross fly，航高分別為 500m 與 800 m，率定面積用 1 km*1 km。</p>	
<p>國：進行拍攝時，直接在拍攝區進行測量。校正場以前在軍功寮，現在台中縣鐵砧山，未來將在彰化鹿港(農航所)。目前校正場大小約 5km* 5km，內有 30 個左右分布平均的控制點(十字標)，進行 cross fly，航線為：4 條南北向、2 條東西向航線，在不同航高進行校正，重疊率 60%。</p>	

訪 談 內 容	訪 談 時 間
議題三、儀器使用頻率、拆卸頻率。	
詮：數位航空攝影機利用大鵬航空兩架飛機幾乎專機專用，專案使用，目前天氣好就需航拍，拆卸頻率不高(每年約 2~3 次)。LiDAR 拆卸頻率也是每年 3~4 次。	
農：專機專用，但一台載具進廠維護，剩一台載具執行任務之時，拆卸頻率較高，拆卸頻率每年約 1~2 次。	
群：載具有大鵬及群鷹翔，地調所案，裝於群鷹翔的飛機上，目前未拆卸過，但其他案子約每年 10 次左右。將感應器(含 GPS/IMU)全部裝置於一塊大鐵板上，每次只要拆卸該鐵板上的螺絲，就可以拆裝(相對位置不變)，因此，在不同載具上只要輸入不同參數值，並不需重新校正。	
中：視計畫的需求，拆卸儀器，每年約 6~7 次，每次拆卸就會進入校正場飛行，進行校正。	
自：相機用完就拆，平均每半個月拆裝一次。由起飛到降落平均一年用 200 小時。	
亞：自 2010 年 10 月已未再使用。	
國：平均一年拆卸 12 次。	



訪 談 內 容	訪 談 時 間
議題四、儀器的配備(含 GPS/IMU 及載具)。	
詮：數位航空攝影機兩台皆內建配有 GPS/IMU，且與主機體為整體性組合在一起，不能分開，精度一致。	
農：ADS40 與 DMC 皆配有 GPS/IMU，專機專案使用。	
群：航空攝影機 99 年加裝 GPS/IMU，目前測試中。LiDAR 採買時即裝有 GPS/IMU，另加裝一台小型的同步攝影像機。	
中：拍攝河道彎曲或高山較高飛機無法達到之高度，使用之載具為直昇機。有時租借不到飛機時，亦會採用直昇機為載具。  直昇機上裝載 GPS/IMU，實際驗證與飛機上之軌跡比對並無不同。	
自：相機焦距 100 mm，含有 GPS 與 IMU，載具為固定翼航空器或直升機。	
亞：具有 GPS 與 IMU，載具為固定翼航空器或直升機。	
國：含有 GPS 與 IMU，載具為固定翼航空器。	

訪 談 內 容	訪 談 時 間
議題五、期望校正場能提供的比例尺及精度(GSD)。	
詮：依目前業主需求規範大多為 1/1,000(GSD10 公分)，只有少數業主需求為小比例尺 1/20,000(平均為 GSD28 公分)。	
農：依航照需求而定，目前以 GSD25 公分為主，若要校正，期望以 GSD20 公分。	
群：GSD10~25 公分，目前 CCD 的解析力越來越強，若 GSD 值定太高，則載具距離地面高度要越高，而目前國內載具的極限高度大多在 4000~5000 公尺，若再提高對於載具是一項挑戰，氣候因素也越不利，雲霧產生的機會越大。	
中：目前僅有 LiDAR 上隨附之小型像機，該像機供協助判釋點雲之用，並不用於測繪地形圖。	
自：期望校正場能提供 1000 m 精度 GSD 6 cm，2000 m 精度 GSD 12 cm。	
亞：1、就 LiDAR 而言，校正只是針對 POS 的校正，無精度之需求。 2、LiDAR 用的相機的率定標準不應該與航照的率定標準一樣，在高度 500 m 時，GSD 為 9 cm。	
國：期望校正場能提供高光譜儀飛行高度 1500~2700 公尺 GSD：1~2 m。VCDi 飛行高度 1200~1800 公尺 GSD：50 cm。	

訪 談 內 容	訪 談 時 間
<p>議題六、期望校正場的規模大小及場址。</p>	
<p>詮：數位航測攝影機校正場大小至少要涵蓋一張像幅，飛行方式採交叉對向飛行，至少要有東、西、南、北四個方向，布設 30 個左右地面點。LiDAR 校正場大小長度為 2 公里，寬度 20~40 公尺，每 5 公尺間距量測 1 個高程值。場址位於中部以北至宜蘭皆能接受，彰濱區域若建置 LiDAR 校正場需考慮場址沈陷問題。</p>	
<p>農：校正場需避開軍事管制區，以免造成申請飛航許可繁雜。校正場的規劃具備多樣尺度彈性，內容包括拍攝航高、解析度、空標形式等。</p>	
<p>群：大小以兩條航帶的寬度為主，飛行採井字形飛行，交會點較多，可得之校正資料也較多。另校正場主要以幾何、空間解析力校正為主，輻射校正對於色彩認定，爭議較多，校正場的規模可以暫時不考慮輻射校正。</p>	
<p>中：LiDAR 需平直道路，長度約 2.0 公里，高差不大，垂直該道路並將 FOV 開啟到最大角度飛行，進行 LiDAR 校正。航高最好有 3 種高度，參數值較為精準。</p>	
<p>自：希望場址在北中區，離機場近的公有地。校正場的航標需每年校正。</p>	
<p>亞：希望場址在北中南區均有，離機場近的公有地，建物有斜屋頂且分布均勻。</p>	
<p>國：室外校正場希望場址在中區，大範圍 5km*5km，人為干擾小的地點。</p>	

訪 談 內 容	訪 談 時 間
<p>議題七、期望校正場的使用費用、頻率、時機。</p>	
<p>詮：期望每年校正一次，率定時間約為政府公告案件之前為宜。LiDAR 校正場使用次數需較多一些，每年約 3~4 次。校正場的使用費用為校正場的維護費用(如：清標、量測地面點平面坐標值及高程)去平均分擔。</p>	
<p>農：校正頻率依工作規範內所要求，如：需提出近三年(或五年)內之率定報告書，校正場開放使用時間每年三個月(最好是非雨季時間)。費用包含場地維護費、坐標測量及認證規費，每次全部 20 萬元左右，各項若能分開更好，則分為維護其間及非維護期間。</p>	
<p>群：費用每次 3~5 萬元，廠商還要自行負擔飛航之費用約 30 萬元左右。校正頻率以一年半至兩年一次，因國內氣候因素，要無雲的天候，不易尋得。開放時間以夏季為佳，並且於東北季風開始之前。</p>	
<p>中：期望每次拆卸皆能校正一次，但基於成本與載具因素，校正次數越少越好，每年一次為佳。依使用次數頻率平均分攤費用，每次約 10~15 萬。</p>	
<p>自：希望校正場提供免費服務。由於測量規範 5 年測一次太久，建議 3 年進行一次校正。率定時基建議每年的 1~5 月之間。</p>	
<p>亞：希望校正每年測一次，率定時機建議每年秋季。</p>	
<p>國：期望校正場提供免費服務。儀器拆卸一次校正一次。希望可以隨時使用，建議校正時間為每年 9~11 月。</p>	

訪 談 內 容	訪 談 時 間
<p>議題八、受訪單位建議事項。</p>	
<p>詮：因目前航測系統受 GPS/IMU 的影響越來越大，所以，期望校正場也能提供 GPS/IMU 的校正，便於提供 1/1000 比例尺使用。 校正場的範圍內，設置至少含 1 個之永久性地面基站，由國土測繪中心維護，亦可同時供 eGPS 測站用。</p>	
<p>農：若經費許可，購買光譜儀，與校正之航測儀器同時置放於載具上，對地面標進行輻射校正作業。 永久性地面點是否納入測量標保護法中？地面點的幾何標能夠美化使其成為公共藝術品，如：水塔上設置標點，兼具測量與藝術。設置地點除了透空度外，亦需注意是否因太陽角度的關係，產生的陰影會遮住地面點，尤其是在冬天。 地面點若於私人土地，是否可以給予適當經費，請私人協助保護地面點？ 校正場內或附近區域，設置 2 個(或以上)的地面基站，供 GPS/IMU 使用。</p>	
<p>群：政府標案之合約約定航遙測系統需經校正場率定才得使用，當業界於校正場開放時間後才採買感應器設備，則無法使用該設備。建議校正場能分為開放期間與非開放期間，非開放其間地面坐標未經檢定，是否可先行以先前坐標認證？待隔年檢定後再認證一次；或以原廠的率定報告書為參考資料，待開放期間再認證。 GPS/IMU 目前沒有校正作業，但情形未知，精度、可靠度不明，連原廠也沒此作業，建議能增加 GPS/IMU 校正項目。 地面 LiDAR 國內有越來越多的趨勢，建議能增加地面式 LiDAR 的校正場。</p>	
<p>中：LiDAR 上所附之像機，該像機像幅小，不做測繪(地形圖)，只用於輔助 LiDAR 點雲之判釋，建議該像機不納入感應器校正範圍內。</p>	

(續下頁)

訪 談 內 容	訪 談 時 間
<p>自：1、希望校正場建立的標準以中庸為原則。</p> <p>2、若訂定太高，案子由校正不合格之廠商得標該怎辦？</p> <p>3、在收費原則下，計劃案要包含校正費。</p> <p>4、建議校正場設立在台北盆地，校正場要有 E-GPS，且要提供校正場 E-GPS 的接收品質。</p>	
<p>亞：在收費原則下，計劃案要包含校正費。</p>	
<p>國：1、由於校正時，受天氣影響大，希望校正場附近有氣象站，或者架設監視器以便隨時觀看當地天氣。</p> <p>2、在校正場架設 GPS 站，GPS 頻率為 0.5 秒一筆。並且建議校正場之 GPS 站在申請校正後，可以立刻取得資料。</p> <p>3、當有緊急災變發生時，在災區進行觀測的次數會增加，建議在災區架設簡易校正場。</p> <p>4、建議建立室內輻射校正。</p>	

---

附件三：國內外航遙測感應器系統校正作業  
蒐集資料





數位航空攝影機校正場文獻  
摘要

## 說明：

1. 蒐集國外航測攝影機系統校正場文獻資料有：美國 3 篇、歐盟 4 篇(含德國、挪威、義大利及芬蘭各 1 篇)及亞洲 2 篇(含中國大陸及日本各 1 篇)。
2. 蒐集國內學術或政府機關航遙測感應器校正相關資料有 2 篇。
3. 摘要中章節名之字體以粗體字表示，若字體為粗斜體者，表該章節內容與校正作業的設置原理及方法有關。
4. 蒐集文獻資料中部分名詞因翻譯而有所差異，故若與本建置案所用之名詞定義有所出入，會於該摘要最後章節增列摘要補充說明一節。

美 國



## 1. DIQAP Implementation Plan 2010-07-28

作者：USGS

出處：USGS 官方網站

本篇為美國地質調查所(USGS)對於數位航空影像的品質保證(QA)的實施方案。

內容章節包含：執行摘要、執行背景和概述、資料來源(包括：感應器型式的認證、資料供應商的評估)、資料取得(包括：發展成本、營運成本、效益、強化非營業性運作和未來工作的需求)。

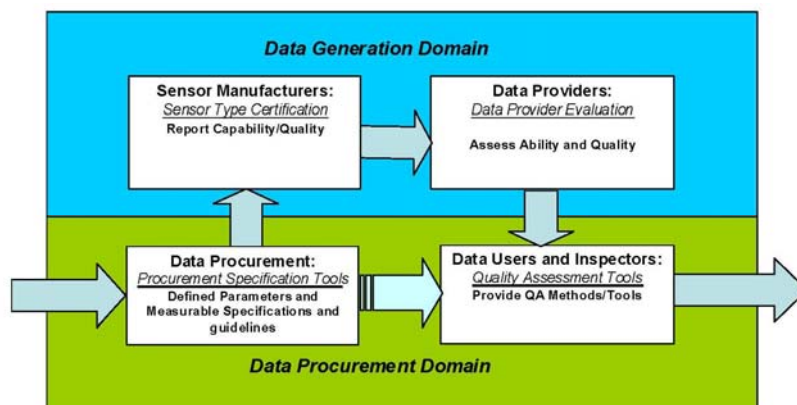
### 執行摘要

遙感探測技術計畫(RSTP)已經開始發展，並且成為美國地質調查所建議將實施的數位航空影像的品質保證計畫(Quality Assurance Plan)。該計畫提供穩定並一致品質的影像產品，這計畫名為數位影像品質保證計畫(Digital Imagery Quality Assurance Plan；簡稱DIQAP)，該計畫擬列入2011年美國會計年度中技術與業務更新之中；EROS中心和其他國家地理空間技術中心(NGTOCs)也會持續的支援RSTP計畫。

### 執行背景和概述

西元2000年，美國航空測量與遙感探測學會(ASPRS)和一個USGS所委託的專家小組所得的結論：對於新的數位系統校正(calibration)而言，數位式感應器校正與相關連的處理是應有的體制，就類似USGS早期類比式底片攝影機的校正程序。該ASPRS小組建議USGS建立數位攝影機校正能力和發展指引，才能滿足成長中國家影像取得程序的需求，基於以上的建議USGS建立航空測量攝影機的校正與品質保證程序，並且提供一般民眾的服務。

DIQAP計畫主要分成兩大部分：資料產生和資料購買部分，如下圖。



### 資料產生部分

資料產生部分又分為兩部分。第一部分為感應器的型號認證，確保感應器能取得高品質及一致性的數位航空攝影測量影像。第二部分為資料供應商的評估，確保資料供應商所產製的資料品質與感應器的能力一致。

感應器型別的認證(certification)一向是 USGS 的工作之一，USGS 的客觀與公正性是美國政府公認的第三者單位，所以，USGS 持續、定期的收集這些感應器的數位影像系統資料。

USGS 對於感應器型別的認證，並非對每一個感應器去認證，而是對生產的感應器的廠商去進行認證，只要廠商對於該型別感應器的設計、規格、品質、製造、校正之製程有保證，並通過 USGS 的觀察與驗證(verify)，則認證該型別的每一感應器。

USGS 對於感應器型別的認證是從會計年度 2007 年就開始。由四名包含攝影測量、校正、系統設計、製造、光學/感應器和品質認證的專家成立全新及全面性的認證團隊。

會計年度 2010 年時，RSTP 建議改變 TAA 認證費由 USGS 成本共同分擔全額費用。目前感應器型別認證的使用費用詳述，如下表。

2010 Sensor Type Certification Costs	New System	Similar System Update	New System Type w/ Minor design differences & similar manufacturing process	New System Type w/ Major design process difference, some previous documentation
OCONUS	\$39,998	\$14,327	\$24,146	\$38,797
CONUS	\$28,444	\$10,830	\$16,779	\$27,243

感應器型別認證的作業從 2007 年以來就持續的進行，所以，大部分的開發工作已經完成。剩下來的就是發布 DIQAP 計畫的文件及費用，供會計年度 2010 年之依據。其費用，如下表。

Task No. *	Description	Action	Completion Date	Fiscal Year Cost
1	Update Sensor Certification Plan to 1.0 and release	RSTP	Summer 2010	\$15,520
2	Document reimbursable fees and update process for Sensor Type Certification	RSTP	Summer 2010	\$9,531

這項認證的主要效益在於一個獨立的專家團隊對於一個系統或感應器的預期應用和相關的準確度或性能提出評估，因此，使得 USGS 的感應器型別認證成為美國政府公務部門合約的一部分。

資料供應商需使用自行的數位攝影機，飛越 USGS 批准的校正場，進行航空攝影並生產產品，再將產品提供給 USGS 進行評估。USGS

評估其精度與品質，就精度範圍、公司基本資料及工作人員，提出該資料供應商是否能夠正確的操作所有系統產製資料產品給使用者之公開報告。

資料供應商的評估需求是 DIAPQ 計畫四大部分中作業量最大，這項工作所需執行的評估業務有資料供應商發展過程、USGS 國家航空校正場、相關軟體工具及其他影像判釋等。

USGS 期望能照顧 48 州的資料供應商的需求，因此，預計最少要建立 5 個國家校正場。會計年度 2009 年時，已經完成第一座校正場設置(Sioux Falls Range)。2010 年時，成立兩座校正場(Rolla, Mo 及 Pueblo, CO)，預計在 2010 年 08 月完成並運作(本文撰寫時間為 2010 年 07 月)，其餘兩座正在尋覓並評估中，預計在 2011 年執行。

USGS 使用影像對影像的方式，自動找尋地面控制點影像匹配，此自動方式可提高對資料供應商評估報告的重複性、可靠性、一致性及效率等。USGS 也正在測試新的方法(chips)，能提供範圍小、價格更便宜的評估方法。

USGS 認為資料供應商應該在三年的期間內至少飛越 USGS 的校正場一次，這一些成本的分析與報告將在 2011 年 3 月 31 日提出，但約略的費用估計在美金 5000 元左右，如果有自動化處理的話，可以到美金 3000-4000 元，這些費用不包括處理和管理資料的軟體費用。

### 資料購買部分

在美國數位航空影像資料購買的部分所花的時間最久，通常在一年或者更久的時間。因此，USGS 提醒使用者注意，開始採購及產品交貨的時間點，兩時間點的資料品質是否都合乎合約規格。

USGS 認為政府各單位間的合約規範如果能夠一致，將可以減少開發工具的費用支出。

USGS 認為除了前述四大部分的運作，還有幾個總體目標和任務，必須配套進行，以把這個計劃到位，提供未來運作的需求及強化。

### 摘要補充說明

原文獻中所提 certification(認證)一詞，並非對每一個感應器去認證，而是對生產的感應器的廠商去進行認證。

## 2. In Situ Calibration Range Requirements V02

作者：USGS

出處：USGS 官方網站

本篇為美國地質調查所(USGS)機構之一的地球資源觀測與科學中心(EROS)，其遙感技術計畫(Remote Sensing Technology Project，簡稱 RSTP)中對於數位航空影像的校正領域之需求。

內容章節包含：校正項目的範圍、概述、校正場實施的需求(包括：校正場的規格、地面控制點的規格、空間解析力標的規格)、校正場維護的需求、校正場使用的需求等。

### 校正項目的範圍

USGS 對於達到校正(calibrating)或/及認證(validating)航空感應器系統現場校正校正場(In Situ Calibration Ranges，簡稱 ISCRs)目標的建設、維護及使用的需求，校正的項目有幾何校正、系統內方位參數的計算，對象主要是數位航空攝影機系統的擁有者和製造商。

### 概述

ISCRs 均勻分布在全美國各地供大家方便使用，它們的形狀為矩形，矩形形狀將提供靈活規劃飛行的路線，而且滿足各種型別的航空感應器系統進行校正。

這些校正場具備非平坦地形、精確的地面控制點以及連續運作的地面基站(Continually Operating Reference Station，簡稱 CORS)。這些地面點將提供足夠資訊給使用者去判斷、認證(validate)，及 USGS 評估攝影機的校正。

這些校正場給予使用者一個方便、安全的環境(如：開放領空，低氣流擾動，沒有危險的垂直障礙物，容易地進行全場日常維護等)，以便收集判斷和驗證航空感應器校正所需的資訊。

### 校正場實施的需求

校正場包含一個大範圍及小範圍的區域，供大像幅及小像幅的攝影機使用，以及任何飛航條件的需求使用。

校正場的規格如下：

- 1).大尺寸區域為 1750 公尺\*2000 公尺。小尺寸區域為 600 公尺\*750 公尺。
- 2).較長的方向應為東西向或南北向。



- 3).地形的起伏至少要 100 公尺以上，同時，地形坡度不能均勻的。如果控制點位於穩定的人工建物頂端上時，這人工建物也可當成地形的變化來計算。而且，控制點間的高程變化至少 75 公尺以上。
- 4).固定的地面基站離開校正場不超過 40 公里，基站上的衛星訊號接收頻率最少 5 秒一筆(最好是 1 秒一筆)。
- 5).校正場位於無雲區。
- 6).校正場要容易並且安全的到達，並且 10 公里範圍內不得有限航區(包括機動排隊飛行的航線)、10 公里範圍內不能有高度超過 100 公尺的障礙物。且 15 公里內也不能有明顯的亂流區(包含：目前活動中、要飛越的領空)。

地面控制點的規格如下：

- 1).每一校正場都必須包含至少 50 個有標記的控制點。每一個控制點在水平和垂直方向的精度至少要達到 2 公分(一個標準差的範圍內)；大尺寸校正場的控制點可以和小尺寸校正場共用；控制點需隨機且均勻的分布在校正場內，同時校正場每一個象限至少要包含 20%以上的點數；任兩控制點間的水平距離限制至少要超過  $\sqrt{(D_x \times D_y) / 2.5N}$ ，其中  $D_x$  為校正場的寬距， $D_y$  為校正場的長距， $N$  為校正場內總點數；障礙物的高度不能超過仰角 45 度；標記的控制點也有一定形狀和大小，量測位置需從標記的中心點量起，控制點儘量繪製在混凝土屋頂或瀝青地面上，標記上的黑色漆或白色漆要採用標準的 Diamond Vogel Paints Traffic Paint Black / White Oilbase 或等級相同的漆，而且標記要符合當地的法規；控制點要容易維護。
- 2).每一校正場都必須包含至少 25 個檢核點來進行校正成果的評估。每一檢核點的設置條件如同控制點的設置(含：精度、共用、分布、及通視等)；檢核點不需要有標記，但如果有標記，標記的規格要比照控制點規格；檢核點如果經過驗證(verification)，也可拿來當控制點用。

空間解析力目標物的規格(選項性)如下：

此規格採用改良過較小的西門子星(Siemens Star)來取得資料數據，改良西門子星的目的在於能控制的方向上提供較明顯黑白兩色邊緣。

- 1). 西門子星分成四個象限。
- 2). 西門子星需面向四個主要方向之一(即東、西、南或北)。
- 3). 西門子星要與控制點一致的相同通視條件。
- 4). 西門子星的的輪幅線長 3.2 公尺。
- 5). 西門子星在第 1、2、3 象限中間的輪幅線及第 4 象限所有輪幅線，與相鄰的輪幅線之間距離至少 1 公尺，以提供明顯的邊界區分。
- 6). 西門子星在第 1、2 及 3 象限中的輪幅間距為 18 度。
- 7). 西門子星在第 4 象限中的輪幅間距為 10 度。
- 8). 每一個象限中的輪幅線有明確的方向，來提供測定相對邊緣的靈活度。其中第 1 及 4 象限的輪幅線對於主要方向沒有旋轉，第 2 象限的輪幅線對於主要方向順時針旋轉 4 度，第 3 象限的輪幅線對於主要方向逆時針旋轉 8 度。
- 9). 每一個輪幅線的兩端要有明確方向。
- 10). 西門子星的白色面要用 TBD-1 油漆。
- 11). 西門子星的黑色面要用 TBD-1 油漆。

#### **校正場維護的需求**

USGS 結合政府機構、企業界和學術界(即校正場的贊助商)加入校正場的規劃和建造。建造完成後，這些贊助商將會執行校正場的全部維護，USGS 也會協助這些贊助商任何的校正場重建。

- 1). 贊助商進行校正場所有的日常維護和檢查。
- 2). 贊助商須保持校正場所有檢查的歷史紀錄和任何的執行維護紀錄。
- 3). 贊助商和 USGS 共同決定例行檢查的頻率、範圍和報告。
- 4). 當校正場使用者回報可用的控制點數剩 90%(或更少)時，USGS 將會對贊助商發出特別的維護需求。
- 5). 當校正場的控制點數低於 95%或空間解析力校正標變的難以使用時，USGS 將會對贊助商發出維護諮詢。

#### **校正場使用的需求**

ISCRs 最主要的用途是攝影機的幾何校正(calibration)，這幾何校正至少可分為三個層次：全校正、參數調整(tweak)校正及校正(calibration)後認證(validation)。這三個層次需要不同的校正場資源和影像，由使用者依照自己的需求自行決定。

- 1). 校正場的使用者應通知 USGS 和校正場贊助商飛越校正場領空

- 的計畫。
- 2).校正場使用者應將影像複本提供給 USGS，以做為校正目的與校正成果之用。
  - 3).至少有 80%的控制點和檢核點必須在兩(或更多)張成像上曝光，以便達到校正目的。
  - 4).所有影像上控制點是校正成果一部分。
  - 5).校正結果應以 ASCII 格式呈現，並須包含：
    - a).統計上測得校正參數以及參數間關連性的訊息。
    - b).量測資料。
    - c).控制點資料。
    - d).外方位資料。
    - e).攝影機資料。
  - 6).校正場贊助商必須在計畫飛越校正場領空 5 天之內進行校正場例行性檢查。

### 3. The USGS Plan for Quality Assurance of Digital Aerial Imagery

作者：Greg Stensaas, George Y.G. Lee, Jon Christopherson

出處：USGS 官方網站

本篇為美國地質調查所(USGS)回應美國航空測量及遙感探測學會(ASPRS)航空攝影機校正小組於西元 2000 年所提出的數位航空影像的品質保證(QA)建議之介紹。

內容章節包含：摘要、USGS 於航空攝影機校正的簡介及歷史、目前 USGS 校正系統的效益及問題、數位影像產業的發展情形、品質保證的作業流程、USGS 對於數位航空影像資料的品質保證計畫(其中有；資料取得部分：包括訂定合約的指導方針和工具、品質保證的標準和工具；資料來源部分：包括航空感應器型式的認證、資料來源提供者的認證)、USGS 計畫的效益、本計畫的時程與情形、未來資訊的交流與聯繫等。

#### 摘要

USGS 為了回應 ASPRS 攝影機校正(calibration)小組在西元 2000 年所提出的建議所提出的數位航空影像的品質保證計畫，本計畫結合政府機構、企業界和學術界。經過本計畫的四個部分處理，USGS 認為將可以購買和生產高品質的數位航空影像。這四個部分分為兩個主要領域，分別為：資料購買部分(含：數位航空影像的規範準則及數位航空資料的驗收標準)和資料生產部分(感應器型別認證及資料供應商的認證)。透過購買和生產數位航空資料的過程，USGS 計畫確保每一主要步驟的品質，以及最直接能夠影響維護品質的責任地方。USGS 和其夥伴希望鼓勵有能力者的數位航空影像系統者能夠滿足航空資料的供應商和消費者之需求。

#### 簡介及歷史

USGS 主要負責美國國內的攝影機校正，其光學實驗室(OSL)自西元 1973 年以來，負責底片式(film-based)攝影機校正工作。因此，USGS 的校正(calibration)報告已成為美國公認的官方航空攝影機認證(certification)文件。

1998 年 USGS 要求 ASPRS 召開專家小組會議，研究未來攝影機的校正，這小組在西元 2000 年作成建議給 USGS。

### **目前校正系統的效益及問題**

USGS 校正報告提供了攝影機校正參數(內方位參數和畸變係數)，以便產生高品質的航空底片的產品，並幫助美國的航空遙感企業保持在一個較高且整體性的品質。

在美國仍有大量的底片式航空攝影資料在使用，一般的合約仍會要求 USGS 的校正報告，但由於數位攝影機感應器的多樣化，USGS 無法快速全部完成校正，因此，抑制並減緩數位系統的發展。

### **數位影像產業的發展情形**

在美國數位影像產業的發展，只能用”西部的狂野”(Wild West)來形容其蓬勃發展的情形，這也使得 USGS 不得不對數位感應器系統進行校正能力的增強，來確保地理空間資訊產品的品質。

為了滿足廣大消費者對於航空影像的需求，USGS 特別成立了 IADIWG(Inter-Agency Digital Image Working Group)機構。IADIWG 由 14 個聯邦政府機構和全國資料最大的購買者所組成，USGS 在不同的地點與政府、儀器製造商與資料供應商舉辦 IADIWG 的研討會。

### **品質保證的作業流程**

USGS 計畫流程分為兩大領域和四個獨立的主要品質要素。兩個領域為資料產生領域和資料購買領域。

資料購買域也可稱為”客戶域”，它主要是全部過程中開始與結束，要注意否都合乎合約所需的資料。

資料產生域也可稱為”企業域”，它被分為數位航空感應器要素(包含數位航空感應器的發展、販售和支援)與資料供應商要素(包含感應器的操作和從感應器輸出的產品發展)兩大要素。

### **USGS 對於數位航空影像資料的品質保證計畫**

資料購買領域：

資料採購領域是由兩個有密切關係的部分所組成，兩者都是成功購買資料的要素。第一要素就是清楚且簡明扼要與資料供應商提出初始與最終產品合於合約規範的需求採購，因此，要注意合約準則以及所用工具。

USGS 與其夥伴 IADIWG 已發展出在量測數位航空資料產品品質的使用標準方法和指標，這準則也可在網路 Web 上獨立驗證資料產品的特性。

資料產生領域：

在這個步驟 USGS 會要求儀器製造商所製造的數位航空感應器是否合乎高品質航空影像的需求。因此，型別的認證(certification)是 USGS 參訪數位航空感應器系統的製造商設計、製造、發展和測試過程來給予認證。

由於資料供應商是從航空攝影之後到最終將產品送到消費者手上的單位，因此，他們有責任確保這些資料供應商的認證，以滿足所有的分包商及商業夥伴。

### **USGS 計畫的效益**

由 USGS 對數位航空感應器的型別認證，此一新的認證方式，並不是對每一個數位航空感應器認證，減少了政府的負擔，也降低製造商的費用，同時比起底片航空攝影機也消除運輸費用、風險以及時間。

對資料供應商的認證，此一新的認證方式相對於傳統的底片攝影機校正的需求而言，似乎增加資料供應商的負擔。但卻能提高產品的品質，而且他們也不需將儀器送到 USGS 的 OSL 去校正，降低成本和時間的支出。

### **本計畫的時程與情形**

2006 年 1 月 USGS 開始數位航空系統製造商的認證(certification)。最初的成果雖然只侷限於幾個主要生產數位航空感應器的生產者，但隨著這些廠商的支援和合作有助於 USGS 未來的進一步發展，並改善標準和方法。

截至 2007 年中，USGS 參訪了 4 個主要儀器製造商，並且頒發航空系統的認證，這 4 家儀器製造商分別為：Applanix、Intergraph、Microsoft/Vexcel、Leica。

USGS 目前正在改善認證程序，以及確定未來償還價格結構體系的認證。

USGS 和 IADIWG 正在草擬一份數位航空資料簽約草案，同時能在網路 Web 上實行，對於每一技術標準都有其相應的一致驗收標準。資料供應商的認證是 USGS 和 IADIWG 的工作範圍，但目前沒有詳細計畫。

### **未來資訊的交流與聯繫**

USGS 網站的主機為 IADIWG 發布最新訊息及工作群活動之處。該

網站還包括目前感應器校正的政策和服務、產品特性、研究報告及指導方針。網址為 <http://calval.cr.usgs.gov>。

對於前面所述指導方針和總體項目有問題和意見，可向以下任一處反映。

Gregory L. Stensaas e

Remote Sensing Technologies Project Lead

USGS EROS Data Center

47914 252nd Street

Sioux Falls, SD 57198

605-594-2569

[stensaas@usgs.gov](mailto:stensaas@usgs.gov)

George Y.G. Le

Raster Theme Lead

USGS Menlo Park Campus

345 Middlefield Road, M/S/ 531

Menlo Park, CA 94025

(650)329-4255

[gylee@usgs.gov](mailto:gylee@usgs.gov)





## 歐 盟 (德 國)



## **The EuroSDR Approach on Digital Airborne Camera Calibration and Certification**

作者：**Michael Cramer**

出處：**The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B4.**

目前新數位航空測量攝影機系統的綜合分析是重要的課題，歐盟國家的 EuroSDR 組織對於數位航空攝影機的校正(calibration)與認證(validation)也非常的注重。因此，EuroSDR 組織提倡歐洲數位航空攝影機的認證(European Digital Airborne Camera Certification，簡稱 EuroDAC<sup>2</sup>)，這也是這篇報告中所要介紹的。這篇報告中，同時對於 EuroDAC<sup>2</sup>的現況與即將進行的實務運作發展進行簡短的闡述。內容章節包含：前言、EuroSDR 組織介紹、數位攝影機的校正與驗證(含：數位攝影機校正的脈絡、中像幅攝影機的出現、數位攝影機的輻射性能)、數位攝影機的認證(含：數位攝影機的校正程序、校正項目的草案、室內測試部分與航線規劃、感應器的發展、使用者的特別需求、EuroDAC<sup>2</sup>的決議與下一步驟)、結論等。

### **前言**

近些年來數位攝影機如雨後春筍般出現，不論是大像幅(large - format)或中像幅(medium - format)攝影機不斷的被使用，今後幾年也會是如此的情景。

校正工作是測繪攝影機公認必做之事，但如果用於新數位感應器，則其過程勢必要修改，不能再用傳統類比式攝影機的校正方式。由於新的數位感應器多樣化，變的也會較複雜，在這種背景下，需要新的且能接受校正程序以及認證過程是必須的，而且要更靈活。因此，EuroSDR 決定發動一項倡議，就是數位攝影機校正和驗證。

### **EuroSDR 組織介紹**

EuroSDR(European Spatial Data Research 組織，網頁位址詳見 [www.eurosd.net](http://www.eurosd.net))是歐洲用戶主導的機構，成立於 1953 年(前身為 Organisation Européenne d'Études Photogrammétriques Expérimentales, OEEPE)。截至今日為止 17 個歐洲國家的官方為該組織的成員，每個成員的情形通常由兩名代表在 EuroSDR 科學和指導委員會：一代表是從國家測繪局，第二個代表從研究機構或

公司。

該組織的任務有兩個方面：1.開發和改進方法，對購買、處理、生產、維護和核心地理空間訊息傳播的系統化和標準化，以及推廣應用所有這些資料，特別強調空載和衛星資料收集方法。2.鼓勵科研機構之間的相互作用，以及關於相關的研究問題於公共和私營部門交流，並將獲得的研究成果轉給地理資訊生產組織。

EuroSDR 的研究活動由 5 個科學研究委員會所舉辦。這些委員會負責科學計畫和研討會的發起及協調。歐洲早期研究的主要焦點是放在實務經驗上的效能測試。這些大量的結果後來被實際使用在新的技術上，例如：光束法、GPS 輔助空中三角測量、GPS 慣性方向地理參考。基於此，在數位攝影機校正/驗證的最近和過去的計畫中，確認繼續先前的研究計畫，並且充分符合該組織的宗旨。

### **數位攝影機的校正(CALIBRATION)與認證(VALIDATION)**

EuroSDR 於 2004 年就開始進行空載數位攝影機的校正與認證工作。因為新的數位攝影機感應器採用不同的設計，具有全彩色與多光譜的能力與傳統類比攝影機有所不同，導致使用者對於攝影機系統校正的知識大量缺乏，進而對新數位感應器的校正不甚滿意。因此，建立數位攝影機的專業網路，其主要的目標分為兩階段：第一階段為收集數位攝影機自我校正的資料，並說明作法和方法。第二階段為由個別專家的意見和經驗，室外實證測試接受空載數位攝影機校正和驗證的發展。這兩階段已經完成，第一階段報告(Cramer, 2004)，第二階段由 Cramer 發表(2007b)，最終的計畫報告由 EuroSDR 官方刊物系列於 2008 年刊載。

第一階段中的結果，大部分是來自製造商的室內實驗室自我校正，這部分與傳統的空中攝影測量較有所不同，但也顯示出現場校正的不同性。

第二階段實際驗證飛行數據，飛行數據有三種系統：ADS40(第一代感應頭 SH40)、DMC 和 UltracamD 攝影機。然而初期因財物關係，數據的獲得是有限的。DMC 和 UltracamD 攝影機是在挪威的 Fredrikstad 測試場所得的數據(受限於地理環境因素，其資料收集有限)，ADS40 攝影機是在德國的 Vaihingen/Enz 測試場進行測試，這些測試在 2003 年和 2004 年完成，但無法確切反應當今最先進的感應器技術，例如：ADS40 第二代感應器(SH51 和 SH52)及 UltracamX 感應器，所以，結果會與現今有所不同。

第二階段的實證中，是自我校正(self-calibration)提高三種測試系統的品質。運用空中三角測量的自我校正，ADS40 的平面精度可達 1/5 像元(GSD)，垂直精度可達 1/3 像元(GSD)，相當於 0.04%飛行高度；DMC 的平面精度可達 1/4~1/3 像元(GSD)，垂直精度可達 1/2~1 像元(GSD)，相當於 0.05~0.1%飛行高度；UltracamD 的平面精度可達 1/4~1/2 像元，垂直精度可達 1/3 像元，相當於 0.03%飛行高度；這部分也收集到 UltracamD 和 DMC 的輻射品質精度。

對於自我校正參數的設定，在特別情況下有其必要性。例如：ADS40 採用布朗參數的標準模式就足夠，但 DMC 和 UltracamD 攝影機就要採用擴展式或修正的自我校正模式，有時候這三個攝影機系統需要更多參數的模式才足以修正系統誤差。觀測值的先驗權重也是影響之一。

中像幅的攝影機系統在本報告中並沒有做太多的研究，但 EuroSDR 已經於 2007 年秋季由德國 Görres Grenzdörffer 博士所領導 Universität Rostock 的團隊運行作業，第一階段幾何和輻射校正已經結束，成果報導於 Grenzdörffer (2008)。

輻射校正還沒有分析完成，最主要的是大像幅攝影機輻射性能的細節。這部分的項目由 Eija Honkavaara 和 Lauri Markelin 所聯合領導芬蘭 FGI、羅馬 Arbiol 和西班牙 ICC 進行運作，已在 2008 年春季開始，將花 2 年左右的時間完成。第一階段的自我方法，將在 2008 年底根據文獻研究和查詢感應器製造商、影像供應商、影像的用戶等資料彙編成的報告中提出。

輻射校正的數據收集需要包含不同的飛行高度和多天的資料，增加結果的可靠度。至於絕對輻射校正，在飛行時應收集空中的高光譜數據，例如：CASI、AISA、野外輻射或大氣數據等。

### **數位航空攝影機的認證(CERTIFICATION)**

EuroSDR 注意到數位攝影機認證，因此，推動 EuroDAC<sup>2</sup>，協調歐洲 17 個國家的測繪和地籍機構(National Mapping and Cadastre Agencies，簡稱 NMCAs)密切合作，該計畫也推動像美國 USGS 的品質保證計畫。

EuroDAC<sup>2</sup>在 2007 年 05 月 24 日於荷蘭鹿特丹舉行的第 110 屆 EuroSDR 科學會上啟動。EuroDAC<sup>2</sup>的團隊由 6 人所組成(如下表)，該小組的成員有中像幅、線掃描和大像幅多框式技術的成員，他們也都是國家測繪以及系統使用者，其中 R. Reulke 目前參與德國的

標準化組織。

#	Member	Expertise
1	<b>R. Alamus</b> ICC Barcelona Spain	NMCA, DMC user
2	<b>L.-E. Blankenberg</b> BLOM Geomatics Norway	Commercial company, UltracamD/X user, science
3	<b>D. Boldo</b> IGN France	NMCA, medium format camera development/testing
4	<b>S. Bovet</b> Swisstopo Switzerland	NMCA, ADS40 user
5	<b>M. Cramer</b> Universität Stuttgart Germany	Science, head of core group & EuroSDR commission I
6	<b>R. Reulke</b> Humbolt Universität Berlin Germany	Science, German (DIN) standards
7	<b>G. Grenzdörffer</b> Universität Rostock Germany	Science, Project leader: Medium Format Cameras
8	<b>E. Honkavaara, L.</b> Markelin & R. Arbiol FGI Finland & ICC Spain	NMCA, Project leaders: Radiometric Performance

第一次小組會議於 2008 年 01 月 30 日在西班牙 Castelldefels 舉行，其中 D. Boldo 和 R. Reulke 由同事代替出席，還有一名 USGS 代表出席。下圖為該集團成員(從左至右)：N. Paparonditis(法國 IGN，代替 D. Boldo)，S. Bauer(德國柏林 DLR，代替 R. Reulke)，G. Grenzdörffer(德國 Universität Rostock)，L.-E. Blankenberg(挪威 Blom Geomatics)，M. Cramer(德國 Universität Stuttgart)，R. Alamus(西班牙巴塞隆納 ICC)，D. Moe(美國 USGS 品質保證計畫成員)和 E. Honkavaara (芬蘭 FGI Masaala)；S. Bovet(瑞士 Swisstopo)也參與本計畫，但不在此照片中。



一般數位攝影機的校正是在廠商自己設置的實驗室及野外校正場進行，例如：第二代 ADS40 大像幅數位航空攝影測量感應器的幾何校正是在野外校正場飛行中進行的。使用者除了關心幾何品質，

對於空間解析力和輻射校正也是至為關心的。但這些過程和校正設施目前沒有校正認證(calibration certificates.)。

感應器製造商都有各自系統校正協議，這些協議非常廣泛，尤其是多鏡頭攝影機。所以，校正過程的透明度，以及校正訊息完整性和非模糊性，並沒有進行分析，因此，校正協議還無法發出校正證書。真實作業環境中，在明確定義和控制測試範圍才能提供檢查整體系統效能。雖然野外測試現場(test site)認證(validation)也被引入新的國家標準，例如：新的德國標準 DIN 18740-攝影測量產品，但仍有很多的細節還沒有界定清楚。

由於新的數位感應器技術發展迅速，一些非量測型但現成的感應器，被用來裝在中像幅的系統上，這些使用者也希望能夠進行攝影機的認證(certify/validate)，但認證的成果必須照顧到不同的(含發展中)感應器。

一些用戶會要求特別的需求，來驗證他們的飛行設計所相對應的地面解析度和精度(accuracy)，有些用戶會要控制資料的整個過程，但有些卻只要最終的產品。試飛(Test flights)不只驗證感應器的性能，並能指出個別攝影機的優缺點。此外，資料產生不僅受感應器本身影響，也受後期處理、空中要素及操作環境的影響；因此，野外現場驗證也可分析後製產品。

EuroDAC<sup>2</sup> 完全同意美國 USGS 品質保證計劃，尤其是所謂的製造商認證(manufacturer certification)，現已經更名為感應器型別認證(sensor-type certification)，這在一般檢查感應器製造過程中的連續品質控制，而且只涉及產品系列不對每個感應器的序號驗證，這也獲得系統製造商的支持。

相反的，核心團隊決定將重點放在以下比較具體的步驟，這似乎是在不久的將來要解決的：

從事於描述校正過程的透明化和完全性以及在校正協議中校正結果的獨特性、比較性和明確性。

從事於空載校正(calibration)和認證(validation)野外測試場(test fields)的優化設計，以及相對應的測試方法來完全驗證系統的效能。這部分測試程序已經於 2008 年由 Honkavaara 等人執行。

從事於形成一個國際校正與認證測試場提供者的網路。所有測試場必須是獨立的、可比較的設計，並會提供相同的用戶政策。

EuroDAC<sup>2</sup> 確定四個主要測試場，並已用於最近幾年歐洲空載測

試。這些測試場的維護者為：芬蘭大地測量研究所(Masaala, 芬蘭)，即 Sjäkulla 試驗場；帕維亞大學(Pavia, 意大利)，即 Pavia 試驗場；斯圖加特綜合大學 (Stuttgart, 德國)，即 Vaihingen/Enz 試驗場；生命科學大學 (Aas, 挪威)，即 Fredrikstad 試驗場。最近 2008 年在西班牙(Nafria Garcia)有一個新的測試場建立完成，位於 Valladoid 的北部，並由義大利 Technologico Agrario 研究所來維護場地。不過，EuroDAC<sup>2</sup>仍希望能有規則的將類似測試場分布於歐洲各地。

### **結論**

本文簡要總結：在 EuroSDR 組織的框架下，最近完成的數位航空攝影機校正與驗證調查。就目前的狀態只有一小概述可以得到；如果過程本身是基於廣泛的基礎，後來的執行情況和整體認可會變得更加容易。認證本身是一個相當複雜的領域，這也再次確認美國 USGS 認證第一次的經驗。不過正式實施的過程，必須靠特定國家執行，因為它依賴國家當局。EuroDAC<sup>2</sup>正計畫由歐洲標準化委員會(CEN)取得過程步驟的認證。

### **摘要補充說明**

原文獻中所提 certification(認證)或 validation(認證)的程序定義，EuroSDR 預計在今(2011)年 09 月於德國 Stuttgart 大學舉辦的第 53 屆航測研討會上，提出對該認證機制及方法有較具體的成果報告。



歐 盟 (挪 威)



---

## The EuroSDR Performance Test for Digital Aerial Camera Systems

作者：Michael Cramer

出處：<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo07/120Cramer.pdf>

本篇報告是 EuroSDR 的計畫中對於數位航空攝影機校正(calibration)與認證(validation)的概述，以及主要成果的摘述。本計畫主要強調的是關於數位航空攝影機幾何方面的校正(calibration)與認證(validation)，經過 3 至 5 年的作業期，該計畫於 2007 年 05 月正式完成。雖然整個計畫因一些因素而稍微有所延誤(原為 2 年期的計畫案)，但整個計畫最終還是成功的。本篇報告所使用野外校正場的數據取自於挪威的 Fredrikstad 校正場及德國的 Vaihingen/Enz 校正場。

內容章節包含：前言(含：EuroSDR 的組織、數位攝影機校正計畫的目標)、實際測試航拍資料(含：航空攝影測量測試區的介紹、各型感應器拍攝影像的航線規劃)、航空攝影的測試分析(含：ADS40 在德國 Vaihingen/Enz 校正場的飛行測試、DMC 及 UCD 在挪威 Fredrikstad 校正場的飛行測試)、摘要和結論、展望等。

### 前言

隨著第一台數位空載航空測量影像感應器的出現與應用，對感應器的性能做測試和數位測圖攝影機校正的研究，是有需要的。雖然傳統類比框幅式攝影機的校正方法是完善的，但對於新式數位感應器其處理過程是需要修改。數位系統主要的結構是完全不同的(例如：線掃描式系統、多鏡頭大像幅系統、單鏡頭中小像幅系統等)，因此單獨的系統校正程序是必要的。因此，新的且能被接受的校正及認證程序是明顯的需求，這也是 EuroSDR 決定進行數位攝影機校正及驗證的背景。2003 年 10 月 EuroSDR 正式建立數位攝影機的校正與驗證，並運用科學理論和實務研究互相配合來取得校正與驗證成果。

EuroSDR 被歐洲的使用者所驅策，成立於 1953 年(前身為 OEEPE)。現今有 18 個歐洲國家為期正式組織成員，每一會員國有 2 個代表團員，一個是國家測圖機構的人員，另一個是研究機構或公司企業代表。這組織有 2 個任務：1.發展和促進資料取得、處理程序、產

品、維護、幾何空間資訊傳播和推廣應用之方法、系統化和標準化。  
2. 鼓勵研究組織、公眾和私人資訊交流的互動，並交換研究結果。  
EuroSDR 是由 5 個科學研究委員會所組成，委員會負責科學計畫和研討會的推動。

數位攝影機校正與驗證計畫分為兩個計畫階段：1. 收集數位空載攝影機校正的資料。2. 透過實務的測試，以及專家的經驗與建議來推展普遍性接受空載攝影機的校正與驗證處理程序。

階段一主要的結論，歸納如下：

1. 實驗室校正明顯減少使用，野外現場校正之重要性明顯增加。
2. 為了儀器製造商的系統校正參數的驗證和完善，使用者定期的做野外現場(in-situ)自我飛行校正。
3. 由於向自我校正技術在傳統航空攝影測量不那麼普遍，出現了使用者的知識不足。

第二階段的重點在經驗校正和從不同的數位航空攝影機的資訊測試。個人的網路成員被要求做航空攝影機的性能研究，以他們自己的軟體和知識，去取得最好的幾何結果，雖然階段二不強調不同攝影機之間幾何性能的直接比較，但是強調各型號攝影機感應器自我校正(self-calibration)的方法。不過，最後共有 13 個不同的研究機構(如下表)把他們的處理結果傳回測試中心。測試中心把三個商業性

#	Institution	Code	Processed data set(s)
1	Institute Cartographic Catalunya, Barcelone, Spain	ICC	DMC
2	Lantmatäriet, Gävle, Sweden	LM	DMC
3	ITACYL, Valladolid, Spain	itacyl	UCD
4	Inpho, Stuttgart, Germany	inpho	DMC, UCD
5	CSIRO Information Sciences, Wembley, Australia	CSIRO	DMC, UCD
6	DLR, Berlin, Germany	DLR-B	ADS
7	University of Applied Science, Stuttgart, Germany	HfT	DMC
8	IPI, University of Hannover, Germany	IPI	DMC, UCD
9	ETH Zürich, Switzerland	ETH	ADS, DMC, UCD
10	University of Pavia, Italy	UoP	ADS
11	University of Nottingham, England	UoN	UCD
12	Intergraph/ZI-Imgaing, Aalen, Germany	IngrZI	DMC
13	Vexcel, Graz, Austria	Vexcel	UCD

的大像幅數位空載攝影機(即 Leica ADS40(ADS)線掃描系統和 Intergraph/ZI-Imaging DMC 和 Microsoft/Vexcel UltracamD(UCD)框幅式系統)取得的測試飛行資料進行分析。其中 ADS 的資料只有被分析 3 次，而 UCD 和 DMC 的飛行資料分別被處理 7 到 8 次。這顯示目前攝影測量研究機構中較少的軟體和知識，去處理線掃描影

像的幾何正確性；然而 DMC 和 UCD 提供標準框幅影像，因此，與傳統式影像所差無幾，容易地以標準過程處理。不過當使用 DMC 和 VCD 框幅式影像時，還是有必要做一些修改。在許多情況下，資料已使用不同結構或參數作平差處理。因此，參與者最後提出 157 種不同版本給測試中心評估。

### 實際測試航拍資料

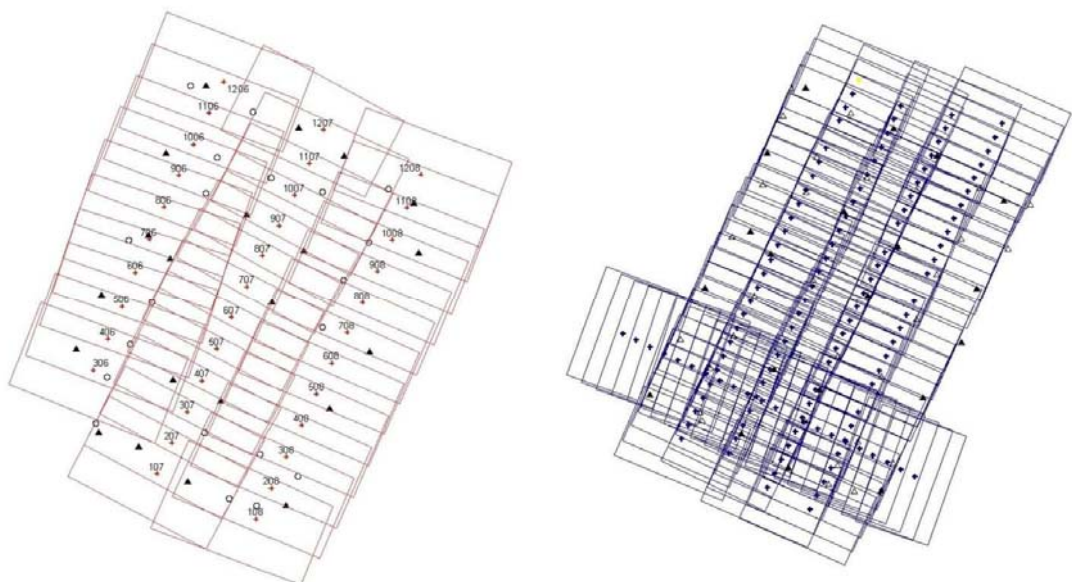
2005 年啟動計畫，主要致力於找尋合適、公開的實際資料供第二階段分析，但因財政預算不足的因素，所以，收集的資料不能夠滿足原先設計的要求。

最後，在挪威 Fredrikstad 測試場收集到 DMC 和 UltracamD 系統兩組資料。DMC 飛行資料由挪威的 Terra Tec 提供 UCD 飛行資料是透過德國 IFMS-Pasewalk 取得。挪威 Fredrikstad 測試場是專為攝影測量所設計的測試區，測試場地面上有足夠的控制點，該測試場佔地 4.5\*6.0 平方公里，且包含有 51 個明確、永久性標誌且規則分布的控制點。這些地面控制點(GCPs)的精度在毫米(millimeter)等級，其中的 20 點，當成 DMC 和 UCD 的控制點來處理，其餘點位當成獨立的檢核點，用以檢查絕對品質。該測試站成立於 1992 年，由挪威 Agricultural 大學測繪科學系所維護。ADS40 的資料在德國 Vaihingen/Enz 測試場取得。該測試場由 Institut für Photogrammetrie (ifp) at Universität Stuttgart 所維護，該測試場為數位空載感應器先前測試場或綜合 GPS/慣性系統的獨立績效評估場地。測試場佔地 7.5\*4.8 平方公里，超過 200 個可供控制及檢核的地面點。點位分布符合中比例尺(1:13000)廣角傳統攝影機左右及前後 60%重疊飛行的條件，點位坐標由 GPS 靜態觀測所得，三個分量的精度都達 2 公分，一個子集合 12 個點位的分布為 ADS 處理資料控制所用，其餘為檢核點之用。由於沒有專供輻射或空間解析力的目標可用，因此只進行幾何性能的研究。

在 Fredrikstad 和 Vaihingen/Enz 測試場三種不同感應器飛行測試的基本特性摘述，如下表；所有的傳感器皆飛行了兩種不同的飛行高度。

Flight	Altitude a. g. [m]	GSD [m]	# strips long/cross	% overlap long/cross	# Images	Additional data
<b>ADS40</b> Vaihingen/Enz, June 26, 2004						
low	1500	0.18	4 / 2	100 / 44	36	GPS/INS
high	2500	0.26	3 / 3	100 / 70	36	GPS/INS
<b>DMC</b> Fredrikstad, October 10, 2003						
low	950	0.10	5	60 / 30	115	n.a.
high	1800	0.18	3	60 / 30	34	n.a.
<b>UCD</b> Fredrikstad, September 16, 2004						
low	1900	0.17	4 / 1	80 / 60	131	GPS
high	3800	0.34	2	80 / 60	28	GPS

其幾何分布為 DMC 的飛行較高，GSD 為 0.18 公尺，如下圖左邊；UCD 的飛行較低，GSD 為 0.17 公尺，如下圖右邊；兩者相當於飛行航高 2000 公尺，GSD 為 0.2 公尺情況所得的資料。



### 航空攝影的測試分析

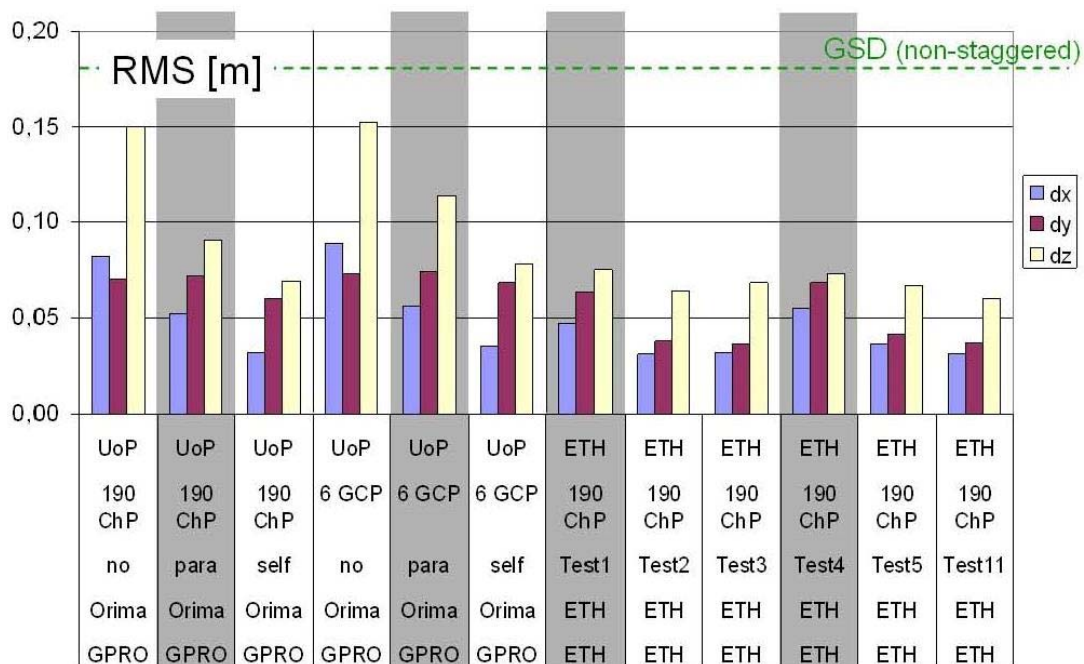
正如提過的最主要重點是感應器系統的實際幾何精度和處理過程當中附加參數的影響；因此，首先會進行手動和自動影像坐標的量測，下表中顯示不同的應用軟體套件及附加參數用於影像點位量測和約束平差的情況。

Process step	Software	Data set	Additional parameter sets (if applied)
Matching and point measurement (only for phase 2)	Manual, Match-AT, LPS, ISAT, GPro, PhotoMod, others	DMC	Ebner, Grün, Polynom, BLUH Ebner/Grün per image quadrant, BLUH DMC specific
Bundle adjustment	Match-AT, ORIMA, InBlock, BLUH, Bingo, PhotoMod, ACX-Geotex, IS-PhotoT, others	UCD	Ebner, Grün, BLUH Ebner/Grün per image patch, BLUH UCD specific
		ADS40	Brown (with some extensions)

測試中心評估 ADS40 在德國 Vaihingen/Enz 測試場的幾何絕對精度 (RMS)，如下表；其中從測試中心調查所得 190 個檢核點和 12 個控制點用 Leica 的 GPro 和 ORIMA 應用軟體處理計算。

ADS flight	Self-calibration	RMS [m]		
		East	North	Vertical
<i>low</i> , GSD 0.18m	not applied	0.052	0.054	0.077
<i>low</i> , GSD 0.18m	applied	0.031	0.040	0.057
<i>high</i> , GSD 0.26m	not applied	0.066	0.060	0.100
<i>high</i> , GSD 0.26m	applied	0.064	0.059	0.087

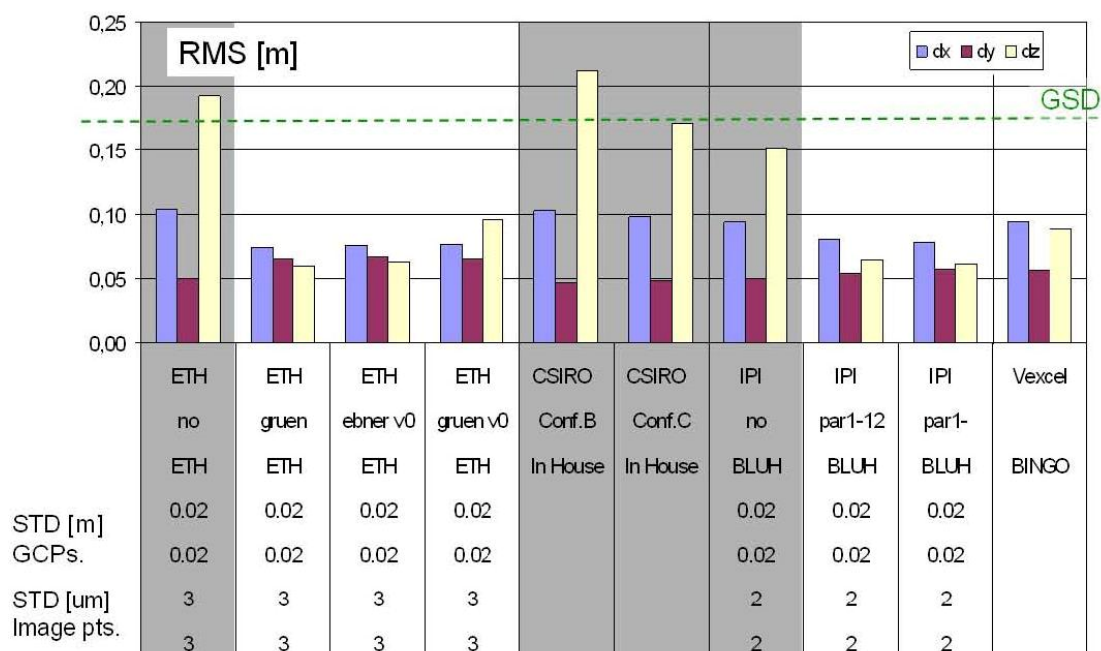
網路參與者處理 ADS 資料後所得的成果如下圖所示。



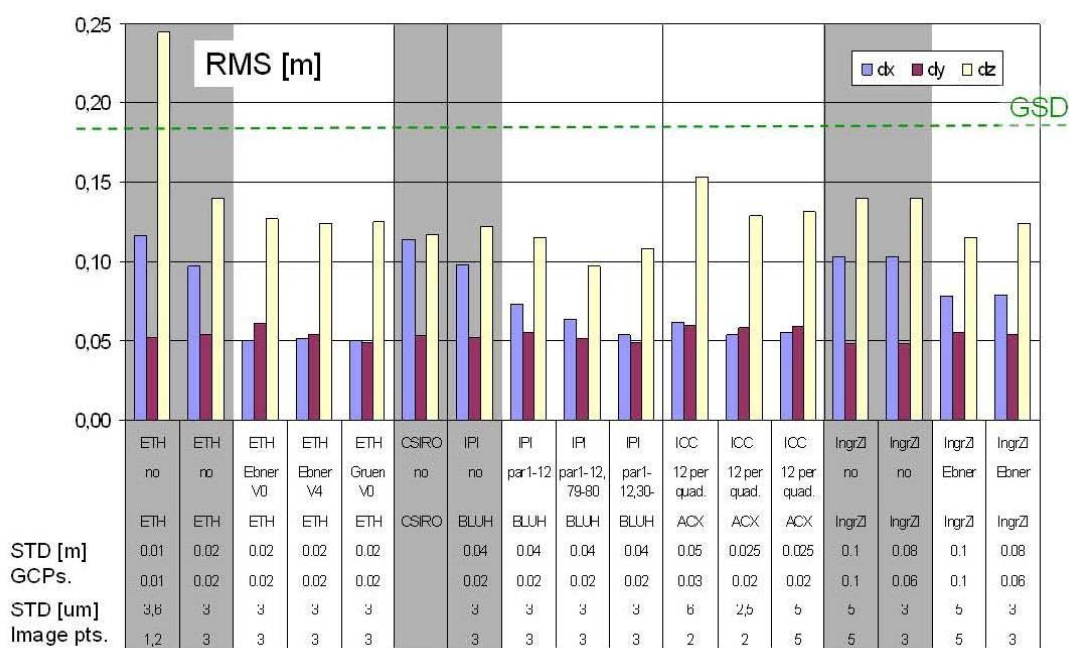
測試中心評估 DMC 和 UCD 在挪威 Fredrikstad 測試場的絕對精度 (RMS)，如下表；其中從測試中心調查使用 20 個控制點。

Flight	Flying height, GSD	RMS [m]		
		East	North	Vertical
<i>DMC low</i>	950m, 0.10m	0.040	0.048	0.132
<i>DMC high</i>	1800m, 0.18m	0.048	0.047	0.116
<i>UCD low</i>	1900m, 0.17m	0.076	0.060	0.059
<i>UCD high</i>	3800m, 0.34m	0.048	0.068	0.103

網路參與者處理 DMC 資料後所得的成果如下圖所示。



網路參與者處理 UCD 資料後所得的成果如下圖所示。



### 摘要和結論

從前面的實證得到的重要發現，總結如下：

- 一 測試三個系統實證得到自我校正顯然是提高品質必須要做的。使用自我校正空中三角測量後，ADS 在水平方向的精度達 1/5 像元、垂直方向的精度在航高的 0.04‰範圍內；DMC 在水平方向的精度達 1/4~1/3 像元、垂直方向的精度在航高的 0.05~0.1‰範圍



圍內；UCD 在水平方向的精度達 1/4~1/2 像元、垂直方向的精度在航高的 0.03‰範圍內。

- 對於 DMC 與 UCD 而言，自我校正的重要性，比 ADS 更為重要。另外，系統的校正，UCD 比起 DMC 更有意義。
- 在某些情況下，自我校正參數的設定，對於感應器的幾何校正是有必要的。例如：ADS 使用標準模式的 Brown 參數就足夠。但對於框架系統的 DMC 和 UCD 就需使用擴展或修正的自我校正模式，其參數高達 44 個。
- 除自我校正外，觀測量的先驗加權影響也很大，甚至於超過自我校正模式的影響。

這是很有趣的，三個系統製造商參與了這個項目，並且更詳細地研究他們的應用軟體處理，克服需要自我校正的方法。這些儀器製造商的措施已經達到 EuroSDR 計畫，只是最後的報告尚未出爐，期望在 2007 年秋季能編譯完成並出版。

### **展望**

EuroSDR 決定後續的兩個項目，預計在 2007 年年底開始。第一個項目是涵蓋各個方面，包含中像幅攝影機的幾何校正和輻射校正；在發展小到中像幅數位攝影機系統主要用於遙感和精準農業的應用。第二個項目重點是大像幅數位攝影機的輻射校正以及歐洲數位空載攝影機認證 - EuroDAC<sup>2</sup>。



## 歐 盟 (義 大 利)



---

## Experiences in GPS/IMU Calibration Rigorous and Independent Cross-Validation of Results

作者：V. Casella, M. Franzini

出處：<http://www.ipi.uni-hannover.de/fileadmin/institut/pdf/113-casella.pdf>

本篇報告討論從大量依靠 GPS/IMU 系統校正的工作成果，以及航空攝影測量中常用的直接地理參考坐標(Direct georeferencing, 簡稱 DG)的品質。本篇報告的數據是由義大利帕維爾測試校正場(Pavia's Test Site, 簡稱 PTS)所取得。

內容章節包含：前言、校正場及資料收集的介紹、空中三角測量的品質評估、IMU 系統的校正、時間記錄延遲的問題、直接地理參考坐標(DG)同次數校正方式的精確度、在相同飛航條件之下的交叉認證、在不同飛航但有短時間穩定性的交叉認證、攝影機焦距的重新估算、結論等。

### 前言

直接地理參考坐標(DG)，在攝影測量是廣泛使用的，不過，在這方面的技術仍然是研究的課題，例如：IMU 校正的頻率、焦距錯誤校正(mis-calibrated)值的管理方法、重新估計焦距的意義、採用數學模式來執行 IMU 校正(1~2 步驟, 3 或 6 參數評估)、系統誤差的辨識和大小評估、時間登錄延遲的效應和補償方法等。要獲得可靠的結論，就必須有很好真實地面(數個不同航高的獨立飛行特性、重複且交叉的航帶，很多密集、分布均勻且量測很好 CKPs[檢核控制點])的大量研究案例。還有一些純理論的研究，例如：校正處理過程使用隨機模式。本文說明大量 GPS/IMU 系統的校正選擇結果以及 DG 在航空攝影測量的品質。

### 校正場及資料收集的介紹

帕維爾測試站(PTS)建立於過去的五年之中，它根據正在進行的研究計畫的需要而制定，因此，有許多相關的特點。

此校正場有高品質 GPS 網(13 頂點及 1 個由 Laboratorio di Geomatica of the DIET Department of the University of Pavia 所維護的永久追蹤站)，可適用於 1/500 到 1/100,000 的比例尺範圍。它同時顧慮到雷射掃描之所需，目前有數種感應器(Optech 1210、Toposys I、Optech 3033)所得的資料；它也有傳統地面測量已量測過的平地區，例如：

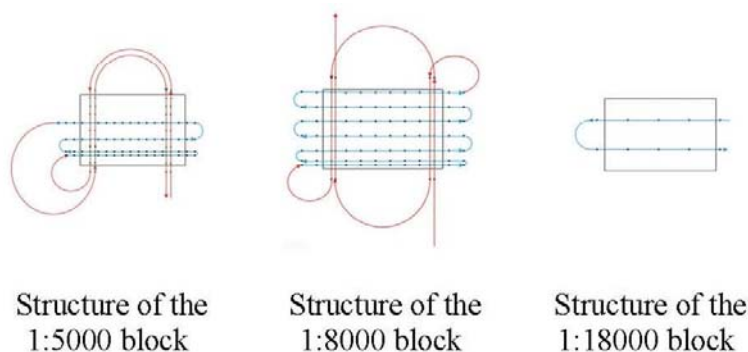
網球場、停車場、斜坡道，也有地形的剖面圖。地面上也有很多控制點和檢核點，四周圍繞著白色每個 35 公分見方大小，共 180 個人造物(artificial ground control points，簡稱 AGCP)，它們均勻分布在整個測試場內(大小為 6 公里\*4.5 公里)；也有 50 公分見方大小，共 50 個大型人造點；最近，又加入 62 個自然地面控制點(natural ground control points)，如下圖。



測試場(test site)進行 4 種不同的飛行測試，由義大利 CGR 公司執行，飛機上裝載 Applanix POS/AV 510 感應器。其中 2 次飛行測試是用焦距 300mm 的攝影機，而其他 2 次飛行是由 150mm 的攝影機執行。其像比例尺有 1:5,000、1:8,000 及 1:18,000，這些影像比例尺在義大利通常會被用來產製 1:1,000、1:2,000 和 1:10,000 的地圖，其飛行資料，如下表。

Flight	Date	Scale	Date	Focal length	Relative flight height	Overlapping	Strip number	Image number
1	14/5/2003	1:5000	14/05/03	150 mm	750 m	60/30	8	139
		1:8000	14/05/03	150 mm	1200 m	60/60	11	131
		1:18000	14/05/03	150 mm	2700 m	60/60	2	19
2	16/05/03	1:5000	16/05/03	150 mm	750 m	60/30	8	135
		1:8000	16/05/03	150 mm	1200 m	60/60	11	128
		1:18000	16/05/03	150 mm	2700 m	60/60	2	15
3	06/04/03	1:5000	06/04/03	300 mm	1500 m	60/30	8	146
		1:8000	06/04/03	300 mm	2400 m	60/60	11	145
4	17/03/03	1:8000	17/03/03	300 mm	2400 m	60/60	11	135

三種比例尺的飛行方式，如下圖。



### 空中三角測量的品質評估

空中三角測量(AT)是用 Hannover 大學所開發的 BLUH 程式來計算。AGCP 分成為兩個獨立的組別：正確的 GCPs 用於平差，CKPs 只使用在獨立品質評估，坐標系為當地卡式參考坐標系統(local cartesian reference system)。其結果，如下表。

Flight	Pts	Obs	$\mu_{\Delta x}$ [m]	$\mu_{\Delta y}$ [m]	$\mu_{\Delta z}$ [m]	$\sigma_{\Delta x}$ [m]	$\sigma_{\Delta y}$ [m]	$\sigma_{\Delta z}$ [m]
pv1-5000	167	613	-0.007	0.005	0.012	0.038	0.037	0.055
pv1-8000	193	1139	0.006	-0.006	0.010	0.046	0.055	0.087
pv1-18000	132	341	0.016	-0.014	-0.021	0.094	0.104	0.163
pv2-5000	147	570	-0.005	-0.006	0.012	0.053	0.054	0.076
pv2-8000	185	1068	0.007	0.004	-0.011	0.050	0.057	0.101
pv2-18000	159	382	0.009	0.029	-0.048	0.086	0.111	0.209

### IMU 系統的校正(CALIBRATION)

IMU 系統校正執行六次，參考空中三角測量使用 BLUH 計算，然而校正、影像定位及驗證是由 Matlab 來執行。其結果，如下表。

Flight	Photo	$D_x$ [m]	$D_y$ [m]	$D_z$ [m]	$M_x$ [grad]	$M_y$ [grad]	$M_z$ [grad]	$\sigma_{Dx}$ [m]	$\sigma_{Dy}$ [m]	$\sigma_{Dz}$ [m]	$\sigma_{Mx}$ [grad]	$\sigma_{My}$ [grad]	$\sigma_{Mz}$ [grad]
pv1-5000	80	-0.174	-0.048	-0.146	-0.7227	0.1521	-0.0614	0.053	0.064	0.034	0.0075	0.0042	0.0049
pv1-8000	76	-0.134	-0.113	-0.220	-0.7204	0.1553	-0.0609	0.075	0.081	0.031	0.0044	0.0039	0.0041
pv1-18000	8	0.027	-0.076	-0.400	-0.7253	0.1586	-0.0633	0.101	0.092	0.050	0.0024	0.0039	0.0029
pv2-5000	84	-0.166	-0.015	-0.154	-0.7253	0.1522	-0.0605	0.086	0.098	0.040	0.0082	0.0053	0.0059
pv2-8000	77	-0.173	-0.041	-0.156	-0.7240	0.1546	-0.0617	0.094	0.105	0.034	0.0047	0.0044	0.0040
pv2-18000	8	-0.215	0.028	-0.292	-0.7238	0.1570	-0.0672	0.203	0.182	0.110	0.0024	0.0071	0.0033

### 時間記錄延遲(ISSUES)的問題

時間紀錄延遲的最初調查和結果，如下表所示。

Flight	Photo	$\mu_{\Delta x}$ [m]	$\mu_{\Delta y}$ [m]	$\mu_{\Delta z}$ [m]	$\sigma_{\Delta x}$ [m]	$\sigma_{\Delta y}$ [m]	$\sigma_{\Delta z}$ [m]
pv1-8000	76	0.001	-0.013	0.220	0.162	0.130	0.031
pv1-8000-1-N	4	0.034	-0.092	0.239	0.081	0.033	0.030
pv1-8000-2-S	6	-0.004	0.125	0.226	0.103	0.059	0.045
pv1-8000-3-E	8	-0.129	-0.162	0.253	0.071	0.023	0.018
pv1-8000-4-W	7	0.168	0.020	0.212	0.066	0.051	0.029

### 直接地理參考坐標(DG)同次數校正方式的精確度

同次數認證(homogeneous validations)採用單一鏡頭六次飛航所得數據進行分析，其結果如下表所示。

Calibration	Validation	Pts	Obs	$\mu_{\Delta x}$ [m]	$\mu_{\Delta y}$ [m]	$\mu_{\Delta z}$ [m]	$\sigma_{\Delta x}$ [m]	$\sigma_{\Delta y}$ [m]	$\sigma_{\Delta z}$ [m]
000-8000	000-8000	132	341	0.054	-0.027	0.013	0.056	0.064	0.112
000-8000	000-18000	193	1139	0.052	-0.051	0.002	0.060	0.072	0.109
8000-000	18000-5000	132	339	0.100	-0.088	0.283	0.165	0.190	0.220
8000-000	18000-8000	167	613	0.052	-0.027	-0.061	0.061	0.073	0.114
8000-000	18000-8000	193	1139	0.055	-0.051	0.002	0.060	0.072	0.109
8000-8000	18000-18000	132	340	0.111	-0.086	0.199	0.109	0.221	0.202

### 在相同飛航條件之下的交叉認證(VALIDATION)

交叉驗證也是在相同的飛航情況下進行，但限於文章篇幅的因素，本文只顯示 pv1 的飛航比較資料，其結果如下表所示。

Calibration	Validation	Pts	Obs	$\mu_{\Delta x}$ [m]	$\mu_{\Delta y}$ [m]	$\mu_{\Delta z}$ [m]	$\sigma_{\Delta x}$ [m]	$\sigma_{\Delta y}$ [m]	$\sigma_{\Delta z}$ [m]
pv1-5000	pv1-5000	167	613	0.054	-0.027	0.013	0.056	0.064	0.112
pv1-5000	pv1-8000	193	1139	0.052	-0.051	0.076	0.065	0.076	0.114
pv1-5000	pv1-18000	132	339	0.100	-0.088	0.283	0.165	0.190	0.220
pv1-8000	pv1-5000	167	613	0.052	-0.027	-0.061	0.061	0.073	0.114
pv1-8000	pv1-8000	193	1139	0.055	-0.051	0.002	0.060	0.072	0.109
pv1-8000	pv1-18000	132	340	0.111	-0.086	0.199	0.109	0.221	0.202

### 在不同飛航但有短時間穩定性的交叉驗證(VALIDATION)

在兩次飛航(pv1 和 pv2，時間間隔 48 小時)間進行交叉驗證，其結果如下表所示。

Calibration	Validation	Pts	Obs	$\mu_{\Delta x}$ [m]	$\mu_{\Delta y}$ [m]	$\mu_{\Delta z}$ [m]	$\sigma_{\Delta x}$ [m]	$\sigma_{\Delta y}$ [m]	$\sigma_{\Delta z}$ [m]
pv2-5000	pv1-5000	167	613	0.054	-0.028	0.007	0.057	0.064	0.112
pv2-8000	pv1-8000	193	1139	0.057	-0.052	0.068	0.064	0.073	0.113
pv1-5000	pv2-5000	147	570	0.086	-0.006	0.008	0.073	0.075	0.097
pv1-8000	pv2-8000	185	1068	0.096	-0.033	-0.071	0.063	0.076	0.110

### 攝影機焦距的重新估算(RE-ESTIMATION)

透過 GPS 的輔助、攝影機中心的量測及空中三角的共同平差進行焦距的計算修正，同時要小心權重的分配，下表為焦距重新估算後，GPS/IMU 校正的結果。

Flight	Photo	$D_x$ [m]	$D_y$ [m]	$D_z$ [m]	$M_x$ [grad]	$M_y$ [grad]	$M_z$ [grad]	$\sigma_{D_x}$ [m]	$\sigma_{D_y}$ [m]	$\sigma_{D_z}$ [m]	$\sigma_{M_x}$ [grad]	$\sigma_{M_y}$ [grad]	$\sigma_{M_z}$ [grad]
pv1-8000	76	-0.131	-0.111	0.019	-0.7204	0.1554	-0.0609	0.075	0.08	0.03	0.0043	0.0040	0.0041

下表為焦距重新估算後，DG 的精度結果。

Calibration	Validation	Pts	Obs	$\mu_{\Delta x}$ [m]	$\mu_{\Delta y}$ [m]	$\mu_{\Delta z}$ [m]	$\sigma_{\Delta x}$ [m]	$\sigma_{\Delta y}$ [m]	$\sigma_{\Delta z}$ [m]
pv1-8000	pv1-5000	167	613	0.051	-0.027	0.026	0.061	0.073	0.115
pv1-8000	pv1-8000	193	1139	0.055	-0.051	0.002	0.060	0.072	0.108
pv1-8000	pv1-18000	132	340	0.110	-0.082	-0.088	0.110	0.225	0.209



## **結論**

本文探討 GPS/IMU 的校正和 DG 品質評定(assessment)的各種問題，並考慮數種校正(calibration)與認證(validation)飛行使用的組合，精度的評估也使用名義上及重新估算後的焦距進行分析，短期校正穩定性也進行研究，還有最初時間記錄登錄延遲的效應。

未來的活動將涉及：將對系統應用提出所有的方法，重新估算攝影機焦距的時間穩定性研究，在各種航高條件下不同攝影機焦距的研究，不同校正及不同焦距重新估算的嚴格統計討論，時間記錄延遲誤差的評估。

## **摘要補充說明**

原文獻中所提 validation(認證)為同一測試條件下，比較多組數據的差異所得的成果。



## 歐 盟 (芬 蘭)



---

## **Calibrating Digital Photogrammetric Airborne Imaging Systems in A Test Field**

**作者：Eija Honkavaara, Lauri Markelin, Eero Ahokas, Risto Kuittinen, Jouni Peltoniemi**

**出處：The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B1.**

在航空攝影測量的資料收集中，被動式(passive)與主動式(active)數位影像已經很快的取代傳統的底片式影像。航空攝影測量的可靠性(reliability)、精密性(accuracy)與有效性(efficiency)是建立在校正、高品質感應器與嚴密處理之上。因此，野外測試校正場對於系統的校正是潛在的方法，而且，野外測試(Test field)校正場必須能進行數位航空攝影幾何(geometry)、輻射(radiometry)與空間解析力(spatial resolution)方面的校正。本篇報告所使用的野外校正場為芬蘭的 Sjökuulla 校正場，經由實際的野外測試校正場所得結果，證實永久固定的野外校正場對於航空攝影測量影像的高效率、高度自動化與可靠性之校正是一種有效的工具。

內容章節包含：前言、野外測試校正場的材料與方法(含：材料、方法)、成果與討論(含：幾何校正成果、空間解析力校正成果、輻射校正成果、野外測試校正場參數化、數位航空攝影測量影像系統的校正程序之建議、野外測試校正場的建議、野外測試校正場的可行性與必要性)、結論與展望等。

### **前言**

在航空攝影測量資料取得中，數位影像正快速的取代傳統底片影像。然而，航空攝影測量的可靠度、精確度和效率是來自於被校正過、高品質的感應器與嚴密的處理過程。野外校正場對於確定系統校正是具有潛在的方法，完整的野外校正場具有幾何、輻射及空間解析力的校正功能，野外校正場目前正在迅速發展並且是可行性的及有必要性的。在實際測試中，使用 3 種第一代商業用大像幅數位航空攝影測量的感應器，ADS40、DMC 和 UltraCamD 來進行實測，所得結果對於系統校正而言，一個永久性的野外校正場是有效率、高度自動化與可靠性之工具。研究結果還指出，高品質的航空攝影測量系統校正在野外校正場是可行的。

數位航空攝影測量影像系統校正有 4 個工作：1).感應器組件的校正(如：鏡頭或 CCD)，2).感應器的校正，3).影像取得系統校正，4).影像產品產生系統校正。前兩項工作可以在條件控制良好的實驗室中完成，後兩項工作必須在野外校正場(Test field)或自我校正(self-calibration)的方式進行。

### 野外測試校正場的材料與方法

作業的方法是收集野外校正場的影像資料，透過分析影像上的結果製作出野外校正場的結論。

材料：

本文使用數位大像幅的航空攝影測量感應器來拍攝取得影像。其中幾何校正所用的攝影機為 DMC 和 UltraCamD，空間解析力採用 DMC，輻射校正採用 DMC、UltraCamD 和 ADS40，全部有校正的只有 DMC。

Sensors	Date	GSD [cm]	Property
UltraCamD	11.10.2004	4	G
UltraCamD	14-15.10.2004	4, 8, 25, 50	G
UltraCamD	14.5.2005	4	G
DMC	1-2.9.2005	5, 8	G, SR, R
ADS40	26-27.9.2005	15, 25	R
UltraCamD	1.7., 5.7. 2006	4, 8	R

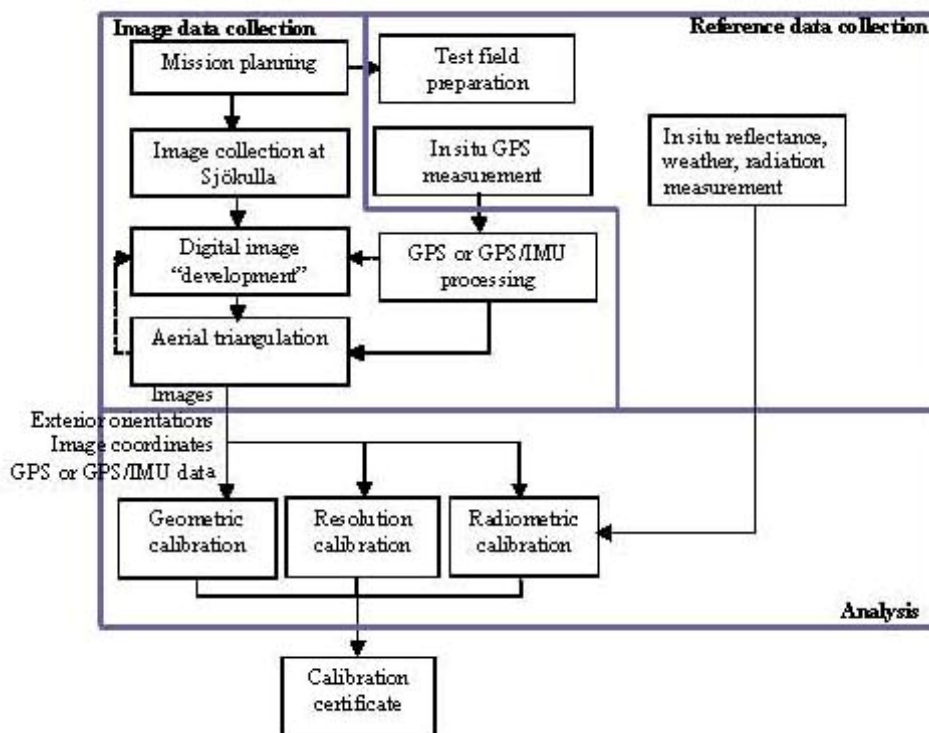
Table 1. Empirical image materials. Analysed properties: G: geometry, SR: spatial resolution, R: radiometry.

方法：

野外測試校正場為永久性的 Sjökuilla 測試場。這測試場建於 1994 年，包含輻射和空間解析力校正，還有大、中、小比例尺的幾何校正，而且該校正場使用碎礫石建設，為其特色之一。



校正流程的程序，如下表。子程序包含影像資料收集、參考資料收集和分析。



幾何校正是以內方位(interior orientations)和系統畸變(distortions)來定；空間解析力的評估是依照對密集條狀解析力目標物所得的解析力(resolving power, 簡稱 RP)和對西門子星(siemens star)所得的調和轉換函數(modulation transfer function, 簡稱 MTF)而定；輻射校正是依 8 階灰度標的反射率來評估，但因沒有收集當時的大氣和光照資料，所以採用模式方式去評估。

### 成果與討論

幾何校正：

DMC 與 UltraCamDs 皆有幾何的變形，若實行自我校正則情況可以改善。

空間解析力校正：

DMC 從影像中心往外解析力有漸弱。

輻射校正：

第一代 ADS40 似乎有較嚴重的限制，雖然第二代感應器號稱已改進，但未見實際驗證之數據。DMC 與 UltraCamD 則設置錯誤，遺失校正參數。

野外測試校正場參數化：

幾何、空間解析力和輻射校正的參數化是建立在下面的結果之上：

a).系統校正模式和參數，b).校正模式的精度(參數精度和殘差量)，  
c).輸出產品的實際驗證精度，d).其他性能指標，e).執行預報的方法和精度。

數位航空攝影測量空載成像系統的校正程序建議事項：

綜合整個校正程序應該包含：實驗室內校正(laboratory calibration)、  
野外測試校正場(test field)、自我校正(self-calibration)、產品水準認證(validations)。

航空攝影測量測試校正場的建議：

基本上任何地區只要有適當的參考指標和測量設備就可以當成野外測試校正場，但如能建立永久性野外測試校正場(permanent test fields)將會有更多的優勢。

校正場的可行性和必要性：

經過多年的研究經驗，幾何、輻射、空間解析力建立永久性校正場是可行的而且是必要的。

### 結論與展望

根據實際驗證顯示，建立一個具有幾何、空間解析力和輻射校正的數位航空測量感應器校正場是可行的且是必要的。



## 亞 洲 (中 國 大 陸)



## 航空几何定标场建设技术研究

(航空幾何定標場建設技術研究)

作者：許妙忠、尹粟、李振濤

出處：2010年亞洲地理資訊系統國際研討會暨台灣地理資訊學會年會，兩岸四地GIS與應用遙感研討會論文集

本篇報告闡述校正場建設內容，包括校正場位置選擇和範圍的確定、野外控制點的布設及測量、控制點標石設計、實驗場取得資料進行分析研究，並介紹後續校正場的維護與管理，以及架設網路作業系統。

內容章節包含：實驗場選址、地面控制網的布設、控制點地面標誌的設計、多感應器數據精度分析、實驗場訊息管理系統平台、結論與展望等。

### 實驗場選址

場址選擇的重要性，考量的因素有：氣候、地形、交通便利等。

### 地面控制網的布設

航空校正標與綜合試驗場：

河南省嵩山附近，測區達100平方公里，布設214個永久性地面控制點，和幾種不同的可攜式標，為滿足多種感應器的校正，根據感應器像幅大小布設控制點間距，測區3公里\*3公里控制點邊長300公尺，測區5公里\*5公里控制點邊長500公尺，測區8公里\*8公里控制點邊長1000公尺。地面控制點之GPS網使用Trimble之TGO1.63版軟體解算。

人造衛星綜合試驗場：

以航空校正場為基礎，擴大到1000平方公里，布設50個永久性地面控制點，和幾種不同的空間解析力檢測與輻射校正的永久和可攜式地面標。

### 控制點地面標誌的設計

標石大小有0.4公尺\*0.4公尺和1.0公尺\*1.0公尺兩種規格。埋石用混凝土現場灌注，深1.5公尺，標石中心為直徑6公分的圓形不銹鋼標，表面全部用紅白油漆塗成對稱三角形圖案，頂部相交為點位中心。

### 多感應器數據精度分析

取得影像資料為航高 3000 公尺、1000 公尺、600 公尺的 ADS40 影像，航高 2500 公尺、1000 公尺、525 公尺的 DMC 影像，航高 2000 公尺、1000 公尺的 ALS50 LiDAR 資料，如下表所示。空中三角計

测区	a_g5	a_g10	a_g25	d_g5	d_g10	d_g25
传感器	ADS40	ADS40	ADS40	DMC	DMC	DMC
主距 (mm)	62.77	62.77	62.77	120	120	120
GSD (cm)	6	10	30	5	10	25
区域面积 (km)	3×3	5×5	8×8	3×3	5×5	8×8
摄影比例尺	1: 9558	1:15931	1:47846	1: 4375	1: 8333	1:20833
航高 (m)	600	1000	3000	525	1000	2500
航向/旁向重叠 (%)	-/60	-/60	-/60	80/60	80/60	80/60
水平/构架航线	4/2	4/2	6/2	8/2	10/2	6/2
控制点 (个)	83	75	54	72	131	120

算用 ORIMA 平差軟體。

ADS40 和 DMC 在成像方式、影像重疊度等方面有很大差別，利用基本模型平差，DMC 平面精度較 ADS40 好，高程方向精度 ADS40 優於 DMC。當控制點數量為 5 個時，ADS40 的精度變化已很穩定。採用 BROWN 數學模式，通過引入附加參數的自檢校方法補償系統誤差，ADS40 和 DMC 兩種感應器都可以達到較高的幾何精度。點雲資料處理採用芬蘭的 TerraSolid 軟體，結果表明，LiDAR 獲取的 DEM 能更好的反映地表特徵，但在採樣密度相同的條件下，坡度增大，DEM 精度會隨之降低，所以，需保證邊緣特徵提取的同時，對 LiDAR 採樣點產生高估或低估的區域進行修正，才能使最終成果滿足 DEM 數位產品的精度要求。

### 實驗場訊息管理系統平台

航空攝影測量感應器校正與綜合實驗場資訊管理系統設計的主要目標是提供校正場多樣數據(含：航空影像、控制點、LiDAR、DEM 等)的儲存管理，校正場資訊的查詢、顯示瀏覽、更新等功能，是面向多用戶服務的校正場數據庫動態管理平台。

### 結論與展望

滿足多樣化感應器檢驗的各項功能和指標，就要採用多種測試和實驗方法，而且要不斷的改進，甚至於地面控制點也要不斷的改進與維護。本文因部分困難尚未解決，因此，輻射校正部分並未提出探討。

## 亞 洲 (日 本)



## 航空機搭載センサーの精度検証用テストフィールド (航空感測器精度驗證試驗場)

作者：社團法人日本攝影測量學會

出處：<http://www.jsprs.jp/testfield/>

本篇報告為日本航空感應器精度校正場的申請使用說明，由日本社團法人日本攝影測量學會所提出，闡述校正場的設置原理及一般使用者的使用原則。

內容章節包含：前言、「試驗場」的定義、日本攝影測量學會試驗場認證、申請使用方法與收費標準、使用試驗場其他相關注意事項等。

### 前言

為進行航空相機精度驗證，歐美乃建置公設之試驗場，以供與空三模式解算成果比較。共通使用之試驗場可作為學術研究與實務上商品型錄宣稱之性能比較。

最近空載 thee-lines scanner、digital camera、laser scanner 等新型航空感應器陸續開發，為提供使用者精度驗證，有必要設置共用之試驗場。社團法人日本攝影測量學會乃籌組「航測驗證委員會」(航測檢證委員會，Committee of Test Field)，提供學術認證及一般研究應用。

### 「試驗場」的定義

一般所謂「試驗場」乃選擇一相當大的地區，設置許多永久性空標，在場區作適當配置。對空標誌耐用年限至少 3~5 年，其後再實施測量，維持良好狀態。對空標誌大小必須適合各種航空感應器攝取之影像上，且能明確辨識，以供測定影像上之坐標。同時，地面測量，提供空標點位精確三維坐標。為使數位攝影機之影像上有良好辨識力，圓形標誌之直徑至少要達 5 個像元。

對空標數量至少要 30 點，最好要 50 點以上，且對空標分布於不同高程上，並分布於不同焦點距離。試驗場寬度至少三個航道，全區高差需 300 公尺，場內各點位需進行精密水準測量。

### 日本攝影測量學會試驗場認證

日本攝影測量學會「航測驗證委員會」(航測檢證委員會，Committee of Test Field) 於 2002 年 9 月籌組成立，於 2002 年 10 月開始提供

認證。開始使用後四年，於 2006 年 12 月～2007 年 3 月實施改正測量。包括全部 GPS 測量、全部 64 點中移設 16 點以維持透空度以及相鄰點間之通視。針對日本攝影測量學會試驗場的特性，說明如下：

1) 位置

試驗場位於神奈川縣足柄上郡松田町附近地區。五萬分之一地形圖之圖名為「秦野」。最近火車站為「小田急線新松田駅」，車程約 15 分鐘。

2) 面積

試驗場之長度為 3 公里，寬度為 1.5 公里。

3) 對空標之形狀

圓形，直徑 60 公分，a)白色圓形鐵板、b)塗料塗布、c)岩石露頭上黃色塗裝。

4) 對空標設置之數量

對空標總共 64 個：a)鐵板 4 個、b)移動式 38 個、c)邊坡岩石塗裝 22 個。

5) 對空標的分布圖，如圖 1 及基準點(已知控制點)配置圖，如圖 2 或可上網查詢，網址如下：

[http://www.jsprs.jp/testfield/image/aircraft\\_mark.html](http://www.jsprs.jp/testfield/image/aircraft_mark.html)

[http://www.jsprs.jp/testfield/image/control\\_point.html](http://www.jsprs.jp/testfield/image/control_point.html)

凡 例		
對空標識点	ペンキ	●
GPS	鉄板	●
對空標識点	鉄板	●
	ペンキ	●
	シート貼り付け	●
	露岩ペンキ	●
基準点節点		■



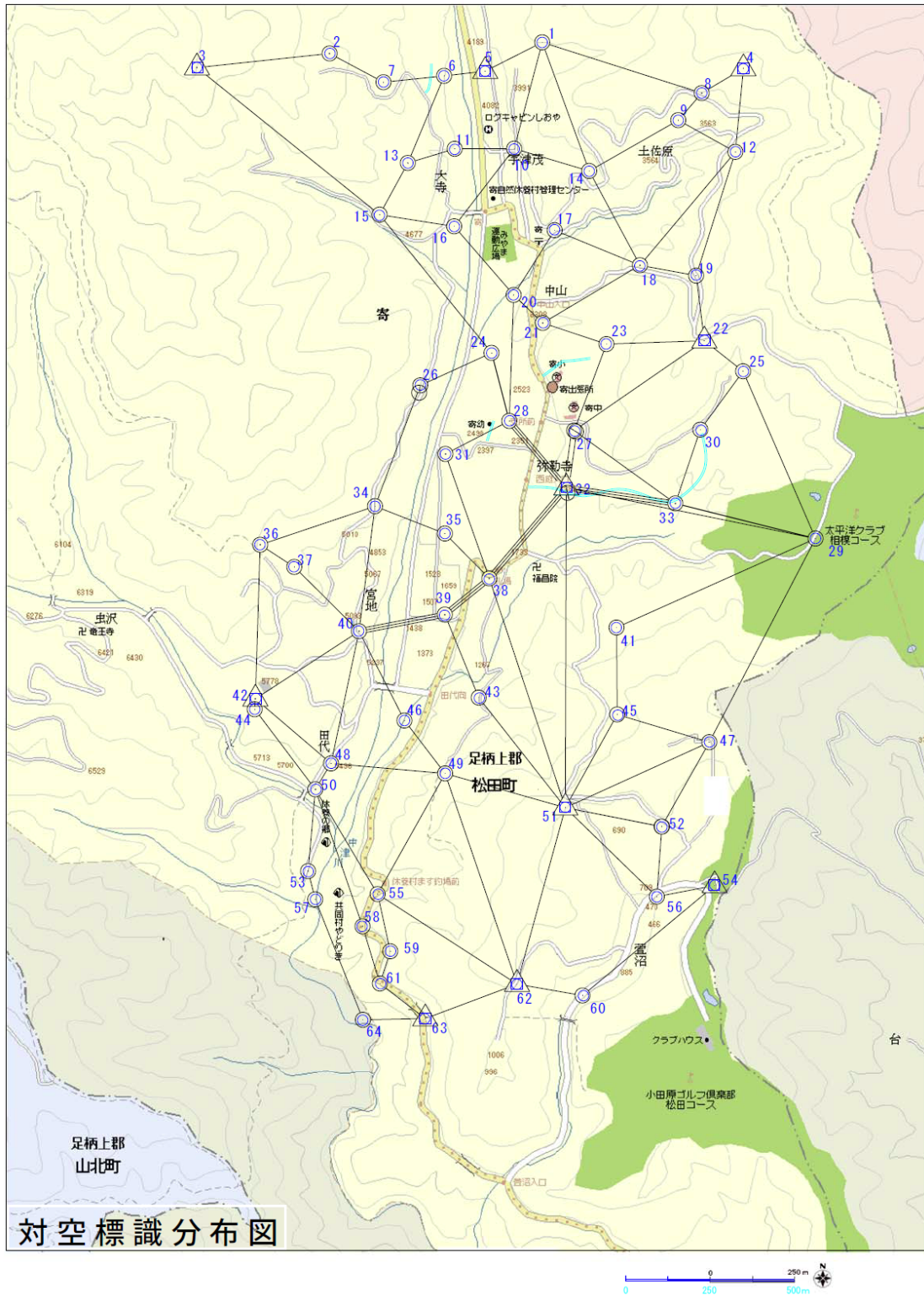


圖 1 對空標分布圖

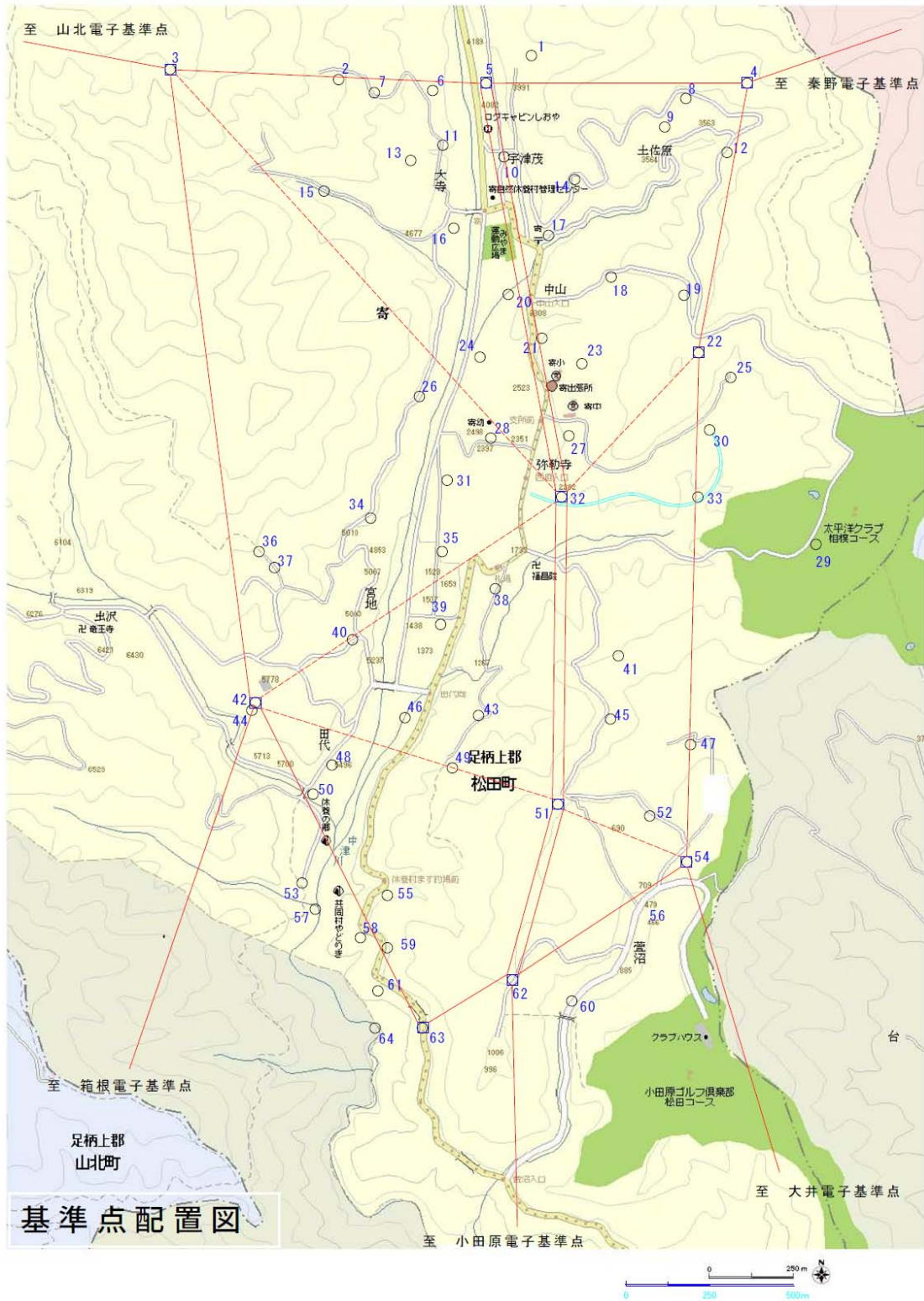


圖 2 基準點(已知控制點)配置圖

6) 對空標之測量

a).基準點測量(第 1 次測量)- 試驗場內基準點與分布均勻且含蓋整個試驗場的對空標 10 點，並臨近國家電子基準點，利用靜態 GPS 觀測進行聯測。

b).對空標測量(第2次測量)—除上述之外,其餘54個對空標點位以快速靜態GPS觀測,取得點位坐標。

### 7) 觀測結果

GPS觀測結果用三維網形平均計算,結果相對精度要求如下:

a).靜態觀測約1/500,000。

b).快速靜態約1/148,000。

試驗場之改正測量與移設之概要請參考「攝影測量與遙感探測」(写真測量とリモートセンシング)會刊,Vol.46, No.5, 2007。

### 申請使用方法與收費標準

#### 1) 試驗場申請使用方法

填寫申請書必要事項,郵寄、傳真、email至日本攝影測量學會事務局。填寫申請書之必要事項包括申請使用者之單位或團體名稱、負責人姓名、聯絡方法與擬使用日期等。

日本攝影測量學會事務局聯絡處:

〒112-0002 東京都文京区小石川1-3-4 測量會館  
(社)日本写真測量学会

電話:03-5840-6606

傳真:03-5840-6616

email:jsprs\_information@nifty.com

#### 2) 收費標準

以使用者付費原則,酌收相關維護費包括對空標之塗裝、割草、重測等工本費,收費標準如下表。

日本攝影測量學會會員	100,000日元
非會員	150,000日元
數據更新	50,000日元

#### 3) 提供測量成果

除測量成果外,下述成果亦附帶提供使用

—對空標設置場所之現場照片

—對空標三維坐標

—其他參考資料

### **使用試驗場其他相關注意事項**

空域使用時避免衝突：

日本攝影測量學會在「神奈川縣松田町附近」設置試驗場，此地區亦同時是滑翔翼與飛行傘等飛行休閒遊憩區。因此，航空攝影機校驗飛航時，可能與輕型飛行物體在空中發生衝突事故，必須注意。航空攝影機校驗飛航時，需先向「丹澤天空俱樂部」(Tanzawa Sky Club)聯絡，以瞭解休閒遊憩飛行之相關計畫。

丹澤天空俱樂部網站: <http://tanzawasc.web.fc2.com/>

副會長：森本兼司先生

E-mail: [CXC01226@nifty.com/MORIMOTO-KENZI/](mailto:CXC01226@nifty.com/MORIMOTO-KENZI/)凸 AN/TANZAWA

### **摘要補充說明**

原文獻中所提認証(認證)一詞，是經由施測後所得之數據，檢核確認儀器的精度、正確度，提供給廠商參考，並未出具報告書之行為。其所收的工本費也僅限於場地維護之費用，未包含出具報告書。

國 內



## 1. 財團法人國家實驗研究院國家太空中心(NSPO)

出處：財團法人國家實驗研究院國家太空中心提供

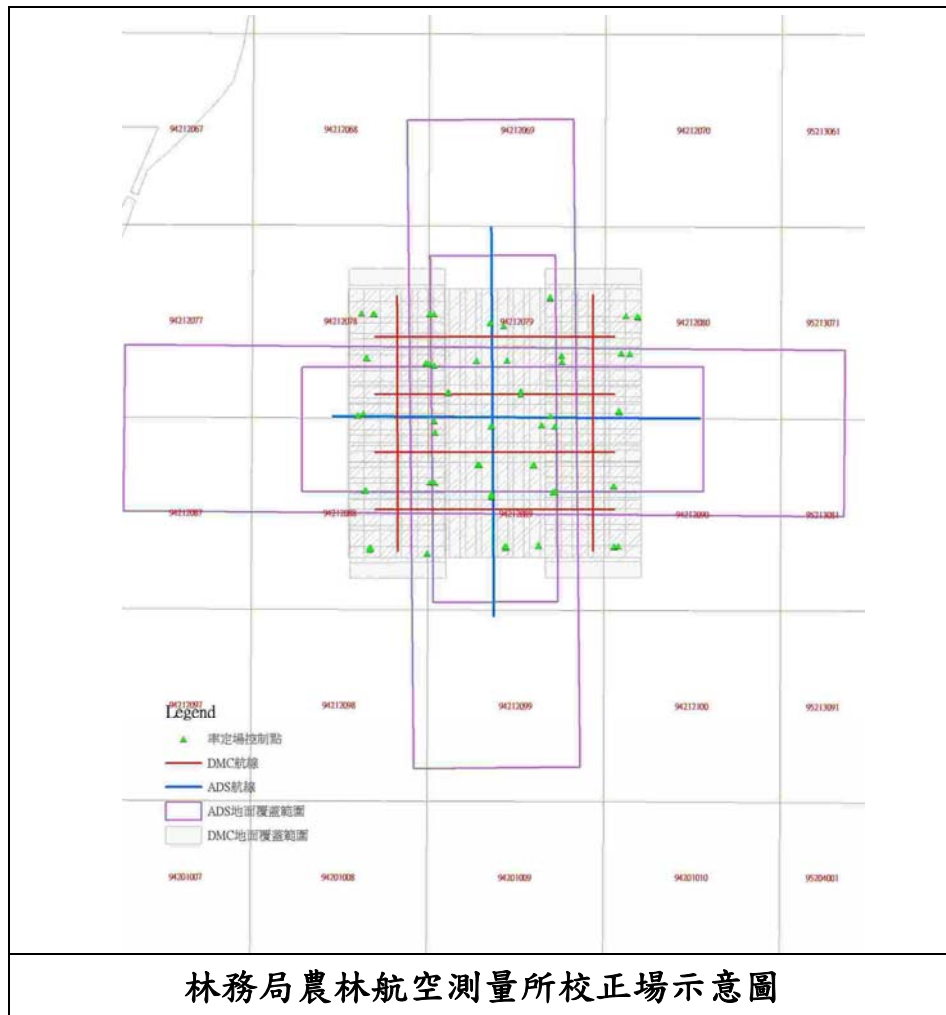
財團法人國家實驗研究院國家太空中心於 2004 年初在澎湖馬公機場設置簡易式解析力及輻射(MTF)測試標，尺寸大小為 60 公尺x60 公尺，進行福衛二號的校正，該測試標分布如下圖，每年重新清標一次，而幾何校正場之設置目前尚未蒐集到相關資訊。



## 2. 行政院農業委員會林務局農林航空測量所(AFASI)

出處：行政院農業委員會林務局農林航空測量所提供

民國 95 年於彰化縣鹿港建置一率定場，涵蓋面積約為 1/5,000 圖幅 4 幅大小。校正場僅規劃供該單位所擁有之航測攝影機校正用，適合 Leica ADS 與 DMC 系列航測攝影機。ADS 航線為東西向與南北向，地面覆蓋範圍大小約為 10 公里x2.5 公里；DMC 航線有 4 條東西向及頭尾 2 條南北向，地面覆蓋範圍約為 4 公里x4 公里；範圍內布設有 40 多個地面控制點，惟該校正場僅作為參數率定(calibration)或測試用途，並未使用於設備調校(correct 或 adjust)用途。該校正場分布如下圖。



另於台中近郊至大坑山區約 1/5,000 圖幅 50 幅大小之場地，僅作為新購數位航空攝影機之驗收場地，地面控制點為四翼標，未特別維



護，且位於軍事區附近，常受管制(管制區域有 11 幅，大多集中於測區東南方)。

#### 資料補充說明

前文中所提率定(calibration)，與本建置案的校正(calibration)其精神與意義是一致的。而調校(correct 或 adjust)則為調整設備誤差，然後再進行校正之意



# 數位航空攝影機校正場文獻 整理分析



## 一、名詞定義：

### 校正(Calibration)：

一詞源自 caliber 指槍砲的口徑，而 calibration 則為測定槍砲口徑之行為。後衍生為修正或檢核任何儀器之刻度的行為或程序。在航測領域內則以 Morain 及 Zanoni 2004 年在 ISPRS 年會發表的文章 (35(1):354-360) 內的定義最具代表意義。他們把 calibration 定義為「測定一個系統對已知且受掌握的信號的反響程序」。目前文獻所見歐美各國對航測攝影機所做的檢查行為均稱其為 calibration，其意義乃為與一已知的標準(benchmark)相比較；亦即類似 Wikipedea 所定義之「兩種量測值的比較，第一個是以某設備量到的已知或正確值，另一個則是在另一設備上儘量以相同方式量到的值」。

### 驗證(Verification)：

經由測試或檢核以確認儀器的精度、正確度或生產廠商所宣稱性能的真實性。

### 認證(Certification 或 Validation)：

將儀器經由校正場驗證的結果出具報告書的行為。

## 二、歐美數位航空攝影機校正發展史：

歐盟數位航空攝影機校正發展歷程概述			
年份	計畫項目	內容	參與機構
2003	歐洲空間資訊研究組織 EuroSDR 啟動數位攝影機校正研究計畫。		由德國斯圖加特大學主持。
2004	第一階段。	完成已發表之航測數位攝影機校正資料蒐集並整理成報告。	
2006	第二階段。	進行初步之實際校正測試。	邀請了 8 個像機製造商、12 個軟體系統開發商及測繪科技研究機構、16 所大學、16 個國家測繪機關參與第二階段研究。
2007	第二階段後續計畫。	完成 80 個實驗，成果發表於 2008 年北京 ISPRS 大會。	實際參與機構僅 13 個，參與攝影機僅 DMC、ADS、UCD 三種。
	歐洲數位空載攝影機認證 (European Digital Airborne Camera Certificate, 簡稱 EuroDAC <sup>2</sup> ) 計畫。	研究建立一個歐洲普遍適用的認證程序。	邀請所有軟硬體廠商及使用者。
		評估由各國測繪及地籍機關提出的使用者需求及數位空載攝影機生產者的意見。	
		認證程序的定義。	
		研擬之認證程序的認可 (由國家測繪機關、數位空載攝影機生產廠商及其它相關者共同認可)。	
		正式實施認證制度。	
2008		增加攝影機輻射研究及中像幅攝影機之校正認證。	
2011		53 屆航測週報告攝影機輻射問題研究現況。	

美國 USGS 對數位航空攝影機校正與認證發展歷程概述

年份	計畫項目	內容	細目	備註
2000	USGS 與 ASPRS 討論決定應發展數位像機進行校正能力。			
2001		研發中、小像幅室內校正設備。		
		研發中、小像幅室外校正設備及軟硬體。		
	組成跨機關數位攝影機工作組 (IADIWG)。	分析聯邦機關需求及對建立校正及品保計畫之支持。		14 個大型對影像有需求的聯邦機構。
2005		建立數位影像品保程序。		
2007		建立品質計畫 (RST2007)。	擬定影像購置合約指導綱要。	
			攝影機型別認證。	認證攝影機製造商，而非認證其設備。
			影像拍攝者認證。	認證軟硬體設備整合符合航測需求(正確整合 GPS、IMU、航拍規劃軟硬體、正確操作攝影機)。
			航拍廠商影像品質合格驗證。	
	推動國際通用校正場。	與加拿大、歐洲合作。	(降低廠商負擔)	建議 ISPRS 承擔推動
			幾何校正。	
			輻射校正。	
			建議增加遙測影像校正與認證。	

## 三、各國數位航空攝影機校正場分析：

國名 項 目	美國	德國	挪威	義大利	芬蘭	中國大陸	日本	中華民國	
提出機關/學校	USGS	Stuttgart 大學	Agricultural 大學	Pavia 大學	FGI	武漢大學	社團法人日本攝影測量學會	NSPO	AFASI
建置年代(西元年)	2000	2003	1992	1997	1994	2007	2002	2004	2006
文獻名稱	美國蒐集文獻 1、2 及 3	德國蒐集文獻	挪威蒐集文獻	義大利蒐集文獻	芬蘭蒐集文獻	中國大陸蒐集文獻	日本蒐集文獻	國內蒐集資料 1	國內蒐集資料 2
設置位置	美國 SD、MO 及 CO 州	Stuttgart	Aas	Pavia	Masaala	河南省嵩山附近	神奈川縣松田町附近	馬公機場	彰化縣鹿港鎮
尺寸大小(公尺)	1750*2000 600*750	4800*7500	4500*6000	4500*6000	10000*10000	3000*3000 5000*5000 8000*8000	1500*3000	60*60	10000* 10000
地面控制點形狀	圓形或十字形	—	—	正方形	圓形、正方形及三角形	正方形	圓形	正方形	十字形
地面控制點數量	50 個以上控制點及 25 個以上檢核點	200 個以上可供控制及檢核的地面點	51 個明確且永久性標誌	230 個人造物及 62 個自然點	44 大比例尺 12 中比例尺 23 小比例尺	214 個永久性地面控制點	64 個	—	40 多個
校正項目	幾何、空間解析力	幾何校正	幾何校正	幾何校正	幾何、輻射及空間解析力	幾何校正	幾何校正	輻射校正	幾何校正
驗證機構	USGS	EuroSDR	EuroSDR	EuroSDR	EuroSDR	武漢大學	社團法人日本攝影測量學會	NSPO	AFASI
備 註	1. 設置地點除上述 3 處，尚有 2 處評估中 2. 採儀器擁有者和製造商認證	認證機制 EuroSDR 將於 2011 年 09 月提出報告	認證機制同左	認證機制同左	1. 認證機制同左 2. 有可攜式校正標及灰度標設計	1. 人造衛星綜合試驗場，範圍 1000 平方公里 2. 標石尺寸有 0.4 及 1.0 公尺	1. 鄰近有滑翔翼與飛行傘等飛行休閒遊憩區 2. 控制點直徑 60 公分鐵板或油漆	校正場僅供衛星校正用	1. 校正場僅供率定或測試用 2. 未特別維護



# 空載光達校正場文獻 摘要

## 說明：

1. 蒐集國外空載光達系統校正場文獻資料有：美國 4 篇、加拿大 1 篇、荷蘭 1 篇、瑞士 1 篇及芬蘭 1 篇。
2. 蒐集國內學術或政府機關空載光達應器校正相關資料有 2 篇。
3. 摘要中章節名之字體以粗體字表示，若字體為粗斜體者，表該章節內容與校正作業的設置原理及方法有關。
4. 雖然各種空載光達掃描儀設計的原理十分類似，但不同廠牌或不同型號的掃描儀，由於機構設計上的差異，目前均為儀器製造商配合其儀器的設計與搭配的軟體，對於視準率定(boresight calibration)參數，提供率定的方法與率定場設置的規格，再由儀器使用者配合使用。

因各廠牌儀器的率定方式不一，因此本案所建立之校正場，不進行視準率定參數的改正，而是針對空載光達在完成視準率定後，對其掃描的點雲(point cloud)成果進行平面與高程精度的比較。

至目前為止，國內外關於空載光達率定的文獻，均為各廠商針對自行開發機種之率定方式或演算法進行研究，其校正場均直接使用城市現有之建物、道路進行數據收集，而國際上也尚未有已建立完善之空載光達系統校正場的國家或機構，因此空載光達系統校正場相關之文獻蒐集，僅能參考各文獻中進行率定時所使用的率定場相關資訊。

美 國



## 1. An Approach to Optimize Reference Ground Control Requirements for Estimating LiDAR/IMU Boresight Misalignment

作者：A. Pothou, C. Toth, S. Karamitsos, A. Georgopoulos

出處：The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B1.

本文探討空載光達誤差來源與在城市區進行視準率定(boresight calibration)的方法，本研究使用 Optech ALTM 30/70 在俄亥俄州麥迪遜市研究區面積 300000 平方公尺。儀器參數 FOV：40°、掃描頻率 50Hz、脈衝率 70kHz、點雲密度 5-8 points/m<sup>2</sup>，利用 4 條飛行航帶進行視準軸率定。

### 前言

空載光達系統是由多個感應器所組合而成，至少包含 3 個感應器：GPS、IMU 與雷射掃描系統。高性能的 IMU(Inertial Measurement Unit)與 GPS 提供雷射數據三維坐標，因此各系統間需要一個準確的率定。特別是 IMU 與雷射掃描系統間的空間關係，因此本研究，在城市區域進行視準偏差的研究。尤其是，建築物外觀、大小、分布等的影響，反應在視準率定的表現上。

### LiDAR 原理、組成與發展

由於空載光達是由三個子系統構成的，為獲得最佳的精度，須對這三個子系統進行率定。由於 GPS 與雷射掃描系統的 Lever Arm 是可以由獨立的方式測得，而 IMU 與雷射掃描系統的視準率定則需要進行飛行率定，才能獲得。解決影響系統的視準偏差可分為兩類。一類是直接改善雷射系統，盡量減少雷射點打在地面的偏差，Kilian et al. (1996)和 Pothou et al. (2007)，在雷射系統上使用曲面片提高雷射打在地面點的正確性。另一類(Burman, 2000)是利用數學模型進行 IMU 與雷射掃描系統的率定。Toth and Csanyi(2001);Toth et al.(2002)，利用不同航向的重疊航帶進行視準率定。目前最常用的 IMU 與雷射掃描系統的視準率定方式是人工修編重疊航帶，將點雲有偏移的角度進行修正，這方式頗費時耗力(Morin and El-Sheimy, 2002)。Habib et al.在 2007 年提出利用攝影測量的數據進行空載光達的自動校準。Pothou et al. 在 2007 年利用兩個不同的表面討論

LASER/IMU 視準軸不準的問題，這方法減少了雷射點與地面參考點的距離。這方法延伸應用到選定建築物進行視準軸率定(Boresight Calibration)。

### 資料描述

使用 Optech ALTM 30/70 在俄亥俄州麥迪遜市研究區面積 300000 平方公尺，區域內包含幾棟大型倉庫與工廠和一般住宅。儀器參數 FOV:40°、掃描頻率 50Hz、脈衝率 70kHz、點雲密度 5-8 points/m<sup>2</sup>，利用兩條平行與兩垂直航帶，共 4 條航帶進行視準軸率定。實驗區與航線如下圖：



### 結果討論

在建築物上有多的觀測點雲可以提供更好的結果，利用建築物計算視準率定時，在演算法中加入門檻可以獲得好的率定值，並且建築

物的外型不影響率定結果，建物的分布會影響率定結果，配合航帶重疊、垂直航帶與不同航高可以有效的獲得好的視軸率定。

### **結論**

利用城市建築物進行視準率定，須配合建築物的平均分布。視準率定的值沒有真值與定值，只能估算獲得。因為率定的參數視會慢慢變化，所以利用此方式幾乎可以連續的進行率定值的檢查。進行率定時，最少要有兩個反向的航帶與平均分布的建物，可以獲得較佳的率定結果。

## 2. Spatial Distribution Requirements of Reference Ground Control for Estimating LiDAR/INS Boresight Misalignment

作者：A. Pothou, C. Toth, S. Karamitsos, A. Georgopoulos

出處：The 6th International Symposium on Mobile Mapping Technology (MMT '09)

本文為探討在城市區進行視準修正的可能性，並討論建物分布對修正的影響。研究區在美國俄亥俄州的麥迪遜市，面積為 300000 平方公尺，儀器參數 FOV：40°、掃描頻率 50Hz、脈衝率 70kHz、點雲密度 5-8 points/m<sup>2</sup>，利用兩平行兩垂直航帶進行視準軸率定。本篇文章與第三篇文章作者為同一群，本文利用數學模型進行視準率定。

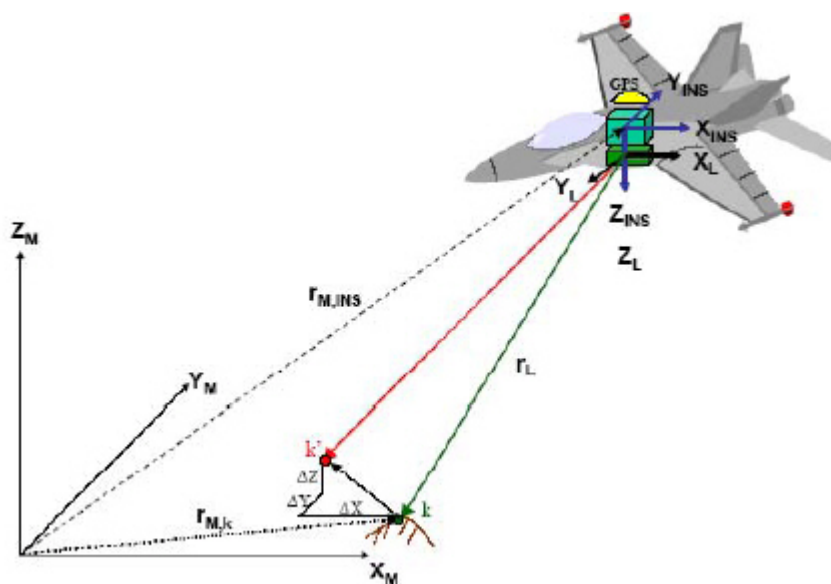
### 前言

高性能的 GPS 與 INS(Inertial Navigation System)整合系統，為空載光達資料提供必要的導航資料，因此適當的完整校正包含人為與感應器之間的校正，必須準確算出感應器所涉及的空間關係，特別是 INS 與空載光達之間的關係，在空載光達系統中是系統誤差的最大來源。透過之前的測試證明在城市區進行率定修正是可能的，然而建物的視準偏差修正仍在研究中，本研究中參考航測的做法，利用參考表面還原建築物，在建物定位之間調查空間分布和距離對視準偏差參數估計(boresight's misalignment parameter estimation)的影響。

### 視準偏移

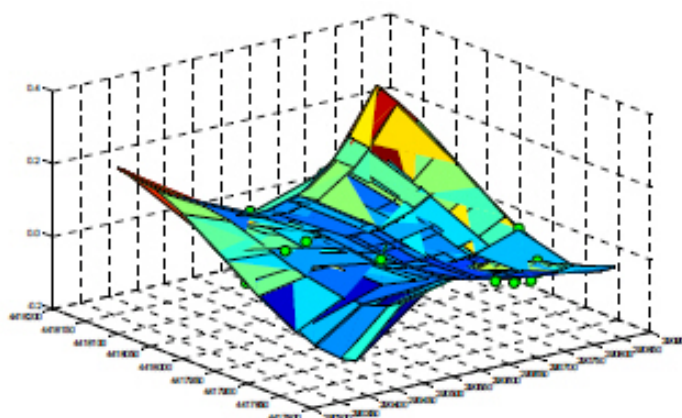
由於空載光達是由 IMU、GPS 與雷射掃描儀所構成，GPS/IMU 與雷射掃描儀的有偏移與旋轉的空間關係，為獲得點雲的準確當地坐標系統，必須將空載光達的 3 個子系統的坐標系統修正成統一的坐標系統，如下圖。旋轉與偏移的分量可以用不同的技術方法獲得，即視準率定。若視準率定的參數有誤，會造成點雲坐標的不正確，所以進行任務時期，視準率定的參數需要保持固定。





### 研究方法

本實驗利用最小二乘擬合，配合地面已知點坐標與高程進行視準率定。使用 Optech ALTM 30/70 在俄亥俄州麥迪遜市研究區面積 300000 平方公尺，區域內包含幾棟大型倉庫與工廠和一般住宅。儀器參數 FOV：40°、掃描頻率 50Hz、脈衝率 70kHz、點雲密度 5-8 points/m<sup>2</sup>，利用兩條平行與兩垂直航帶，共 4 條航帶進行視準軸率定。下圖為利用本研究所用的小二乘擬合，配合地面已知點坐標與高程進行視準率定後所得的結果，圖中綠色點為已知坐標的控制點。



### 結論

本研究利用 Pothou et al.(2008)的率定方法配合已知點位的 3 維坐標進行最小二乘擬合，可以得到不錯的率定值。已知坐標的建物分布，會影響率定飛行的飛航規劃。

### 3. Improvement of LiDAR Data Accuracy Using LiDAR Specific Ground Targets

作者：Nora Csanyi, Charles K. Toth

出處：Photogrammetric Engineering & Remote Sensing Vol. 73, No.

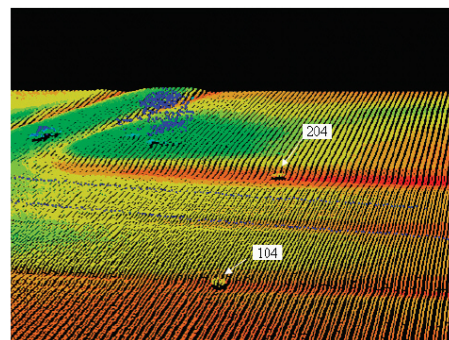
4.

本文設計空載光達專用的校正標，用以調查各項數據，如飛行參數、地面控制點的分布等。設計的空載光達校正標為雙同心圓，外圓半徑 1 m、內圓半徑 0.5 m，中心設置 GPS 天線，用於測試標定位。使用 Optech ALTM 30/70，在俄亥俄州的 Ashtabula 長 23km 的道路對稱放置 15 對校正標，平均 1.6 km 放置一對校正標。飛行高度 620 m，雷射脈衝頻率 70kHz，掃描頻率 70Hz，點雲密度 5pts/m<sup>2</sup>。本文利用筆直道路，利用空載光達校正標進行點雲的平面與高程精度探討。

#### LiDAR 校正標設計

設計一個空載光達校正標，需考慮兩個層面：(A)容易反射雷射訊號的表面，使點雲資料易於辨識，(B)在水平與高程方向提供高精度的定位精度。利用校正標對點雲資料進行校正。

為確認校正標塗層與點雲資料的收集關係，便在同心圓內圈與外圈分別塗上不同的塗料進行反射訊號的模擬測試。且為確定點雲密度與校正標大小的關係，利用點雲密度 16、4、1.6 pts/m<sup>2</sup> 進行模擬，根據點雲的高程與平面精度的常態分布進行模擬，並假設高程精度為 10 cm (1 sigma)、點雲大小(footprint)為 25 cm 的情況。根據上述兩模擬資料可得以下三點結果：(A)校正標尺寸越大定位精度越好。但是，大約 5pts/ m<sup>2</sup> 的點雲密度，校正標 1m 半徑的圓便可提供足夠的精度，(B)同心圓設計(內圓半徑為外圓半徑之一半)，不同塗料可提升水平定位精度，因為內外兩圓可以提供幾何約束與對比，(C)最好的方法是內圈塗上白色的特殊塗層，外圈塗上黑色的特殊塗層。



### 定位精度

使校正標保持水平，將落在校正標上的點雲高程資料進行平均，用以獲得點雲的高程定位。點雲高程精度的計算可以透過垂直方向的誤差傳播如： $\sigma_{vertical\_pos} = \sigma_z / \sqrt{n}$ ；其中 $\sigma_z$ 是點雲的高程坐標精度， $n$ 為落在校正標上的點雲數量。

平面精度的計算是利用類是 Hough-transform 的方式，先利用校正標的圓心，尋找校正標半徑範圍內的點雲。利用所找到的點雲，擬合為一個圓，將這面的中心與校正標的中心進行比較。

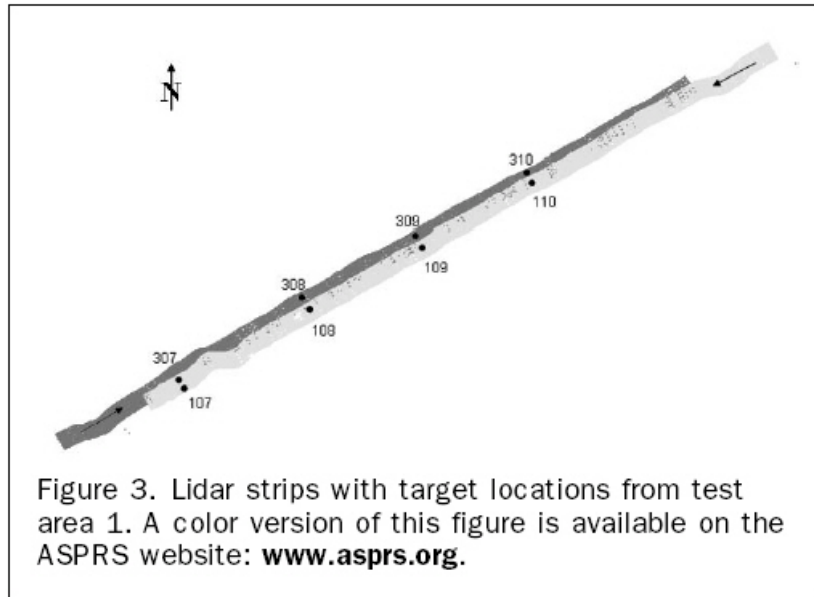
為進行校正標的自動化處理，本文開發一自動處理的軟體，這軟體功能包含點雲品質的檢查和校正。這軟體的處理過程分為 2 個階段，第一階段，先進行校正標的定位，再來選擇校正標區域的空載光達航帶，找到落在校正標航帶上的點雲。第二階段，不對點雲的高差與強度資料進行篩選，直接以校正標的圓心，尋找校正標半徑範圍內的點雲。利用所找到的點雲，擬合為一個圓，將這面的中心與校正標的中心進行比較。然後根據偵測到的錯誤數據進行轉換進行誤差修正，如：3 維相似轉換 (a 3-dimensional similarity transformation)，最少需要 3 個校正標，才可使用。

### 測試結果

第一次試驗飛行，利用 Optech ALTM 30/70 在俄亥俄州的公路進行測試，沿 23km 長的公路每 1600m 設置一對校正標，使用 15 具校正標，飛行參數如下表：

Altitude (AGL)	~620 m
Scan Angle	14°
Pulse Rate	70 kHz
Scan Frequency	70 Hz
Point Density	5 pts/m <sup>2</sup>
Footprint Size	19 cm

飛行規劃是沿公路，對準校正標設計兩條平行的重疊航帶，飛行方向相反，如下圖：



第一次飛行結果如下表，使用校正標進行點雲平面精度估算，可得到 10 公分左右的平面精度。與 GPS 的平面坐標精度相比，點雲的 10 公分平面精度可視為一個絕對的測量。點雲的高程變化，有很大的變化。

Target ID	Error [m]			Standard Deviation [m]			Residual [m]		
	Easting	Northing	Elevation	Easting	Northing	Elevation	Easting	Northing	Elevation
<b>A</b>									
307	-0.01	0.03	-0.18	0.07	0.07	0.02	-0.05	0.03	-0.03
108	0.05	-0.06	-0.06	0.06	0.08	0.02	0.02	-0.04	0.04
308	0.05	-0.03	-0.07	0.08	0.05	0.02	0.02	-0.01	0.01
109	0.13	0.00	-0.05	0.06	0.08	0.02	0.10	0.03	0.02
309	-0.02	0.00	-0.08	0.08	0.07	0.02	-0.04	0.03	-0.02
110	0.00	0.07	-0.05	0.04	0.05	0.02	-0.02	0.11	0.00
310	0.01	-0.13	-0.06	0.04	0.05	0.02	-0.01	-0.08	-0.02
Mean	0.03	-0.02	-0.08				0.00	0.01	0.00
Std	0.05	0.06	0.05				0.05	0.06	0.03
<b>B</b>									
107	0.04	0.10	-0.11	0.03	0.05	0.02	0.04	0.03	-0.01
108	0.01	-0.03	-0.13	0.04	0.05	0.02	0.01	-0.10	0.02
109	-0.05	0.07	-0.16	0.02	0.01	0.03	-0.05	0.00	-0.02
110	0.10	-0.02	-0.12	0.03	0.04	0.02	0.10	-0.09	0.01
310	-0.02	0.18	-0.17	0.06	0.05	0.02	-0.01	0.11	-0.01
Mean	-0.02	0.06	-0.14				0.02	-0.01	0.00
Std	0.06	0.09	0.03				0.06	0.09	0.02

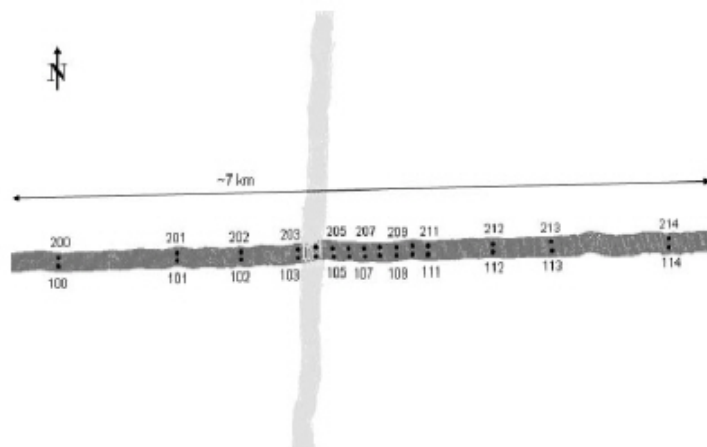
利用作者開發的軟體進行校正 (three-dimensional similarity transformation)，結果如下表，路面的高程差值明顯的由 13、14 公分下降為 4、5 公分。

Road Area	Elevation Difference [m]	
	Before	After
#1	-0.13	-0.04
#2	-0.14	-0.05

第二次試驗飛行，在俄亥俄州的 Madison county，飛行高度(AGL): 約 700m，掃描角度(FOV): 10 度與 20 度，脈衝頻率: 33、50、70kHz，掃描頻率: 36~70Hz，飛行參數表如下：

Altitude (AGL)	~700 m
Scan Angle	10°, 20°
Pulse Rate	33, 50, 70 kHz
Scan Frequency	36–70 Hz
Point Density	Varying depending on settings
Footprint Size	21 cm

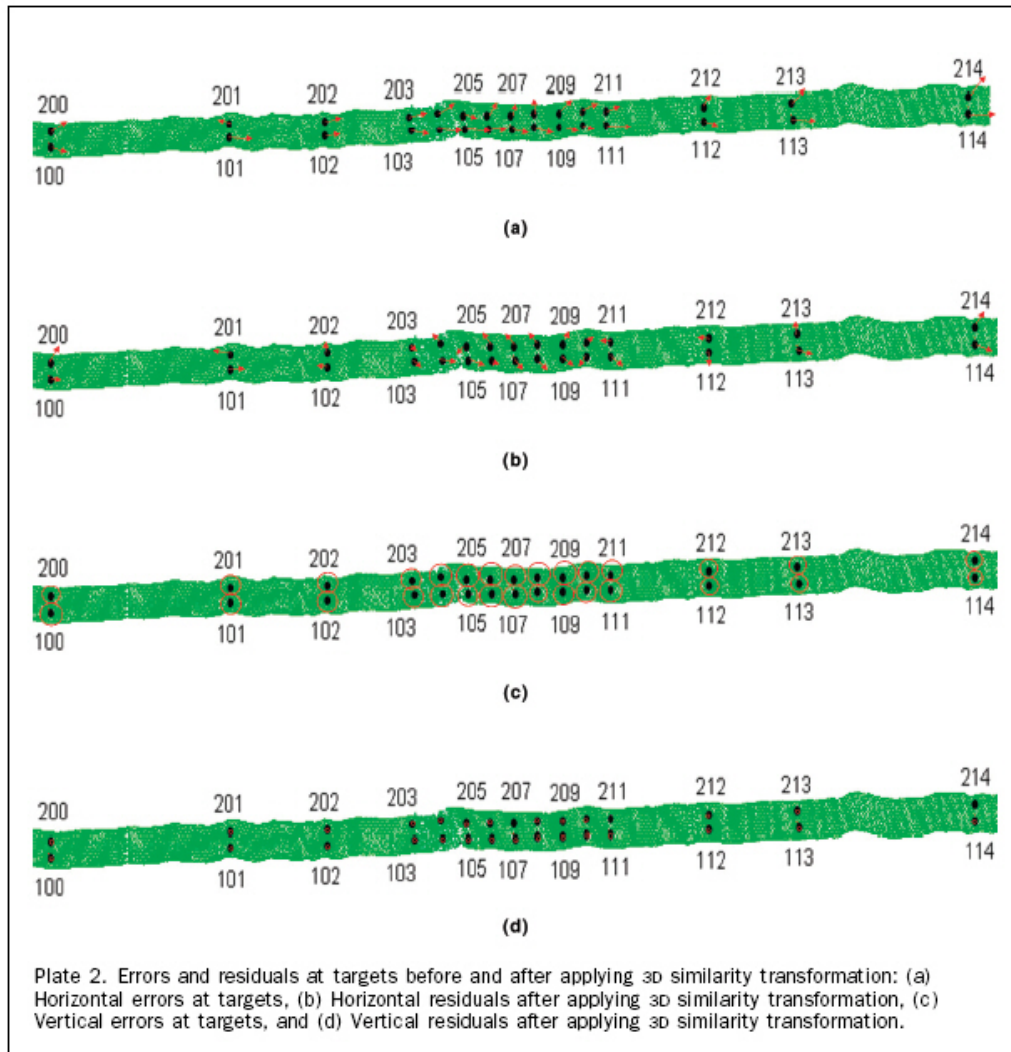
這次飛行是一個垂直的交叉航帶，在航帶交叉的區域沿水平航線每 130m 設置一具校正標，離開航帶交叉區域，每 450m 與 950m 設置一具校正標。飛行航帶規劃如下圖：



下表是的 2 次飛行的誤差和標準偏差表

Target ID	Error [m]			Standard Deviation [m]			Residual [m]		
	Easting	Northing	Elevation	Easting	Northing	Elevation	Easting	Northing	Elevation
100	0.09	-0.03	-0.22	0.08	0.06	0.02	0.03	0.00	-0.01
200	0.11	0.10	-0.18	0.07	0.08	0.02	0.05	0.12	0.03
101	0.14	0.00	-0.20	0.06	0.04	0.02	0.08	0.01	0.01
201	-0.05	0.02	-0.19	0.06	0.08	0.02	-0.11	0.02	0.01
102	0.05	0.00	-0.20	0.08	0.06	0.02	-0.01	0.00	0.01
202	0.06	0.02	-0.20	0.05	0.05	0.02	0.00	0.02	0.01
103	0.10	-0.02	-0.20	0.03	0.08	0.02	0.03	-0.04	0.01
203	0.08	0.01	-0.19	0.07	0.04	0.03	0.01	-0.01	0.01
104	0.14	0.00	-0.22	0.06	0.04	0.02	0.08	-0.02	-0.01
204	0.03	0.08	-0.22	0.07	0.07	0.02	-0.03	0.06	-0.02
105	0.19	-0.02	-0.19	0.08	0.05	0.02	0.13	-0.04	0.01
205	0.03	-0.04	-0.21	0.07	0.04	0.02	-0.03	-0.06	-0.01
106	0.07	0.01	-0.20	0.03	0.04	0.02	0.01	-0.01	0.01
206	0.03	0.10	-0.20	0.03	0.08	0.02	-0.03	0.07	-0.01
107	0.07	-0.03	-0.23	0.09	0.08	0.02	0.01	-0.05	-0.02
207	0.01	0.06	-0.20	0.03	0.03	0.02	-0.05	0.04	0.00
108	0.11	-0.03	-0.19	0.06	0.06	0.02	0.05	-0.06	0.02
208	0.00	0.07	-0.22	0.07	0.08	0.02	-0.07	0.04	-0.02
109	0.11	-0.02	-0.22	0.07	0.09	0.03	0.04	-0.05	-0.02
209	0.09	0.09	-0.21	0.05	0.09	0.02	0.02	0.05	-0.01
110	0.03	-0.03	-0.21	0.06	0.05	0.02	-0.03	-0.06	-0.01
210	0.07	0.05	-0.21	0.09	0.06	0.02	0.01	0.01	-0.01
111	0.15	0.00	-0.23	0.08	0.06	0.02	0.09	-0.04	-0.03
211	0.03	0.04	-0.20	0.05	0.07	0.02	-0.03	0.00	0.00
112	0.06	-0.03	-0.21	0.06	0.09	0.02	0.00	-0.07	-0.01
212	0.02	0.07	-0.18	0.03	0.05	0.02	-0.04	0.02	0.01
113	0.15	0.01	-0.19	0.08	0.09	0.03	0.08	-0.05	0.01
213	0.06	0.10	-0.19	0.04	0.04	0.03	0.00	0.04	0.01
114	0.20	0.01	-0.15	0.07	0.10	0.02	0.13	-0.07	0.04
214	0.10	0.16	-0.19	0.07	0.08	0.02	0.04	0.09	0.00
Mean	0.08	0.03	-0.20				0.02	0.00	0.00
Std	0.06	0.05	0.02				0.06	0.05	0.02

第二次飛行的水平誤差和高程誤差有由下圖表示，水平和高程的誤差分量可由下圖(a)與(c)分別表示，(a)箭頭表示水平誤差方向與誤差量的大小，(c)以圓圈大小表示高程誤差分量的大小。由(a)可知水平的誤差量都比標準偏差還小，分析這些誤差，很難將結論出平面精度沒有誤差，可能因為水平誤差小於 10 公分，但是水平定位的限制，無法找出水平誤差，但是任何高程誤差大於 2~3 公分都可以被校正標發現錯誤。



## 結論

根據模擬最好的校正標標形為同心圓，外圓半徑 1m，內圓半徑 0.5m，分別塗上不同的塗層可獲得最好的水平與高程精度。

在點雲密度 5pts/m<sup>2</sup> 條件下，可利用校正標得到 10cm 的平面精度與 2~3cm 的高程精度。

## 4. Precision LiDAR Mapping of Transportation Corridors Using LiDAR-Specific Ground Targets

作者：Nora Csanyi

出處：Geospatial Information Systems for Transportation Symposium, March 27-29.

本文利用 Optech ALTM 30/70 進行交通建設的工程規劃與檢測，以及性能分析。本文使用空載光達專用的校正標，用以調查各項數據，如飛行參數、地面控制點的分布等。設計的空載光達校正標為雙同心圓，外圓半徑 1 m、內圓半徑 0.5 m，中心設置 GPS 天線，用於校正標定位。使用 Optech ALTM 30/70，第一次在俄亥俄州的 Ashtabula 長 23km 的道路對稱放置 15 對校正標，平均 1.6 km 放置一對校正標。飛行高度 620 m，雷射脈衝頻率 70kHz，掃描頻率 70Hz，點雲密度 5pts/m<sup>2</sup>。

### 空載光達校正標設計與方法

設計一個 LiDAR 校正標，需考慮兩個層面：(A)容易反射雷射訊號的表面，使點雲資料易於辨識，(B)在水平與高程方向提供高精度的定位精度。利用校正標對點雲資料進行校正。

為確認校正標塗層與點雲資料的收集關係，便在同心圓內圈與外圈分別塗上不同的塗料進行反射訊號的模擬測試。且為確定點雲密度與校正標大小的關係，利用點雲密度 16、4、1.6 pts/m<sup>2</sup> 進行模擬，根據點雲的高程與平面精度的常態分布進行模擬，並假設高程精度為 10 cm (1 sigma)、點雲大小(footprint)為 25 cm 的情況。根據上述兩模擬資料可得以下三點結果：(A)校正標尺寸越大定位精度越好。但是，大約 5pts/m<sup>2</sup> 的點雲密度，校正標 1m 半徑的圓便可提供足夠的精度，(B)同心圓設計(內圓半徑為外圓半徑之一半)，不同塗料可提升水平定位精度，因為內外兩圓可以提供幾何約束與對比，(C)最好的方法是內圈塗上白色的特殊塗層，外圈塗上黑色的特殊塗層。



LiDAR Point Density [m <sup>2</sup> ]	LiDAR Point Spacing [m]	Accuracy of Horizontal Position of Target Circle [cm]	Accuracy of Vertical Position of Target Circle [cm]
16	0.25±0.25	2-3	1.3
4	0.50±0.50	5-10	2.5
1.78	0.75±0.75	10-15	4.0

Table 1. Estimate of positioning accuracies based on simulation results

### 空載光達數據處理

使校正標保持水平，將落在校正標上的點雲高程資料進行平均，用以獲得點雲的高程定位。點雲高程精度的計算可以透過垂直方向的誤差傳播如： $\sigma_{vertical\_pos} = \sigma_z / \sqrt{n}$ ；其中  $\sigma_z$  是點雲的高程坐標精度， $n$  為落在校正標上的點雲數量。

平面精度的計算是利用類是 Hough-transform 的方式，先利用校正標的圓心，尋找校正標半徑範圍內的點雲。利用所找到的點雲，擬合為一個圓，將這面的中心與校正標的中心進行比較(figure 4：(a) 代表落在校正標上的點雲，(b) 為校正標上點雲所擬合成的圓，(c) 中心黃色部分為擬合圓的圓心)。作者開發一套軟體(figure 6)，這套軟體可以根據偵測到的錯誤數據進行轉換進行誤差修正，如：3 維相似轉換(a 3-dimensional similarity transformation)，最少需要 3 個校正標，才可使用。

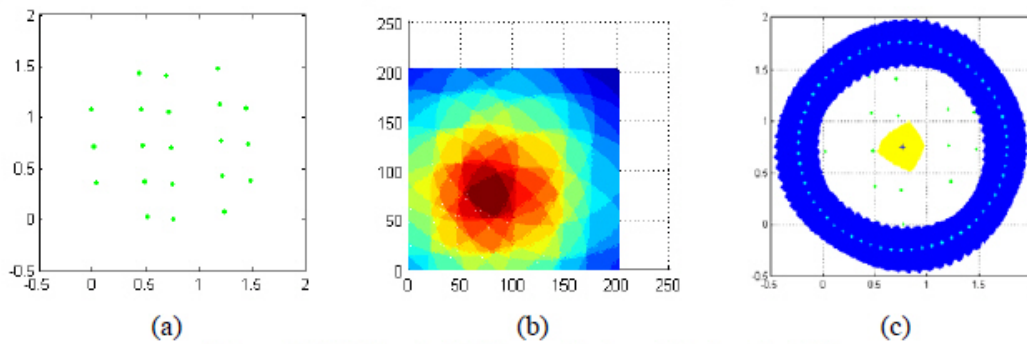


Figure 4. LiDAR points falling on the target (in top view) (a), accumulator array (b), and fitted circle (c)

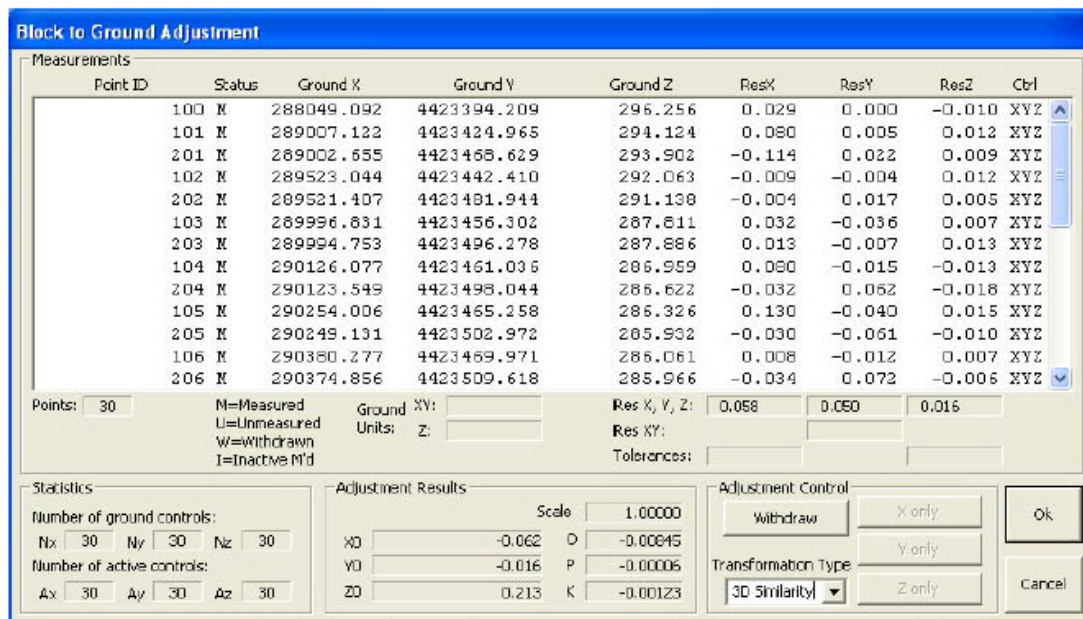


Figure 6. Selecting the optimal correction for the LiDAR data based on the targets



**測試結果**

第一次試驗飛行，利用 Optech ALTM 30/70 在俄亥俄州的公路進行測試。飛行高度(ALG)：約 620m，掃描角度(FOV)：14 度，脈衝頻率：70 kHz，掃描頻率：70Hz，這飛行參數可以獲得約 5pts/m<sup>2</sup> 的點雲密度。沿 23km 長的公路每 1600m 設置一對校正標(如：figure 7)，figure 7(a)中的紅星為校正標設置位置，figure 7(b)黃色與綠色代表兩條方向相反的平行航帶，黑點代表校正標設置位置。

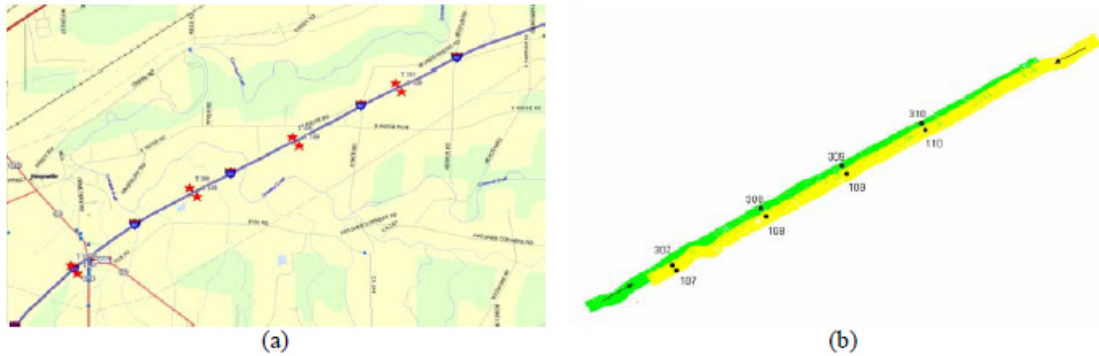


Figure 7. Map of selected area with target locations (a) and LiDAR strips with targets (b)

Figure 8 為實際測試的數據，Figure 8(a)點雲的高程數據，Figure 8(b)強度數據，Figure 8(c)由點雲擬合的圓。

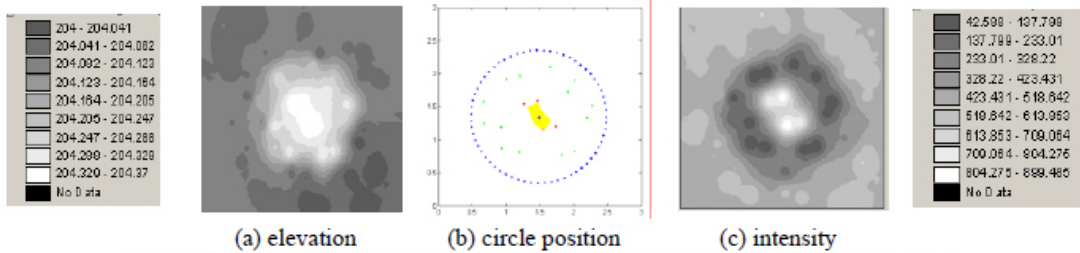


Figure 8. Target in elevation (a) and intensity data (c) and identified target circle (b)

Table2(a)、(b)分別為兩條航帶的測試結果，利用作者開發的軟體進行點雲校正。

Target ID	Error [m]			Standard Deviation [m]			Residual [m]		
	Easting	Northing	Elevation	Easting	Northing	Elevation	Easting	Northing	Elevation
307	-0.01	0.03	-0.18	0.07	0.07	0.02	-0.05	0.03	-0.03
108	0.05	-0.06	-0.06	0.06	0.08	0.02	0.02	-0.04	0.04
308	0.05	-0.03	-0.07	0.08	0.05	0.02	0.02	-0.01	0.01
109	0.13	0.00	-0.05	0.06	0.08	0.02	0.10	0.03	0.02
309	-0.02	0.00	-0.08	0.08	0.07	0.02	-0.04	0.03	-0.02
110	0.00	0.07	-0.05	0.04	0.05	0.02	-0.02	0.11	0.00
310	0.01	-0.13	-0.06	0.04	0.05	0.02	-0.01	-0.08	-0.02
Mean	0.03	-0.02	-0.08				0.00	0.01	0.00
Std	0.05	0.06	0.05				0.05	0.06	0.03

(a)

Target ID	Error [m]			Standard Deviation [m]			Residual [m]		
	Easting	Northing	Elevation	Easting	Northing	Elevation	Easting	Northing	Elevation
107	0.04	0.10	-0.11	0.03	0.05	0.02	0.04	0.03	-0.01
108	0.01	-0.03	-0.13	0.04	0.05	0.02	0.01	-0.10	0.02
109	-0.05	0.07	-0.16	0.02	0.01	0.03	-0.05	0.00	-0.02
110	0.10	-0.02	-0.12	0.03	0.04	0.02	0.10	-0.09	0.01
310	-0.02	0.18	-0.17	0.06	0.05	0.02	-0.01	0.11	-0.01
Mean	-0.02	0.06	-0.14				0.02	-0.01	0.00
Std	0.06	0.09	0.03				0.06	0.09	0.02

(b)

Table 2. Errors at target locations and residuals after 3D similarity transformation of the strips, in strip #1 (a) and strip #2 (b)

第二次試驗飛行，在俄亥俄州的 Madison county，飛行高度(AGL): 約 700m，掃描角度(FOV): 10 度與 20 度，脈衝頻率: 33、50、70kHz，掃描頻率: 36~70Hz(如 Table 4)。這次飛行是一個垂直的交叉航帶，在航帶交叉的區域沿水平航線每 130m 設置一具校正標，離開航帶交叉區域，每 450m 與 950m 設置一具(如 figure10)

Altitude (AGL)	~700 m
Scan angle	10°, 20°
Pulse rate	33, 50, 70 kHz
Scan frequency	36-70 Hz
Point density	Varying depending on settings

Table 4. Flight parameters

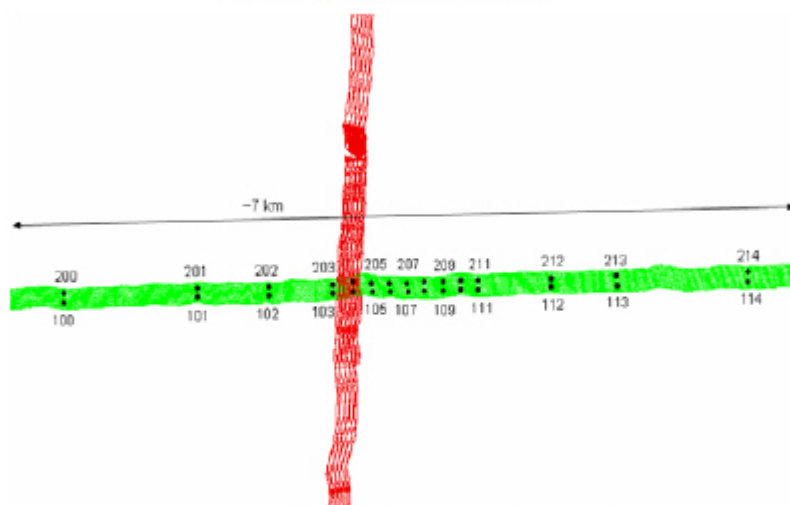


Figure 10. LiDAR strips with targets

為作品質檢查(QC)使用自行開發之軟體處理點雲資料，Table5 總結航線的平均高程誤差與標準偏差。由於水平誤差包含在其標準偏差值範圍內，在此未將其列出。

Strip ID	PRF [kHz]	Scan Freq [Hz]	Scan Angle [deg]	Mean Target Elevation Difference [m]	Std Elevation Difference [m]	Number of Targets in Strip
4	70	70	10	-0.20	0.017	30
2b	70	70	10	-0.20	0.018	30
4b	70	70	10	-0.11	0.014	29
5b	70	70	10	-0.13	N/A	2
8b	70	70	10	-0.15	N/A	2
7	70	50	20	-0.12	0.020	29
8	70	50	20	-0.12	0.014	25
15	70	50	20	-0.11	0.032	3
19	70	50	20	-0.13	0.022	4
11	50	63	10	-0.10	0.017	28
18	50	63	10	-0.10	N/A	2
10	50	44	20	-0.12	0.018	19
13	50	44	20	-0.10	0.016	22
14	50	44	20	-0.07	0.017	20
17	50	44	20	-0.08	N/A	2
2	33	51	10	-0.05	0.018	23
5	33	51	10	-0.03	0.017	19
12	33	51	10	0.00	0.015	27
9	33	36	20	-0.06	0.015	11

Table 5. Mean vertical target elevation errors and their standard deviation values in the different Madison strips

Table 6 為 Table 5 中脈衝頻率 70kHz，掃描頻率 70Hz，掃描角度 (FOV)10 度的誤差分析，由 Table 6 可看出空載光達點雲的水平誤差不能視為有意義的，因為水平誤差值在標準偏差的範圍內。然而高程誤差在約 20 cm 的範圍，代表這區域用校正標驗證的誤差值是一致性的。這代表水平誤差要大於 10cm，才能檢測出來，而高程誤差大於 2~3cm 就可檢驗出來。

Target ID	Error [m]			Standard Deviation [m]			Residual [m]		
	Easting	Northing	Elevation	Easting	Northing	Elevation	Easting	Northing	Elevation
100	0.09	-0.03	-0.22	0.08	0.06	0.02	0.03	0.00	-0.01
200	0.11	0.10	-0.18	0.07	0.08	0.02	0.05	0.12	0.03
101	0.14	0.00	-0.20	0.06	0.04	0.02	0.08	0.01	0.01
201	-0.05	0.02	-0.19	0.06	0.08	0.02	-0.11	0.02	0.01
102	0.05	0.00	-0.20	0.08	0.06	0.02	-0.01	0.00	0.01
202	0.06	0.02	-0.20	0.05	0.05	0.02	0.00	0.02	0.01
103	0.10	-0.02	-0.20	0.03	0.08	0.02	0.03	-0.04	0.01
203	0.08	0.01	-0.19	0.07	0.04	0.03	0.01	-0.01	0.01
104	0.14	0.00	-0.22	0.06	0.04	0.02	0.08	-0.02	-0.01
204	0.03	0.08	-0.22	0.07	0.07	0.02	-0.03	0.06	-0.02
105	0.19	-0.02	-0.19	0.08	0.05	0.02	0.13	-0.04	0.01
205	0.03	-0.04	-0.21	0.07	0.04	0.02	-0.03	-0.06	-0.01
106	0.07	0.01	-0.20	0.03	0.04	0.02	0.01	-0.01	0.01
206	0.03	0.10	-0.20	0.03	0.08	0.02	-0.03	0.07	-0.01
107	0.07	-0.03	-0.23	0.09	0.08	0.02	0.01	-0.05	-0.02
207	0.01	0.06	-0.20	0.03	0.03	0.02	-0.05	0.04	0.00
108	0.11	-0.03	-0.19	0.06	0.06	0.02	0.05	-0.06	0.02
208	0.00	0.07	-0.22	0.07	0.08	0.02	-0.07	0.04	-0.02
109	0.11	-0.02	-0.22	0.07	0.09	0.03	0.04	-0.05	-0.02
209	0.09	0.09	-0.21	0.05	0.09	0.02	0.02	0.05	-0.01
110	0.03	-0.03	-0.21	0.06	0.05	0.02	-0.03	-0.06	-0.01
210	0.07	0.05	-0.21	0.09	0.06	0.02	0.01	0.01	-0.01
111	0.15	0.00	-0.23	0.08	0.06	0.02	0.09	-0.04	-0.03
211	0.03	0.04	-0.20	0.05	0.07	0.02	-0.03	0.00	0.00
112	0.06	-0.03	-0.21	0.06	0.09	0.02	0.00	-0.07	-0.01
212	0.02	0.07	-0.18	0.03	0.05	0.02	-0.04	0.02	0.01
113	0.15	0.01	-0.19	0.08	0.09	0.03	0.08	-0.05	0.01
213	0.06	0.10	-0.19	0.04	0.04	0.03	0.00	0.04	0.01
114	0.20	0.01	-0.15	0.07	0.10	0.02	0.13	-0.07	0.04
214	0.10	0.16	-0.19	0.07	0.08	0.02	0.04	0.09	0.00
Mean	0.08	0.03	-0.20				0.02	0.00	0.00
Std	0.06	0.05	0.02				0.06	0.05	0.02

Table 6. Errors at target locations with their standard deviations and residuals after 3D similarity transformation

## 結論

根據模擬最好的校正標標形為同心圓，外圓半徑 1m，內圓半徑 0.5m，分別塗上不同的塗層可獲得最好的水平與高程精度。

本研究所自行開發之軟體搭配校正標，可以自動化進行點雲的率定，並將誤差值修正到點雲資料上。

在點雲密度 5pts/m<sup>2</sup> 條件下，可利用校正標得到 10cm 的平面精度與 2~3cm 的高程精度。



加 拿 大



---

## Alternative Methodologies for LiDAR System Calibration

作者：Ayman Habib, Ki In Bang, Ana Paula Kersting and Jacky Chow

出處：The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial information Sciences.

本研究的主要內容主要是探討率定計算的數學模型，提供兩種計算方式，一、Simplified method。二、Quasi-rigorous method，探討其優點。利用 Optech ALTM 2050 進行測試，4 條航線，航高為 1000 m 與 2000 m，進行率定實驗。

### 前言

目前大多數空載光達的率定技術是基於經驗與專有的程序，但並不會總是提供給最終用戶。因此，可以由空載光達航帶的重疊帶觀察系統共軌面間的差異。本研究提供兩種率定程序。一、Simplified method，使用同一區域中的兩條平行的空載光達航帶的點雲資料進行率定。二、Quasi-rigorous method，可以在不平行的航帶中進行率定，但需要有時間標記的點雲資料與導航資料。由於 LAS 檔案格式的普及與導航資料的容易取得，資料的需求已不是問題。

### 率定

率定通常可以分為幾個步驟：1、實驗室率定，2、平台率定，3、飛行率定。實驗室率定是系統製造商進行的，是針對個別組件進行率定。此外，系統製造商針對雷射反射鏡與 IMU 的偏心率與軸心的對準進行率定，並且也針對雷射感應器與 IMU 的參考點為進行率定。在平台率定上，進行雷射感應器與 GPS 天線相位中心的率定(Lever Arm)。飛行率定是利用空載光達率定場進行視準率定，求取率定參數。

當前的飛行率定的方式有以下弊端：1、耗時費錢，2、率定步驟複雜，3、需有地面控制點，4、某些率定方法需要具有經驗的人去手動調整，5、某些率定方式需要提供空載光達原始的測量數據，6、率定技術須按照儀器製造商提供的軟體與程序進行率定。

### 率定的數學模型

Simplified method 與 Quasi-rigorous method 方法進行率定。

Simplified method 方式是利用空載光達的重疊航帶進行系統偏移的估算，具體來說這方式有兩個步驟：1、確定兩平行的重疊航帶具有差異，2、利用具有差異的兩平行重疊航帶進行率定。

下列公式是在相對平坦地形中，平行但相反方向航線的誤差修正公式：

$$\vec{X}_G \approx \vec{X}_o + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & -\Delta\kappa & \Delta\varphi \\ \Delta\kappa & 1 & -\Delta\omega \\ -\Delta\varphi & \Delta\omega & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -(\rho + \Delta\rho) \sin(S\beta) \\ 0 \\ -(\rho + \Delta\rho) \cos(S\beta) \end{bmatrix} = \vec{X}_o + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & -\Delta\kappa & \Delta\varphi \\ \Delta\kappa & 1 & -\Delta\omega \\ -\Delta\varphi & \Delta\omega & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ 0 \\ -H \end{bmatrix}$$

$$\vec{X}_G \approx \vec{X}_o + \begin{bmatrix} -\Delta X \\ -\Delta Y \\ -\Delta Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & \Delta\kappa & -\Delta\varphi \\ -\Delta\kappa & -1 & \Delta\omega \\ -\Delta\varphi & \Delta\omega & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -(\rho + \Delta\rho) \sin(S\beta) \\ 0 \\ -(\rho + \Delta\rho) \cos(S\beta) \end{bmatrix} = \vec{X}_o + \begin{bmatrix} -\Delta X \\ -\Delta Y \\ -\Delta Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & \Delta\kappa & -\Delta\varphi \\ -\Delta\kappa & -1 & \Delta\omega \\ -\Delta\varphi & \Delta\omega & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ 0 \\ -H \end{bmatrix}$$

Quasi-rigorous method 方法沒有飛行高度與地形的限制。此率定方式可以對非平行的航線進行率定，進行率定時，需要進行直線的掃描，並且雷射系統需要盡可能垂直地面。

下列公式為假設 1、使用的是線性的掃描，2、雷射系統幾乎是垂直的(pitch 與 roll 幾乎為 0)，3、雷射系統的視準軸角度較小。

$$\vec{X}_G \approx \vec{X}_o + \begin{bmatrix} \cos\kappa & -\sin\kappa & 0 \\ \sin\kappa & \cos\kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos\kappa & -\sin\kappa & 0 \\ \sin\kappa & \cos\kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -\Delta\kappa & \Delta\varphi \\ \Delta\kappa & 1 & -\Delta\omega \\ -\Delta\varphi & \Delta\omega & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -(\rho + \Delta\rho) \sin(S\beta) \\ 0 \\ -(\rho + \Delta\rho) \cos(S\beta) \end{bmatrix}$$

$$= \vec{X}_o + \begin{bmatrix} \cos\kappa & -\sin\kappa & 0 \\ \sin\kappa & \cos\kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos\kappa & -\sin\kappa & 0 \\ \sin\kappa & \cos\kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -\Delta\kappa & \Delta\varphi \\ \Delta\kappa & 1 & -\Delta\omega \\ -\Delta\varphi & \Delta\omega & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ 0 \\ z \end{bmatrix}$$

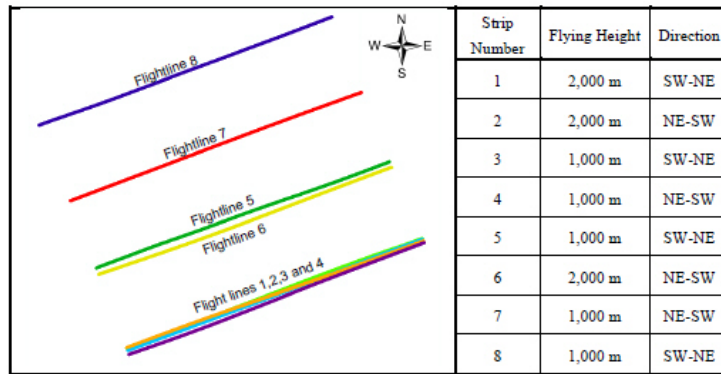
$$\begin{bmatrix} \delta X_G \\ \delta Y_G \\ \delta Z_G \end{bmatrix}_{Total} = \begin{bmatrix} X_{Biased} - X_{True} \\ Y_{Biased} - Y_{True} \\ Z_{Biased} - Z_{True} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\kappa \delta\Delta X - \sin\kappa \delta\Delta Y + \sin\kappa z \delta\Delta\omega + \cos\kappa z \delta\Delta\varphi \\ \sin\kappa \delta\Delta X + \cos\kappa \delta\Delta Y - \cos\kappa z \delta\Delta\omega + \sin\kappa z \delta\Delta\varphi \\ \delta\Delta Z - x \delta\Delta\varphi \end{bmatrix} +$$

$$+ \begin{bmatrix} -\sin\kappa x \delta\Delta\kappa - \cos\kappa \sin(S\beta) \delta\Delta\rho + \cos\kappa z \beta \delta S \\ \cos\kappa x \delta\Delta\kappa - \sin\kappa \sin(S\beta) \delta\Delta\rho + \sin\kappa z \beta \delta S \\ -\cos(S\beta) \delta\Delta\rho - x \beta \delta S \end{bmatrix}$$

### 實驗結果

本實驗使用 Optech ALTM 2050，飛航規劃包括八個航線，其中有兩個相反方向的航帶，在兩個不同的航高且航線 100% 重疊，如下圖所示：





利用文中提出了兩個新的數學模型的進行系統誤差的估計。實驗結果證明使用模擬數據可以提出有效的率定方式。一般是使用空載光達的數據進行率定求取視準率定參數，使用 Simplified method 進行率定時，pitch 和 roll 角度偏差量可達 5 度，並在地形高程變化高達 10% 相對的飛行高度，而 Quasi-rigorous method，可以容忍 pitch 和 roll 偏差量可達 5 度。

**結論**

兩個新的率定參數求法，第一項率定方式，the Simplified method，利用平行重疊的航帶，該方法包括兩個步驟的過程：第一，平行重疊帶之間的地形差異是已知的，然後進行視準率定。第二個率定方式為 The Quasi-rigorous method，這種方法需要進行直線的掃描，並且雷射系統需要盡可能垂直地面，並且需要有時間標記的點雲和軌道位置資料。



荷 蘭



## Analysis of Planimetric Accuracy of Airborne Laser Scanning Surveys

作者：George Vosselman

出處：The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.

本研究是使用自動萃取建物的脊線，評估相對的相對偏移與 X、Y 軸的標準分析。本研究資料來源有三個，1、Brabant，16 條航帶，航帶寬 550 m，重疊 55 m，飛行高度 1000 m，點雲密度 0.5pts/m<sup>2</sup>。2、Zeeland，9 條航帶，航帶寬 460 m，重疊 100 m，飛行高度 375 m，點雲密度 10 pts/m<sup>2</sup>。3、Enschede，15 條航帶，航帶寬 330 m，重疊 100 m，飛行高度 275 m，點雲密度 10 pts/m<sup>2</sup>。使用 FLI-MAP400 進行實驗，利用重疊的航帶進行建物脊線的萃取，進行精度評估。

### 前言

利用空載雷射產生的點雲製作 DTM 是有效的方式，然而高精度的點雲對於生產 DTM 是最重要的，而數化建築物與其他物體也需要點雲平面精度的分析。本研究是使用自動萃取建物的脊線，評估相對的相對偏移與 X、Y 軸的標準分析。在重疊帶的屋脊線之間，利用 200~250 萬點點雲分析 3 個區塊，並且展示連續的偏移，解釋多數平面方向的變化。利用 2 個機載的 GPS 接收器和多個參考站和低飛行高度可證明 3-4 公分的偏移和 2 公分的安裝誤差。

### 目的

透過重疊航帶的建築物屋頂脊線的萃取，進行由 GPS 和 IMU 在測量上的誤差修正。由於屋脊線為屋頂兩個面的交線，位置不受其周圍點雲分布影響，脊線的精度可以完全歸因於測量儀器的誤差，可以用於解釋空載光達系統間的誤差。

### 資料來源

研究區資料的三個來源，第一份數據是 Brabant 的 Dutch national elevation model (AHN)。第二份資料是 province of Zeeland 的高程模型，這是由高點雲密度所構成的。第三份資料取得 city of Enschede 的高程模型。資料數據特徵如下：

Block	# strips	# pts x 10 <sup>6</sup>	# pts / m <sup>2</sup>	Strip width (m)	Overlap (m)	Flight height (m)
Brabant	16	218	0.5	550	55	1000
Zeeland	9	241	10	460	100	375
Enschede	15	254	10	330	100	275

### 屋脊線萃取方法

利用 3D Hough transform 進行屋脊線的萃取，先利用點雲數量較少的平面且平面坡度介於 30~70 度進行處理，當兩個面出現共同的交集時，便找到屋脊線。再來利用 2 條航帶萃取出屋脊線，將屋脊線互相匹配，確認兩條屋脊線是同一棟建物的屋脊線，如果這兩條屋脊線的方向和中心點位是一致的，便是同棟建築的屋脊線。

### 屋脊線偏移的估算

重疊的屋脊線只會提供垂直於屋脊線方線的偏移，利用下列公式計算屋脊線的偏移量：

$$x \cos \alpha_2 + y \sin \alpha_2 - d_2 = 0$$

$$e = x_1 \cos \alpha_2 + y_1 \sin \alpha_2 - d_2$$

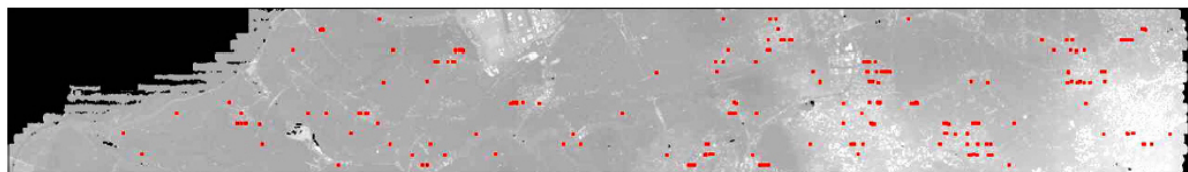
在同一個重疊帶中利用這方法，可以計算多個方向的偏移，這可獲得空載光達視準率定求取的參數。

### 精度分析

Brabant 的資料由 16 條航帶構成，利用屋脊線估計的偏差量如下表：

Strip 1	Strip 2	# Roofs	$\Delta x$ (cm)	$\Delta y$ (cm)	RMS (cm)	StDev (cm)
53	54	23	-46.1	28.6	39.3	8.0
54	55	20	-23.3	25.9	27.5	7.7
55	56W	18	-29.3	31.1	36.6	4.1
55	56E	5	-44.8	25.2	26.1	2.4
56W	57	11	6.3	28.3	22.7	9.1
56E	57	4	6.0	34.4	29.8	2.1
57	58	25	-53.1	38.7	48.5	5.5
58	59	18	6.3	32.1	25.0	5.5
59	60	22	-61.2	43.4	57.3	7.8
60	61	17	-2.9	27.5	20.7	7.4
61	62	20	-48.9	40.7	49.2	5.9
62	63	19	7.9	29.0	24.1	13.8
63	64	19	-59.4	36.1	55.6	8.0
64	65	21	7.0	30.0	25.1	12.9
65	66	20	-67.8	29.7	51.3	17.6
66	67	7	9.9	31.9	23.0	5.7
67	68	5	-63.2	33.1	50.4	3.5

在飛行方向的偏移(X 軸)清楚的表示高低值的變化(下圖),大多像這樣的偏移是因為 Pitch 誤差所造成的。



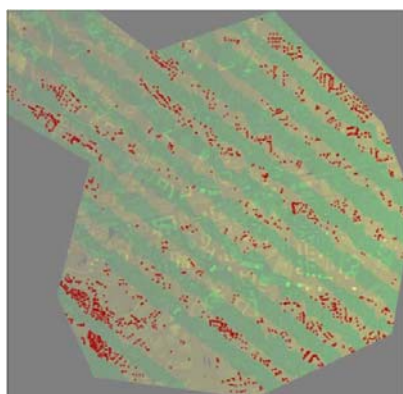
### Zeeland

在調查的航帶中，Zeeland 的偏移是相當高的如下表，發生這事最可能的原因是 IMU 故障。在這誤差的影響下，大部分的平面航帶都有一固定的差值。

# Roofs	$\Delta x$ (cm)	$\Delta y$ (cm)	RMS (cm)	StDev (cm)
9	-28.4	7.6	18.6	1.5
65	-10.2	-10.1	9.6	3.7
11	-13.0	-12.0	15.9	6.0
29	-14.1	-33.0	26.3	9.9
53	-21.7	-39.7	33.1	6.0
15	-4.7	-8.7	17.4	16.0

### Enschede

下圖，黃色部分為重疊航帶，綠色部分為單一航帶。



這區域偏移的 RMS 與標準偏差在沒有進行修正的情形下具有很高的精度，屋脊線偏移的 RMS，在重疊航帶下，都低於 8 公分。偏移量除了在 16-18、10-7、9-8 這 3 條航帶外，其餘的偏移量都只有 2~3 公分(下表)。這三條航帶的偏移量大都 8~9 公分，且這三條航帶的飛行方向與其他航向相反，這可能有一個小的校正誤差。在飛行高度 275 公尺，可能有 0.009 度的視準誤差。

Strip 1	Strip 2	Flight direct.	# Roofs	$\Delta x$ (cm)	$\Delta y$ (cm)	RMS (cm)	StDev (cm)
17	19	P	165	-2.1	0.7	3.2	2.9
19	16	P	126	3.7	-3.0	4.8	3.4
16	18	O	78	1.7	8.1	6.2	3.0
18	15	P	150	-2.0	-0.8	3.5	3.1
15	13	P	182	1.7	-2.2	3.5	2.8
13	10	P	75	3.3	-2.6	4.3	2.9
10	7	O	228	0.2	-9.6	7.2	2.8
7	4	P	211	2.7	-1.8	4.0	3.3
4	14	P	129	3.9	-1.4	4.5	3.5
14	12	P	128	-0.7	-2.5	3.3	2.8
12	9	P	54	2.1	-2.8	3.8	2.8
9	8	O	188	0.1	8.8	6.9	2.6
8	5	P	180	2.7	-2.9	4.2	3.1
5	1	P	149	-2.0	-0.5	2.5	2.1

### 結論

本文利用重疊航帶的屋脊線萃取，進行點雲的平面精度分析，利用萃取的屋脊線估計誤差。由 Enschede 的資料分析，可以獲得高精度的平面定位。若進行一些率定，可以獲得最小只有 3~4 公分的偏移值。



瑞 士



## Towards Automated LiDAR Boresight Self-Calibration

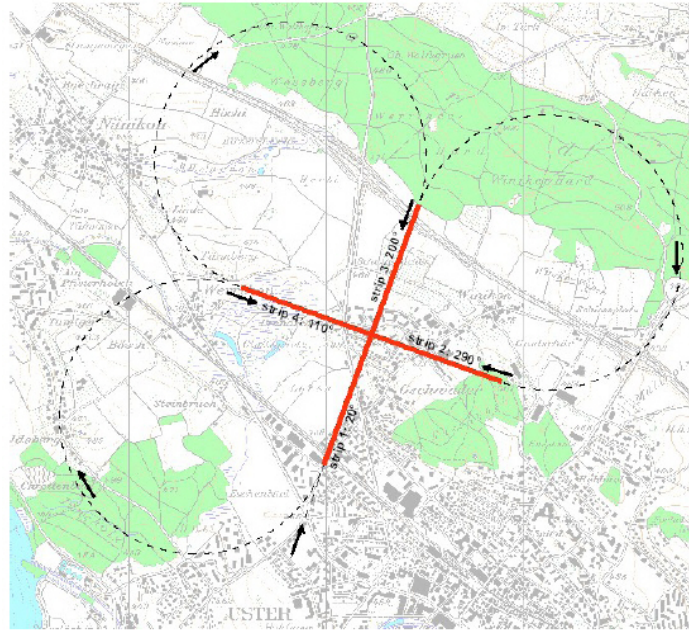
作者：J. Skaloud, P. Schaer

出處：The 5th International Symposium on Mobile Mapping  
Technology

本文利用地表本身的曲面提出一個自動化視準率定的方法，利用建物，如大的斜面屋頂、天線等特徵為反射波進行一個細緻濾波 (fine-filtering)。

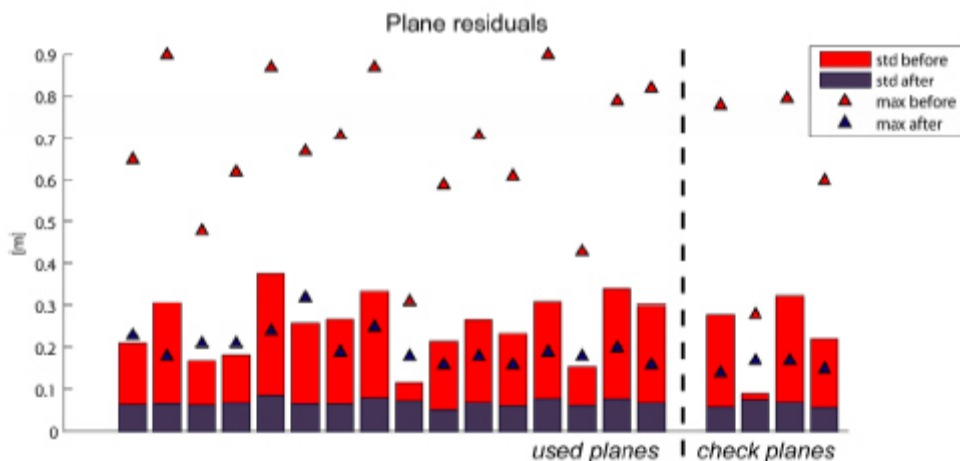
### 率定實例

本文在同一城市利用 Optech、Leica 與 Riegl 三家廠牌的空載光達進行率定實驗。這城市具有較大的屋頂，並且具有不同方向與傾角。飛行規劃如下圖：



### Optech

本率定型號是 Optech 的 ALTM3100 空載光達系統，其掃描原理是使用雷射擺動的方式產生出鋸齒狀的掃描軌跡，系統的掃描頻率最大是 100 KHz，本次率定掃描頻率為 75 KHz，系統 FOV 最大是 50 度，為減少鏡子邊緣所造成的一些不良的扭曲，本率定 FOV 為 44 度( $\pm 22$  度)，本系統允許一個脈衝訊號紀錄 4 個回波，飛行高度為 550 公尺和 1100 公尺。率定結果如下圖、表：



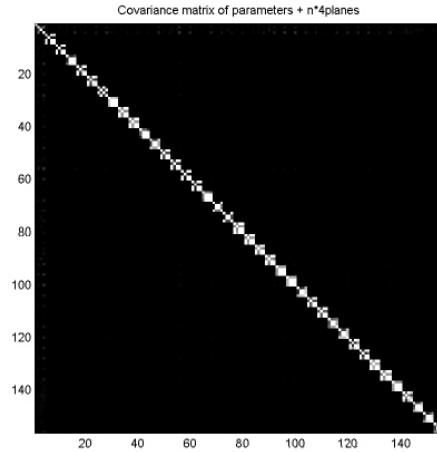
Method	roll	Pitch	yaw	$\sigma_r$	$\sigma_p$	$\sigma_y$
	[deg]			[deg 10 <sup>-3</sup> ]		
Manual	0.058	-0.031	0.038	0.2	0.2	2.5
Auto	0.058	-0.031	0.031	0.1	0.1	2.0
Optech	-0.054	-0.035	0.000	?	?	?

由上表可知，Manual、Auto 與 Optech 的率定方式，在 roll 與 pitch 參數以 Optech 的率定方式較好，但是 yaw(heading)參數，則是 Manual 與 Auto 較好。

### Leica

Leica 的 ALS 50 掃描方式也是用擺動雷射的方式進行掃描，最高掃描頻率為 150 KHz，最大的 FOV 是 75 度，飛行高度 1000 公尺與 1500 公尺，結合飛行速度、航高與掃描頻率，獲得點雲密度為 2.6 pts/m<sup>2</sup> 和 1.4 pts/m<sup>2</sup>。由於飛行參數的選擇並不是針對本實驗進行優化，這是根據不同的率定方式所進行的調整。率定結果如下圖、表，由下表可知，roll、pitch、yaw(heading)個值在兩個率定方式下差異很小。

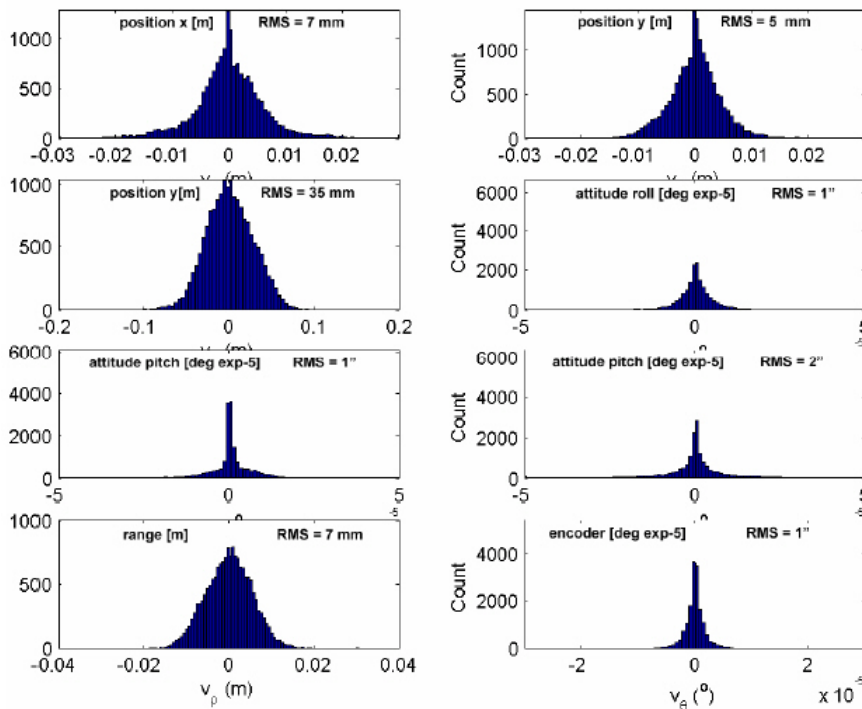
Me- thod	roll	pitch	yaw	$\sigma_r$	$\sigma_p$	$\sigma_y$	$\Delta\rho$	$\sigma_{\Delta\rho}$
	[deg]			[deg 10 <sup>-3</sup> ]			[cm]	
Libor	1.091	-0.645	0.024	.1	.1	.1	-23	1.2
Leica	1.091	-0.651	0.043	?	?	?	0	?



**Riegl**

進行率定的是 Riegl LMS Q240-x，這是一套短距離的掃描儀，掃描角度是 60 度，最大的掃描距離為 650 公尺，掃描方式為旋轉雷射進行掃描，此系統是安裝在直升機上，率定結果如下圖、表，由直方圖可知大部分的 RMS 都集中在 0 的部分(也就是說他們無偏差)，各自的 RMS 值也很小，故認為整體評估有良好的率定值。

LiDAR / IMU	roll	pitch	yaw	$\sigma_r$	$\sigma_p$	$\sigma_y$
	[deg]			[deg <sup>-3</sup> ]		
Q240/LN200	0.139	-0.060	-0.057	.7	.9	9.3
Q240i/FSAS	0.445	0.150	0.025	.7	.7	4.0





芬 蘭





## Calibration of the Optech Altm 3100 Laser Scanner Intensity Data Using Brightness Targets

作者：E. Ahokas, S. Kaasalainen, J. Hyypä, J. Suomalainen

出處：Proceedings of ISPRS Commission I. Symposium

本文利用 Optech ALTM 3100 在芬蘭的 Sjukulla 測試場對 8 個攜帶式的灰度標進行強度值(Intensity values)測試，空載光達測試的灰度標(Brightness Targets)表面反射率分別是 5%、10%、20%、25%、30%、45%、50%和 70%。飛行高度分別是 200 m、1000 m 和 3000 m。灰度標一個大小為 5m\*5m，利用聚酯纖維和 PVC 為塗層，用鈦白粉和碳黑顏料混和塗在塗層上。

### 前言

Optech ALTM 3100 雷射掃描強度的率定是利用空載實驗和已知的灰度標進行研究。芬蘭大地測量研究所自 1994 以來在芬蘭的 SjukullaKirkkonummi 永久性的攝影測量測試場，這測試場包含具有輻射率定的永久性和移動式的測試標，和小的永久性地面控制點，以及中尺寸與大尺寸的幾何修正標與模擬空間分析與數位空載相機的條狀測試標。自從 2000 起，空載光達測試開始實施，最新一次測試在 2005 年 7 月 12-14 號進行 Optech ALTM 3100 的測試。8 個攜帶式的灰度標，空載光達測試的表面反射率分別是 5%、10%、20%、25%、30%、45%、50%和 70%。飛行高度分別是 200 m、1000 m 和 3000 m。強度值需要修正的範圍包含有：入射角(散射與距離的修正)、大氣透射率修正和傳播能量(因為雙向反射的差異導致不同的發射器的能量值)。經過這些修正後，強度值直接反應測試標的反射率。

### 實驗原因

空載光達測量系統資料處理越來越自動化，測量的範圍除了距離，進一步的增加物理觀測量，這可對觀測物進行分類(Wagner et al. 2006)。大部分的系統會進行強度值的紀錄，但是，很少人利用強度值進行分析。例如：樹種的分析、航空影像的匹配等。由於缺少技術對強度值進行校正，缺少知識使用強度值資料，缺少足夠的強度資訊與 3 維資料進行比較，所以沒辦法有效的對強度值資料進行應用。fullwaveform 的空載光達系統也開發出來，首先為未來的衛星系統進行準備，以便觀測地球的地形與植被，再者為空載雷射掃描

儀準備。Wagner et al. (2004)使用 fullwaveform 的空載空載光達系統，利用迴波的波形進行資料的分類。其他還有利用觸發脈衝進行資料儲存的應用。脈衝強度和 fullwaveform 都需要一個較好的校正方法。

### 理論

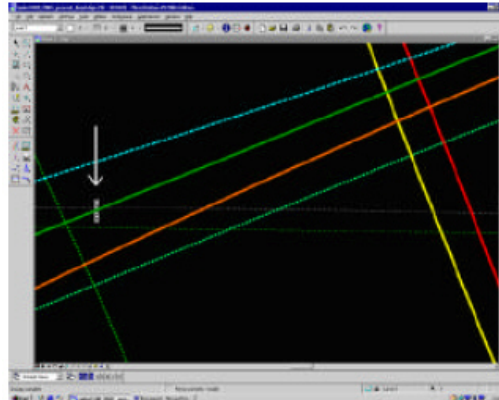
雷射能量發射後，經大氣、入射與反射角度、能量散射後所得的強度值。

### 測試

在芬蘭的 Sjäokulla Kirkkonummi 永久性的攝影測量測試場進行空載光達強度值校正的研究，利用 Optech ALTM 3100 在 8 個不同反射率的攜帶型灰度標進行測試，並針對強度值進行修正。灰度標表面反射率分別是 5%、10%、20%、25%、30%、45%、50%和 70%。灰度標一個大小為 5m\*5m，利用聚酯纖維和 PVC 為塗層，用鈦白粉和碳黑顏料混和塗在塗層上。飛行高度分別是 200 m、1000 m 和 3000 m，雷射頻率分別是 100 KHz、100 KHz 和 33 KHz，雷射波長為 1064 nm，FOV 為 34 度。下圖為灰度標的樣式、飛行航線與灰度標擺設方式。



灰度標樣式



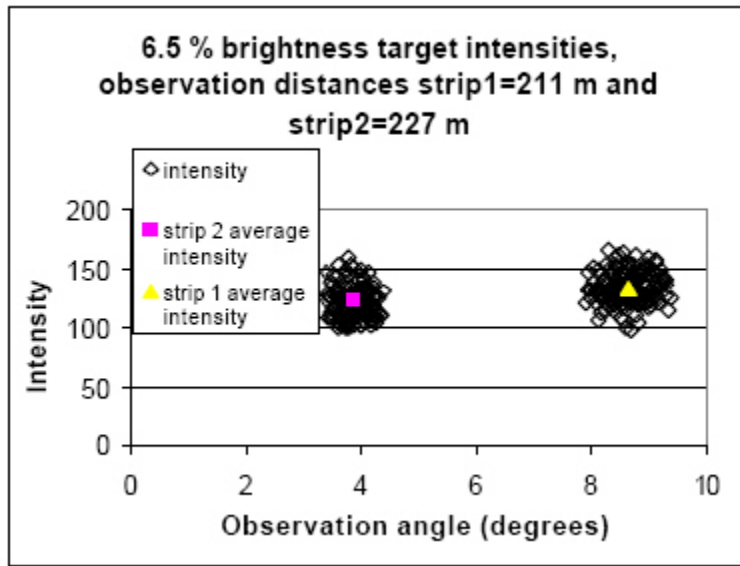
飛行航線

### 校正強度值

記錄的強度值是一個函數，包含灰度標反射率、範圍(包括入射角)和脈衝重複率(Pulse Repetition Frequency, PRF)，可以由下圖得知其影響。其中強度值和觀測角度的相關是受到兩不同航帶差射影響。強度值的校正如下：

- 假設強度值是來自於不同的高度。
- 不同入射角的脈衝修正為入射角函數的反射率變化。

—根據 Chasmer et al. (2006)發射功率是改變的，發射脈衝的能量為雷射頻率 33KHz 能量是 164 μJ，雷射頻率 100KHz 能量是 59 μJ。



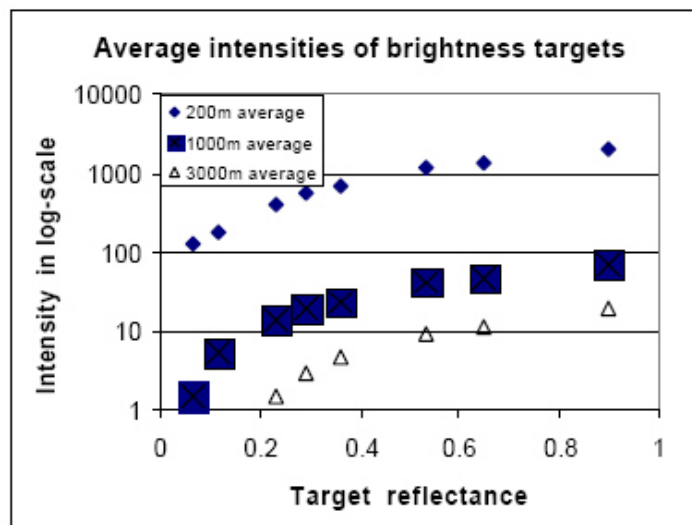
強度值估計公式如下：

$$I_{scaled,j} = I_j \frac{R_j^2 E_{Tref}}{R_{ref}^2 E_{Tj}}$$

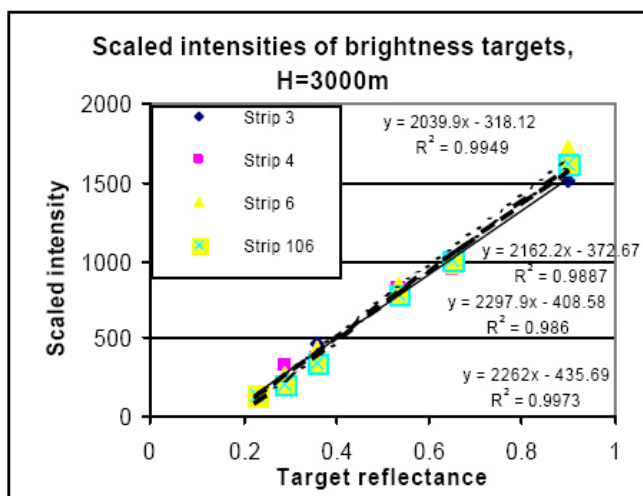
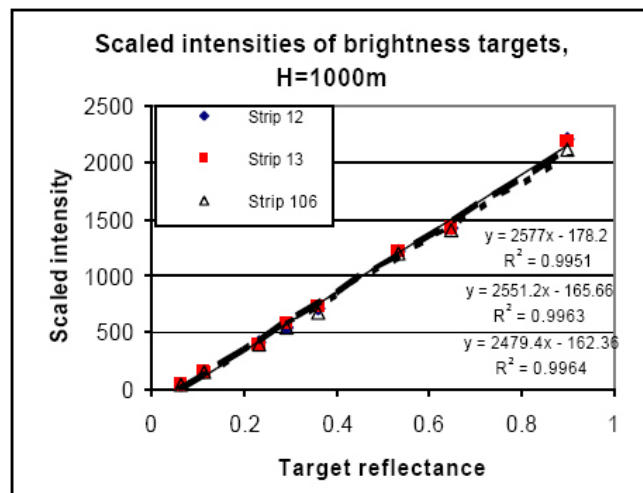
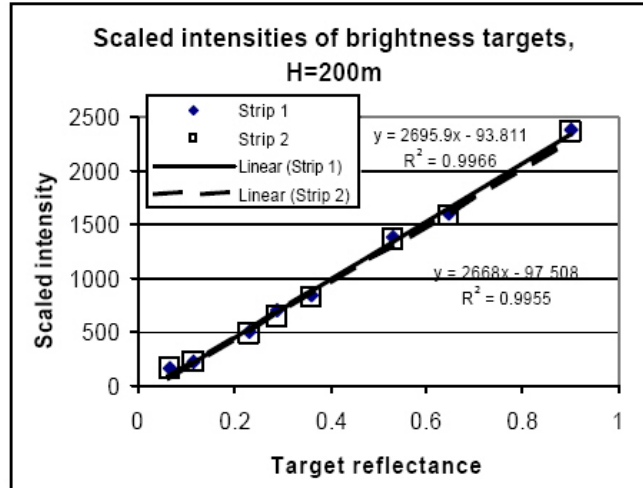
$j$  代表航帶編號， $I_j$ 代表航帶  $j$  的強度值， $R_{ref}$ 是參考距離(預設為 200 公尺)， $R_j$  航帶  $j$  的距離， $E_{Tref}$ 是發射脈衝的能量(預設 59μJ)， $E_{Tj}$ 是航帶  $j$  發射脈衝的能量。

### 結果討論

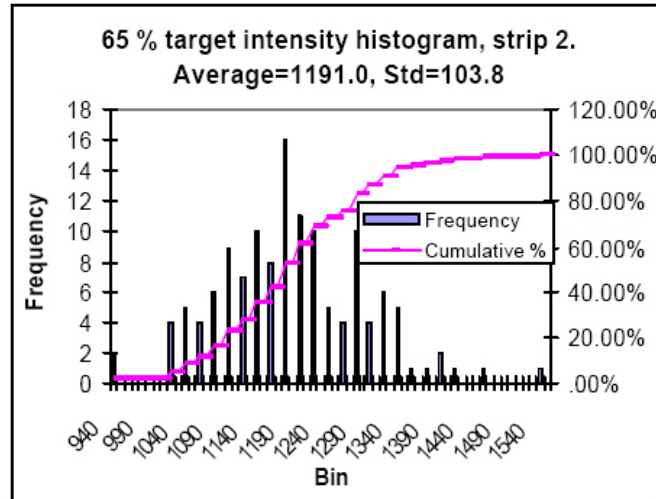
在不同航高下，灰度標所反映出來的平均強度值，如下圖所示。在航高 3000 公尺時，灰度標最暗地的個(反射率 6.5%和 11.5%)沒有反射訊號，強度值與  $R^2$  有相關性。



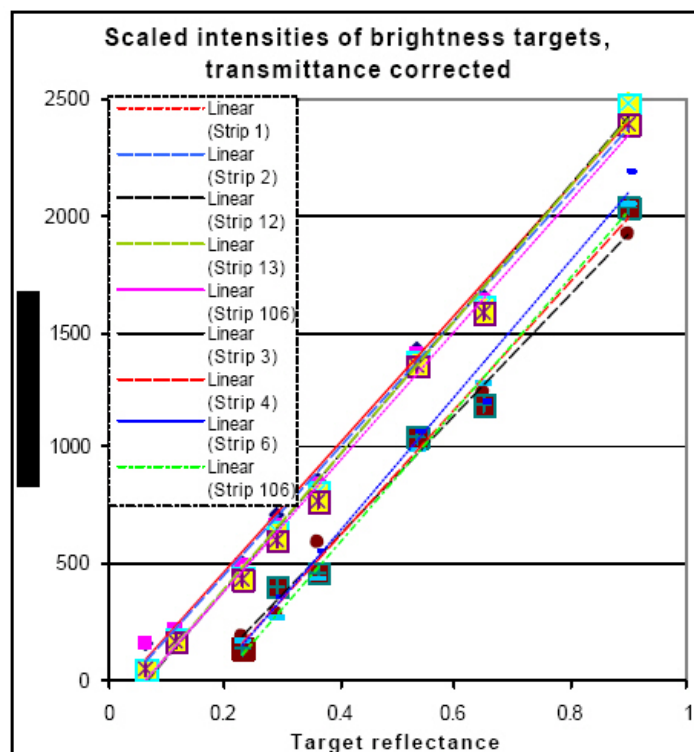
200 公尺、1000 公尺與 3000 公尺的強度值分別如下 3 圖，不同高度下，飛行航帶的平均強度值(每個反射值)與 scaled intensity 的相關係數表示灰度標的強度校正的應用。在 3000 公尺的高度下，發生較少的觀測結果，可能是因為大氣不均勻所造成。



平均強度值的衰變，可能存在較強的雷射光束的強度變異，由下圖分析，透過計算灰度標所反射的強度的標準偏差，在航帶 1 所獲得的 STD 介於 9~14%，航帶 2 的 STD 介於 8~15%，這可得到一個結論是原來雷射光束強度的變異性約 10% 左右。



利用輻射傳輸的模型 MODTRAN4，模擬波長 1064nm 在中緯度大氣的穿透率，220 公尺、1100 公尺與 3100 公尺的大氣穿透率分別為 0.985、0.94 與 0.890。利用  $P_{r,real} = T^2 P_r$ ，T 是大氣穿透率， $P_{r,real}$  是進行大氣穿透率修正後的接收能量。修正後結果如下圖，可得出結論是強度值率定應包含距離、入射角、大氣穿透率和發射功率的率定。



### 結論

本研究認為可利用移動式灰度標進行空載光達的強度率定，由不同高度，即 200 公尺、1000 公尺與 3000 公尺的飛行高度可發現飛行高度與強度值具有高度相關性。並且發現在航高 3000 公尺時，反射率小於或等於 10% 時，無法記錄到強度值。

本實驗顯示進行強度值校正時，需加入距離、入射角、大氣穿透率和發射功率的率定。

國 內





## 1. 地調所莫拉克災區 LiDAR 高解析度數值地形製作(1/3)-空載光達掃描儀率定報告書

出處：群立科技股份有限公司提供

本文為 2010 年群立科技股份有限公司執行「地調所莫拉克災區 LiDAR 高解析度數值地形製作」，使用 Leica ALS60 空載光達掃描儀之率定報告書。

內容章節包含：掃描儀器介紹、率定場說明、GPS 設置、飛航規劃、率定飛行、確認飛行、率定計算與成果說明與使用之 GPS 的校正報告等。

### 執行摘要

視準率定是以不同之航向、角度與高度之空載光達掃描資料，利用共軛之 intensity image 與點雲與率定場之真實坐標進行計算，以求取 IMU 偏移值之系統誤差，實施之時機通常為掃描儀拆裝及週期率定。

### 執行背景和概述

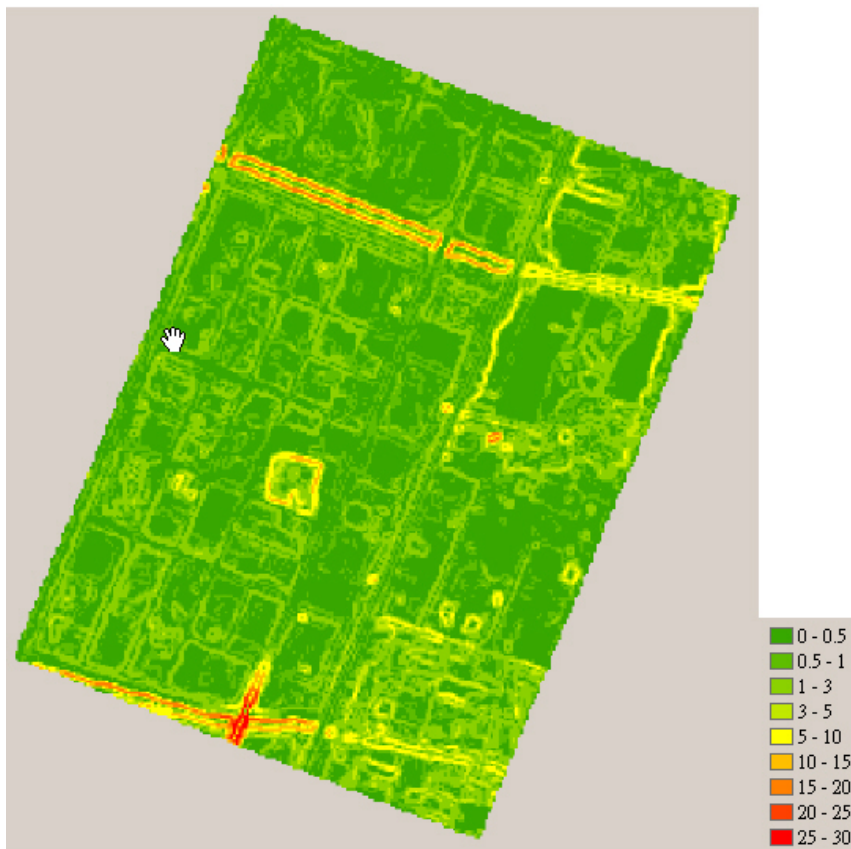
本率定報告為 2010 年 9 月 29 號進行率定飛行，2010 年 10 月 10 號進行確認飛行，率定光達設備系統之型號為 Leica ALS60 光達掃描儀，率定時搭載於群鷹翔國土資源航空之雙引擎定翼機，以台中港工業區為率定場進行率定作業。

### 率定場說明

本率定報告使用自行設置之台中港率定場，率定面積為 4.75 平方公里，率定場涵蓋多屬裸露地及建物，植披覆蓋率小於 10%，率定場內之地表坡度平緩，具有易辨識之特徵物，如大型建物(坪頂、斜頂)及道路標線等。



台中港工業區率定場空照圖



率定場坡度圖

### GPS 設置

GPS 基站儀器使用 Trimble 4000 SSI 雙頻接收儀 2 具，作業日期為 2010 年 9 月 29 日，分別於港灣技術研究所 K400 與台中港節點 X105 等內政部一等一級水準點上設置基站進行觀測。

### 率定飛航規劃

本率定報告使用 2 個不同高度及不同方向共 14 條航代之掃描，其中 8 條航帶提供率定率定計算之用；另外 6 條航線則為檢核之用。



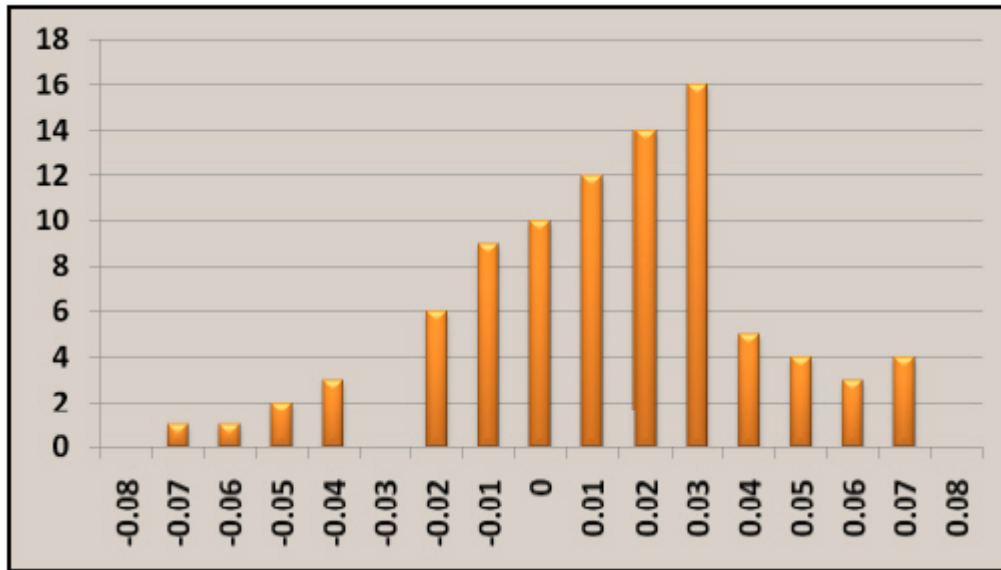
台中港工業區率定作業示意圖

### 率定計算與成果說明

ALS60 掃描儀系統之視準率定解算軟體為 Leica Geosystems 的 Attune 軟體，利用率定飛行之不同航向及高度之航帶點雲資料，由人工進行點雲反射強度影像之共軛點選取，軟體則自動以雷射點之三為坐標計算儀器之率定參數。

完成率定參數解算後，解算出 Roll、Pitch、Heading 與 Torsion 等 4 個參數值，將所得之率定參數帶入確認飛行之點雲資料，與率定場控制點實測高程進行計算。此次率定結果如下圖，均方根差(RMS)

為 0.034 公尺與標準差(Std. Error)為 0.03 公尺，符合率定場 10 公分經度需求。



率定場高程之均方根圖

## 2. 大台北地區特殊地質災害調查與監測-高精度空載雷射掃描(LIDAR)地形測製與構造地形分析(3/3)-ALTM30/70 率定作業

出處：中興測量有限公司提供

本率定報告為中研院地球所執行「大台北地區特殊地質災害調查與監測-高精度空載雷射掃描 (LIDAR)地形測製與構造地形分析(3/3)」，中興測量有限公司使用 OptechALTM30/70 率定作業之率定報告。

章節內容包含：空載雷射掃描系統、掃描系統率定、率定飛行作業程序、系統率定成果精度分析。

### 執行摘要

率定地點在彰化彰濱工業區鹿工南五路，全長範圍約 2 x 2 平方公里，率定場涵蓋多屬屬裸露地及建物，植被覆蓋率小於 10%，另外範圍內並包含獨立建物供建物型式的率定場地，於道路率定場之前、中、後共布設 10 個固定式控制點，在建築物率定場之外圍布設 2 個控制點，以 GPS 測量方式引測坐標值，進行視準率定。

### 空載雷射掃描系統

空載雷射掃描之原理是利用近紅外光之脈衝雷射進行掃描，記錄反射訊號的回波及時間後再轉換為距離，飛行載具則以 DGPS 精密的動態定位，同時利用 IMU (Inertial Measurement Unit)獲取姿態參數，整合雷射掃描測距而獲得測點的三維坐標。雷射掃描系統主要包含：「雷射掃描組件」以及「定位與定向組件(Position and Orientation System, POS)」二大部分。其中雷射掃描組件之性能，例如測距範圍、掃描寬度(掃描角)、點位密度(掃描頻率)等，將直接影響施測之能力，而定位與定向組件之性能，則是影響測點精度之關鍵。整個空載雷射掃描系統結合雷射測距、光學掃描、全球定位系統及慣性導航系統等技術，能快速獲得掃描點的三維坐標。空載雷射掃描儀的作業受天候條件之影響亦較航空攝影測量為小，這個特性對於位處亞熱帶多雲的台灣，實為重要，相較於航空攝影或衛星遙測影像而言，數據獲取更具彈性與效率。本計畫使用加拿大 Optech 公司生產，型號 ALTM3070 之空載雷射掃描儀。

### 掃描系統率定

感應器率定分為兩部分，第一部分乃感應器與 GPS 天線的偏心量率定（即 ALTM 掃描器與 GPS 天線間之偏心常數），以經緯儀測量來求得；施測方式係以經緯儀分別測得機鼻、機尾、雷射掃描感應頭之參考位置、GPS 天線中心點及雷射掃描感應箱上之 4 個邊角，此位移值之相對位置關係；因此，測機鼻及機尾以獲得 X 軸，並依右手定則決定相對應之 Y 及 Z 軸，藉以計算偏心常數值。第二部分是雷射掃描器坐標系與機身坐標系之間，常因裝卸影響，造成不平行之偏差量，需實際以飛行掃描率定場，以求定感應器與 IMU 及 GPS 的偏心量（即 Boresight Calibration）。完整 ALTM 系統之率定需要兩個分別的控制場，分別為率定建築物及平坦道路率定場。建築物須方正、無遮蔽、且邊長大於 80 公尺，高度需高於 5 公尺且屋頂應儘量平坦；於屋頂邊緣及角落設控制點，並測量控制點平面坐標，用於率定 ROLL 及 PITCH。另一理想之率定控制場需包含大量精確坐標點位，且方格狀排列於大且平坦之區域，至少如跑道般，長 1000 公尺、寬 20~50 公尺，方格點之間隔約 5~10 公尺，用於率定全掃描時之相對及絕對高程雷射點資料。經勘查後，此次擇定之率定場地位於彰濱工業區內如下圖。



率定場分布圖



率定場現況



率定場現況

### 率定飛行作業程序

Pitch 值修正在雷射掃描坐標系第一軸 ( $X^S$ ) 與載具坐標系第一軸 ( $X^b$ ) 之間的偏差量，也就是兩個坐標系之間第二軸的旋轉角，便是俯仰安置角。飛行高度為離地高 800 公尺，ALTM 系統之設定掃描頻率為 71kHz，掃描鏡面之擺動頻率為 0Hz，掃描視角之角度為 0 度，飛行之方式為垂直於率定建築物測定屋線之方向。

Roll 修正為所謂的側向傾斜安置角是指雷射掃描坐標系第二軸 ( $Y^S$ ) 與載具坐標系第二軸 ( $Y^b$ ) 之間的偏差量，也就是兩個坐標系之間第一軸的旋轉角。飛行高度為離地高 800 公尺，ALTM 系統之設定掃描頻率為 71kHz，掃描鏡面之擺動頻率為 20Hz，掃描視角之角度為 25 度，飛行之方式為平行於率定建築物測定屋線之方向。

Scale 值修正，將飛行高度設為離地高 800 公尺，ALTM 系統之設定掃描頻率為 71kHz，掃描鏡面之擺動頻率均為 50Hz，掃描視角均為 25 度，飛行之方式為垂直於率定跑道之方向。

Elevation 值修正，將飛行高度設為離地高 800 公尺，ALTM 系統之設定掃描頻率為 70KHz，掃描鏡面之擺動頻率為 50Hz，掃描視角為 25 度，飛行之方式為垂直於率定跑道之方向。

### 系統率定成果精度分析

將上述所需求取之視準率定參數值，由各飛行參數帶入軟體後，所得之視準率定參數，再帶回新的雷射資料計算出新的點雲三維坐標，在比對控制點高程資料，獲得率定結果如下圖。

雷射點雲資料與高程控制點比對成果	最大差異量	最小差異量	平均差異量
高程較差值 (m)	0.10m	0m	0.05m

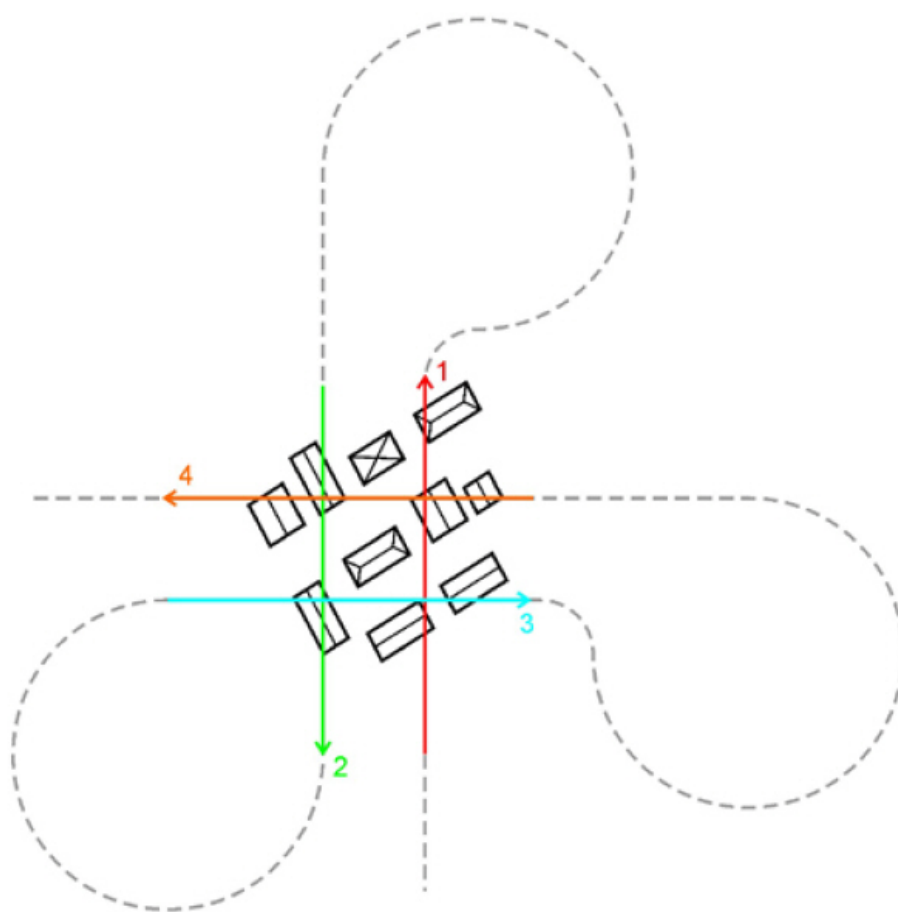
雷射點雲資料與高程控制點比對成果	最大差異量	最小差異量	平均差異量
高程較差值 (m)	0.8m	0m	0.04m



### 3. Operating Instructions for RIEGL Laser Instruments

出處：自強工程顧問有限公司提供

儀器在出廠前雖然已有一組率定數據，但是在第一次安裝 Riegl LMS-Q680(i)會因安裝的航空器不同而造成率定值的改變，所以第一次安裝 Riegl LMS-Q680(i)需要進行一次率定飛行。進行率定時所需條件如下：1、有各方向的屋頂，2、兩平行兩垂直航線，3、航帶重疊要大於 50%，4、點雲密度要達  $4\text{pts/m}^2$ 。示意圖如下圖：



Riegl 儀器由自強工程顧問有限公司於今(2011)年首次引進國內，預定於雲林縣西螺鎮利用既有道路、建物進行率定，但所申請之飛航計畫尚在審查中，因此只取得 Riegl 的率定操作指南，尚未收集到 Riegl 的實際率定數據，未來將持續蒐集相關資訊。



# 空載光達校正場文獻 整理分析



## 一、名詞定義：

### 校正(Calibration)：

藉由與標準值比較，決定相機、儀器或設備的某種特殊量測值的行為或過程，以達到改正或補償誤差或紀錄的目的(Slama，1980)。本案透過建立標準一致的校正場，進行 LiDAR 點雲高程與平面精度的比較，以達到記錄儀器精度的目的。

### 視準率定(Boresight Calibration)：

因慣性量測系統單元(Inertial Measurement Unit, IMU)中心與雷射掃描系統稜鏡旋轉中心間之安置偏差量，因劇烈碰撞或嚴酷溫度下而有所改變，在進行測量時，會引起測量誤差。

### Roll：

是 IMU 與雷射掃描系統在 X 軸方向出現偏移，原本預定掃描的點位與實際掃描的點位不同，使得 X 軸方向發生斜距誤差。

### Pitch：

是 IMU 與雷射掃描系統在 Y 軸方向出現偏移，使得 Y 軸方向發生斜距誤差。

### Heading 誤差：

是 IMU 與雷射掃描系統在 Z 軸方向出現偏移，雷射的旋轉軸中心向某方向偏轉，使得掃描時所有資料向某方向出現旋轉。

### Torsion：

是因雷射掃描系統旋轉時，雷射鏡頭中心與邊緣的角速度不同，發生的誤差。

### Lever Arm：

進行雷射感應器與 GPS 天線相位中心的率定。

## 二、空載光達系統發展史：

空載光達系統發展歷程概述		
年份	事件紀實	備註
1970	美國航太總屬 NASA 研發雷射測距技術。	
1975	奧地利維也納技術大學的 Rieggl 教授創立 Rieggl 公司。	
1980	後期，GPS 民用技術提昇以及高精度 IMU 的問世，開始進入空載光達商業化的時代。	
	末期，德國 Peter Frieb 和 Joachim Lindenberger 於攻讀博士學位期間，進行空載光達技術的研究。	
1989	Peter Frieb、Joachim Lindenberger 與 Fritz Ackermann 教授一起進行首次空載光達試驗飛行。	
1992	Peter Frieb 和 Joachim Lindenberger 獲得博士學位，並成立 TopScan GmbH 公司。	
1993	TopScan 與加拿大 Optech 公司合作，進行空載光達原型機的試飛和測試。	
1995	Optech 公司 ALTM1020 光達系統上市。	
1996	Rieggl 公司推出一系列(LMS 系列)二維雷射掃描儀。	
1997	Optech 公司將 ALTM1020 光達系統之雷射頻率由 200Hz 提高到 5000Hz，飛行高度達到 1000 公尺。	
	德國的 TopSys(Christian Weaver、Joachim Lindenberger)也開始發展 1225 光達系統。	
	美國從事製圖和 GIS 服務的 Azimuth 公司針對光達的不足之處，在技術方面進行了一些提升。	
1999	Azimuth 公司推出了 AeroSensor 光達系統，並與 EnerQuest 公司合作，由 EnerQuest 推出 RAMS 光達系統。	RAMS 先後賣給日本和澳洲。

空載光達系統發展歷程概述		
年份	事件紀實	備註
2000	雪梨奧運會採用 EnerQuest 公司率先研發出配備數位攝影機的 RAMS 光達。	該 RAMS 光達在 Robert Kletzli 的帶領下研發完成。
2001	Leica 公司收購 Azimuth 公司，並將 AeroSensor 改名為 ALS40。同時引進推進掃描式的數位相機 ADS40。	
2003	Leica 公司推出 ALS50 空載光達。	
2004	Optech 公司推出於 1000 公尺的高空發射 100,000Hz 的 ALTM3100。	
	Riegl 公司推出 LMS-Q560，是世界上第一款商業化進行數位化收集和處理光達全波形的二維雷射掃描儀。	
2006	Optech 公司推出於近 2000 公尺的高空發射 100,000Hz 的 ALTM Gemini。	
	Leica 公司推出 ALS50-II 空載光達。10 月推出新技術：Multiple Pulses in Air (MPiA)。	

### 三、各國空載光達率定場分析：

項 目	國 名		美國	加拿大	荷蘭	瑞士	芬蘭	中華民國		
	美國	芬蘭						群立科技	中興測量	自強工程顧問
提出機關/學校	美國俄亥俄州交通局		Calgary 大學	ITC	EPFL	FGI	群立科技	中興測量	自強工程顧問	
提出年代(西元年)	2008	2006	2010	2008	2007	2006	2010	2007	—	
文獻名稱	美國蒐集文獻 1、2	美國蒐集文獻 3、4	加拿大蒐集文獻	荷蘭蒐集文獻	瑞士蒐集文獻	芬蘭蒐集文獻	國內蒐集文獻 1	國內蒐集文獻 2	國內蒐集文獻 3	
儀器設備	Optech ALTM 30/70	Optech ALTM 30/70	Optech ALTM 2050	FLI- MAP400	Optech ALTM3100， Leica ALS 50， Riegl LMS Q240-x	Optech ALTM 3100	Leica ALS60	Optech ALTM 30/70	Riegl LMS-Q 680(i)	
校正項目	roll、pitch、heading、Scale、Elevation	利用校正標進行點雲的水平與高程經度探討	利用 Simplified method 與 Quasi-rigorous method 方法進行視準率定	利用屋脊線進行精度評估	roll、pitch、heading	Intensity values	roll、pitch、heading、torsion	roll、pitch、heading、Scale、Elevation	—	
場地特性	俄亥俄州麥迪遜市，筆直道路、大型倉庫與工廠和一般住宅	俄亥俄州的 Ashtabula 的 23 公里長筆直道路	Simplified method：需在平坦地形進行， Quasi-rigorous method：無地形限制	Brabant 的 Dutch national elevation model (AHN)， province of Zeeland 的高程模型， city of Enschede 的高程模型	於城市中，且具有較大的屋頂，並且具有不同方向與傾角	採用芬蘭的 Sajokulla 測試場，輻射灰度標的反射率分別為 5%、10%、20%、25%、30%、45%、50% 和 70%	台中港工業區，地形平坦、有斜頂建築、裸露地	彰濱工業區，有斜頂建築、筆直道路	雲林縣西螺鎮街道	



項目	國名		美國	加拿大	荷蘭	瑞士	芬蘭	中華民國		
	美國	加拿大						中華民國	中華民國	中華民國
場地大小	0.3 平方公里	長度 23 公里的道路	—	—	Brabant：16 條航帶，Zeeland：9 條航帶，Enschede：15 條航帶	—	—	4.75 平方公里	4 平方公里	—
航線	4 條，兩平行兩垂直	第一次測試：2 平行航線，第二次測試：2 垂直航線	8 條	—	Brabant：航帶寬 550m，航帶重疊 55m。province of Zeeland：航帶寬 460m，航帶重疊 100m。city of Enschede：航帶寬 330m，航帶重疊 100m	4 條，兩平行兩垂直	3 條平行航線	8 條，兩航高兩平行兩垂直	4 條，兩平行兩垂直	—
航高(公尺)	—	第一次測試：610，第二次測試：700	1000、2000	—	Brabant：航高 1000m。province of Zeeland：航高 375m。city of Enschede：航高 275m	ALTM3100：550、1100，ALS 50：1000、1500，LMS Q240-x：無特別說明	200、1000、3000	1350、2300	800	—

國 名 項 目	美國		加拿大	荷蘭	瑞士	芬蘭	中華民國		
飛行參數	脈衝頻率： 70kHz，掃描頻率： 50Hz， FOV：40度，點雲密度： 5-8pts/m2	第一次測試-脈衝頻率： 70kHz，掃描頻率： 70Hz， FOV：14度， 點雲密度： 5pts/m2。第二次測試-脈衝頻率： 33、50、70kHz，掃描頻率： 36-70Hz， FOV：10度、20度，點雲密度： 5pts/m2。	—	—	ALTM3100-脈衝頻率為 75 KHz， FOV：44度。 ALS 50-無特別說明。 LMS Q240-x-無特別說明	—	—	pitch-脈衝頻率： 71kHz， 掃描頻率： 0Hz，FOV： 0度，roll-脈衝頻率： 71kHz，掃描頻率： 20Hz， FOV：25度， scale-脈衝頻率： 71kHz，掃描頻率： 50Hz， FOV：25度， elevation-脈衝頻率： 70kHz，掃描頻率： 50Hz， FOV：25度	—
備註		利用校正標進行精度測試		利用重疊航帶進行屋脊線萃取					飛行計畫尚未通過

#### 四、建議：

由於空載光達的雷射掃描系統在進行雷射測距時，是利用返回波的峰值及強度值求取脈衝雷射往返地表與接收儀的時間，當接收器接收到的反射訊號強度偏低或偏高時，儀器會自動加入 Gain(乘常數)與 Offset(加常數)的機制進行訊號強度放大與縮小，以提高測距的靈敏度，因此空載光達點雲所記錄的強度值通常並非原始數值，而各廠牌各機種儀器屬於商業機密範疇不易取得，所設定的強度值調整範圍與頻率也不一致，再加上前述所蒐集到之文獻中提到強度值受大氣穿透率等非儀器因素之影響，因此進行空載光達強度值的校正較易引起爭議。



國內外航遙測感應器系統校正作業  
蒐集資料審查意見回覆說明表



項次	審查意見	意見回覆
一	國外文獻翻譯時，為避免中英文專有名詞定義不一致之疑義，故請針對文獻提及之專有名詞，除翻譯為中文外，仍請將英文名詞註記於後，例如：校正 (calibration)。另請就文獻中對該名詞之定義或作業內涵稍加闡釋。	已將專有名詞之英文註記於中文之後，詳各篇摘要；並新增章節對專有名詞之定義進行闡述，詳見名詞定義一節。
二	有關國外航測像機校正場資料蒐集部分，團隊已蒐集之美國、歐盟（德國、挪威、義大利）、芬蘭、日本、中國…等國家資料，請再分析比較各國建置歷程、校正作法、校正項目…，並請將上述彙整分析內容納入期中報告中，以利參考。	新增章節分析比較各國校正場，詳見歐美數位航空攝影機校正發展史及各國數位航空攝影機校正場分析一節。
三	建議團隊除蒐集國外航測像機與空載光達系統校正場建置資料外，另外如有國外校正場建置過程之實務文件，如標準作業程序…等資料；或其他航遙測感應器，如衛星影像或 SAR 校正場資料，仍請持續蒐集，並將相關資料蒐集結果納入期中報告中，以利參考。	已與芬蘭、日本、中國大陸及國內專家學者進行聯繫，持續蒐集資料中。
四	空載光達校正場資料部分，請再加強屋脊線萃取方法、強度值研究、校正標、校正方法比較…等相關內容說明。	已增列內容，詳見空載光達校正場文獻摘要。
五	文件交付請標示目錄、頁碼。	各文件已標示目錄及頁碼。

項次	審查意見	意見回覆
六	國外校正場資料，請整理成表格顯示 1.國家 2.提出機關/學校 3.提出年度 4.文獻名稱…之對應。	已增列各國校正場資料分析，詳見各國校正場分析。
七	航測像機與空載光達國內外校正作業蒐集資料之文件格式如字體大小、行距…等，請調整一致。	已修正。



---

## 附件四：航測攝影機校正場建置方案（草案）



# 數位航測攝影機校正場建置方案（草案）

中華民國航空測量及遙感探測學會

100.07.30.

## 一、目的

凡執行測繪任務的航測數位攝影機，均必須經本校正場校正，以確認其幾何精度、幾何解析力及輻射特性等與原製造廠商所宣稱者是否相符，並符合我國對航空攝影測量航拍所訂之規範需求。

本校正場係採野外現場校正（In-Situ Calibration）方式，校正包含攝影機成像幾何精度、影像解析力、影像內方位參數（包含鏡頭畸變）、外方位輔助定向設備（GPS 或 GPS/IMU）以及影像輻射特性等項目。但是本校正場校正不得取代任何原製造廠商要求的任何定期廠或臨時召回的回廠校正。

## 二、校正場整體建置規劃

### （1）場地尺寸及形狀

場地應成矩形。矩形之長邊應達 2,000 公尺以上，短邊應達 1,750 公尺以上。場地內應再劃分一小的矩形校正場供低空飛行之校正用。小校正場的邊長分別為 750 公尺及 600 公尺。如下圖所示。大區係供較高航高校正之用（GSD>20 公分），小區（圖中斜線標示區域）係供較低航高校正之用（GSD>5 公分）。

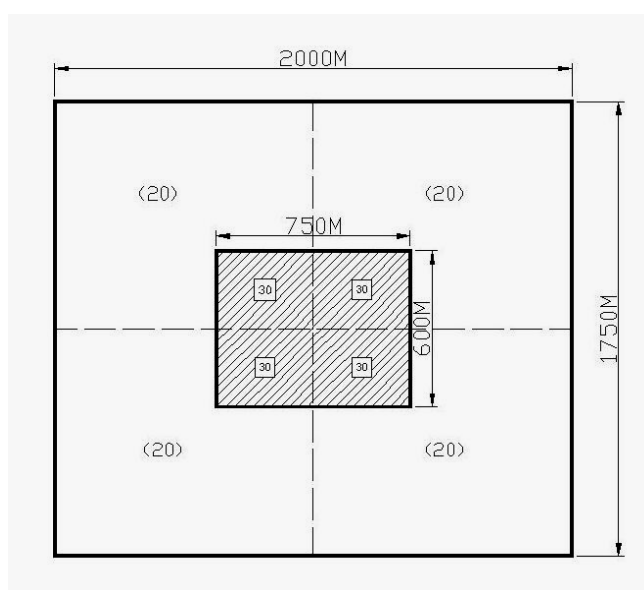


圖 1 校正場平面設計圖

(2) 地面控制點及檢核點

全區至少布設 200 個點，其型式如右圖所示，點位應隨機並均勻分布於全校正場。

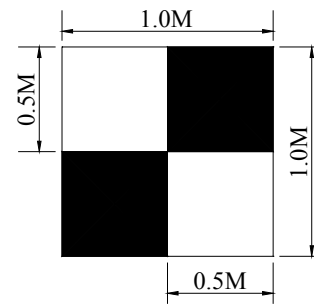


圖 2 控制點布標型式

(3) 解析力校正標

解析力校正標採用改良後之西門子星 (Siemens Star)，黑底白標，如下圖所示。

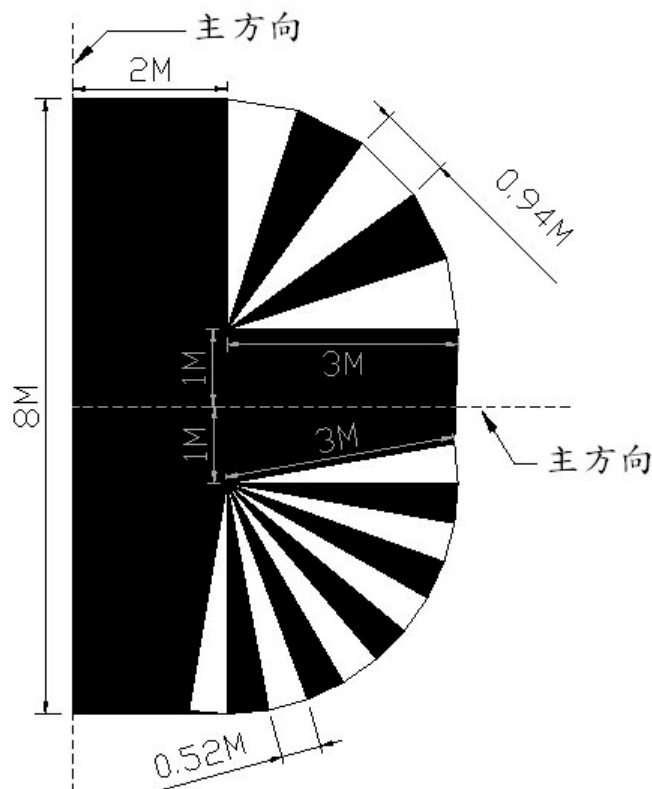


圖 3 幾何解析力校正標 (改良式西門子星)

(4) 輻射校正標

輻射校正標設置一近似藍勃特散射面的之對空八階之灰度標，如下圖所示。



圖 4 輻射校正灰階標

### 三、校正場場地位置

位置選擇應考量以下條件（按照優先順序排列）

#### （1）飛行方便性

場址應避開管制空域及校正飛行時（包含必要的航線末端迴轉區）會受危險或阻礙的地區。管制空域地區包含機場航道起降區域以及軍事飛行訓練範圍。危害飛行安全區域則為計畫航高下 100 公尺範圍內之任何阻礙物。

#### （2）控制點測量及維護

控制點設置所在地點應易於取得地主同意及易於進入測量，控制點對空標易於長久保存，點位上空天頂 45 度範圍內無遮蔽物，周圍無干擾 GNSS 收訊之無線電發射或接收天線。

#### （3）場地尺寸及形狀

場地應成矩形。矩形之長、短邊應分別近似平行南北（東西）及東西（南北）方向，以方便設計南北及東西飛行的航線。矩形之長邊應達 2000 公尺以上，短邊應達 1750 公尺以上。場地內應再劃分一小的矩形校正場供低空飛行之校正用。小校正場的邊長分別為 750 公尺及 600 公尺。如圖 1 所示。大區係供較高航高校正之用（GSD>20 公分），小區（圖中斜線標示區域）係供較低航高校正之用（GSD>5 公分）。小區儘量安排於大區之中心為原則，以便大區之每一象限能均勻分享小區控制點使用。

#### （4）離 GNSS 永久追蹤站的距離

周圍 30 公里內應有 GNSS 永久接收站，其接收頻率應不低於每秒一筆。

#### （5）地形起伏

區內地形起伏高差至少達 100 公尺，控制點之間的高差不得低於 75 公尺。

#### （6）天候

依據中央氣象局資料，該地區（或最鄰近有測候紀錄地點）每年至少有一個月的期間，其平均雨、霧天不應多於 6 天。

### 四、控制點及檢核點

本處所稱之控制點及檢核點本質相同，其布設原則及測量精度亦同。僅在實施校正作業時所擔負之功能角色不同。在實施校正作業之空中三角測量時，對控

制點賦予之權為極大，亦即空中三角測量網系必須強制附合於其上。而檢核點之權為零，亦即其不參與控制之用，而是自由接受網系賦予它的改正數，以便觀察數位攝影機的幾何誤差。

控制點及檢核點之施測精度（中誤差，即標準偏差）應優於 2 公分。

全區至少布設 200 個控制點。點位應隨機並均勻分布於全校正場。以矩形校正場中心為基準的任何象限內的總點數不得少於 40 個。其中至少 25 個布設於小校正場內，其餘布設於小校正場外。圖 1 中斜線區為小校正場，其內標示的數字 30 為小校正場每象限理想的平均布設控制點數，外圍大校正場內每象限括弧中標示的數字為 20，此為不含小校正場控制點時理想的平均點數，因此大校正場每個象限內包括小校正場的點平均共計有 50 點(USGS, 2008)。小校正場內控制點之間的距離不得小於 45 公尺，大校正場內控制點之間的距離不得小於 100 公尺。

每象限內由所布設之控制點中選擇約 1/2 做為檢核點。控制點一律布設對空標，其型式依據圖 2 之規定(許妙忠 等，2010)。選為檢核用之點亦以布設對空標為原則，但是如果布設對空標有困難時，得以明確定義之自然點，如永久性建物之角點替代布標點。

為提高本場點數之可靠性，建場後每次實施校正飛行後，應由拍攝的影像中加選若干明確定義之自然點，對其實施高精度重複空中三角測量，獲取其坐標做為以後備用之控制點或檢核點。萬一原來布設之控制點遭遇破壞或遮蔽時，可以使用此類備用點，以保障仍有足夠之點可資使用。因此本校正場具有不靠地面控制測量及布標而能自我維護之機制，隨著校正影像拍攝次數之累積，可以得到愈來愈多經多次重複觀測解算而得之控制點或檢核點。

## 五、解析力校正標

本場解析力校正方式是藉由解算影像處理學所稱之平均相對邊緣反應 (Average Relative Edge Response) 為主，對單一邊緣而言，即為測定其點散函數 (Point Spread Function, 簡稱 PSF, 亦有稱為邊散函數 Edge Spread Function 者, 簡稱 ESF), 以點散函數推估調制轉換函數 (Modulation Transfer Function, 簡稱 MTF)。為求得多方向的平均值，校正標採用改良後之西門子星 (Siemens Star), 黑底白標，如圖 3 所示(USGS, 2008)。所謂改良式，乃將原來為 360 對稱的完整星形校正標，由中心等分為四，僅取其一個象限。因為本場校正飛行採四重疊飛行方式 (見下第七條規定)，故四分之一西門子星經四重疊飛行後，即可出現在像幅的任何方向。但為了顧慮小校正場之高解析力應用，圖中再多加上一

個象限的較細緻的星（圖中下半部）。同時為了便於計算 PSF，在二個象限之間以及二個象限的左側留有較寬黑邊以取得足夠的邊緣寬度。

## 六、輻射校正標

絕對輻射校正係由攝影機生產廠商於室內校正場實施，本校正場並不設置特殊校正標對其進行校正。本場係設置一近似藍勃特散射面的之對空八階之灰度標 (Honkavaara, 2008)，如圖 4 所示，經由配合標準白板以地面光譜儀 (Spectral Radiometer) 量取其輻射值 (Radiance) 化算為反射值 (Reflectance)，以為比對標準，進行輻射校正。對於僅供航空攝影測量而非遙感探測使用之攝影機，校正時僅對其影像三原色波段光譜進行相對性比對。其目的在對所產製之正射影像各波段比例提供參考。如果受驗之攝影機係供遙感探測使用，則應進行影像之反射值校正。亦即該影像必須先經由適當程序完成大氣修正 (Atmospheric Correction)，得到反射值後方可進行校正。

## 七、航線規劃

校正飛行時，原則上以縱向 80% 之重疊率，側向至少 60% 之重疊率飛行。如果該次校正沒有事先特別限定是為某特定之 GSD 作校正，則航高之設計為兩種，一種為 GSD 約等於 8 公分，涵蓋小校正場，另一種為 GSD 約等於 20 公分，涵蓋大校正場。無論涵蓋大或小的校正場，航線規劃均採東—>西、西—>東、南—>北、北—>南之四重疊飛行，以使輻射校正標得以出現在影像之各個位置、增加控制點檢核點的多餘觀測，以校正出任何與飛行方向關連之誤差。其中央航線必須通過校正場之中軸線，偏差不得大於 50 公尺。

## 八、場地維護

原則上場地於開放校正飛行時期，平均每三日應對各類標進行清掃一次，為使各類標能維持清晰可辨識，如遇雨天或風沙過後，則所有校正標均應經完全清掃一次後才可開放使用。

每年於開放期前一個月，應對各標狀況進行檢查，如遇毀損應於開放期前補建完成或確認該點附近有足夠之自然點可替代。開放期間內如遇某標突然毀損而不及補建，則應設法於其附近覓得自然點代替。

## 九、場地開放

由於場地維護不易，本場地每年擇定一段時間開放，至少應連續開放 30 天。開放時間由場地維護單位依維護狀況及遠期氣象預報決定，並在預定開放期前三

個月於網站上公布。

## 十、網站

校正場維護單位應於校正場網站上公布本校正場最新的訊息。包括點位、標型、坐標、標況、開放時段、目前預約飛行狀況、歷次校正相關資料等。

## 參考文獻：

許妙忠、尹粟、李振濤，2009。航空幾何定標場建設技術研究，2010 年亞洲地理資訊系統國際研討會暨台灣地理資訊學會年會，兩岸四地 GIS 與應用遙感研討會論文集，高雄。

USGS, 2008. Digital Aerial Imagery Calibration Range Requirements Version 0.2, EROS Remote Sensing Technology Project, [http://calval.cr.usgs.gov/digital\\_aerial\\_imaging\\_quality\\_assurance.php](http://calval.cr.usgs.gov/digital_aerial_imaging_quality_assurance.php)，上次查詢：2011-11-20。

Honkavaara, E., Markelin, L., Ahokas, E., Kuittinen, R., and Peltoniemi, J., 2008. Calibrating Digital Photogrammetric Airborne Imaging Systems In A Test Field, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII. Part B1: 555-560.



---

## 附件五：空載光達校正場建置方案（草案）



# LiDAR 校正場建置方案（草案）

中華民國航空測量及遙感探測學會

100.08.20.

## 一、目的

空載光達(Light Detection And Ranging，簡稱 LiDAR )技術是整合雷射掃描儀、全球定位系統(Global Positioning System，簡稱 GPS)與慣性導航系統(Inertial Navigation System，簡稱 INS)，安裝於航空器後，進行雷射掃描獲得高精度的三維坐標，是常應用於數值高程模型(Digital Elevation Model，簡稱 DEM)製作、地形判釋與防災運用等的遙測技術。

目前國內共有 7 套空載光達系統，在進行飛航前，均需在自設之率定場(Calibration Field)進行視準率定(Boresight Calibration) 消除儀器安置偏差，故本案不進行視準率定。

本方案擬設置統一的校正場，以檢驗已完成視準率定後之 LiDAR 系統的水平與高程精度是否與儀器商所宣稱的精度一致。

## 二、名詞定義

1. 視準率定(Boresight Calibration)：因慣性量測系統單元(Inertial Measurement Unit，簡稱 IMU)中心與雷射掃描系統稜鏡旋轉中心間之安置偏差量，因劇烈碰撞或嚴酷溫度下而有所改變，在進行測量時，會引起測量誤差。
2. 校正(Calibration)：藉由與標準值比較，決定相機、儀器或設備的某種特殊量測值的行為或過程，以達到改正或補償誤差或紀錄的目的(Slama, 1980)。本案透過建立標準一致的校正場，進行 LiDAR 點雲高程與平面精度的比較，以達到記錄儀器精度的目的。

## 三、校正場整體建置規劃

1. 校正場場地規格：

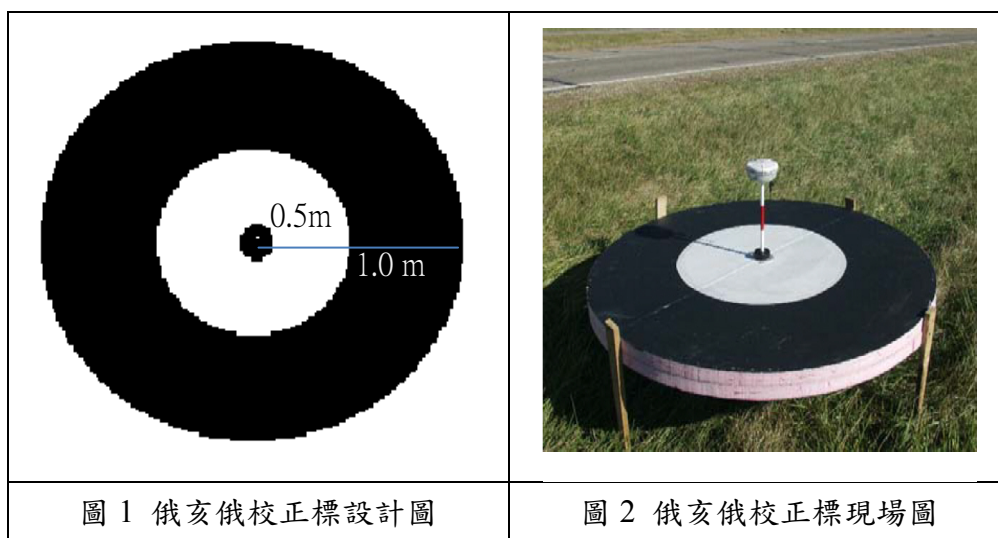
校正場面積為長寬各約 1 公里範圍、校正場內之地表坡度應平緩且植被覆蓋率應小於 10%，且應具有容易辨識之大型建物(平頂、斜頂)及道路標線等明顯特徵(內政部，2005)。由於本案校正場主要為驗證 LiDAR 點雲之平面與高程精度，故允許地表坡度有高差變化存在。而道路標線是在進行視準率定時所需之條件，本案校正場可無需道路標線。並且建議校正場具有筆直且十字交叉之道路，以便

進行高程校正。

## 2. 校正標設計：

空載光達優先考慮現場既有平頂、斜頂建築物或突出建物，如：水泥製平頂水塔或電梯房。若場址客觀條件無合適人工建物，則參考美國俄亥俄州交通局設計之校正標進行改良。

根據俄亥俄交通局(Ohio Department of Transportation)所設計的 LiDAR 校正標為雙同心圓，惟一實驗性質之校正標，設計外圓半徑 1 m、內圓半徑 0.5 m(如圖 1)，中心設置 GPS 天線，用於校正標定位(如圖 2)。用於進行點雲的水平與高程精度校正。在利用此校正標進行點雲平面與高程精度測試時，點雲密度需達 5 pts/m<sup>2</sup> (Csanyi and Toth, 2007)。



由於俄亥俄交通局所設計的校正標為實驗性質之設計，與實際飛行施測之參數設定有所出入。為符合實際測量之參數設定，本案根據俄亥俄交通局設計校正標之原理改良設計校正標，半徑 1.58 公尺之同心圓，內圓半徑 0.79 m(如圖 3)，中心設置 GPS 天線，用於校正標定位，並且搭配斜頂建築及裸露地進行精度分析。由於本案之校正標直徑長達 3.16 公尺，不易攜帶，以固定標方式進行布設，以堅固之材質為校正標主體，如：不鏽鋼板、大理石、水泥灌漿製成或其他合適之材質。表面塗料以油漆為主。

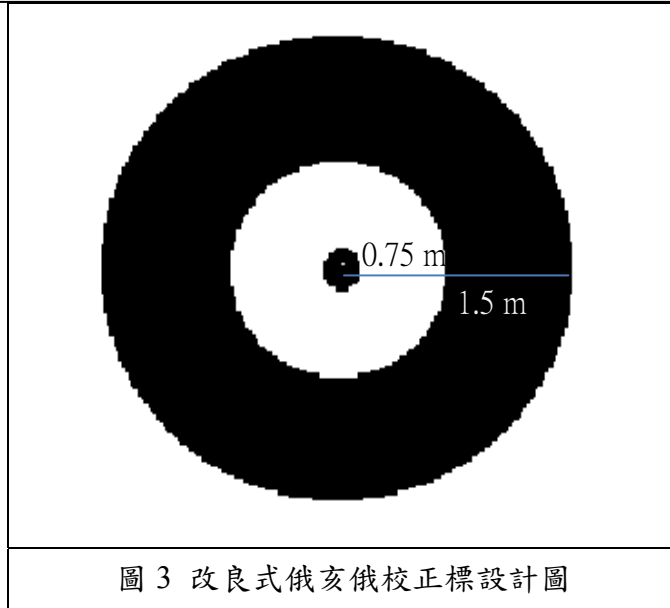


圖 3 改良式俄亥俄校正標設計圖

### 3. 飛行參數設定

LiDAR 設備於校正場進行精度驗證時，其飛行參數之設定應與實際作業相近，例如：FOV 設定  $40^\circ$ ，航高 1200 m，其於地面掃描所得之寬度約為 900m，此設定約可獲得  $2 \text{ pts/m}^2 \pm 10\%$  的點雲密度(如圖 4)。另外，為避免單一航線掃描時，發生點雲分布不均，使得校正上造成誤差，需有兩個航線進行垂直交叉飛行，需有兩個航線進行平行飛行。如圖 5 中，粉紅色與淡紫色之垂直航線。若未來運作時，儀器擁有者需求之飛行參數與團隊設計不一致時，儀器商所飛行之航帶需均勻覆蓋在校正標上，力求校正標上雷射點之平均分布，避免校正標上雷射點分布不均時所造成之誤差。

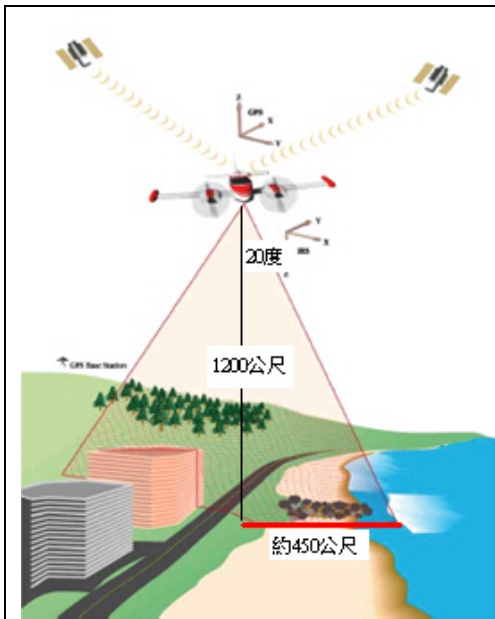


圖 4 空載光達飛航掃描示意圖

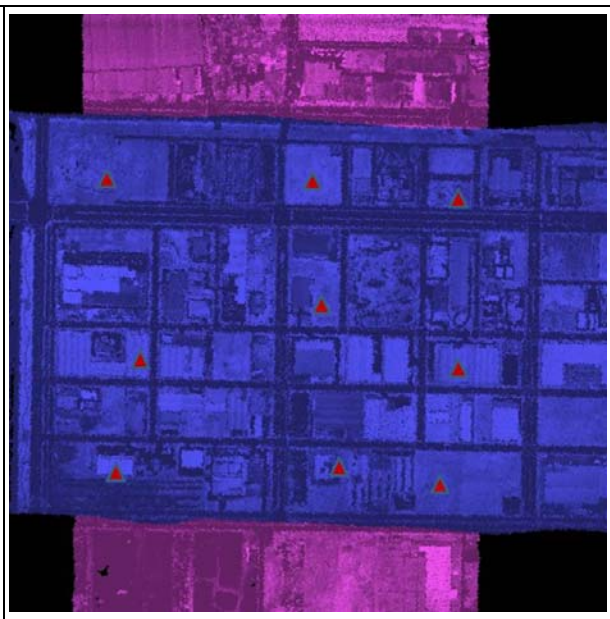


圖 5 校正標相關位置圖(紅色三角形)

#### 4. 校正標布設資訊

校正場內校正標以九宮格方式布設，因考慮到航空器可能受氣流擾動而出現擺動，造成無效測量，校正標布設時，盡量避免布設於一直線上(如圖 5 中之紅色三角形)，且於校正標附近尋找平頂建築物 2~3 棟，輔助校正標進行水平與高程精度的校正。

### 四、校正場設置條件

位置選擇應考量以下條件（按照優先順序排列）

#### 1. 飛行方便性

場址應避開管制空域及校正飛行時（包含必要的航線末端迴轉區）會受危險或阻礙的地區。管制空域地區包含機場航道起降區域以及軍事飛行訓練範圍。危害飛行安全區域則為計畫航高下 100 公尺範圍內之任何阻礙物。

#### 2. 校正標維護

校正標設置所在地點應易於取得地主同意及易於進入測量，校正標易於長久保存，點位上空天頂 45 度範圍內無遮蔽物，周圍無干擾 GNSS 收訊之無線電發射或接收天線。

#### 3. 場地尺寸與現有之特徵物

校正場面積為長寬各約 1 公里範圍、校正場內之植被覆蓋率應小於 10%，且應具有容易辨識之大型建物(平頂、斜頂)及道路標線等明顯特徵(內政部，2005)。由於本案校正場主要為驗證 LiDAR 點雲之平面與高程精度，故允許地表坡度有高差變化存在。而道路標線是在進行視準率定時所需之條件，本案校正場可無需道路標線。

#### 4. 離 GNSS 永久追蹤站的距離

空載光達資料獲取同時，應於掃描區域內 20 公里範圍內，選取 2 點以上之透空度佳(仰角 10 度以上無遮蔽)的地面 GPS 基站 (內政部，2005)。

#### 5. 地形起伏

由於校正場並非做為率定計算之用，因此場內之地表坡度容許緩和的起伏變化，但若在地形起伏較大區域設置校正標時，應使校正標保持水平。

#### 6. 天候

依據中央氣象局日照時數定義：指某地實際所受日光照射之時間。全台平均每月日照時數為 145 小時，故校正場場址之平均每月日照時數建議大於 145 小時，以提高校正場之可用性。

## 7. 校正標

進行 LiDAR 水平與高程校正，傳統上利用斜頂建物與裸露地進行剖面與平面檢查，計算水平與高程的相對偏移。運用本案所設計之校正標(見前述第三條第 2 小條之設計)進行水平與高程的校正，利用校正標進行校正時，校正標需保持水平。

## 五、校正作業規劃

進行校正飛航時，飛行參數之設定應與實際作業相近(見前述第三條第 3 小條規定)。此外，校正飛航於起飛及降落階段，均應使飛機停在機坪或跑道上之固定位置，維持穩定接收 GPS 訊號；且自系統開機起至完成作業後關機之過程，POS 系統均不得有斷訊或其他錯誤訊息產生，飛航過程中飛機之傾斜角(Roll、Pitch)亦需保持在 15 度以內。

地面 GPS 基站所用之儀器需為雙頻接收器，在作業之前應先完成定期檢校程序；並選擇 PDOP 小於 4，且衛星訊號接收數量大於 6 顆之時段作業，作業時 GPS 基站接收頻率應低於 1Hz(內政部，2005)。

## 六、校正成果檢核及驗證

選取不同航帶之各位置進行剖面及平面檢查，利用斜頂房屋、平頂房屋與裸露地，計算不同航帶間點雲之水平及高程相對偏移量，再以校正標計算其水平及高程之絕對偏移量。

## 七、場地維護與開放

原則上場地於開放校正飛行時期，應保持校正標之整潔完整，故所有校正標於開放使用前，均應完全清掃一次。

每年於開放期前一個月，應對各標狀況進行檢查，如遇毀損應於開放期前補建完成或確認該點附近有足夠之自然點可替代。開放期間內如遇某標突然毀損而不及補建，則應設法於其附近覓得自然點代替。

由於場地維護不易，本場地每年擇定一段時間開放。開放時間由場地維護單位依維護狀況及遠期氣象預報決定，並在預定開放期前三個月於網站上公布。

## 八、網站

校正場維護單位應於校正場網站上公布本校正場最新的訊息。包括點位、標型、點位坐標、標況、開放時段、目前預約飛行狀況、歷次校正相關資料等。

## 參考文獻

內政部，2005。LiDAR 測製數值高程模型及數值地表模型標準作業程序，內政部，台北。

Csanyi, N., and Toth, C.K., 2007. Improvement Of Lidar Data Accuracy using Lidar Specific Ground Targets, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 73, No. 4, April 2007, pp. 385–396.

Slama, C.C., 1980. Manual of Photogrammetry, *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, ISBN-13: 9780937294017, USA.



---

## 附件六：太空中心遙測影像地面控制點資料庫介紹



# 太空中心遙測影像地面控制點資料庫介紹

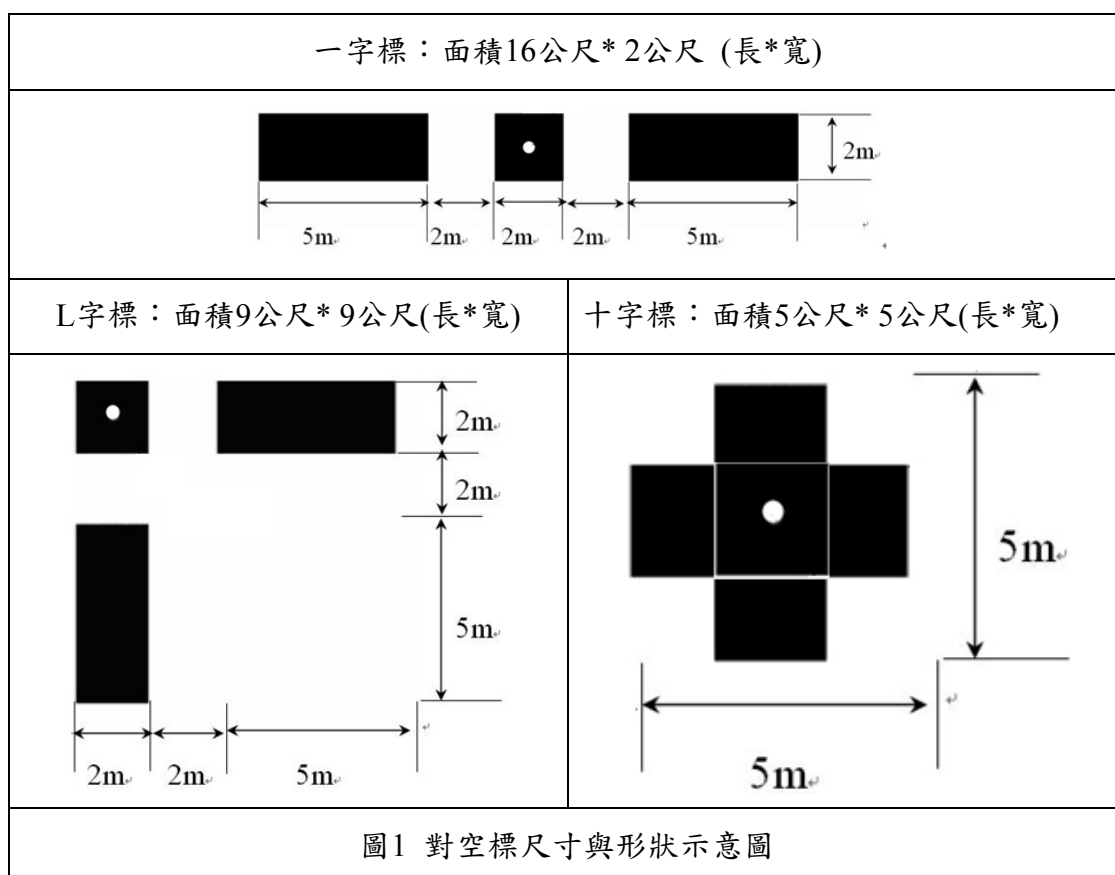
史天元

交通大學土木工程學系

為建立台灣地區的精確控制點標(Ground Control Points,GCP)與衛星影像控制點(Imagery Control Points,ICP)作為福衛二號衛星與其他類似功能可見光衛星影像之高階應用時進行糾正之用，太空中心於92-94年度建置計畫及95年起之維護計畫建置並持續維護本資料庫。

由固定控制點量測高精確度坐標，加上布設福衛二號2公尺解析度可觀測到之對空翼標，共設置完成130個地面控制點；另一方面利用台灣地區所產生1/5000正射影像於地面有明確表徵之地形或地物選取點位，在民國92~97年間已建立4,000個影像控制點。本資料庫之目的在進行衛星影像精密幾何校正，但是亦可作為衛星影像幾何檢定之用。

130個地面控制點為布標點，尺寸與形狀如圖1。其中，亦有中心標與翼標間距2公尺之十字型標者。標型以當地情況調整、選擇。標心坐標為以GPS測量獲取。本資料庫坐標精度需求為誤差不大於50公分。





---

**附件七：非量測型攝影機及 UAV 系統校正  
場整體建置規劃及可行性評估**



# 非量測型攝影機及 UAV 系統校正場整體建置規劃及可行性評估

中華民國航空測量及遙感探測學會

100.10.28.

## 一、前言

非量測攝影機與 UAV 組合以後，如果廠商宣稱該組合可以符合航測精度規範的要求，則得以此校正場對其加以校正。因此凡欲執行測繪任務的非量測型數位攝影機搭配 UAV 組成的系統，均必須經本校正場校正，以確認其拍攝影像時對於航偏角、傾斜角的控制能力是否合於目前各類比例尺航測地形圖規範內所定的標準，以及所拍得之成果影像的幾何精度、幾何解析力及輻射特性等，是否符合航測地形圖所訂之規範需求。

本校正場係採野外現場校正（In-Situ Calibration）方式，由廠商依據本校正場作業規範自行飛臨本場拍攝。校正機構場就其拍攝所得之影像，進行幾何精度、影像解析力、外方位參數（包含前後及側向重疊率）以及影像輻射特性等項目之校正。

本校正僅在評估其整體綜合性能是否符合航測需求，並不針對該系統個別組成原件或配置做校正。例如如果校正結果顯示在檢核點上所呈現的幾何精度不佳，則本校正僅陳述此不佳的事實，而並不分析其原因是內方位率定不佳或是導航系統有問題還是曝光有問題。廠商雖可使用本校正結果自行反推原因，並進行改善，但是不可使用經過反推改善後的影像再度申請復校，而必須重新飛行後新以新影像做為新案件重新申請校正。

## 二、校正場整體建置規劃

### （1）控制點分布

為節省經費，本校正場得與航測專用攝影機校正場合用。原則上儘量採相同之控制點分布，不另外增設點位。但是由於非量測攝影機型別繁多，各型的像幅、焦距、像元尺寸、航高等差異很大，所以不可能硬性規定航高及航線。建議採彈性規劃航拍方式，不對航高及航線進行硬性規定，而僅要求廠商於實施飛行時，以其系統組合之單像幅能涵蓋最多控制點為原則，並以規定空中三角量測時每個連結點的最少及最多光線數來規劃航線。

即使如此彈性規定，能然可能遇有對某些 UAV 系統而言，布標點位不足之情形，此時得彈性以自然地物點補充之。

航測專用攝影機校正場原規劃為一矩形，如下圖所示。場地內中央原規劃有一小的矩形校正場供低空飛行之航測專用攝影機校正之用。建議即以此區做為非量測攝影機與 UAV 組合系統校正場。該小區內約有 120 個控制點，相鄰點之間距在 45 公尺以上。

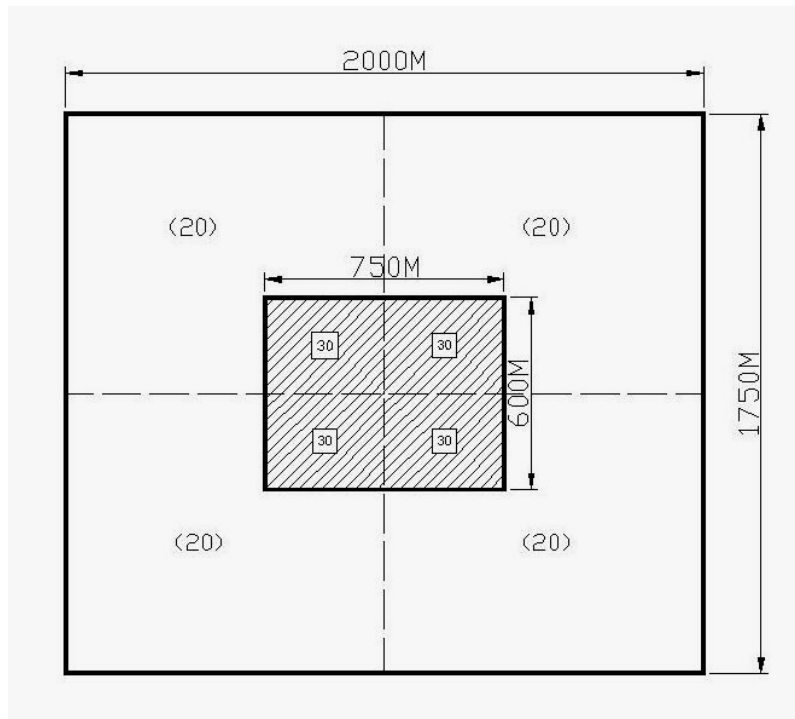


圖 1 航測專用攝影機校正場設計圖

以目前市售具有約 2 千萬像素高等級攝影機而言，若以 GSD 等於 8 公分拍攝，則單像幅約略涵蓋 500 公尺 x 300 公尺之面積，大約可以拍攝到 70 個控制點。如果要求其以前後重疊 80% 及側向重疊 60% 來設計航線，則可保證空中三角平差計算後，像幅範圍內可以有超過 200 個均勻分布的控制點提供幾何精度校正之用，可以達到十分可靠的統計檢定結果。若更要求廠商以東西向及南北向正交飛行，則像幅涵蓋範圍內將有超過 500 個控制點可供校正之用，而校正結果更可以反饋提供廠商用於精進其系統率定。

惟由於本場控制點資料均為上網公開，為避免廠商於提供影像送校正前，先暗自利用已公開之坐標先行對影像進行改正，喪失本校正之原意，建議每年於場內加測若干不對外公布之額外檢核點，做為判斷廠商是否有作假行為之依據。



(2) 控制點標形

與航測專用攝影機校正標（如右圖）共用。如果點位不足則另以自然地物點補足之。

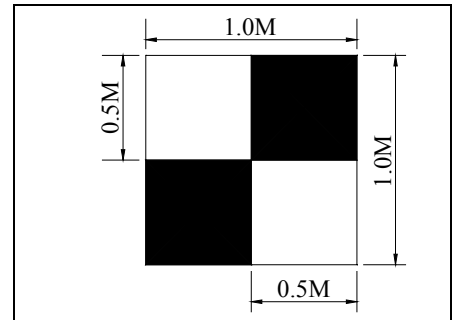


圖 2 航測專用攝影機校正控制點布標型式

(3) 解析力校正標

解析力校正標亦借用供航測專用攝影機校正使用之改良後西門子星（Siemens Star），黑底白標，如下圖所示。

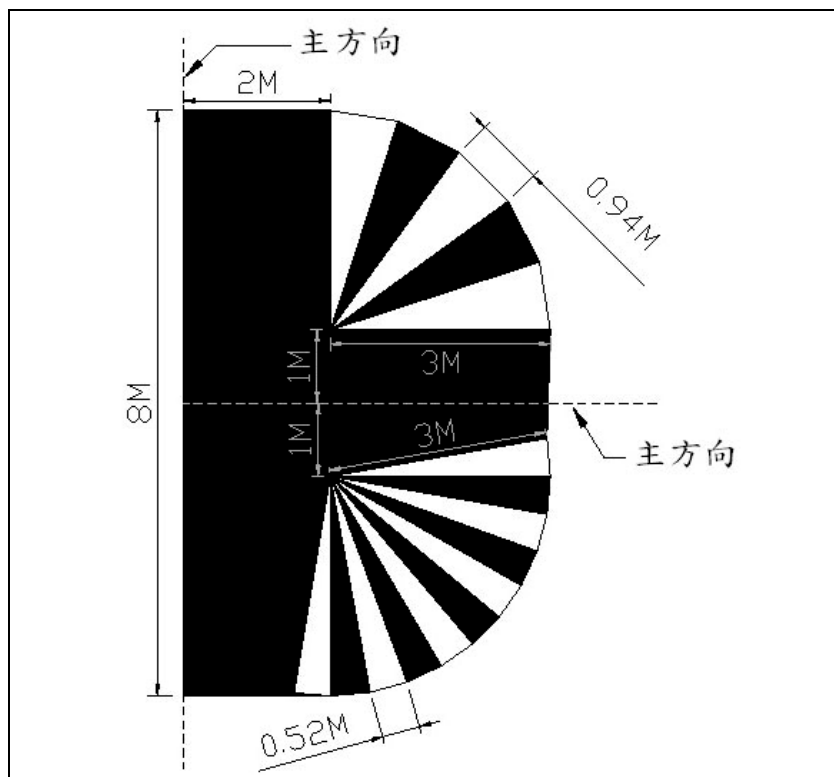


圖 3 幾何解析力校正標（改良式西門子星）

(4) 輻射校正標

輻射校正標亦採用航測專用攝影機校正使用之八階灰度標，如下圖所示。

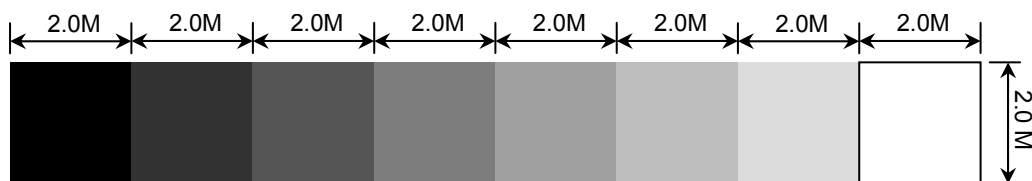


圖 4 輻射校正灰階標

本校正目的並不是在檢查非量測攝影機對校正標各波段絕對反射值的感測能力，而僅在檢查該攝影機對校正標八個灰階所呈現的相應反射比例值（ratio）是否能正確顯現，以及檢查其色彩平衡程度是否滿足製作正射影像的需求。實際校正之程序及判定標準尚待未來以非量測攝影機與 UAV 組合系統進行測試後，另外再研究訂定。

### 三、航線規劃

校正飛行時，原則上以縱向 80% 之重疊率，側向至少 60% 之重疊率飛行。如果該次校正沒有事先特別限定是為某特定之 GSD 作校正，則航高之設計以 GSD 約等於 8 公分為原則。以目前市售之單眼反光式攝影機而言，採用寬角（ $f=25\sim 30\text{mm}$ ）鏡頭時，航高約在 300m~500m 之譜，尚稱合理。如果某系統之航高無法達到 300m 則可改以 GSD 約等於 5 公分設計航線亦可。

如果某系統組合航高低於 200 公尺，以致單像幅涵蓋的控制點數少於 30 則應該再加飛正交之交叉航線，以提高像幅內控制點總數，保證校正結果的統計可信度。

### 四、場地維護

原則上場地於開放校正飛行時期，平均每三日應對各類標進行清掃一次，為使各類標能維持清晰可辨識，如遇雨天或風沙過後，則所有校正標均應經完全清掃一次後才可開放使用。

每年於開放期前一個月，應對各標狀況進行檢查，如遇毀損應於開放期前補建完成或確認該點附近有足夠之自然點可替代。開放期間內如遇某標突然毀損而不及補建，則應設法於其附近覓得自然點代替。

解析力校正標及輻射校正標以製作可攜式為原則，每日開放時間結束後，移至室內保管，避免污染、褪色。

### 五、場地開放

由於場地維護不易，本場地每年擇定一段時間開放，至少應連續開放 30 天。開放時間由場地維護單位依維護狀況及遠期氣象預報決定，並在預定開放期前三個月於網站上公布。

### 六、網站

校正場維護單位應於校正場網站上公布本校正場最新的訊息。包括場址正射

影像及/或地形圖、點之記(包括點位、標型、坐標、標況)、開放時段、目前預約飛行狀況、歷次校正相關資料等。

### 參考文獻：

- 內政部，2010。基本地形圖測製說明，內政部，台北。
- 內政部，2011。建置都會區一千分之一數值航測地形圖作業工作手冊，內政部，台北。
- 許妙忠、尹粟、李振濤，2009。航空幾何定標場建設技術研究，2010 年亞洲地理資訊系統國際研討會暨台灣地理資訊學會年會，兩岸四地 GIS 與應用遙感研討會論文集，高雄。
- Honkavaara, E., Markelin, L., Ahokas, E., Kuittinen, R., and Peltoniemi, J., 2008. Calibrating Digital Photogrammetric Airborne Imaging Systems In A Test Field, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII. Part B1: 555-560.
- USGS, 2008. Digital Aerial Imagery Calibration Range Requirements Version 0.2, EROS Remote Sensing Technology Project, [http://calval.cr.usgs.gov/digital\\_aerial\\_imaging\\_quality\\_assurance.php](http://calval.cr.usgs.gov/digital_aerial_imaging_quality_assurance.php)，上次查詢：2011-11-20。



---

附件八：航測攝影機系統校正場綜合考量分  
析因素表



航測攝影機系統校正場綜合考量分析因素表

項次	項目	縣市	宜蘭縣	新竹市	新竹縣	台中市	台中市	台中市	彰化縣	彰化縣	南投縣	
		場址 條件	龍德工 業區	竹科	工研院	台中港	鐵砧山	大坑	彰濱	鹿港	南崗	
1	飛行 管制	無管制	•	•	•	•			•	•	•	
		不定時管制					•	•				
		經常管制										
	起降機 場距離 (A)	機場名稱 距離	松山 61km	松山 63km	松山 61km	台中 10km	台中 10km	台中 30km	台中 30km	台中 30km	台中 37km	
		20km 以下				•	•					
		20km ≤ A < 60km						•	•	•	•	
		60 km 以上	•	•	•							
2	控制點 測量及 維護	交通 狀況	全程車輛可 達	•	•	•	•	•	•	•	•	
			部分車輛可 達部分步行						•			
			全程步行									
			無法抵達									
	門禁	容易進入	•	•			•					
		可以進入			•	•		•	•	•	•	
		難進入										
3	場地 使用	容易使用	•	•	•				•		•	
		可使用										
		不易使用				•	•	•		•		
	土地 使用權	容易取得	•	•	•				•		•	
		可取得										
		不易取得				•	•	•		•		

項次	項目	縣市	宜蘭縣	新竹市	新竹縣	台中市	台中市	台中市	彰化縣	彰化縣	南投縣
		場址 條件	龍德工 業區	竹科	工研院	台中港	鐵砧山	大坑	彰濱	鹿港	南崗
4	與 GNSS 永 久追蹤站的 距離(C)	站名距離	SUAO 9km	HCHM 1km	TNML 6km	TACH 6km	TACH 11.5km	FCU1 20km	VR01 12km	VR01 9km	CAOT 6km
		$C < 10\text{km}$	•	•	•	•				•	•
		$10\text{km} \leq C < 30\text{km}$					•	•	•		
		$C \geq 30\text{km}$									
5	地形起伏 (D)	實際高程範圍	4~ 5m	59~ 130m	95~ 130m	4~ 5m	21~ 155m	35~ 860m	4~ 5m	0~ 14m	95~ 275m
		高程差	1m	71m	35m	1m	134m	825m	1m	14m	180m
		$D < 50\text{m}$	•		•	•			•	•	
		$50\text{m} \leq D < 100\text{m}$		•							
		$D \geq 100\text{m}$					•	•			•
6	天 候	實際天數	213 天	130 天	130 天	105 天	105 天	131 天	105 天	105 天	150 天
		$E < 100$ 天									
		$100 \text{天} \leq E < 150$ 天		•	•	•	•	•	•	•	
		$150 \text{天} \leq E < 200$ 天									•
		$E \geq 200$ 天	•								
	氣 象 站 距 離 (B)	站名距離	蘇澳 6km	新竹 6km	新竹 8km	梧棲 3km	梧棲 15km	台中 20km	梧棲 27km	梧棲 25km	日月潭 26km
		$0\text{km} \leq B < 10\text{km}$	•	•	•	•					
		$10\text{km} \leq B < 20\text{km}$					•				
		$B \geq 20\text{km}$						•	•	•	•



---

## 附件九：空載光達系統校正場綜合考量分析 因素表



空載光達系統校正場綜合考量分析因素表

項次	項目		縣市	宜蘭縣	新竹市	新竹縣	台中市	台中市	彰化縣	彰化縣	南投縣
			場址 條件	龍德工 業區	竹科	工研院	台中港	鐵砧山	彰濱	鹿港	南崗
1	飛行 方便性	飛航 管制	無管制	•	•	•	•		•	•	•
			不定時管制					•			
			經常管制								
	(A)	起降機 場距離	機場名稱 距離	松山 61km	松山 63km	松山 61km	台中 10km	台中 10km	台中 30km	台中 30km	台中 37km
			20km 以下				•	•			
			$20\text{km} \leq A < 60\text{km}$						•	•	•
			60 km 以上	•	•	•					
2	控制點 測量及 維護	交通 狀況	全程車輛可 達	•	•	•	•	•	•	•	•
			部分車輛可 達部分步行								
			全程步行								
			無法抵達								
	門禁	容易進入	•	•			•				
		可以進入			•	•		•	•	•	
		難進入									
3	場地 尺寸與 現有之 特徵物	場地 使用	容易使用	•	•	•			•	•	
			可使用								
			不易使用				•	•		•	
	土地 使用權	容易取得	•	•	•				•	•	
		可取得									
		不易取得				•	•		•		

項次	項目	縣市	宜蘭縣	新竹市	新竹縣	台中市	台中市	彰化縣	彰化縣	南投縣	
		場址 條件	龍德工 業區	竹科	工研院	台中港	鐵砧山	彰濱	鹿港	南崗	
4	與 GNSS 永 久追蹤站 的距離 (C)	站名距離	SUAO 9km	HCHM 1km	TNML 6km	TACH 6km	TACH 11.5km	VR01 12km	VR01 9km	CAOT 6km	
		$C < 5\text{km}$		•							
		$5\text{km} \leq C < 20\text{km}$	•		•	•	•	•	•	•	
		$C \geq 20\text{km}$									
5	地形起伏 (D)	實際 高程範圍 (高差)	4~5m (1 m)	103 ~ 130m (27m)	95 ~ 130m (35 m)	4~5m (1 m)	21 ~155m (134m)	4~5m (1m)	0-14 m (14 m)	135 ~ 205m (70 m)	
		$D < 50\text{m}$	•	•	•	•		•	•		
		$50\text{m} \leq D < 100\text{m}$					•			•	
		$D \geq 100\text{m}$									
6	天 候	2010 年 每月平 均日照 時數 (E)	實際時數	119	150	150	171	171	171	171	132
		$E < 100$ 小時									
		$100 \text{ 小時} \leq E < 150$ 小時	•								•
		$150 \text{ 小時} \leq E < 200$ 小時		•	•	•	•	•	•	•	
		$E \geq 200$ 小時									
	氣 象 站 距 離 (B)	站名 距離	蘇澳 6km	新竹 6km	新竹 8km	梧棲 3km	梧棲 15km	梧棲 27km	梧棲 25km	日月潭 26km	
		$0\text{km} \leq B < 10\text{km}$	•	•	•	•					
		$10\text{km} \leq B < 20\text{km}$					•				
$B \geq 20\text{km}$							•	•	•		
7	校 正 標	校正標 或明顯 特徵物 (如大 型斜屋 頂)	方便架設 校正標		•	•			•		•
		具備 斜頂建築	•	•	•	•		•		•	
		無					•		•		

---

附件十：校正場選擇評估因素專家學者研商  
會議紀錄及意見回覆彙整表



# 內政部國土測繪中心

## 「100 年度建立航遙測感應器系統校正作業」

### 校正場選擇評估因素專家學者研商會議紀錄

一、時間：100 年 07 月 15 日（星期五）上午 09 時 30 分

二、地點：內政部國土測繪中心第 1 會議室

三、主席：王博士蜀嘉

記錄：林孜彥

四、出席人員：如簽到簿

五、結論：

- (一) Calibration 一詞雖具多重意義，惟包含”與標準（benchmark）相比較”之意義，經參考目前歐美各國所建置類似校正場亦稱為 Calibration Range，故本計畫中所設定名稱仍維持原計畫名稱稱為校正場。
- (二) 業界肯定由國土測繪中心建置航遙測感應器校正場效益，惟有關感應器校正頻率及費用部分建議徵詢各界並審慎考量。
- (三) 臺灣幅員面積不大，場址條件應以達到校正目的為優先考量。
- (四) 空載光達場址選擇評估因素，建議增加反射材質考量因素，並避免場內出現低反射率的物質，影響校正成果。
- (五) 航測像機系統與空載光達系統校正場，應優先考慮設置於同一位置為原則，以利管理維護作業。
- (六) 本案所設校正場以辦理航測像機與空載光達校正作業為原則，至於近景攝影及地面光達校正不在本案辦理工作項目中。
- (七) 請中華民國航空測量及遙感探測學會依與會專家學者意見，排定校正場址選定因素之優先順序，作為場址選定依據，並將相關資料於「校正作業場址選定會議」中提出討論。
- (八) 建議校正場儘量長期開放，並允許提供其它不需認證(不收費)

之校正，例如 UAV 或業者自我檢核校正使用。

六、臨時動議之案由及決議：無

七、散會時間：中午 12 時 15 分。



**內政部國土測繪中心**  
**「100年度建立航遙測感應器系統校正作業」**  
**校正場選擇評估因素專家學者會議**  
**簽到簿**

時間：100年07月15日(星期五)上午09時30分			
地點：內政部國土測繪中心四樓第一會議室			
主席：王博士蜀嘉		記錄：林孜彥	
出席人員	簽到處	代理人	
		職稱	簽到處
陳教授良健			陳良健(代)
林助理教授唐煌	林唐煌		
蔡教授榮得	蔡榮得		
廖名譽教授揚清	廖揚清		
曾教授義星	曾義星		
趙副教授鍵哲			
徐助理教授百輝			
黃副教授灝雄			黃灝雄
邱副教授式鴻	邱式鴻		
夏副教授榮生	夏榮生		

**內 政 部 國 土 測 繪 中 心**  
**「100 年度建立航遙測感應器系統校正作業」**  
**校正場選擇評估因素專家學者會議**  
**簽 到 簿**

時 間：100 年 07 月 15 日(星期五)上午 09 時 30 分			
地 點：內政部國土測繪中心四樓第一會議室			
主 席：王博士蜀嘉		記 錄：林孜彥	
出席人員	簽 到 處	代 理 人	
		職 稱	簽 到 處
陳所長連晃		技士	郭翔正
李博士瓊武			
彭博士森祥	彭森祥		
陳研究員大科	陳大科		
黃組長鼎名		郭慧君 ←	副研究員
林志奕	林志奕		
余翠紋	余翠紋		
陳副董事長典熙		專案工程師	彭德臣
吳經理瑞文	吳瑞文		
邱副總經理俊榮	邱俊榮		
徐總經理金煌		技師	楊華煌
徐總經理明鎰			
鄭技師鼎耀			
林技師志交			
張副總經理瑞隆	張瑞隆	陳信安	蔡文洲
高總經理治喜		副總經理	許
李副總經理維綱			
羅處長仁平			

助理研究員

賴子仁

內 政 部 國 土 測 繪 中 心  
 「100 年度建立航遙測感應器系統校正作業」  
 校正場選擇評估因素專家學者會議  
 簽 到 簿

列席人員	簽 到 處
中華民國航空測量及遙感探測學會	王蜀嘉 林江音
達雲科技有限公司	王迎氣 陳澤成 鐘郁翔
內政部國土測繪中心	朱杏玲 蔡季凡 黃英亭 劉正倫 李佩珊

# 內政部國土測繪中心

## 「100 年度建立航遙測感應器系統校正作業」

### 專家學者研商會議與會人員意見回覆彙整表

學者別	學者專家意見及建議事項問題	回覆辦理情形
王教授蜀嘉	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 工業區或科學園區，布標使用權較容易取得，故考量設置在這些場所。</li> <li>2. 航測像機與空載光達系統兩個校正場若合而為一，優點為維護容易、建置經費省；若分為兩處設置，優點為可依各系統設計，較符合各系統的特性。</li> <li>3. 校正的頻率(每年的次數)，不在考量因素之內，國外校正場通常是1年1次，國內也應該不會比這更高。</li> <li>4. 本案校正場設計最中心原則是不會對任何設備有所歧視。</li> </ol>	
吳教授究	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 校正場建置要成為永久性設備成本費用龐大，但市場的需求性不是很大，是否有存在的必要性？但是沒有校正場也不行。可在招標文件中設定規範，提高需求性。</li> <li>2. 校正場設置的地點是否唯一性？就氣候因素，可多元性選擇設置地點。</li> <li>3. 若技術成熟，可考慮技術外銷。</li> <li>4. 校正場是否可考量地面攝影機部分(如：近景攝影)？</li> <li>5. 校正場址選擇是專業問題，不適合以投票表決校正場的位置。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 有其必要性，請各機關提高其需求性。</li> <li>2. 經多方討論，選定南投市南崗工業區。</li> <li>3. 納入後續參考。</li> <li>4. 不在本計畫項目中。</li> <li>5. 將以會議討論方式，再決定校正場場址。</li> </ol>
廖教授揚清	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 會議資料之校正場預選場址提出的考量為何？</li> <li>2. 航測像機與空載光達系統兩個校正場是否合為一處？或分開設置？</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 請參閱期中報告書第5-3節。</li> <li>2. 優先考慮設置於同一位置為原則，以利管理維護作業。</li> </ol>
蔡教授榮得	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建議各項因素優先順序，採用加權的方式評估，給予各場址就每項因素分數，最後，以各場址的總分大小來排優先順序，比較客觀的反應出各場址的適用性。若沒有達到一定的標準，就另外找尋新的場址。</li> <li>2. 空間解析力標(改良式西門子標)僅</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 團隊綜合考量分析，不適用之場址皆已刪除，故場址選定以列舉方案方式提出適當場址進行討論。</li> <li>2. 因各方向皆有重</li> </ol>

附件十：校正場選擇評估因素專家學者研商會議紀錄及意見回覆彙整表

學者別	學者專家意見及建議事項問題	回覆辦理情形
	<p>取四分之一圓並採用飛行四方向重疊方式，請注意是否可達到檢測出解析力之要求？</p> <p>3. 高差因素在航測攝影機的校正場是很重要的，所以，地面控制點的高程差權重要注意。</p>	<p>疊，可達檢測出解析力之要求。</p> <p>3. 校正場於實際運作時，將會考量。</p>
夏副教授榮生	<p>1. 本案原規劃校正場校正項目，參照目前市場儀器設備數量，使用頻率應不高，需有專業團隊來進行場地維護，因此，若可配合給民間企業單位進行自我率定使用，相關控制資料亦可回饋至校正場中。</p> <p>2. 空載光達校正標設計的標準，請解釋參數設定值的變化原因？</p>	<p>1. 於校正場實際運作時，將會考量。</p> <p>2. 請參閱期中報告書第 5-2 節。</p>
詹副教授進發	<p>考量地形起伏、控制點維護因素，可增加政治大學及其周遭為新場址。</p>	<p>場址選定會議時已提出討論。</p>
邱副教授式鴻	<p>1. 地形高低起伏是很重要的，往後若要繼續討論場址時，場址能以 3D 模式呈現，將會更容易瞭解。</p> <p>2. 政治大學附近皆為文教區，環境單純；場地的維護，亦十分方便，建議可考量作為校正場預選場址。</p> <p>3. 空載光達校正場採東西、南北各一次飛航，與業界實際作業時只飛航一個方向似乎有所差異，對於評估空載光達精度是否正確？</p>	<p>1. 場址選定會議上已經以 3D 模式呈現。</p> <p>2. 場址選定會議時已提出討論。</p> <p>3. 請參閱期中報告書第 5-2 節。</p>
曾教授義星	<p>1. 本案校正場的主要任務應為驗證、測試使用，是否可以正名，使其名稱與精神能相符，避免外界誤解本校正場真正的作用。</p> <p>2. 期望擴充本校正場之功能，使其也能供應新型及非量測型攝影機的驗證與測試之用。</p> <p>3. 請考量開放與收費之關連性？若自行飛越校正場，自行率定，是否也要繳費？應是計畫需求，要求有國土測繪中心的認證時，才需收費。</p> <p>4. 場址的選擇因素中，有些是必要條件，若能排除這些必要條件的場址，則場址選擇上會較簡化一些。</p> <p>5. 空載光達校正場的因素中，應該增列材質的因素，有些材質為低反射率，校正場中不宜有此材質存在，</p>	<p>1. Calibration 一詞雖具多重意義，惟包含”與標準 (benchmark) 相比較”之意義，經參考目前歐美各國所建置類似校正場亦稱為 Calibration Range，故本計畫中所設定名稱仍維持原計畫名稱為校正場。</p> <p>2. 工作總報告已提出可行性評估。</p> <p>3. 校正場實際運作時將會考量。</p>

學者別	學者專家意見及建議事項問題	回覆辦理情形
	<p>會影響點雲密度的評估。</p>	<p>4. 場址選定時有加以考量部分因素。 5. 場址選定會議已將此考量。</p>
<p>林助理教授唐煌</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 中央大學曾協助福衛二號衛星建立校正場場址，但比較偏向大氣輻射校正方面，所以選擇的場址條件為地勢比較平坦，且均向反射的地表，天氣晴朗豔陽高照且無雲、氣流穩定，空氣污染狀況低。最後，場址選擇建置在東沙機場，其環境條件佳，但維護較難一些，不過現有中央大學與 NASA 技術合作，將其設為背景站，其輻射儀器越來越好。但本案選址若在外島，的確不容易設置。</li> <li>2. 就全臺灣大氣背景條件比較，中部山區大氣條件尚佳，因此，就輻射的觀點，南投的南崗工業區是不錯的位置。</li> <li>3. 建議場址內能建立自動氣候站，其所需費用不多，但功能強，能自動進行溫、濕度及壓力的紀錄，對於空載光達及 GPS 的研究有相當的幫助。</li> <li>4. 國內校驗場目前都沒有設置輻射標，本案校正場設置輻射標將樂觀其成。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝指教。</li> <li>2. 場址選定會議已參考，經討論後，選定南投市南崗工業區。</li> <li>3. 將於建置校正場時進行評估。</li> <li>4. 感謝指教。</li> </ol>

機關別	機關專家代表意見及建議事項問題	回覆辦理情形
行政院農業委員會林務局農林航空測量所	就設置區域及地點而言，沒有意見。大坑區域原為 1/5,000 基本圖 50 幅大小，且右下角有一部分為軍事管制區，若依建置方案(草案)的範圍，校正場大小約 1 幅基本圖，則在大坑區域選擇亦可。	因鄰近軍事管制區，飛航會遭管制，造成不便。
工業技術研究院綠能與環境研究所	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 校正場本身是否要進行校正？多久要校正一次呢？諸如：彰濱工業區每年沈陷量達 7~8 公分，基準站的永久坐標維護是一大課題。</li> <li>2. 空載光達校正場是否要加強輻射標的建立？尤其是空載光達的強度因素。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 參考國外校正場通常是每年 1 次。</li> <li>2. 請參閱期中報告書第 5-2 節。</li> </ol>
工業技術研究院量測技術發展中心	對於校正場，應注意有系統的管理校正實驗室，且應於一開始建立校正能量時就要注意到量測查核的設計，通過國家實驗室的校正，才能出具報告文件，並取得國際認可。	已進行加入 TAF 之可行性分析。
財團法人國家實驗研究院儀器科技研究中心	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 很贊成本校正場的設置，但對校正儀器的追溯、評比與能量，測繪中心是否能更明確的說明？</li> <li>2. 若以後要實行校正機制，是否容易造成校正場擁塞、需求不足？</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 國土測繪中心為 TAF 成員之一，將會達到 TAF 的標準。</li> <li>2. 納入後續校正場運作參考。</li> </ol>

業界別	業界專家代表意見及建議事項問題	回覆辦理情形
群鷹翔國土資源航空股份有限公司	<ol style="list-style-type: none"> <li>就飛航因素而言，鐵砧山地區目前上午受航班影響，下午較不受影響。就天候因素，台中氣候較佳，台灣北部尤其是新竹，冬天風力強、氣流不穩，航線不易精準控制。飛行校正場校正作業，因迴轉次數多，非常耗時，導致油料耗損也很大，所以，地點不要離機場太遠，建議校正場建置在台中附近。</li> <li>南崗工業區不在航線上，管制少，設置該處理想。</li> <li>地點設置在何處，就航空公司而言，並無影響。因為業主使用航空器是以時間計算，所以業主才需考量飛渡時間。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>經場址選定會議討論，選定南投市南崗工業區，鄰近台中。</li> <li>已經場址選定會議討論，選定南投市南崗工業區。</li> <li>感謝指教。</li> </ol>
詮華國土測繪有限公司	就設置地點而言，本公司目前在台灣南北均進行過自我校正，故設於何處影響不大。就擁有儀器設備之使用者而言，比較在意校正的頻率次數。	視校正場實際運作後再確認。
自強工程顧問有限公司	<ol style="list-style-type: none"> <li>就飛航管制因素而言，彰化彰濱工業區及南投南崗工業區皆不錯地點。</li> <li>請問 GSD 5~20 公分的設計值考量為何？</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>場址選定會議已納入參考。</li> <li>請參閱期中報告書第 5-1 節。</li> </ol>
群立科技股份有限公司	先前自行設置的校正場，因地面基站的坐標有所變動，導致影像無法精確繪製。因此，校正場現場設備的維護相當重要，若有政府機關的認證與維護，樂觀其成。至於設置地點，並無特定的需求。	場址選定會議已納入討論。
鷹圖科技有限公司	在德國原廠航測攝影機校正場的高低起伏約 200 公尺，在視準率定時，地面地形較平坦。因此，若校正場地形若是在 200 公尺以內，兩者的校正場是可以合在一起。	場址選定會議已納入參考。
宏遠儀器有限公司	1. 本案的校正場所要任務，是不管用何種廠牌的儀器，飛過本校正場所得的影像或控制點坐標，跟校正場標準的成果進行比對所得的差異，故應是 Validation(驗證、確認)比較貼切，若是 Calibration(校正)的	1. 感謝指教。



附件十：校正場選擇評估因素專家學者研商會議紀錄及意見回覆彙整表

業界別	業界專家代表意見及建議事項問題	回覆辦理情形
	<p>作法，則範圍較大。</p> <p>2. 就選址因素，飛航管制是最嚴重的問題，需要注意。如果可以的話，給儀器擁有者進行投票表決校正場的位置。</p> <p>3. 政府機構的航測作業案，能夠注意校正時間的規定，避免造成年頭校正完成，年尾又因新案規定要有一個月內之校正報告，而又要進行校正。</p>	<p>2. 本案因考量因素較多，不適採用投票方式決定場址。</p> <p>3. 將於校正場實際運作時，考量此因素。</p>
<p>經緯空間資訊股份有限公司</p>	<p>校正場可納入非航空攝影測量專用的攝影機，如：UAV 攝影機、輔助空載光達的中或小型攝影機等，可增加校正場的使用率。</p>	<p>已於工作總報告中提出此部分可行性評估。</p>



---

附件十一：校正作業場址選定研商會議紀錄  
及意見彙整表



# 內政部國土測繪中心

## 「100 年度建立航遙測感應器系統校正作業」

### 校正作業場址選定研商會議紀錄

一、時間：100 年 09 月 19 日（星期一）上午 09 時 30 分

二、地點：內政部國土測繪中心第 1 會議室

三、主席：王博士蜀嘉

記錄：林孜彥

四、出席人員：如簽到簿

五、結論：

（九）就飛航管制、天候及維護等因素，建議國土測繪中心校正作業場址的優先順序為：南投區南崗工業區為第 1，新竹區科學園區為第 2，台北區國立政治大學附近為第 3。

（十）作業團隊儘快協助國土測繪中心與場址所在地之土地所有權人進行聯繫相關作業，以利後續執行項目。

（十一）輻射校正標的設置條件，於時程允許情況下，再召開專家學者會議進行討論。

六、臨時動議之案由及決議：無

七、散會時間：中午 12 時 05 分。

# 內政部國土測繪中心

## 「100 年度建立航遙測感應器系統校正作業」

### 校正作業場址選定研商會議與會人員意見彙整

#### 專家學者意見

##### 王教授蜀嘉

5. 航遙測感應器系統校正作業於國際上，國內屬起步較早者，很多事物尚待商量考慮，本次會議將先就校正作業場址取得共識，待有明確場址後，再進行後續校正程序。
6. 航測攝影機與空載光達系統原則上為兩個校正場，但兩者所要校正之項目並不衝突，所以，兩者可以結合在一起設置。
7. 校正作業場內之航測攝影機幾何校正標採固定式 1m\*1m 大小，實際布設位置待現場勘驗後再確定，空載雷達校正標之設置，亦是待現場勘驗後再確定。航測攝影機幾何解析力(西門子星校正標)與輻射校正標(灰度標)採可攜式，白日使用時放置於場內某一位置(並沒有特定位置)，夜間或下雨不使用時收置於室內保存。
8. 基於會議時間考量，本次會議僅就校正作業場址適宜性進行討論，校正標的大小、種類、布設地點等，待後續作業時程容許之時間內再進行開會討論。
9. 關於飛航管制，請作業團隊與民航局航管單位聯繫，取得進一步更詳細飛航管制資訊。

##### 吳教授究

6. 根據與會資料，本計畫案之目的為「認證送校正之航遙測感應器之性能是否與原廠所宣稱者相符，且符合測繪相關法令之規定」；故個人認為儀器原廠廠商之工藝成就，亦為場址選定決策參考資訊之一。
7. 地形效應之因素，可於經費允許之下，採人工建構之方式(如：邊坡可用挖填方式整平)。
8. 校正作業場址能結合一些附加價值，以利多元管理和使用。
9. 空載合成孔徑雷達(SAR)期望能一併納入考量。

<b>專家學者意見</b>
<b>蔡教授榮得</b>
<p>4. 航測攝影機校正場中之輻射校正標不作輻射絕對校正與所得影像如供遙測使用時需作大氣修正，互相衝突。宜明確定義遙測使用之範圍。</p> <p>5. 僅對可見光波段之三原色光譜進行相對性比較，而現有數位航測攝影機均有紅外線(IR)波段，是否需同時進行比對？</p>
<b>黃副教授灝雄</b>
<p>3. 台北區右上角之機密區為指南山莊，政治大學預計以十年時間向國防部收購，目前已進入第二年，可與政治大學聯繫，是否開放？</p> <p>4. 就飛航管制因素而言，曾於十年前航空攝影該區域，請作業團隊與飛航管制單位聯繫，是否有飛航之困難？</p>
<b>邱副教授式鴻</b>
<p>4. 理論與實際常有一段距離，若技術上可克服，則台北區政治大學與其周遭環境仍是不錯選項。</p> <p>5. 就與會資料，南投區的南崗工業是優先可以選擇的，另考量校正場的維護，中部有國土測繪中心的維護，也是不錯。</p> <p>6. 就整個計畫時程(4年)而言，建議作業團隊及國土測繪中心，不要將目標放的太大，所需校正之項目，是否可按部就班，逐年實施？</p>
<b>王助理教授驥魁</b>
<p>6. 就簡報內容，校正含有修改之意，但目的卻只有認證不修改之意，建議是否修改會議名稱為檢測作業場址選定會議。</p> <p>7. 輻射標的校正若無接收偏光的儀器，如何作反射值的比對？</p> <p>8. 空載光達可以夜間施測，為何建置場方案中要限制平均每月日照時數大於145小時？</p>
<b>黎助理教授驥文</b>
<p>5. 就天候條件請蒐集更多年期資料，根據未來實際運作之需求，選擇符合之場址。</p>

### 專家學者意見

6. 就未來率定作業之維護需求之便利性納入選址考量。
7. 若場址均滿足設定條件，則或可從營運與運作成本選擇優選場址。

蔡課長季欣

1. 本計畫為四年期計畫，只有 1 千多萬，就目前所希望能達到的目標，有些預算不足之難題。
2. 因國內目前航測攝影機及空載光達約 20 部，考量供需平衡之下，無法設置 2 個校正場址。若設置 1 個校正場，則維護場地，以國土測繪中心的能力是沒有困難。
3. 就目前的討論而言，幾何標的設置沒有困難，但輻射標的製作及設置，有較多的困難，將於往後在經費許可下，進行輻射標的評估研究。



<b>機關專家代表意見</b>
<b>行政院農業委員會林務局農林航空測量所</b>
台北區校正作業場址鄰近機密區，請作業團隊與國土測繪中心就其他場區之機密範圍能與國防部確認，避免無法設置。
<b>工業技術研究院量測技術發展中心</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 選擇校正作業場址場所考慮之因素有持續性、有效性、維護性及使用性，場址所在位置就天候因素而言，中部區域比較適合；就維護及永續經營而言，國土測繪中心亦無困難施行。</li> <li>2. 請作業團隊，就各預選場址的優缺點、地形、地貌及氣象資料等，採列表方式呈現，以利參考。</li> <li>3. 工業區的地形地貌不容易改變，就永續經營而言比較有利。</li> </ol>
<b>工業技術研究院綠能與環境研究所</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 場地開放時間，除每年固定開放時間外，是否允許業者於特殊狀況下，臨時自費維護開放。</li> <li>2. 空載光達控制標為黑白標，是否列入反射值標準測量，提供有興趣光達輻射校正者使用？</li> <li>3. 選址是否針對每個條件給予分數，然後依分數高低排序；若分數接近，再討論或投票或由交辦單位決定？</li> </ol>
<b>財團法人國家實驗研究院儀器科技研究中心</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>3. 就場址的考慮因素、優缺點、地形及標準等，採比較式表格呈列，方便參閱者參考。</li> <li>4. 輻射校正的大氣影響因素，建議採每季量測的方式進行研究分析。</li> </ol>

## 業界專家代表意見

### 群鷹翔國土資源航空股份有限公司

4. 台北區校正場受特定建物(如：總統府、政府主要機關、101 大樓)航高限制及松山機場班機起降頻繁等因素影響，容易待機時間較久，且該區域不得採用目視飛行，而以儀器導航為主，所以不建議設置。
5. 地點設置在何處，就航空公司而言，並無影響。因為業主使用航空器是以時間計算，所以業主就成本之考量比較會在意校正作業場址的設置地點。

### 中興航空股份有限公司

1. 以飛航的觀點而言，以南投區之南崗工業區較佳，台中彰濱區為備用場地。
2. 南投區之天候佳，距離清泉崗機場約 22 海哩，在預選區之西南方，並不影響飛航，對業者而言，成本亦較低。台北區之空域較繁忙，班機多，縱使有飛航許可，但仍須遵從飛航管制人員的指示。贊成以南投區南崗工業區為場址。

### 詮華國土測繪有限公司

1. 考量法規限制 GSD 需達 5 公分等級，而且同一航線不得變更飛航高度，飛航採採東西向或南北向飛行，則地面高差太大時，容易影響飛航的安全及路線規劃的困難度。
2. 空載光達校正場的設置，若只做單純校正，不需考慮道路面的寬度，則設置於何處沒有意見。

### 自強工程顧問有限公司

3. 於場址取得的容易性及控制點的維護性前提之下，場址建議選於南投區之南崗工業區。
4. 考量空載光達的實施規範，建議於距離空載光達校正場範圍 5 公里內，能架設 2 處 GNSS 地面基站。

## 業界專家代表意見

### 群立科技股份有限公司

1. 考量選址因素，若新竹區與南投區皆可時，於經費允許情況下，建議是否可將此 2 處場址均納入設置使用？
2. 是否考慮建置室內的校正實驗場？

### 亞新國土科技股份有限公司

考量整個校正場的延續性與前瞻性，校正場所提供的資訊是否可以考慮供遙測感應器之使用？

**內 政 部 國 土 測 繪 中 心**  
**「100 年度建立航遙測感應器系統校正作業」**  
**校正作業場址選定會議**  
**簽 到 簿**

時 間：100 年 09 月 19 日(星期一)上午 09 時 30 分			
地 點：內政部國土測繪中心四樓第一會議室			
主 席：王博士蜀嘉		記 錄：林孜彥	
出席人員	簽 到 處	代 理 人	
		職 稱	簽 到 處
陳教授良健		教授	吳亮
林助理教授唐煌			
蔡教授榮得	蔡榮得	教授	
曾教授義星		助理教授	曾義星
饒助理教授見有			
徐助理教授百輝			
黃副教授灝雄	黃灝雄		
邱副教授式鴻	邱式鴻		
李副教授良輝			
夏副教授榮生			
吳助理教授至誠			
黎助理教授驥文			

**內 政 部 國 土 測 繪 中 心**  
**「100 年度建立航遙測感應器系統校正作業」**  
**校正作業場址選定會議**  
**簽 到 簿**

時 間：100 年 09 月 19 日(星期一)上午 09 時 30 分			
地 點：內政部國土測繪中心四樓第一會議室			
主 席：王博士蜀嘉		記 錄：林孜彥	
出席人員	簽 到 處	代 理 人	
		職 稱	簽 到 處
陳所長連晃		技 士	李菊園
李博士瓊武	李瓊武		
彭博士淼祥			
陳研究員大科	陳大科		
黃組長鼎名	陳銘福代		

**內 政 部 國 土 測 繪 中 心**  
**「100 年度建立航遙測感應器系統校正作業」**  
**校正作業場址選定會議**  
**簽 到 簿**

時 間：100 年 09 月 19 日(星期一)上午 09 時 30 分	
地 點：內政部國土測繪中心四樓第一會議室	
主 席：王博士蜀嘉 <span style="float: right;">記 錄：林孜彥</span>	
出 席 單 位	出 席 人 員 簽 到 處
宏遠儀器有限公司	
鷹圖科技有限公司	
自強工程顧問有限公司	69 徐榮
詮華國土測繪有限公司	彭德區 吳瑞敏
群立科技股份有限公司	徐金煌
亞新國土科技股份有限公司	劉致馬
中興測量有限公司	
經緯空間資訊股份有限公司	
德安航空公司	
群鷹翔國土資源航空股份有限公司	劉奇
中興航空股份有限公司	王國奇
大鵬航空公司	黃瑞冰
清雲科技大學	黎強文

內 政 部 國 土 測 繪 中 心  
 「100 年度建立航遙測感應器系統校正作業」  
 校正作業場址選定會議  
 簽 到 簿

列席人員	簽 到 處
中華民國航空測量及遙感探測學會	林政亨
達雲科技有限公司	王煥堯 鐘郁翔
內政部國土測繪中心	蔡承允 黃英婷 李佩珊





---

## 附件十二：空載光達點雲密度取樣實驗



由於俄亥俄州交通局所設計之校正標(半徑 1 公尺)，其點雲密度需為  $5\text{pts}/\text{m}^2$ ，與實際飛航作業可獲得之密度有差距，為使校正與實際測繪之精度相當，本團隊以國內較常使用之航高為準，進行下列初步實驗，以初步評估改良式校正標之尺寸，是否適合於  $2\text{pts}/\text{m}^2 \pm 10\%$  之校正使用。

本團隊利用 2011 年 6 月 16 號台中港工業區兩條互相垂直航帶飛行率定資料，FOV 約 45 度，AGL 約 1351 m，掃描頻率 56.1Hz，航速 81.478 knots。取 1 棟具平頂之建物，分類出建物屋頂。假設高點雲密度所求得之屋頂中心為真實屋頂中心，將屋頂上的點雲進行隨機取樣，模擬空載光達掃描時的點雲密度，進行不同點雲密度所得到的屋頂中心與真實屋頂中心的偏差值。

圖 1 為建物 A 之屋頂，由 7761 個雷射點構成，屋頂面積  $1360\text{m}^2$ ，點雲密度  $5.71\text{pts}/\text{m}^2$ ，將 7761 個雷射點的 X、Y 坐標平均求取 X、Y 的平均值，並假設此坐標為真實之屋頂中心(如圖 1 中紅點)。再利用光達的掃描時間進行取樣，推估取樣後雷射點 X、Y 坐標的平均值，表 1 為不同取樣下雷射點 X、Y 平均值與真實屋頂坐標的差值。然後利用坐標差值  $\Delta X$  與  $\Delta Y$  求取偏差值與點雲密度關係，如圖 2。

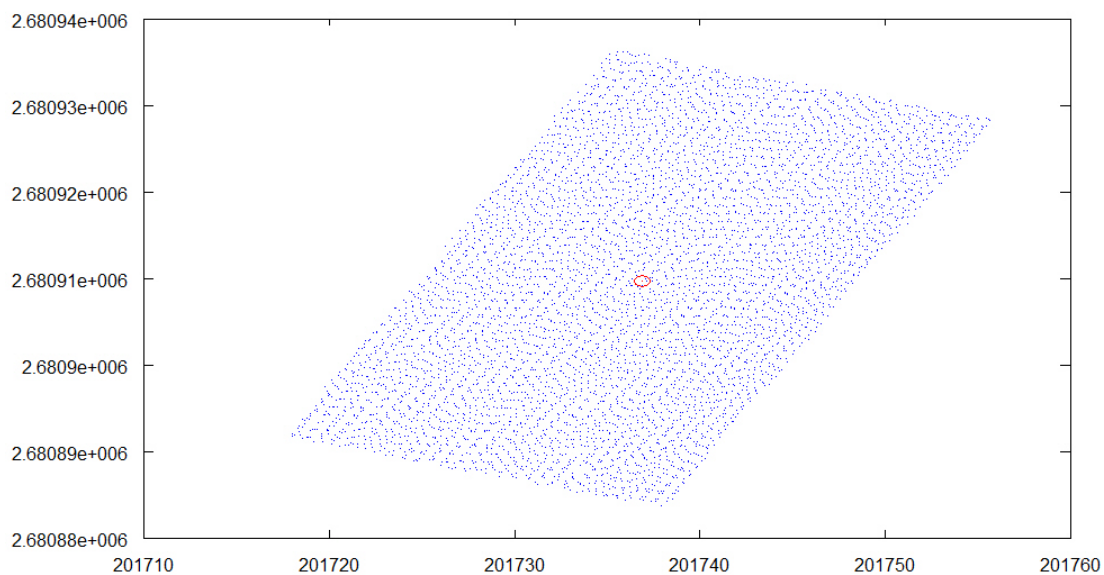


圖 1 建物 A 之屋頂

表 1 取樣表

	X	Y	Z	點數	點雲密度	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	偏差值
all points	201736.850	2680909.694	34.570	7761	5.71	0	0	0	0
1/2 points	201736.849	2680909.685	34.570	3155	2.32	-0.001	-0.008	0.000	0.008
1/4 points	201736.848	2680909.688	34.570	1577	1.16	-0.002	-0.006	0.000	0.006
1/6 points	201736.838	2680909.643	34.571	1051	0.77	-0.012	-0.051	0.001	0.053
1/8 points	201736.839	2680909.652	34.570	788	0.58	-0.011	-0.041	0.000	0.043
1/10 points	201736.838	2680909.668	34.571	776	0.57	-0.012	-0.026	0.001	0.029
1/20 points	201736.894	2680909.713	34.571	388	0.29	0.044	0.019	0.002	0.048
1/30 points	201736.597	2680909.229	34.574	258	0.19	-0.253	-0.464	0.004	0.529
1/40 points	201736.950	2680909.868	34.574	194	0.14	0.100	0.175	0.004	0.201
1/50 points	201736.857	2680909.623	34.575	155	0.11	0.007	-0.071	0.005	0.071
1/60 points	201736.471	2680908.776	34.573	129	0.09	-0.379	-0.918	0.003	0.993

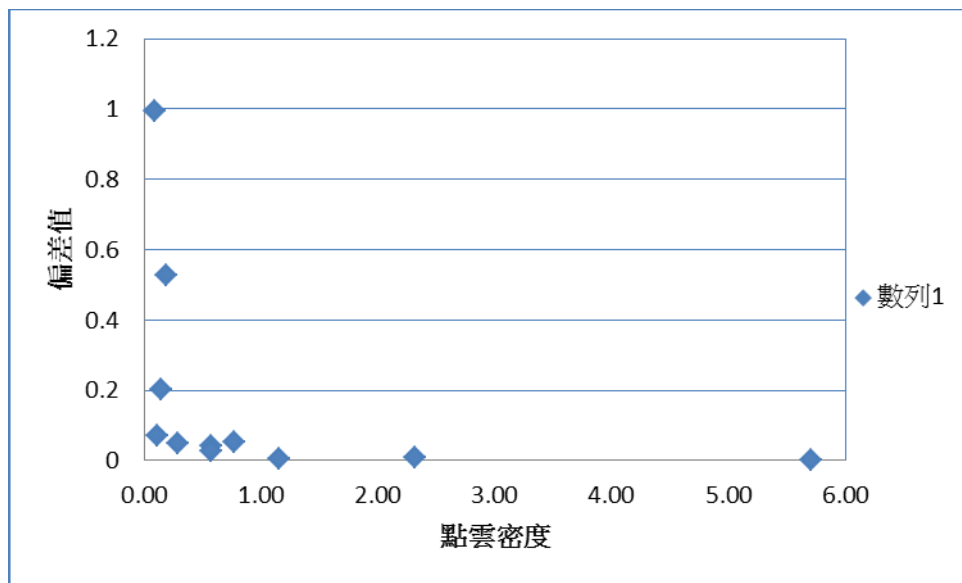
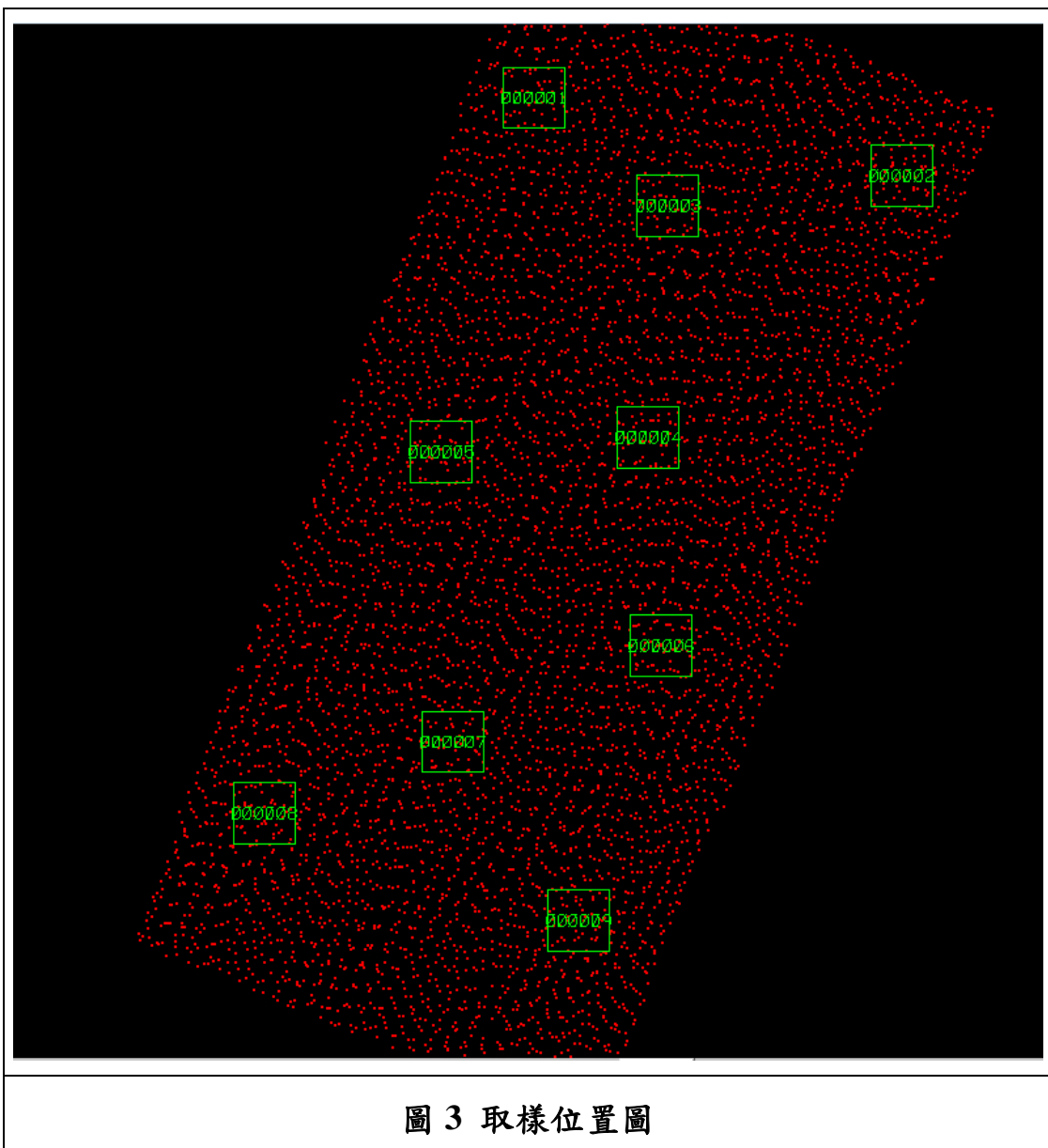


圖 2 點雲中心偏差值與點雲密度關係圖

由於本建物之屋頂面積為  $1360\text{m}^2$ ，即使點雲密度只有  $0.29\text{pts/m}^2$ ，取樣點所推估的平均位置離真實屋頂中心也只有  $4.8\text{cm}$  左右的偏差值，這是因為屋頂面積大，即使點雲密度低，仍然有足夠之雷

射點進行屋頂中心之推估。因此，利用一般面積大小之屋頂，便具有足夠數量之雷射點進行屋頂中心之校正。

對於本案設計之校正標，其尺寸過大對於外業工作具有執行之困難。於是，在同一建物屋頂，利用 2.7m\*2.7m 的方塊代表校正標進行實驗，將屋頂分為前中後 3 區，每區各放置 3 個方格進行校正標的模擬實驗(如圖 3)，利用方格的真實中心坐標與方格內雷射點的平均坐標進行比較。結果如表 2~表 10。因空載光達點雲的垂直精度較平面精度高，此實驗不對垂直精度進行比較。



**表 2 Block1 取樣表**

Block1	X	Y	點數	點雲密度	$\Delta X$	$\Delta Y$	偏差值
中心	201735.425	2680928.991	——	——	——	——	——
All points	201735.363	2680929.063	42	5.76	-0.062	0.071	0.094
1/2 points	201735.323	2680929.080	22	3.02	-0.102	0.088	0.135
1/3 points	201735.392	2680929.170	15	2.06	-0.033	0.178	0.181
1/4 points	201735.632	2680929.771	12	1.65	0.207	0.779	0.806

**表 3 Block2 取樣表**

Block2	X	Y	點數	點雲密度	$\Delta X$	$\Delta Y$	偏差值
中心	201751.642	2680925.558	——	——	——	——	——
All points	201751.599	2680925.604	45	6.17	-0.044	0.046	0.064
1/2 points	201751.555	2680925.619	26	3.57	-0.088	0.061	0.107
1/3 points	201751.589	2680925.574	16	2.19	-0.053	0.016	0.055
1/4 points	201751.841	2680925.325	11	1.51	0.199	-0.233	0.306

**表 4 Block3 取樣表**

Block3	X	Y	點數	點雲密度	$\Delta X$	$\Delta Y$	偏差值
中心	201741.342	2680924.243	——	——	——	——	——
All points	201741.305	2680924.237	43	5.90	-0.037	-0.006	0.038
1/2 points	201741.238	2680924.227	20	2.74	-0.104	-0.016	0.105
1/3 points	201741.470	2680924.059	14	1.92	0.128	-0.184	0.224
1/4 points	201741.296	2680924.342	10	1.37	-0.046	0.099	0.109

**表 5 Block4 取樣表**

Block4	X	Y	點數	點雲密度	$\Delta X$	$\Delta Y$	偏差值
中心	201740.466	2680914.016	——	——	——	——	——
All points	201740.501	2680913.867	44	6.04	0.036	-0.149	0.153
1/2 points	201740.438	2680913.786	19	2.61	-0.027	-0.230	0.232
1/3 points	201740.536	2680913.887	16	2.19	0.071	-0.129	0.147
1/4 points	201740.562	2680913.955	10	1.37	0.097	-0.061	0.114

**表 6 Block5 取樣表**

Block5	X	Y	點數	點雲密度	$\Delta X$	$\Delta Y$	偏差值
中心	201731.334	2680913.358	——	——	——	——	——
All points	201731.340	2680913.495	40	5.49	0.006	0.136	0.137
1/2 points	201731.281	2680913.534	17	2.33	-0.053	0.175	0.183
1/3 points	201731.303	2680913.457	12	1.65	-0.031	0.098	0.103
1/4 points	201731.475	2680913.746	11	1.51	0.141	0.388	0.413

**表 7 Block6 取樣表**

Block6	X	Y	點數	點雲密度	$\Delta X$	$\Delta Y$	偏差值
中心	201741.05	2680904.811	——	——	——	——	——
All points	201741.040	2680904.741	44	6.04	-0.010	-0.070	0.071
1/2 points	201741.095	2680904.640	22	3.02	0.045	-0.171	0.177
1/3 points	201741.088	2680904.478	14	1.92	0.038	-0.333	0.335
1/4 points	201741.188	2680905.055	8	1.10	0.138	0.244	0.280

**表 8 Block7 取樣表**

Block7	X	Y	點數	點雲密度	$\Delta X$	$\Delta Y$	偏差值
中心	201731.846	2680900.574	——	——	——	——	——
All points	201731.862	2680900.459	41	5.62	0.016	-0.115	0.116
1/2 points	201731.983	2680900.447	21	2.88	0.138	-0.127	0.187
1/3 points	201731.792	2680900.491	14	1.92	-0.054	-0.083	0.099
1/4 points	201731.939	2680900.12	13	1.78	0.093	-0.455	0.464

**表 9 Block8 取樣表**

Block8	X	Y	點數	點雲密度	$\Delta X$	$\Delta Y$	偏差值
中心	201723.518	2680897.433	——	——	——	——	——
All points	201723.539	2680897.545	42	5.76	0.021	0.112	0.114
1/2 points	201723.496	2680897.627	18	2.47	-0.021	0.194	0.195
1/3 points	201723.604	2680897.810	14	1.92	0.086	0.377	0.387
1/4 points	201723.424	2680897.45	9	1.23	-0.094	0.017	0.095

表 10 Block9 取樣表

Block9	X	Y	點數	點雲密度	$\Delta X$	$\Delta Y$	偏差值
中心	201737.3974	2680892.685	——	——	——	——	——
All points	201737.386	2680892.738	46	6.31	-0.012	0.053	0.054
1/2 points	201737.407	2680892.635	23	3.16	0.009	-0.049	0.050
1/3 points	201737.442	2680892.749	17	2.33	0.045	0.064	0.078
1/4 points	201737.3622	2680892.361	12	1.65	-0.035	-0.324	0.325

將表 2~表 10 中點雲密度約  $2 \text{ pts/m}^2$  的偏差值進行平均，得平均後之偏差值約 0.18 m，標準偏差約 0.11 m，忽略大於 3 倍標準偏差值，即忽略表 7 與表 9，得平均偏差值約 0.12 m。此實驗的面積只有  $2.7\text{m} \times 2.7\text{m}$ ，故只要雷射點分布不平均時，容易造成真實方格中心與方格內雷射點推估的中心偏差值變大，由於飛機在空中易受氣流影響，造成機身擺動，使得雷射點有分布不均之現象，此誤差應該可以列入無法控制因素之影響，因此應該算為無效測量，故可將其忽略。由表 2~表 10 之成果，選擇點雲密度為  $2 \text{ pts/m}^2$  時，不考慮前述氣流之問題，應可作為校正之用。



---

**附件十三：DMC 及 UltraCam 率定報告書**  
**內有關相對波譜反應強度樣本**

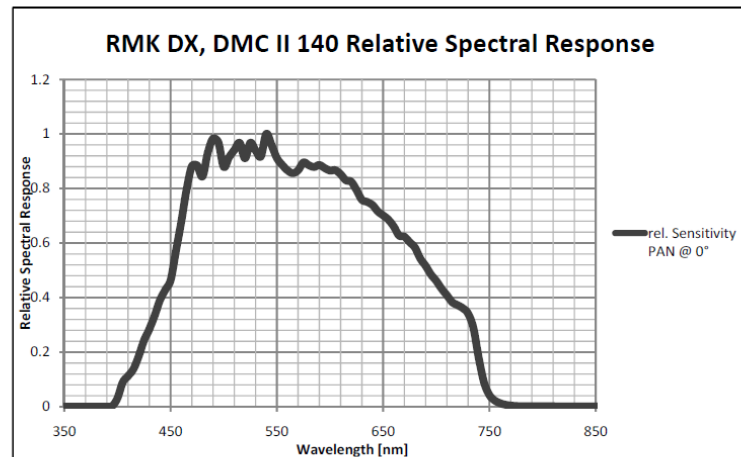


## 一、DMC 波譜相對反應強度曲線

### 1. 全色態攝影機：

#### Radiometric Calibration

#### Sensitivity of PAN camera (Reference)



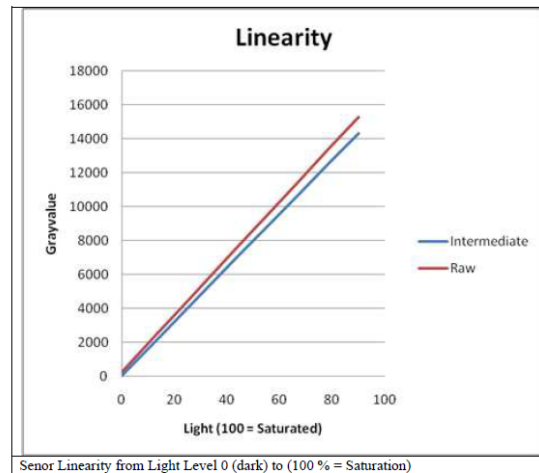
The sensitivity shows the spectral response curve of the single camera head including the optical system (optics, filter) and the sensor response. The RMK DX is calibrated with respect to the absolute spectrometer. This allows computing pixel radiance values from pixels digital numbers and is a camera type specific calibration.

### 2. 反應強度線性度：

#### Radiometric Calibration

#### Sensor Linearity (Reference)

The sensor linearity is measured in the Lab with calibrated spectrometer. This is a camera type specific calibration. Below figure shows the linearity of the raw sensor and after flat fielding:



The deviation from the linearity is below 1%.

## 二、UltraCam-X 的波譜相對反應強度

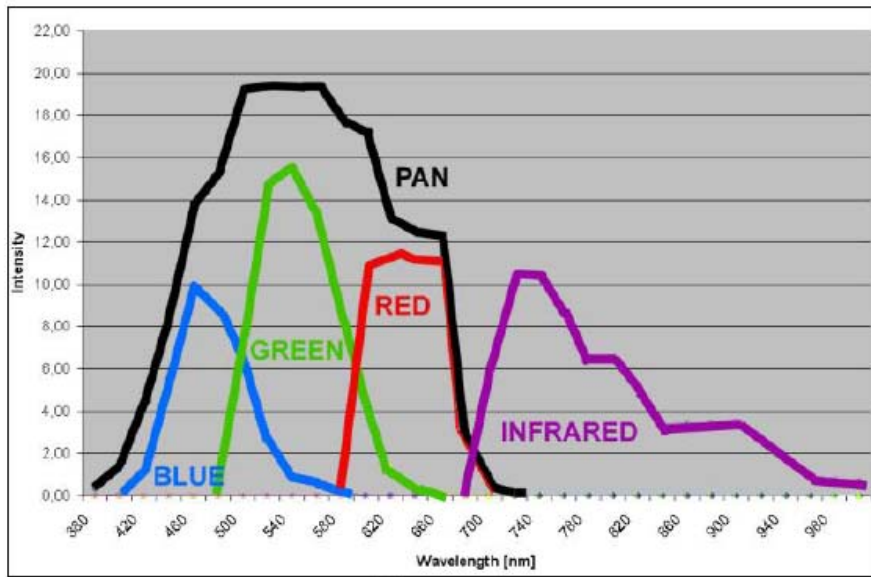


Figure 4:  
Diagram of UltraCamX multi spectral bands

---

## 附件十四：Sioux Falls Range 測試場簡介

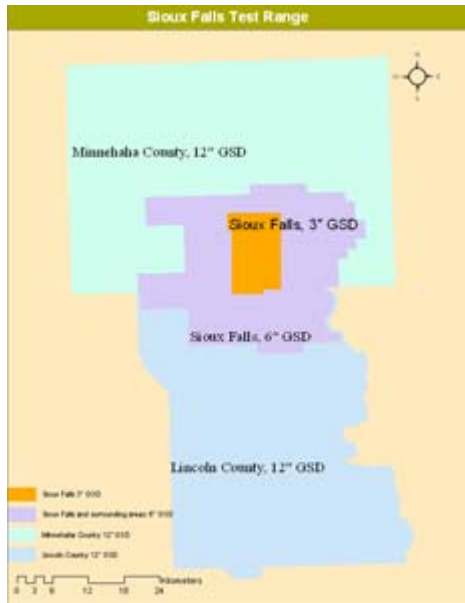


# 美國地質調查所(USGS)

## 蘇瀑測試場(Sioux Falls Range)

### 簡介(摘自 USGS 網站)

#### Geometric



Sioux Falls test range draped over LiDAR derived

#### Sioux Falls Range Design

<b>Location (City, State, Country):</b>	Sioux Falls, South Dakota, USA
<b>Altitude above sea level Min/Max/Mean (meters):</b>	345 / 546 / 432
<b>Center Latitude,Longitude (Degrees):</b>	43.555562, -96.745806
<b>UTM Zone:</b>	14 N
<b>Owner:</b>	City of Sioux Falls
<b>Points of Contact:</b>	<a href="#">Aparajithan Sampath</a> <a href="#">Jeffery Clauson</a>
<b>Purpose:</b>	The Sioux Falls test range has been designed to evaluate, validate and characterize aerial

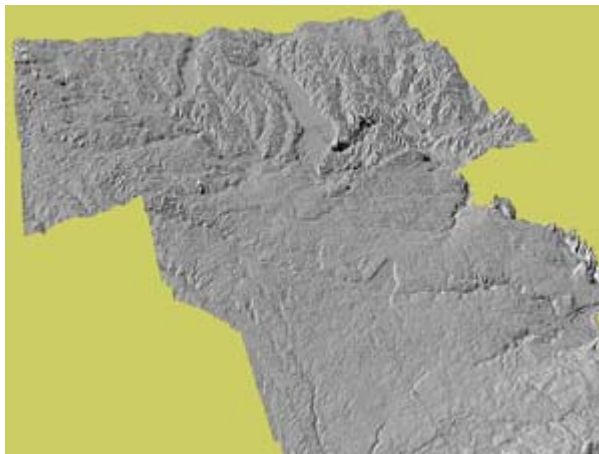
	<p>orthophotos as well as high resolution satellite images. Accurate and standardized high resolution orthophotos (Reference image) for this area will be used to determine the relative accuracy of other high resolution aerial and satellite images. Co-registration analysis will be performed between this image and other search images. The results of the analysis will provide insights into the accuracy of the imaging system.</p>												
<p><b>Range Layout:</b></p>	<p>The range consists of a three part design. The first part consists of 12" GSD (1 foot) orthophotos over the Counties of Minnehaha and Lincoln. The second part consists of 6" GSD (0.5 feet) orthophotos, over the City of Sioux Falls and surrounding areas and the third part consists of 3" GSD (0.25 feet) orthophotos covering the City of Sioux Falls.</p> <table border="1" data-bbox="683 1055 1386 1480"> <thead> <tr> <th>GSD</th> <th>County/City name</th> <th>Area (sq km)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12"/30.48cm</td> <td>Minnehaha County/Lincoln County</td> <td>2160/1160</td> </tr> <tr> <td>6"/15.24cm</td> <td>City of Sioux Falls and surrounding areas</td> <td>760</td> </tr> <tr> <td>3"/7.512cm</td> <td>City of Sioux Falls</td> <td>115</td> </tr> </tbody> </table>	GSD	County/City name	Area (sq km)	12"/30.48cm	Minnehaha County/Lincoln County	2160/1160	6"/15.24cm	City of Sioux Falls and surrounding areas	760	3"/7.512cm	City of Sioux Falls	115
GSD	County/City name	Area (sq km)											
12"/30.48cm	Minnehaha County/Lincoln County	2160/1160											
6"/15.24cm	City of Sioux Falls and surrounding areas	760											
3"/7.512cm	City of Sioux Falls	115											
<p><b>Description:</b></p>	<p>The Sioux Falls test range for aerial and high resolution remote sensing images is located in the state of South Dakota, USA and covers the Counties of Minnehaha and Lincoln. The topography consists of rolling hills, and a good mix of urban and rural areas, with several small townships and the Sioux Falls Metro area, in the middle of farmlands, hills and rivers in Minnehaha and Lincoln counties.</p> <p>The test range was initially a two part design. The</p>												



	<p>first part consisted of painted targets across the area. However, it was felt that a better process would be to obtain high accuracy aerial orthophotos of the area, and use these orthophotos as the standard for characterizing other systems and products. An Image to Image matching tool is being designed for this process.</p>												
<p><b>Orthophoto Procurement and Accuracy Assessment:</b></p>	<p>The orthophotos for the three areas were procured by a consortium consisting of the USGS, City of Sioux Falls, Minnehaha County and Lincoln County. The USGS carried out an independent accuracy assessment of the orthophotos. A total of 112 photo-identifiable points were surveyed using GPS-RTK survey method. The coordinates of these points were then compared with the coordinates obtained from the orthophotos. A summary of the survey results is presented in the table below.</p> <table border="1" data-bbox="683 1126 1353 1308"> <thead> <tr> <th></th> <th>12"</th> <th>6"</th> <th>3"</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CE90</td> <td>1.46ft/0.44m</td> <td>0.83ft/0.25m</td> <td>0.59ft/0.18m</td> </tr> <tr> <td>CE95</td> <td>1.68ft/0.51m</td> <td>0.95ft/0.29m</td> <td>0.67ft/0.20m</td> </tr> </tbody> </table>		12"	6"	3"	CE90	1.46ft/0.44m	0.83ft/0.25m	0.59ft/0.18m	CE95	1.68ft/0.51m	0.95ft/0.29m	0.67ft/0.20m
	12"	6"	3"										
CE90	1.46ft/0.44m	0.83ft/0.25m	0.59ft/0.18m										
CE95	1.68ft/0.51m	0.95ft/0.29m	0.67ft/0.20m										
<p><b>High Accuracy Image chips:</b></p>	<p>For assessment of high accuracy aerial data, the USGS has come up with a plan for using high accuracy image chips. The image chips are smaller portions of the reference orthophotos surrounding the check points. These image chips are more accurate than the orthophotos, because the locations of the centers of these chips have the same accuracy as that of the GPS RTK survey (~ 1.50 cm). Automated correlation based matching procedures will be used to assess the accuracy of the data.</p>												
<p><b>Digital Elevation Model:</b></p>	<p>A Digital Elevation Model (DEM), based on LiDAR elevations has also been generated for</p>												

	<p>the Sioux Falls range. The point spacing is 1m and the vertical accuracy is expected to be 18.5 cm on bare earth and 37.5 cm in obscured areas. The accuracy of the DEM is currently under study.</p> <p><a href="#">View Portion of Sioux Falls Draped over LiDAR</a> <a href="#">View Sioux Falls Range DEM</a></p>
<b>Additional Downloads:</b>	<p><a href="#">Google Earth KMZ – Complete Range</a> (95KB) <a href="#">Google Earth KMZ – Lincoln County Range</a> (36KB) <a href="#">Google Earth KMZ – Minnehaha County Range</a> (39KB) <a href="#">Google Earth KMZ – 6" Range</a> (17KB) <a href="#">Google Earth KMZ – 3" Range</a> (6KB) <a href="#">Sioux Falls Range Shape Files</a> (26KB)</p>

### Additional Photos



**Sioux Falls DEM**

---

## 附件十五：期中報告審查意見回覆彙整表



# 內 政 部 國 土 測 繪 中 心

## 「100 年度建立航遙測感應器系統校正作業」

### 期中報告審查意見回覆彙整表

委員別	委員意見及建議事項問題	回覆辦理情形
吳副所長水吉	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 報告書引用國內外資料部分，請補充出處。</li> <li>2. 目前國內共有 7 部數位像機，各數位像機之每一個波段感應範圍都不相同，是否必須敘明。</li> <li>3. 校正場選址條件建議將限航區及空域管限時間因素列入考量。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 詳見附件 J: 參考文獻一節。</li> <li>2. 確實各攝影機之每一波段感應範圍不同，但本計畫不對該 RGB 波譜反應曲線進行校正。</li> <li>3. 相關考量，詳見第 5-3 節。</li> </ol>
夏副教授榮生	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 國內外航遙測感應器系統校正作業資料蒐集及分析部分，建議補充下列內容：               <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 請分析比較各校正場之目的、功能、作法、適用感應器機種、適用比例尺、開放方式等。</li> <li>(2) 請說明各校正場針對傳統類比感應器及數位感應器是否有不同校正作法。</li> </ol> </li> <li>2. P95 數位航測攝影機校正場建置方案(草案)提出「…確認幾何精度、幾何解析力及輻射特性等與原製造廠商所宣稱者」是否相符」…並符合我國對航空攝影測量航拍所訂之「規範需求」。其中判斷標準依據為何？另有關所敘述「規範需求」是否有不同等級之規範？</li> <li>3. P98 團隊提出以校正成果獲取之成果作為自我維護機制，是否可以有更具體之作業方法及標準。</li> <li>4. P99 (第 6 行)「…採用配合標準白板以地面光譜儀量取輻射值化算為反射值，以為比對標準，進行輻射校正…」，是否需制定作業標準？</li> <li>5. P99 是否可以增列校正結果或校正報告乙節。</li> <li>6. 建議國內校正場建置及選定依據，能與國內外校正場之蒐集資料分析結果</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 已補充，詳見 P.34 ~ P.38。</li> <li>2. 目前原廠校正報告內容各家不同，但與航測製圖有關者如像元幾何精度、內方位、空三校正場檢核精度、各波段波譜反應曲線、波譜反應線性度及 MTF 等基本上都有。而我國測繪規範(草案)內的規定有像幅尺寸、幾何精度、立體測繪重疊度、色彩平衡度、輻射值域等。均可藉由本校正場直接或間接，個別或綜合檢核而得。</li> <li>3. 利用經過檢核認可之以往成果與現在量測結果比對，可以檢定是否有顯著之變化。具體之統計檢定作業方法及標準將在後續研擬作業機制時，訂定之。</li> </ol>

委員別	委員意見及建議事項問題	回覆辦理情形
	<p>相呼應。</p>	<p>4. 是，將在研擬作業機制時納入。</p> <p>5. 校正結果及報告屬於認證工作範圍，將在校正場測試完成後，研擬其內容及格式。</p> <p>6. 增列附件 J：參考文獻，與校正場建置方案及選定相呼應，詳見第 5-1 及 5-2 節。</p>
<p>陳教授錕山</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本案的建置完成針對國內航測作業及資料品管具有正面積極意義。</li> <li>2. 本案工作內容及目標建議應清楚說明，例如規劃敘述衛星影像、SAR、UAV 等校正，惟研究方法與內容均以數位攝影、LiDAR 為主。另請說明本案作業是否包括感應器本身的內部校正，含輻射校正、性能劣化、退化檢定及載具間的相互校正？</li> <li>3. 校正方法與程序有否考慮作業化、標準化？</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員指教。</li> <li>2. 本計畫係分年度計畫，本年度僅在規劃建置航測及空載光達校正場。對於其它感應器的適用性將在後續計畫中詳細分析。本校正僅係以系統輸出之綜合成果反推系統製造商對性能之宣稱是否屬實，並不對系統內部各個原件進行校正。</li> <li>3. 後續經過校正場測試作業後，將撰寫作業程序手冊。</li> </ol>
<p>林副教授唐煌</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本案在國內外相關資料之蒐集、整理及分析歸納頗為完整；工作內容，如校正場建置方案、校正場址及相關校正標之規劃等，亦具成果。如能順利完成，均於國內空載測繪資料品質的提升，幫助很大。</li> <li>2. 建議在經費許可的狀態下，本案執行團隊或國土測繪中心可規劃國際校正場之參訪，以了解國際校正場的軟、硬體設備、作業執行困難及解決方案、相關規範等，俾利後續建場參考。</li> <li>3. 附件 D 及 E 建置方案內建議增加「校正標維護檢測」章節。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員指教。</li> <li>2. 將轉請國土測繪中心參考。</li> <li>3. 目前尚在規劃建置階段，待實際建置完成並實驗試做後，再規劃維護檢測方式。</li> </ol>

委員別	委員意見及建議事項問題	回覆辦理情形
趙副教授鍵哲	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 報告中引述國外文獻內容部分，請加註所參考之文獻資訊。並請增加參考文獻章節，彙整納入所有參考文獻資訊。</li> <li>2. 請整理彙整國內數位像機與空載光達設備之擁有單位以及儀器型號。</li> <li>3. 有關校正標設計除可進行單點平面與高程精度評估外，請補充空載光達資料處理品質評估尚可發揮何種作用？例如：對於評估具高程變化之地形，可否考量設計相應之校正標或安排適當的布設法則。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 增列附件 J: 參考文獻一節。</li> <li>2. 已彙整，詳見 P.14 及 P.17。</li> <li>3. 經初步考量，可在斜坡上傾斜設置一校正標，進行雷射點在斜面上的水平與高程精度評估，由於雷射點的 Footprint 在斜面上的反射點不確定，故利用傾斜之校正標檢驗其水平與高程精度。由於校正標傾斜設置時，截面會變小，因此需在將校正標放大，詳見附件 I。</li> </ol>
工作小組	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 摘要 I (第 2、6 行) 重複敘述「委託中華民國航空測量及遙感探測學會」，請保留後面敘述即可。</li> <li>2. 文中有關本中心簡稱使用「測繪中心」、「國土測繪中心」、「內政部國土測繪中心」等，建議全部修正為「國土測繪中心」。</li> <li>3. 建議增加「名詞定義」章節以說明相關名詞作業內涵或定義。</li> <li>4. 本報告內容資料豐富，惟資料撰寫方式稍嫌雜亂，建議將不同主題內容分開放置於不同小節，如：4-1 航遙測感應器介紹，應區分為「一、數位像機」及「二、空載光達」，以方便閱讀。另因新型空載光達採用全波形方式紀錄，請將相關介紹納入航遙測感應器介紹二、空載光達，並請說明對本校正場的影響及後續因應的建議。</li> <li>5. 本期中報告主要係藉由蒐集國內外資料，進行分析比較作為我國校正場建置方案、場址評估因素、校正標設計等之參考，建議將國內外資料比較分</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 已修正，詳見摘要 I。</li> <li>2. 已修正，詳見本文。</li> <li>3. 已增列，詳見 P.40。</li> <li>4. 已修正，詳見第 4-1 節。</li> <li>5. 已修正，詳見表 4-9 及表 4-10。</li> </ol>

委員別	委員意見及建議事項問題	回覆辦理情形
	<p>析成果納入報告本文，並有效呈現關鍵資訊，如：以表格方式呈現各國校正作業內涵及所使用專有名詞與後續認證作法，以利參考。</p> <p>6. 為閱讀方便，期中報告書頁次請調整於頁尾。</p> <p>7. P7 (圖 2-1) 建議橫放以放大清楚顯示相關內容。</p> <p>8. P9 (圖 3-1) 研究流程圖中，對於「校正場規劃設計」與「校正標規格設計」，就流程上並非先後順序關係，而是併同關係，請酌予調整呈現。</p> <p>9. P11 (第 1 段) 該段內容目前多以疑問句方式撰寫文章，建議調整為正向直接寫法。(第 2 段) 請改寫為由於國土測繪中心已「通過」全國認證基金會 (Taiwan Accreditation Foundation, 簡稱 TAF) 校正領域中認證。本計畫亦將分析本校正場「校正項目」納入 TAF 認證的適合性。(倒數第 3 行) 句點應改為逗點。</p> <p>10. P13, 「第 4 章 完成作業項目」因包含內容很多，為閱讀方便，請將章節拆開為「第 4 章--國內外文獻收集及分析」、「第 5 章--航遙測感應器系統校正場建置方案規劃及設計」撰寫，另 P37 原 4-6 章節名稱「校正作業場址綜合考量分析結果」，請調整為「校正作業場址綜合評量分析」，並請將 P39~P46 各場址地理及氣象特性內容調整至該章節內容。</p> <p>11. P16 (表 4-1) 表名「國際上有名的航遙測感應器校正場」，請調整為「國際上具規模的航遙測感應器校正場」。</p> <p>12. P17 (第 2 行)「林務局航空測量所」請修正為「行政院農業委員會林務局航空測量所(以下簡稱農航所)」，其後述及該所時請用簡稱。</p> <p>13. P18 請說明國內遙測感應器校正場設置時間及目前運作情形。</p> <p>14. P20~30 內相同的英文專有名詞翻譯成不同中文名詞：如 P22 (第 6 行) verification 翻譯為檢定、P24 (第 2 行)</p>	<p>6. 已更改。</p> <p>7. 已修正，詳見圖 2-1。</p> <p>8. 已修正，詳見圖 3-1。</p> <p>9. 已修正，詳見 P.11。</p> <p>10. 已調整，詳見第 4 章及第 5 章。</p> <p>11. 已修正，詳見 P.18。</p> <p>12. 已修正，詳見 P.19。</p> <p>13. 已修正，詳見 P.20。</p> <p>14. 已修正一致，詳見 P.22 ~ P.31。</p>



委員別	委員意見及建議事項問題	回覆辦理情形
	<p>verification 翻譯為測試等，致閱讀困難。建議將該英文專有名詞代表之作業內涵稍加闡述，並翻譯成一致的中文名詞。</p> <p>15. P29~30 空載光達資料並未參照 P20~28 航測資料加註英文原文名詞，如率定場、校正場、校正標等請以中括弧加註英文原文名詞，並請說明 NERC 校正場設置目的及作業內涵。另前後文在校正、率定名詞使用上代表意義有所矛盾，請修正。</p> <p>16. P24 (第 3 段) 依據該研究「研究」結果，贅字請刪除。</p> <p>17. P25 (第 1 行)「分歧」請修正為「分歧」；P25 及 P32「部份」請修正為「部分」。</p> <p>18. P26 (第 3 行) 邀請各場參與，請修正為邀請「各廠商」參與。另 (第 2 段，第 2 行) 為本研究均作了些微改進，前述「本研究」係指歐洲校正場的研究，為避免閱讀誤解，請修正為「前開研究」。</p> <p>19. P27 圖 4-8 內區塊 6 和 7 均為可攜式標，請一併修正 P26 最後一段說明文字。</p> <p>20. P28 請加註德國檢定場設定的高、低航高的航高數據，另請說明適用的 GSD。</p> <p>21. P29 (圖 4-12) 圖面上紅色線似為航線，請確認並於適當位置標示說明。</p> <p>22. P30 請查明美國 ohio 大學實驗的相關背景資料，如航高、FOV、掃描頻率、航速等會影響點雲密度的資訊，俾據以正確推估本案校正標尺寸。</p> <p>23. P34 (第 2 行)「去作」請修正為「去做」。</p> <p>24. P38 (第 3、4 段) 報告書內容引用林唐煌教授及回應蔡榮得兩位教授提出意見，建議改寫為「校正場選擇評估因素專家學者會議會中學者意見」表示。</p> <p>25. P38、39、111、112、115、116 內文「鐵鈷山」請修正為「鐵砧山」音出ㄣ。</p> <p>26. P39 (圖 4-14~4-21) 地形與影像圖，</p>	<p>15. 已修正，詳見 P.31 ~ P.33。</p> <p>16. 已修正，詳見 P.27。</p> <p>17. 已修正，詳見 P.27、P.28 及 P.44。</p> <p>18. 已修正，詳見 P.28。</p> <p>19. 已修正，詳見 P.29。</p> <p>20. 由於各廠牌像機焦距及像元尺寸不同，校正場不能強制規定航高，只以 GSD 為依據。所謂高低航高其實是 GSD 尺寸不同最小可以到 10 公分最高可以到 30 公分對大多數像機而言，此 GSD 對應之航高範圍約在 500~3000 公尺。</p> <p>21. 已修正，詳見 P.31。</p> <p>22. 已詳述，見 P.32。</p> <p>23. 已修正，詳見 P.45。</p> <p>24. 已修正，詳見 P.56。</p>

委員別	委員意見及建議事項問題	回覆辦理情形
	請改以本案實際規劃之校正場大小為範圍進行篩選，並分析其地形起伏及顯示詳細 3D 模型，以利後續選址參考。並請一併修正 P38 第 3 段文字內高差數據及附件 F、G。	25. 已修正，詳見 P.55、P.56、P.87、P.259、P.260、P.263、P.264、P.276。
	27. 請參考正射影像了解場址是否有足夠大小範圍放置航測 200 個 1m*1m 大小的幾何標、航測 8m*5m、16m*2m 校正標、光達 9 個直徑 3m 立體圓形標？並將影像所判釋區域，洽土地主管機關確認是否可提供校正標放置使用，相關資料請於場址選定會議前提供本中心。	26. 已修正，詳見第 5-3 節、附件 F、附件 G 及 P.56。 27. 於 09 月 19 日校正作業場址選定會議時簡報相關資料。
	28. P46 (4-9) 為方便了解，航測攝影機各種校正標設計規劃方案，請補充是參考哪個國家經驗予以規劃設計。	28. 已補充，詳見第 5-6 節第一小節。
	29. P47 請問幾何校正標為何沒有考慮以礫石材質布設？另「佈設」請修正為「布設」。	29. 幾何校正標，採用礫石不易維護亦不易架設 GPS 定位，故不考慮礫石。
	30. P48~49 請說明空間解析力及輻射校正標目前規劃製作為固定式或可攜式？請將固定式及可攜式合適使用之材質分開撰寫，避免混淆（如：可攜式標不應列出以礫石作為製作材質）。	30. 已修正，詳見 P.59 及 P.60。
	31. P49~50 請說明空載光達校正標規劃設置高度為？另請問設置高度不同時，是否會影響校正成果？若在裸露地面上布設（設置高度為零），是否仍然可用達到本案校正目的？	31. 已修正，詳見第 5-6 節第二小節。
	32. P35~P36，部分內容似為介紹空載光達發展歷史，P57 部分內容為說明空載光達測距原理，建議調整內容至 4-1 航遙測感應器介紹。	32. 已調整，詳見第 4-1 節。
	33. P50~56 空載光達實驗部分，請將實驗背景資訊說明清楚，如航高、FOV、掃描頻率、航速、測試地物位於航帶大致位置及資訊，並請團隊以提出建置方案所設計實際飛航參數進行合理實驗、計算出相關數據及後續分析。	33. 已修正，詳見附件 I。
	34. P57~P58 部分內容係說明本校正場無納入空載光達強度值背景，建議調整於 P35 (4-5) 先予以說明。	34. 已調整，詳見第 5-2 節。
	35. P80「彰化縣鹿港區」請修正為「彰化	35. 已修正，詳見 P.86、

委員別	委員意見及建議事項問題	回覆辦理情形
	<p>縣鹿港鎮」，另「台中縣鐵砧山」請修正為「台中市鐵砧山」。</p> <p>36. P95 提及航測校正場提供二區域分別為 GSD&gt;20cm 及 GSD&gt;5cm，另 P46 提及 GSD 8~20cm，GSD 適用範圍不一致，請說明。</p> <p>37. P104 圖 3 的圖形看似為橢圓，應為圓形，請修正。</p> <p>38. P104~105 團隊設定參數 FOV40 度、航高 1,200m，並據以設計出改良式校正標。未來運作時，儀器擁有者需求飛行參數若與團隊設定不一致時，該改良式校正標是否依然適用？請提出說明或規劃備選方案或針對校正標改良設計。</p>	<p>P.87。</p> <p>36. 8~20 公分為理論計算值，而 1 m<sup>2</sup>之幾何標實際可達 5~20 公分。</p> <p>37. 已修正，詳見 P.252。</p> <p>38. 已修正，詳見 P.253。</p>

附註：本附件中所提之頁碼、章節及附件號碼，皆為期中報告書修正版之相關資料。



---

## 附件十六：歷次工作會議紀錄



# 內政部國土測繪中心

## 「100年度建立航遙測感應器系統校正作業」

### 第一次工作會議紀錄

壹、時間：100年06月10日（星期五）上午10：00

貳、地點：中華民國航空測量及遙感探測學會 會議室

參、主持人：王教授蜀嘉 記錄：林孜彥

肆、出席單位及人員：如會議簽到單。

主辦單位（甲方）：內政部國土測繪中心

承辦單位（乙方）：中華民國航空測量及遙感探測學會  
達雲科技有限公司

### 伍、討論提案

#### 議題一、國內外校正場完整資料的蒐集狀況。

目前關於航空攝影機校正場方面：國內及亞洲部分有2篇、歐洲部分3篇、美國部分有3篇。

空載光達校正場方面：目前已蒐集有國內及亞洲部分5篇、歐美國家19篇。

因亞洲部分蒐集的對象大多為中國大陸之資料，甲方建議蒐集日本或韓國校正場之資料。另對於已運作之校正場，與各校正場之負責人加強聯繫，進而取得校正場更詳盡之校正場建置資料、運作遭遇困難、相關規範或要點、作業程序、規劃書、報告書、作業手冊、認證機構與情形等。

#### 議題二、航測像機及空載光達校正場建置方案。

##### 航空攝影機部分：

第一章-國外建場條件適用性分析；依據校正目的經費許可及國內環境，評估國外建場條件的適用性。

第二章-場址選定因子分析；依據土地使用、機場氣象資料、土地使用權、氣候及飛航管制等因子進行分析。

第三章-校正場規格；對於校正場的範圍大小、控制點大小、控制點數量及控制點標形進行規劃設計。

第四章-可攜式標；可攜式標規格的規劃、設計、材質的選定及製作。

第五章-整體規劃；校正場的營運作業、校正場維護、校正場後續加值利用及校正場的認證。

第六章-結論及建議。

#### **空載光達部分：**

第一章-說明光達校正場所需條件；地形平坦、建物分配平均、植被覆蓋率低、附近具有 GPS 連續觀測站。

第二章-說明各個校正場選擇區背景條件；說明校正場選擇區有無飛行管制、使用限制。

第三章-進行各個校正場比較；針對校正場選擇區優缺點比較。

第四章-結論。

#### **議題三、校正場址所有權人初步調查資料。**

預選之場址有：

宜蘭區；包含宜蘭大學、宜蘭中央公園、利澤工業區及龍德工業區。

新竹區；清華大學、交通大學、新竹科學園區及工業技術研究院。

台中區；台中港加工出口區。

彰化區；彰濱工業區。

南投區；中興新村及南崗工業區。

農航所；鹿港區及大坑區。

除了台中區，有所顧慮，擔心航空標會破壞原有景觀外，其餘單位皆樂意配合使用。

#### **議題四、校正項目認證**

基於國內擁有數位式攝影機之廠商對於本校正場的信任與提昇本校正場運作效益與效率，實施認證確有其必要性。



## 陸、廠商參訪

### 一、需求參訪影像(部分)

	
<p>詮華國土測繪有限公司(一)</p>	<p>詮華國土測繪有限公司(二)</p>
	
<p>農林航空測量所(一)</p>	<p>農林航空測量所(二)</p>
	
<p>儀器科技研究中心(一)</p>	<p>儀器科技研究中心(二)</p>

## 二、需求訪談議題要點整理

訪 談 內 容	訪 談 時 間
<p>議題一、儀器室內(原廠)校正之內容及頻率。</p>	
<p>詮：數位航空攝影機原廠僅提供率定報告書，所使用率定設備不知道，將與臺灣代理商鷹圖公司聯繫，瞭解室內校正之設備。 除航空攝影機在操作上有明顯異狀或更新硬體設備，需送原廠校正外，每年將像機上之 Logfile 回傳臺灣代理商，再送原廠檢校該檔案，校正完成後，將新檔案複製到像機內即完成校正手續。 硬體設備目前有兩套，目前採資料確認而未將硬體送回原廠校正。 LiDAR 採購一年多未回原廠校正。</p>	100.05.18. 10:00
<p>農：ADS40 與 DMC 至目前為止，未回原廠校正。但利用拍攝後，將原始影像資料回傳給原廠，原廠再將修正資料，以檔案方式傳送回來，將該檔案複製到機器內，由機器自行裝取修正影像。</p>	100.05.18. 14:30
<p>群：數位航空攝影機原廠僅提供率定報告書，於 93 年採買一套，99 年該套寄回原廠回收，再升級為 XpW。前三年保固期內每年將硬體寄回原廠保養(合約規定)，保養期約為 4~6 星期，費用為運費及保險，其餘在保固期內免費，約為 10~20 萬元左右；保固期後每年將拍攝後的原始影像資料寄給原廠，原廠發現有問題，再進行修正，目前硬體皆未回原廠。LiDAR 採買 1 年多，未回原廠。</p>	100.05.19. 10:30
<p>中：由原廠出廠時，在實驗室內校正，並提出出廠率定報告書，另有一上小型像機與 LiDAR 主機結合在一起，其率定由國外原廠率定，並提供率定報告書。</p>	100.05.19. 13:30
<p>鷹：無強制送廠，由使用者自行決定送驗，通常為影像或硬體儀器有異樣，使用者送廠。保固期內(一年一期，保固費約 10 萬美金左右)，除運費外免費。</p>	100.06.03. 10:00

(續下頁)

訪 談 內 容	訪 談 時 間
宏：建議兩年內回廠檢修，但目前仍無送廠維護之儀器，費用約 100 萬新台幣左右。	100.06.03. 14:00
自：原廠校正方法有二。一是相機送回原廠，或是將相片寄回原廠。校正時，進行 cross fly，航高分別為 1000 m 與 2000 m，率定用面積為 1 km*1 km。	100.05.17.
亞：LiDAR 部分：ALS50 自 2010 年 10 月已未再使用。LiDAR 原廠沒要求回廠校正，但原廠要求代理商定期清潔光纖接頭。LiDAR 用的相機為 Rollei 的，自 2010 年 10 月已未再使用	100.05.18.
國：校正內容有內方位校正，積分球進行輻射校正。平均一年進行一次校正。	100.05.25. 多光譜儀 VCDi， 高光譜儀。

詮：詮華國土測繪有限公司。

農：行政院農業委員會農林航空測量所。

群：群立科技股份有限公司。

中：中興測量有限公司。

鷹：台灣鷹圖股份有限公司。

宏：宏遠儀器有限公司。

自：自強工程顧問有限公司。

亞：亞新國土科技股份有限公司。

國：國家實驗研究院儀器科技研究中心。

訪 談 內 容	訪 談 時 間
<p>議題二、儀器戶外作業時，自我校正方法、校正場址。</p>	
<p>詮：數位航空攝影機利用檢查空中三角測量之平差報表來實行自我檢校硬體設備，至目前為止，透過外業查核與空中三角測量解算之精度至模型上機檢查，並與前次作業之成果互相比對，未發現有精度不足或差異，顯示硬體無明顯之問題。</p> <p>色彩(輻射)校正目前採用原廠的校正表調整色彩，再軟體自動匹配，若發現色彩有錯開現象，則修正。若供應影像給後續使用者，則影像色彩隨影像使用者之視覺效果偏好而有些微調整。</p> <p>航空攝影機校正場目前有維護的場址設置於彰化縣鹿港區內大小約 3 公里見方，地面有 20~30 個地面標，飛行採用井字形方式飛行。</p> <p>LiDAR 校正場設置於彰濱工業區內，平直的道路，長度約 1.2 公里左右，寬度約為 20 公尺左右，每 5 公尺以全測站(Total Station)量測道路剖面高程，約量測兩千多個地面點位(未設置明顯物)高程，與 LiDAR 實測值比對。利用兩條航線間同一建物之屋頂邊界線來確認平面的相對位置，若有差異，則會調整 IMU 上的參數值來進行修正。</p>	
<p>農：ADS40 與 DMC 之率定場皆相同，位於彰化縣鹿港，涵蓋大小約為 1/5,000 圖幅 4 幅左右。另於台中近郊至大坑山區約 50 幅圖之場地，僅作為本所新購數位航空攝影機之驗收場地，且皆為四翼標，未特別維護，但部分接近大坑山區屬軍事區，申請非航許可不容易。以上場地，本所皆作為參數率定(calibration)或測試用途，並未使用於設備校正(correct 或 adjust)用途。</p> <p>利用立製作業時發現問題，或硬體有拆裝時，就校正場飛行測試率定。</p>	
<p>群：LiDAR 校正場設置於台中港附近，根據原廠說明書規定尋找，需有傘狀及圓形建物，且地面道路上無車通行，才能提供給原廠校正檢查。但該校正場位於台中機場民航機航道之下，因此沒有航班飛行時，才能進場拍攝，通常為中午時刻。每月飛行一次校正場，並與前次參數比對，有差異才進行修正。</p>	

(續下頁)

訪 談 內 容	訪 談 時 間
<p>中：LiDAR 利用校正場內大型房屋的邊界線以相鄰航帶的資料，來進行平面的相對精度校正。LiDAR 校正場設置於彰濱工業區內，且建物容易取得。</p>	
<p>自：目前國內無自己的相機校正場。</p>	
<p>亞：1、在每次進行施測作業時，在台中港工業區進行校正。校正時，找有斜屋頂且建物分布平均的地方，進行 8 次 cross fly，航高 750m 及 1500m。</p> <p>2、校正時，進行 cross fly，航高分別為 500m 與 800 m，率定面積用 1 km*1 km。</p>	
<p>國：進行拍攝時，直接在拍攝區進行測量。校正場以前在軍功寮，現在台中縣鐵規山，未來將在彰化鹿港(農航所)。目前校正場大小約 5km* 5km，內有 30 個左右分布平均的控制點(十字標)，進行 cross fly，航線為：4 條南北向、2 條東西向航線，在不同航高進行校正，重疊率 60%。</p>	

訪 談 內 容	訪 談 時 間
議題三、儀器使用頻率、拆卸頻率。	
詮：數位航空攝影機利用大鵬航空兩架飛機幾乎專機專用，專案使用，目前天氣好就需航拍，拆卸頻率不高(每年約 2~3 次)。LiDAR 拆卸頻率也是每年 3~4 次。	
農：專機專用，但一台載具進廠維護，剩一台載具執行任務之時，拆卸頻率較高，拆卸頻率每年約 1~2 次。	
群：載具有大鵬及群鷹翔，地調所案，裝於群鷹翔的飛機上，目前未拆卸過，但其他案子約每年 10 次左右。將感應器(含 GPS/IMU)全部裝置於一塊大鐵板上，每次只要拆卸該鐵板上的螺絲，就可以拆裝(相對位置不變)，因此，在不同載具上只要輸入不同參數值，並不需重新校正。	
中：視計畫的需求，拆卸儀器，每年約 6~7 次，每次拆卸就會進入校正場飛行，進行校正。	
自：相機用完就拆，平均每半個月拆裝一次。由起飛到降落平均一年用 200 小時。	
亞：自 2010 年 10 月已未再使用。	
國：平均一年拆卸 12 次。	

訪 談 內 容	訪 談 時 間
議題四、儀器的配備(含 GPS/IMU 及載具)。	
詮：數位航空攝影機兩台皆內建配有 GPS/IMU，且與主機體為整體性組合在一起，不能分開，精度一致。	
農：ADS40 與 DMC 皆配有 GPS/IMU，專機專案使用。	
群：航空攝影機 99 年加裝 GPS/IMU，目前測試中。LiDAR 採買時即裝有 GPS/IMU，另加裝一台小型的同步攝影像機。	
中：拍攝河道彎曲或高山較高飛機無法達到之高度，使用之載具為直昇機。有時租借不到飛機時，亦會採用直昇機為載具。  直昇機上裝載 GPS/IMU，實際驗證與飛機上之軌跡比對並無不同。	
自：相機焦距 100 mm，含有 GPS 與 IMU，載具為固定翼航空器或直升機。	
亞：具有 GPS 與 IMU，載具為固定翼航空器或直升機。	
國：含有 GPS 與 IMU，載具為固定翼航空器。	

訪 談 內 容	訪 談 時 間
<p>議題五、期望校正場能提供的比例尺及精度(GSD)。</p>	
<p>詮：依目前業主需求規範大多為 1/1,000(GSD10 公分)，只有少數業主需求為小比例尺 1/20,000(平均為 GSD28 公分)。</p>	
<p>農：依航照需求而定，目前以 GSD25 公分為主，若要校正，期望以 GSD20 公分。</p>	
<p>群：GSD10~25 公分，目前 CCD 的解析力越來越強，若 GSD 值定太高，則載具距離地面高度要越高，而目前國內載具的極限高度大多在 4000 ~ 5000 公尺，若再提高對於載具是一項挑戰，氣候因素也越不利，雲霧產生的機會越大。</p>	
<p>中：目前僅有 LiDAR 上隨附之小型像機，該像機供協助判釋點雲之用，並不用於測繪地形圖。</p>	
<p>自：期望校正場能提供 1000 m 精度 GSD 6 cm，2000 m 精度 GSD 12 cm。</p>	
<p>亞：1、就 LiDAR 而言，校正只是針對 POS 的校正，無精度之需求。 2、LiDAR 用的相機的率定標準不應該與航照的率定標準一樣，在高度 500 m 時，GSD 為 9 cm。</p>	
<p>國：期望校正場能提供高光譜儀飛行高度 1500~2700 公尺 GSD：1~2 m。VCDi 飛行高度 1200~1800 公尺 GSD：50 cm。</p>	



訪 談 內 容	訪 談 時 間
<p>議題六、期望校正場的規模大小及場址。</p>	
<p>詮：數位航測攝影機校正場大小至少要涵蓋一張像幅，飛行方式採交叉對向飛行，至少要有東、西、南、北四個方向，布設 30 個左右地面點。LiDAR 校正場大小長度為 2 公里，寬度 20~40 公尺，每 5 公尺間距量測 1 個高程值。場址位於中部以北至宜蘭皆能接受，彰濱區域若建置 LiDAR 校正場需考慮場址沈陷問題。</p>	
<p>農：校正場需避開軍事管制區，以免造成申請飛航許可繁雜。校正場的規劃具備多樣尺度彈性，內容包括拍攝航高、解析度、空標形式等。</p>	
<p>群：大小以兩條航帶的寬度為主，飛行採井字形飛行，交會點較多，可得之校正資料也較多。另校正場主要以幾何、空間解析力校正為主，輻射校正對於色彩認定，爭議較多，校正場的規模可以暫時不考慮輻射校正。</p>	
<p>中：LiDAR 需平直道路，長度約 2.0 公里，高差不大，垂直該道路並將 FOV 開啟到最大角度飛行，進行 LiDAR 校正。航高最好有 3 種高度，參數值較為精準。</p>	
<p>自：希望場址在北中區，離機場近的公有地。校正場的航標需每年校正。</p>	
<p>亞：希望場址在北中南區均有，離機場近的公有地，建物有斜屋頂且分布均勻。</p>	
<p>國：室外校正場希望場址在中區，大範圍 5km*5km，人為干擾小的地點。</p>	

訪 談 內 容	訪 談 時 間
<p>議題七、期望校正場的使用費用、頻率、時機。</p>	
<p>詮：期望每年校正一次，率定時間約為政府公告案件之前為宜。LiDAR 校正場使用次數需較多一些，每年約 3~4 次。校正場的使用費用為校正場的維護費用(如：清標、量測地面點平面坐標值及高程)去平均分擔。</p>	
<p>農：校正頻率依工作規範內所要求，如：需提出近三年(或五年)內之率定報告書，校正場開放使用時間每年三個月(最好是非雨季時間)。費用包含場地維護費、坐標測量及認證規費，每次全部 20 萬元左右，各項若能分開更好，則分為維護其間及非維護期間。</p>	
<p>群：費用每次 3~5 萬元，廠商還要自行負擔飛航之費用約 30 萬元左右。校正頻率以一年半至兩年一次，因國內氣候因素，要無雲的天候，不易尋得。開放時間以夏季為佳，並且於東北季風開始之前。</p>	
<p>中：期望每次拆卸皆能校正一次，但基於成本與載具因素，校正次數越少越好，每年一次為佳。依使用次數頻率平均分攤費用，每次約 10~15 萬。</p>	
<p>自：希望校正場提供免費服務。由於測量規範 5 年測一次太久，建議 3 年進行一次校正。率定時基建議每年的 1~5 月之間。</p>	
<p>亞：希望校正每年測一次，率定時機建議每年秋季。</p>	
<p>國：期望校正場提供免費服務。儀器拆卸一次校正一次。希望可以隨時使用，建議校正時間為每年 9~11 月。</p>	

訪 談 內 容	訪 談 時 間
<p>議題八、受訪單位建議事項。</p>	
<p>詮：因目前航測系統受 GPS/IMU 的影響越來越大，所以，期望校正場也能提供 GPS/IMU 的校正，便於提供 1/1000 比例尺使用。 校正場的範圍內，設置至少含 1 個之永久性地面基站，由國土測繪中心維護，亦可同時供 eGPS 測站用。</p>	
<p>農：若經費許可，購買光譜儀，與校正之航測儀器同時置放於載具上，對地面標進行輻射校正作業。 永久性地面點是否納入測量標保護法中？地面點的幾何標能夠美化使其成為公共藝術品，如：水塔上設置標點，兼具測量與藝術。設置地點除了透空度外，亦需注意是否因太陽角度的關係，產生的陰影會遮住地面點，尤其是在冬天。 地面點若於私人土地，是否可以給予適當經費，請私人協助保護地面點？ 校正場內或附近區域，設置 2 個(或以上)的地面基站，供 GPS/IMU 使用。</p>	
<p>群：政府標案之合約約定航遙測系統需經校正場率定才得使用，當業界於校正場開放時間後才採買感應器設備，則無法使用該設備。建議校正場能分為開放期間與非開放期間，非開放其間地面坐標未經檢定，是否可先行以先前坐標認證？待隔年檢定後再認證一次；或以原廠的率定報告書為參考資料，待開放期間再認證。 GPS/IMU 目前沒有校正作業，但情形未知，精度、可靠度不明，連原廠也沒此作業，建議能增加 GPS/IMU 校正項目。 地面 LiDAR 國內有越來越多的趨勢，建議能增加地面式 LiDAR 的校正場。</p>	
<p>中：LiDAR 上所附之像機，該像機像幅小，不做測繪(地形圖)，只用於輔助 LiDAR 點雲之判釋，建議該像機不納入感應器校正範圍內。</p>	

(續下頁)

訪 談 內 容	訪 談 時 間
<p>自：1、希望校正場建立的標準以中庸為原則。</p> <p>2、若訂定太高，案子由校正不合格之廠商得標該怎辦？</p> <p>3、在收費原則下，計劃案要包含校正費。</p> <p>4、建議校正場設立在台北盆地，校正場要有 E-GPS，且要提供校正場 E-GPS 的接收品質。</p>	
<p>亞：在收費原則下，計劃案要包含校正費。</p>	
<p>國：1、由於校正時，受天氣影響大，希望校正場附近有氣象站，或者架設監視器以便隨時觀看當地天氣。</p> <p>2、在校正場架設 GPS 站，GPS 頻率為 0.5 秒一筆。並且建議校正場之 GPS 站在申請校正後，可以立刻取得資料。</p> <p>3、當有緊急災變發生時，在災區進行觀測的次數會增加，建議在災區架設簡易校正場。</p> <p>4、建議建立室內輻射校正。</p>	

柒、散會：中午 12 時 30 分

捌、簽到單

內政部國土測繪中心  
「100年度建立航遙測感應器系統校正作業」  
第一次工作會議

壹、時間：100年06月10日星期五 上午10:00

貳、地點：中華民國航空測量及遙感探測學會 會議室

參、主席：王教授蜀嘉

記錄：林孜彥

肆、出席人員：(如簽名)

內政部國土測繪中心

蔡承欣

李佩珊

中華民國航空測量及遙感探測學會

王蜀嘉

林孜彥

吳品儀

達雲科技有限公司

趙志源 潘成 鍾郁翹

# 內政部國土測繪中心

## 「100 年度建立航遙測感應器系統校正作業」

### 第二次工作會議紀錄

壹、時間：100 年 07 月 06 日（星期三）下午 01：30

貳、地點：達雲科技有限公司 會議室

參、主持人：劉執行長進金 記錄：林孜彥

肆、出席單位及人員：如會議簽到單。

主辦單位（甲方）：內政部國土測繪中心

承辦單位（乙方）：中華民國航空測量及遙感探測學會  
達雲科技有限公司

### 伍、討論提案

#### 議題一、專家學者會議的籌備情況。

研擬與會專家學者名單，於 100 年 06 月 16 日提報測繪中心，並於 100 年 06 月 29 日檢送會議資料(含：議程、議題、航測像機及空載光達系統場址綜合考量分析因素)。簡報內容及電子檔將於 100 年 07 月 13 日製作完成。

#### 議題二、臨時動議

##### 1.國內外校正場完整資料的蒐集狀況。

本月蒐集日本之資料並與其相關單位(社團法人日本攝影測量學會)聯繫。芬蘭已聯繫但未回應，將持續聯繫。並請瞭解其他國家校正場運作之細節(如：相關規範或要點、作業程序、作業手冊、認證機制等)。並請注意需有關校正場建置原理及方法相關內容。

##### 2.航測像機及空載光達校正場建置方案。

航測像機、空載光達校正場建置方案(草案)兩者書寫格式儘量一致，草案內容所提名詞定義需明確，避免模稜兩可之詞出現(如：大風沙)。航測像機校正場所用改良式西門子標，以實際狀態繪製，避免誤導。空載光達校正場建置方案就場址設計、大小、形狀及相關設置條件

(如：大型斜屋頂)，多加說明並修正。

**3.場址綜合考量分析因素表。**

各分析項目內之條件，與校正場建置方案內所提之數據值應互相對應。

**陸、散會：下午 03 時 30 分**

## 捌、簽到單

### 內政部國土測繪中心

#### 「100 年度建立航遙測感應器系統校正作業」

#### 第二次工作會議

壹、時間：100 年 07 月 06 日星期三 下午 13：30

貳、地點：達雲科技有限公司

會議室

參、主席：劉執行長進金

記錄：林孜彥

肆、出席人員：(如簽名)

內政部國土測繪中心

蔡季欣

黃英亨

李佩珊

中華民國航空測量及遙感探測學會

林孜彥

達雲科技有限公司

王水金  
陳清成  
鍾郁翔



# 內政部國土測繪中心

## 「100年度建立航遙測感應器系統校正作業」

### 第三次工作會議紀錄

壹、時間：100年08月10日（星期三）上午10：00

貳、地點：中華民國航空測量及遙感探測學會 會議室

參、主持人：王教授蜀嘉 記錄：林孜彥

肆、出席單位及人員：如會議簽到單。

主辦單位（甲方）：內政部國土測繪中心

承辦單位（乙方）：中華民國航空測量及遙感探測學會  
達雲科技有限公司

### 伍、歷次工作會議決議辦理情形

決議事項	辦理情形	備註
國內外校正場完整資料的蒐集狀況，並與各校正場之負責人加強聯繫。	依決議辦理與國外各校正場之負責人加強聯繫。	結案
校正場建置方案(草案)兩者書寫章節格式一致。	依決議辦理。	結案
基於國內擁有數位式攝影機之廠商對於本校正場的信任與提昇本校正場運作效益與效率，實施認證確有其必要性。	蒐集國外校正場認證機制資料，並於完成後提出討論。	本次會議討論
研擬與會專家學者名單，於100年06月16日提報測繪中心，並於100年06月29日檢送會議資料(含：議程、議題、航測像機及空載光達系統場址綜合考量分析因素)。簡報內容及電子檔將於100年07月13日製作完成。	專家學者會議於100年07月15日在內政部國土測繪中心會議室順利舉行完成，並於100年08月05日將會議紀錄寄送給專家學者們。	結案
國內外校正場完整資料的蒐集狀況，並請注意有關校正場建置原理及方法相關內容。	國內外校正場作業蒐集資料之修正已於08月04日完成並送交國土測繪中心。	結案

決議事項	辦理情形	備註
校正場建置方案(草案)兩者書寫格式儘量一致，草案內容所提名詞定義需明確，避免模稜兩可之詞出現。	依決議辦理修正，並於 08 月 04 日完成並送交國土測繪中心。	結案
場址綜合考量分析因素分析項目內之條件，與校正場建置方案內所提之數據值應互相對應。	依決議辦理修正，並於 08 月 04 日完成並送交國土測繪中心。	結案

## 陸、工作事項辦理情形

### 工作整體進度報告(統計日期 100 年 07 月 31 日)：

- 1.100 年 07 月 15 日於內政部國土測繪中心會議室舉行專家學者會議。
- 2.100 年 07 月 18 日檢送專家學者會議紀錄相關資料予國土測繪中心。
- 3.100 年 07 月 31 日提送 07 月份工作進度報告。
- 4.期中報告書完成章節擬定及部分內容撰寫，進度約達 50%。

## 柒、討論提案

### 議題一、期中報告書進度討論。

- (一) 期中報告規劃撰寫大綱大致符合契約書規定。
- (二) 航遙測感應器介紹--空載光達系統章節，請將強度值(Intensity)介紹納入。
- (三) 期中報告書預定於 100 年 08 月 18 日完成。

### 議題二、校正作業場址選定會議籌備討論。

- (一) 校正作業場址選定會議預計 100 年 09 月中上旬於內政部國土測繪中心會議室舉行。與會人員名單將於 100 年 08 月底前函報內政部國土測繪中心，並於開會前 2 週函報會議資料(含：議程、議題)，簡報資料則於開會前 1 週製作完成。
- (二) 本次會議校正作業場址選定，規劃採列舉方案方式討論。本團隊將列出各預選校正場址影響因素之優劣，以評定優先順序，並提出於會議中討論之，並將討論結果送測繪中心。

### 議題三、認證機制討論。

(一) 本校正場為國內第一座國家建設之航遙測感應器系統校正場，考量本校正場未來實際運作效益與效率，實施認證確有其必要性。

(二) 經參考各國認證機制，分述如下：

- 1、美國認證機制採廠商認證機制，由 USGS 自行發認證書給廠商。
- 2、歐盟國家的校正場雖然運行已有數十年的歷史，但其皆為提供學術研究或提供場地給儀器製造商測試儀器性能，並未從事商業認證行為，目前正在規劃歐盟國家間合作進行認證。
- 3、日本設置的校正場雖有收費，其所收費用僅供場地維護(如：修護控制點、修剪雜草)，且至目前為止僅提供樁位坐標標準值，並無發給使用者認證書，其認證作業仍在規劃中。

環觀國外各校正場認證機制都為校正場地擁有者自行給予認證或僅提供驗證儀器性能，並未實行認證，亦尚無由第三者公正單位認證之作業機制。

(三) 本年度仍請先了解本案所規劃校正項目納入 TAF 校正領域認證項目之流程，並評估各校正項目納入 TAF 認證之可行性進行研究，先列出目前認證可行之項目(如：幾何標、空間解析力標)，待未來校正場建置完成並實際試行運作後再提出執行 TAF 認證作業項目建議。

### 議題四、臨時動議----校正標設計及製作可攜式校正標。

- (一) 請團隊將進行詳細資料收集及評估，以規劃製作固定式或可攜式之校正標並於空載光達系統校正場建置方案中提出。
- (二) 請團隊依照所規劃校正標規格，依照契約期程辦理可攜式校正標製作。

**捌、散會：下午 02 時 00 分**

玖、簽到單

內政部國土測繪中心  
「100年度建立航遙測感應器系統校正作業」  
第三次工作會議

壹、時間：100年08月10日星期三 上午10:00

貳、地點：中華民國航空測量及遙感探測學會

會議室

參、主席：王教授蜀嘉

記錄：林孜彥

肆、出席人員：(如簽名)

內政部國土測繪中心

林昌鑑

李佩珊

黃英亭

中華民國航空測量及遙感探測學會

王蜀嘉

史文元

林孜彥

達雲科技有限公司

王

陳璋成

鐘郁翔

# 內政部國土測繪中心

## 「100 年度建立航遙測感應器系統校正作業」

### 第四次工作會議紀錄

壹、時間：100 年 09 月 13 日（星期二）上午 10：00

貳、地點：中華民國航空測量及遙感探測學會 會議室

參、主持人：劉執行長進金 記錄：林孜彥

肆、出席單位及人員：如會議簽到單。

主辦單位（甲方）：內政部國土測繪中心

承辦單位（乙方）：中華民國航空測量及遙感探測學會  
達雲科技有限公司

### 伍、歷次工作會議決議辦理情形

決議事項	辦理情形	備註
期中報告書於航遙測感應器介紹--空載光達系統章節，將強度值(Intensity)介紹納入，並預計於 100 年 08 月 18 日完成期中報告書。	依決議辦理於報告書中增列強度值介紹，並於 100 年 08 月 23 日提送期中報告書。	結案
校正作業場址選定會議預計 100 年 09 月中上旬於內政部國土測繪中心會議室舉行。與會人員名單將於 100 年 08 月底前函報內政部國土測繪中心，並於開會前 2 週函報會議資料(含：議程、議題)，簡報資料則於開會前 1 週製作完成。	校正作業場址選定會議訂於 100 年 09 月 19 日於內政部國土測繪中心會議室舉行。與會人員名單與會議資料已函報內政部國土測繪中心。	結案
本年度請先了解本案所規劃校正項目納入 TAF 校正領域認證項目之流程，並評估各校正項目納入 TAF 認證之可行性進行研究，先列出目前認證可行之項目(如：幾何標、空間解析力標)，待未來校正場建置完成並實際試行運作後再提出執行 TAF 認證作業項目建議。	依決議辦理於後續作業持續了解規劃認證流程，並於期末工作總報告書中提出可行性研究。	錄案持續追蹤
請團隊進行詳細資料收集及評估，以規劃製作固定式或可攜式之校正標並於空載光達系統校正場建置方案中提出。	依決議辦理於空載光達系統校正場建置方案中提出。	結案

## 陸、工作事項辦理情形

工作整體進度報告(統計日期 100 年 08 月 31 日)：

- 1.100 年 08 月 04 日檢送校正作業蒐集資料、建置方案及場址綜合考量分析因素修正成果資料予國土測繪中心。
- 2.100 年 08 月 05 日檢送專家學者會議紀錄相關資料予各專家學者。
- 3.100 年 08 月 23 日提送期中報告書予國土測繪中心。
- 4.100 年 08 月 31 日提送校正作業場址選定會議出席名單予國土測繪中心。
- 5.100 年 08 月 31 日提送 08 月份工作進度報告。

## 柒、討論議題與結論

議題一、校正作業場址選定會議選定場址討論。

結論：

- (一) 請整合航測攝影機大、小比例尺校正作業場址範圍、空載光達場址範圍之向量圖及影像圖，以利有效呈現相對位置關係。
- (二) 請參考正射影像預選校正標放置位置，並將選定位置土地使用類型列出。

議題二、校正標設計及製作缺失討論。

結論：

- (一) 輻射校正標各灰階油漆使用，需考慮後續維護時能保持色調一致性，可參考油漆公會依所認可色卡生產之油漆。
- (二) 可攜式之西門子星(Siemens star)校正標，需考量未來作業上維持幾何正確性，建議底部材質需採用伸縮性不大之材質，避免後續認證產生不確定度之因子。
- (三) 空載光達如要採用高樓突出物(如：電梯間、水塔等)當校正標，優先考慮公有建物(如：公務機關、學校等)，以方便後續維護作業。
- (四) 空載光達校正標若採用高樓突出物，請先思索如何獲取高樓突出物中心點坐標，並請注意測量儀器必須通過 TAF 或相關追

溯，且考量計算函式可能引入之誤差，以進行未來認證及不確定度分析工作。

### 議題三、臨時動議----認證機制討論。

#### 結論：

- (一) 實施認證確有其必要性，請團隊參考芬蘭大地研究院(Finnish Geodetic Institute)測試場校正程序流程，評估本案認證作業流程，並於工作總報告書提出本案認證流程規劃。
- (二) 請團隊就本案校正項目納入 TAF 認證之可行性進行評估，包含：可行性評估、可能遭遇問題及提出對策，相關結果請納入工作總報告書說明。

捌、散會：中午 12 時 00 分



玖、簽到單

內政部國土測繪中心  
「100年度建立航遙測感應器系統校正作業」  
第四次工作會議

壹、時間：100年09月13日星期二 上午10:00

貳、地點：中華民國航空測量及遙感探測學會

會議室

參、主席：劉執行長進金

記錄：林孜彥

肆、出席人員：(如簽名)

內政部國土測繪中心

蔡李欣

李佩珊

邱明全

中華民國航空測量及遙感探測學會

林孜彥

達雲科技有限公司

王忠義

鐘郁翔

# 內政部國土測繪中心

## 「100 年度建立航遙測感應器系統校正作業」

### 第五次工作會議紀錄

壹、時間：100 年 10 月 07 日（星期五）上午 10：00

貳、地點：中華民國航空測量及遙感探測學會 會議室

參、主持人：王教授蜀嘉 記錄：林孜彥

肆、出席單位及人員：如會議簽到單。

主辦單位（甲方）：內政部國土測繪中心

承辦單位（乙方）：中華民國航空測量及遙感探測學會  
達雲科技有限公司

### 伍、歷次工作會議決議辦理情形

決議事項	辦理情形	備註
參考正射影像預選校正標放置位置，並將選定位置土地使用類型列出。	依決議辦理。	結案
輻射校正標各灰階油漆使用，需考慮後續維護時能保持色調一致性，可參考油漆公會依所認可色卡生產之油漆。	本案輻射校正標設計原理為相對性比較，不考慮絕對輻射，故不需維持色調絕對一致，惟需維持色調相對性即可。油漆則參考油漆公會所認可色卡。	結案
可攜式之西門子星(Siemens star)校正標，需考量未來作業上維持幾何正確性，建議底部材質需採用伸縮性不大之材質，避免後續認證產生不確定度之因子。	依決議辦理。	結案
空載光達如採用高樓突出物當校正標，優先考慮公有建物(如：公務機關、學校等)，以方便後續維護作業。	依決議辦理。	結案
空載光達校正標若採用高樓突出物，請先思索如何獲取高樓突出物中心點坐標，並請注意測量儀器必須通過 TAF 或相關追溯，且考量計算函式可能引入之誤差，以進行未來認證及不確定度分析工作。	依決議辦理。	結案

## 陸、工作事項辦理情形

### 工作整體進度報告(統計日期 100 年 08 月 31 日)：

- 1.100 年 09 月 13 日於中華民國航空測量及遙感探測學會三樓會議室舉行第四次工作會議。
- 2.100 年 09 月 16 日提送第四次工作會議紀錄。
- 3.100 年 09 月 19 日於內政部國土測繪中心會議室舉行校正作業場址選定會議。
- 4.100 年 09 月 21 日提送期中報告書修正成果 3 份。
- 5.100 年 09 月 22 日提送校正作業場址選定會議紀錄資料 1 份。
- 6.100 年 09 月 30 日提送 09 月份工作進度報告。

## 柒、討論議題與結論

### 議題一、校正標設計及製作缺失討論。

#### 結論：

- (一) 有關校正標製作，為使反射面近似藍伯特反射 (Lambertian reflectance) 面，經參考芬蘭經驗，加入消光劑 (delustring agent) 方式可達成。請團隊優先訪查是否有印刷廠商願意配合加入消光劑印製，校正標儘量以印製方式製作，若客觀條件無法以印製方式製作，方得以人工噴漆或人工油漆方式辦理。
- (二) 校正標若需拼接時，需注意接縫穩固避免移動，可使用魔鬼氈、金屬環扣等方式辦理。

### 議題二、校正作業場址協調事項討論。

#### 結論：

- (一) 作業團隊於清查地籍資料後，請以電話聯繫或親自現場訪查方式協調場址所有權人或管理機關，務請加派人手儘速完成聯繫作業。
- (二) 校正場訪查順序，公務單位為第 1 優先，其次為公司行號，最後為私有地所有權人。

- (三) 請團隊備妥校正場整體設置規格說明、校正標布設分布、校正標套疊正射影像圖等資訊，提供訪查單位參考。

**議題三、臨時動議----工作總報告書撰寫及下年度規劃討論。**

**結論：**

- (一) 請作業團隊開始規劃工作總報告撰寫事宜，工作總報告中需提出衛星影像、SAR、非量測型像機及 UAV 系統校正場建置方案整體建置規劃及可行性評估、校正項目納入 TAF 可行性評估、校正訊息平台網站規劃等內容。
- (二) 請作業團隊參考本案執行計畫，於下次工作會議中預先規劃並提出下(101)年度校正作業工作項目及時程。

**捌、散會：中午 12 時 30 分**

玖、簽到單

內政部國土測繪中心

「100年度建立航遙測感應器系統校正作業」

第五次工作會議

壹、時間：100年10月07日星期五 上午10:00

貳、地點：中華民國航空測量及遙感探測學會

會議室

參、主席：王教授蜀嘉

記錄：林孜彥

肆、出席人員：(如簽名)

內政部國土測繪中心

蔡季欣

黃英亭

李佩珊

中華民國航空測量及遙感探測學會

王蜀嘉

林孜彥

許存良

吳品儀

達雲科技有限公司

何心喻

鍾郁翔

# 內政部國土測繪中心

## 「100 年度建立航遙測感應器系統校正作業」

### 第六次工作會議紀錄

壹、時間：100 年 11 月 07 日（星期一）上午 10：00

貳、地點：達雲科技有限公司 會議室

參、主持人：王教授蜀嘉 記錄：林孜彥

肆、出席單位及人員：如會議簽到單。

主辦單位（甲方）：內政部國土測繪中心

承辦單位（乙方）：中華民國航空測量及遙感探測學會  
達雲科技有限公司

### 伍、歷次工作會議決議辦理情形

決議事項	辦理情形	備註
校正標採印製方式，需使其反射面為近似藍伯特反射。輻射校正標採拼接方式，需穩固其接縫處避免移動。	依決議辦理。	結案
作業團隊於清查地籍資料後，安排人員以電話或親自現場訪查，完成場址所有權人聯繫作業。訪查對象順序以公務單位為優先，其次為公司行號，最後為私有地所有權人。	已完成電話及現場訪查統計作業，刻正彙整各所有權人校正標布設圖說。	結案
請作業團隊於下次工作會議中先行提出下(101)年度校正作業初步流程及規劃。	本次會議已提出下年度工作初步規劃。	結案
請作業團隊就本案建置方案中衛星、SAR 及 UAV 系統校正場建置方案之可行性評估於期末總報告提出詳細說明。	依決議辦理。	結案

### 陸、工作事項辦理情形

工作整體進度報告(統計日期 100 年 10 月 31 日)：

- 1.100 年 10 月 04 日完成以立製方式重新確認校正標布設點位。
- 2.100 年 10 月 07 日假中華民國航空測量及遙感探測學會三樓會議室

舉行第五次工作會議。

3. 100年10月12日電話聯繫公司行號地籍所有權人。

4. 100年10月14日提送第五次工作會議紀錄。

5. 100年10月14及17日電話聯繫公家機關所有權人。

6. 100年10月18日至100年10月19日訪查南崗工業區地籍所有權人設置校正標意見。

7. 100年10月19日提送可攜式校正標書面及電子檔各乙份。

## 柒、討論議題與結論

議題一、校正標製作討論。

結論：八階灰度校正標於下(101)年度實際航拍測試後，再行修正塗劑(消光劑)劑量，以更接近理想的藍伯特反射面。

議題二、校正作業場址協調事項討論。

結論：

- (一) 作業團隊請加速完成場址預定區域內校正標布設圖說，以利國土測繪中心函文場址所有權人，請其同意主辦單位使用權。
- (二) 私人所有權人請作業團隊派人現場訪查，並將結果回報國土測繪中心。
- (三) 所有權人布設圖說，請依照國土測繪中心提供之圖說範例及製作說明，進行改善製作。

議題三、工作總報告進度討論。

結論：

- (一) 請作業團隊於100年11月09日提出工作總報告初稿。
- (二) 工作總報告書中請檢附歷次會議結論及審查意見並回覆相關辦理情形。

議題四、下(101)年度工作規劃討論。

結論：

- (一) 各校正標的坐標精度達航測攝影機最高像元解析度(或最小地面取樣距離)的 1/3 即可(美國及芬蘭要求為  $1\sigma=2\text{cm}$ )，因此，施測方式需可達此精度標準，且施測設備需使用通過 TAF 認證。
- (二) 下(101)年度教育訓練內容，以推廣、宣導航遙測感應器系統校正場設施、校正項目及內涵之說明會為目標，每梯次教育時間以 1 日(5 小時)為基準。
- (三) 下(101)年度校正程式，將配合國土測繪中心現有航測後處理軟體，就校正相關作業進行流程規劃及功能開發。

**捌、散會：下午 02 時 30 分**



玖、簽到單

內政部國土測繪中心  
「100年度建立航遙測感應器系統校正作業」  
第六次工作會議

壹、時間：100年11月07日星期一 上午10:00

貳、地點：達雲科技有限公司

會議室

參、主席：王教授蜀嘉

記錄：林孜彥

肆、出席人員：(如簽名)

內政部國土測繪中心

蔡季欣 黃英亭 李佩珊

中華民國航空測量及遙感探測學會

王蜀嘉 林孜彥  
史又元

達雲科技有限公司

張璋誠  
鍾郁翹



---

附件十七：工作總報告審查意見回覆彙整表



# 內 政 部 國 土 測 繪 中 心

## 「100 年度建立航遙測感應器系統校正作業」

### 工作總報告審查意見回覆彙整表

委員別	委員意見及建議事項問題	回覆辦理情形
蔡教授榮得	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 參考文獻引用格式有誤，且有漏列及不對應情形，請全面檢視修正，並請增列文獻的來源或出處，另建議自附件 15 移至本文第 10 章之後。</li> <li>2. 專有名詞之英文原文註記，僅第一次在報告書中出現時註記，往後以中文名詞表示即可，且英文原文第一個字母請以大寫表式，並需翻譯成中文，另請整併 4-4 與附件三名詞定義內容。</li> <li>3. P24 第 1 行「現行衛星均採推帚式…」描述有誤，請修正。</li> <li>4. 報告書內有關 SAR、衛星影像與非量測型像機及 UAV 系統校正場整體建置規劃及可行性評估內容份量不平衡，僅非量測型像機及 UAV 系統於附件七中有較完整描述，且校正標規劃與航測像機相同，建議調整。</li> <li>5. 附件 4 有標註研擬者及研擬日期，但附件 5、7 未標註，請補正。</li> <li>6. 建議事項中有關輻射校正標經地面量測與實際航空攝影後所得影像，應考慮大氣影響，根據大氣條件進行大氣輻射校正後與地面輻射記量測結果比較。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 已修正。詳見 P.107 ~ P.109。</li> <li>2. 已修正。詳見 P.111 ~ P.113。</li> <li>3. 已修正，詳見 P.22。</li> <li>4. 已修正，詳見第 5 章及第 6 章。</li> <li>5. 已補正，詳見附件 5、7。</li> <li>6. 日照及大氣參數係針對搖測應用而且必須與校正飛行同步才有意義，目前僅見到美國太空總署對衛星影像校正設計有此全天候連續量測設備。如果後續實驗發現必須同步量測日照及大氣影響，則建議本場僅在晴天開放日上下午以光譜儀各做二次得到日</li> </ol>

委員別	委員意見及建議事項問題	回覆辦理情形
	<p>7. P25 有關 SAR 英文全文之第二個字，應為「Aperture」，請修正。</p>	<p>變化曲線後，實際拍攝時間之日照及大氣狀況則內插求得，此點是否可行尚待後續實驗分析。</p> <p>7. 已修正，詳見摘要 I。</p>
<p>吳副所長水吉</p>	<p>1. 建議輻射糾正時考慮太陽角及大氣影響以利正射影像鑲嵌使用，另請問糾正後是否可消除該影響？</p> <p>2. 請問不同廠牌像機光譜、色調反應不同，是否應進行相關校正？</p> <p>3. 請問輻射校正規劃是針對融合後影像或各個單波段進行？</p> <p>4. P57 第 2 行「交由客觀的第三者進行量測分析後出具報告」，請問第三者需具備條件為？</p>	<p>1. 本校正場目的僅在確認攝影機性能，並不是修改影像。廠商雖可依據本校正結果修正影像融合時之輻射改正參數，但該改正並非本場責任或要求。</p> <p>2. 各廠牌攝影機之差異不可能藉由校正加以消除，況且要使不同廠牌攝影機拍得的影像色調一致並非本場任務。本場目的僅在驗證實際拍得之影像是否能達到如原出場檢定報告所宣稱之品質。</p> <p>3. 以國土測繪法所定義的應用測量來看，應該是針對成果影像亦即融合後影像進行校正。因為使用者最後收到或看到的是融合後影像。雖然目前大多數航測攝影機多譜波段的解析力比全色態低，融合後可能有色彩暈染的現象，但是因為本場比照芬蘭所設計的輻射校正標尺寸夠大，暈染現象應該不至於影響校正結果。</p> <p>4. 歐盟目前規劃是由參加歐盟數位航測攝影機校正研究的各個大學做為第三者。</p>

委員別	委員意見及建議事項問題	回覆辦理情形
	<p>5. 目前衛星影像校正場規劃僅止於福衛二號，國內所有衛星影像種類很多，請問是否應考量相關校正？</p> <p>6. SAR 與衛星影像校正場建置評估結論請納入第 10 章。</p>	<p>5. 衛星影像校正場之幾何部分，為與影像空間解析度相關者。目前以福衛二號為規劃標的者，可適用於任何空間解析度優於福衛二號者。對於像元對應地面大小大於福衛二號者，所需布設之標型將過於巨大，宜待確實有其需求時再考量布設。以符合經濟原則。</p> <p>6. 依委員意見將將上述結論納入第 10 章。</p>
<p>徐助理教授百輝</p>	<p>1. 多波段輻射校正在如土地利用調查或分類等有其必要性，建議加入可行性評估中。</p>	<p>1. 自動化遙測辨識國土利用調查分類在目前仍不可行，目前主要仍靠地面人工調查。如果未來會降低對正確率的要求或是自動判釋的準確率大幅提高到得以採用自動化遙測技術分類後，建議再行研究絕對校正。</p> <p>未來即使要做輻射值絕對校正，亦因考量以下困難：</p> <p>(1)航測攝影機生產廠商至今並未做絕對校正(除 ADS 型為了打開遙測市場正在研究以外)，目前收集到的研究資料不足以建置本場之絕對校正。即使貿然進行，可能會因牽涉到判定某廠牌合格與否的問題，招致攝影機製造商質疑。</p> <p>(2)絕對輻射校正僅對遙測應用有意義，而遙測既</p>

委員別	委員意見及建議事項問題	回覆辦理情形
		<p>非國土測繪法所涵蓋之應用測量範圍，又且即使航測攝影機經過絕對輻射校正亦不能保證所得影像符合「天然彩色」感覺，對測繪所需之正射像片圖沒有任何幫助。</p> <p>(3)遙測用的多譜感測器希望每個波段涵蓋的頻寬越窄越好（互相不可重疊，請查閱 ADS 校正報告內有關波譜涵蓋範圍圖），而航測攝影機設計的目的是影像要儘量接近「天然色彩」，以使正射影像看起來「自然」，因此紅、藍、綠三個波段互相之間重疊很多（請查閱 DMC、UltraCam 等的校正報告書內有關波譜涵蓋範圍圖），其目的是儘量模擬人眼感光神經連續涵蓋可見光譜之狀況，二者目的不同，自然不可能以其一去要求另外之一。建議可待未來航測攝影機改以遙測為目的時，再研究是否做絕對校正。</p> <p>(4)絕對輻射校正時必須知道影像拍攝瞬間校正標的雙向反射分布函數 (BRDF)，亦即地面上必須以光譜儀與航空影像拍攝同步量測校正標的波譜反應以及大氣修正參數，在經費以及執行上幾為不可能。目前僅見到美國太</p>



委員別	委員意見及建議事項問題	回覆辦理情形
	<p>2. 9-2 作業網站平台規劃較為空洞，建議增加整體架構規劃。</p> <p>3. 請整併 4-4 (P53)、P193 及 P257 專有名詞定義內容，並建議補充遙測、UAV 等領域相關專有名詞。</p> <p>4. 衛星影像校正場規劃僅限於福衛二號，是否有其他商用衛星校正之可行性評估？</p> <p>5. 校正標塗料資訊請於 7-3 內補充。</p>	<p>空總署有對衛星影像校正設計有此全天候連續量測設備。</p> <p>2. 已改寫第 9 章，詳見第 9 章。</p> <p>3. 已補增名詞，詳見 P.111 ~ P.113。</p> <p>4. 如同針對吳副所長水吉委員意見的第 5 點回應：衛星影像校正場之幾何部分，為與影像空間解度相關者。目前以福衛二號為規劃標的者，可適用於任何空間解析度優於福衛二號者。對於像元對應地面大小大於福衛二號者，所需布設之標型將過於巨大，宜待確實有其需求時再考量布設。以符合經濟原則。</p> <p>5. 已補充，詳見 P.84 ~ P.85。</p>
蔡副教授富安	<p>1. P61 第 3 段「本計畫不進行空載光達系統強度值校正」，惟最新的全波形光達已逐漸成為趨勢，未來是否可考慮進行空載光達輻射或波形校正的規劃或建議？</p>	<p>1. 單一頻率雷射只有輻射強度是否足以使回波強到足以辨認波形（或計算回波時間）之用，因此可依據是否有回波即可確認，沒有強度等級校正之必要。目前由文獻中所見的光達輻射校正僅有芬蘭為遙測目的對高光譜（多譜）地面光達所進行校正。但是高光譜光達尚未商用化，目前尚無必要對其校正。而且遙測分類目前尚非國土測繪法所規範之幾何測繪內容。</p>

委員別	委員意見及建議事項問題	回覆辦理情形
	<p>2. 請問後續是否規劃研擬標準作業程序(SOP)?</p> <p>3. 請說明獨立第三者認證與政府機關認證差異。</p> <p>4. 航測攝影機出廠前均經過嚴密率定，惟 UAV 製作上不若航測攝影機嚴謹，直接引用航測攝影機校正程序及場地是否合適？是否需進行其他校正項目？</p> <p>5. P63 有關衛星影像校正場可行性評估，請問衛星影像校正場建置是否可直接採用國家太空中心校正標？國家太空中心是否會提供必要資料及數據？衛星影像校正場除可供國內衛星影像使用外，也可提供商用衛星或科學研究用衛星所拍攝影像，建置衛星影像校正場有其必要性，建議可進一步思考不同地物光譜數據庫 (spectral library) 可行性。</p> <p>6. 專有名詞用詞前後不一致，請全面檢視修正。</p>	<p>2. 待後續實驗結果出來，得到校正項目細節（例如空三結點分布之位置及數目）以及校正相關標準(例如結點量測精度及光線數)等後，將設計校正 SOP。</p> <p>3. 目前朝向規劃由國土測繪中心執行校正。不另外委託第三者辦理校正。</p> <p>4. 本場目的在校正廠商之系統是否合於測繪需求。非量測攝影機與 UAV 組合後，其目的如在執行航空測量，則應該適用本場校正。報告書內已經增加對重疊率、航偏角及航傾角校正，其餘則請參考下面對蔡展榮委員建議第 4 點的回覆。</p> <p>5. 本團隊建議直接採用國家太空中心校正標與其資料庫，以避免重複投資。有關國家太空中心是否會提供必要資料及數據，建議甲方經由行政程序洽商。本案規劃之衛星影像校正場，確實可適用於商用衛星或科學研究用衛星所拍攝，地面光譜之蒐集將盡量求其完整。</p> <p>6. 已修正，詳見 P.111 ~ P.113。</p>
蔡副教授展榮	<p>1. P18 第 1 段第 3 行「Universitaet of Stuttgart」請修正以英文表示。</p> <p>2. P37 倒數第 3 行，請補充說明「2b 階段」為何？</p>	<p>1. 已修正，詳見 P.16 及 P.27。</p> <p>2. 已補充，詳見 P.38。</p>

委員別	委員意見及建議事項問題	回覆辦理情形
	<p>3. P44 第 7 行「數字推測為…」，請儘可能查證該數字意義，若能確認則刪除「推測」兩字，若無法確認，再採用此種寫法。</p> <p>4. 5-5 節 UAV 整理規劃建置內容於 P67「經過某些特殊處理」及 P68「如果廠商宣稱其非量測像機及 UAV 組合可符合航測規範要求…」，團隊假設一些前提成立後 UAV 可提送校正，若 UAV 通過認證後再行改裝或資料後處理出問題，恐有損認證的公信力，建議宜審慎設計與因應。</p> <p>5. P79 章節標題，建議修改為「航測攝影機校正標及維護方式規劃設計」。</p> <p>6. P86 第 1 段最後 1 行「15,708 個雷射點」請修正為「15.708 個雷射點」。</p> <p>7. P86 第 3 段第 2 行「點雲密度為 2pts/m<sup>2</sup>±10%」請修正為「點雲密度為 2pts/m<sup>2</sup>±10%」。</p> <p>8. P87 請放大圖 8-4 文字太小，以利閱讀。</p> <p>9. P94 第 1 段第 2 行「再配合本團隊自行開發的作業管理系統，適合技術轉移等服務」，請說明該作業管理系統的功能為？</p> <p>10. P94 倒數第 2 段最後 1 行，「PSF」的英文全名為何，請補充。</p> <p>11. P98 第 3 行「自行開發作業訊息平台所需經費初步估計為新台幣 45 萬元」，請列出估算費用包含哪些項目及各項目單價。</p> <p>12. 報告書用詞，如：P68 像機與攝影機、P82 感應器與感測器、P82 水平精度與平面精度，用詞前後文</p>	<p>3. 依委員意見確認數字為率定時所需之道路實測點編號，並刪除推測兩字，詳見 P.45。</p> <p>4. 感謝委員指教。由於非量測型攝影機及 UAV 必須由校正場附近起飛，易於現場檢視，未來可能會建議測繪中心在現場對受校之設備(攝影機、導航器、UAV 等)進行序號確認以及拍照存證方式，列於校正報告書內。</p> <p>5. 已修改，詳見 P.81。</p> <p>6. 已修改，詳見 P.88。</p> <p>7. 已修改，詳見 P.89。</p> <p>8. 已修改，詳見 P.90。</p> <p>9. 已修改，詳見 P.97。</p> <p>10. 已修正，詳見 P.99。</p> <p>11. 已補充，詳見 P.98。</p> <p>12. 已修正。像機改為攝影機，感測器改為感應器。水平精度改為平面精度。</p>

「100 年度建立航遙測感應器系統校正作業」案

委員別	委員意見及建議事項問題	回覆辦理情形
	<p>不一致，請全面檢視修正。</p> <p>13. 引用文獻格式，如：「，」、「.」位置前後不一致，請全面檢視修正。</p>	<p>13. 已修正。</p>
<p>白簡任技正 敏思</p>	<p>1. P11 第 2 段第 1 行請修正為國土測繪中心「測量儀器校正實驗室」。</p> <p>2. P29 倒數第 6 及 3 行、請修正為：一為彰化縣鹿港鎮「於中華民國 95 年 05 月設置」及一為台中近郊至大坑山區「於中華民國 96 年 04 月設置」。</p> <p>3. 空載光達校正場在表 4-8 (P29) 及 P32、圖 4-8 等內容前後不對應，請查明修正。</p> <p>4. 請分析校正場整體維護費用以利本中心後續校正場營運經費編列。另後續若由本中心認證營運時，請研擬相關法規配套、校正週期、認證收費、維護支出等機制。</p> <p>5. P85 章節標題，建議修改為「空載光達校正標及維護方式規劃設計」。</p> <p>6. P113 有關訪談亞新內容，請再瞭解亞新 ALS50 自 2010 年 10 月未再使用的原因。</p>	<p>1. 已修正，詳見 P.11。</p> <p>2. 已修正，詳見 P.28。</p> <p>3. 依委員意見補充詮華國土測繪公司率定場地圖文內容，使之與表 4-8 對應，詳見 P.28、P.31 及 P.32。</p> <p>4. 有關經費、法規、認證週期等問題，將在場地實際建置完成並經由實驗後再依據實際應該維護的工作負荷以及受校廠商負擔估計之。</p> <p>5. 已修正，詳見 P.87。</p> <p>6. 亞新國土因營運方向調整，故 2010 年 10 月後未再使用 ALS50。</p>
<p>工作小組</p>	<p>1. 請增加英文摘要及中/英文關鍵字。</p> <p>2. P11 提及「本會均將在參考國外經驗後，衡量國內條件做出幾種可行性分析，供國土測繪中心參考」，未在後續章節論述。第 2 段「本計畫亦將分析本校正場校正項目納入 TAF 認證的適合性」，惟於 9-1 節並無相關分析結果，請說明。</p> <p>3. P15 表 4-1 到數第 3 行「正式實施</p>	<p>1. 已增加。</p> <p>2. 已全面修正第 9 章，詳見第 9 章。</p> <p>3. 該項認證制度為預計實施</p>

委員別	委員意見及建議事項問題	回覆辦理情形
	<p>認證制度」，請說明該認證制度之內涵。</p> <p>4. 表 4-5 (P21) 特殊功能欄位內容 (EX: MPiA、FWD…)請提供簡要說明。</p> <p>5. P43 七、項標題請修正為「國外空載光達率定場」。</p> <p>6. P48 有關美國出具認證書/報告內容為僅作等級評定，請說明「等級評定」。</p> <p>7. P49 表 4-10 標題請修正為「各國空載光達率定場分析」。</p> <p>8. P51 備註內容註記「飛行計畫尚未通過」與校正場相關資訊並無相關，請刪除。</p> <p>9. P55 第 2 段第 4 行「盲目」字眼不宜出現，建議修改。</p> <p>10. P58 團隊針對校正場地尺寸及布設控制點（幾何校正標）點數調整時，提出以航線調整補足校正所需資訊，請以列出方案方式以利參考。</p> <p>11. P77 所有權人聯繫結果請以表格方式彙整呈現，以利評估整體辦理情形。</p> <p>12. 7-4(P83)請補充以油漆方式塗刷校正標及將鋼標固定於地面後，需移除時之配套措施。</p> <p>13. 圖 7-4 (P82) 左方兩區深色部分不易辨識，請改善。</p> <p>14. P83 內文提及「量測精度容許範圍」為何？以內插方式推定變化量是否合理?請說明。</p> <p>15. P91 並未敘明 TAF 能否納入本案</p>	<p>程序，但目前為止尚在討論研究中，詳見 P.56 第 2 段。</p> <p>4. 已說明，詳見 P.19。</p> <p>5. 已修正，詳見 P.44。</p> <p>6. 已修正，詳見 P.49。</p> <p>7. 已修正，詳見 P.50。</p> <p>8. 已修正，詳見 P.52。</p> <p>9. 已刪除，詳見 P.55。</p> <p>10. 已補充說明，詳見 P.58。</p> <p>11. 已製作表格，詳見 P.71。</p> <p>12. 已補充，詳見 P.85。</p> <p>13. 已調整色調，詳見 P.84。</p> <p>14. 此容許範圍須待後續實際於測試影像內取得數據後，再研訂之。如果發現內插精度不足，則建議提高觀測頻率。</p> <p>15. 已改寫第 9 章，詳見第 9</p>

委員別	委員意見及建議事項問題	回覆辦理情形
	<p>校正項目，請補充。</p> <p>16. 9-1 (P92-94) 一、項內第 2 段第 1 行：提及「依據國家實驗室各校正系統規劃工作」，請說明如何執行。二、項標題為可行性評估，惟所撰寫內容均為未來要辦理事項及目標，並無可行性評估相關內容。另請增加如何在 TAF 中新增校正項目所需辦理的程序、文件、申請方式等資訊。(二) 項係規劃「建立收發件資訊管理體系」，請說明本項規劃內容為？(四) 項內敘述「良」測品保方案，請修正為「量」測品保方案。</p> <p>17. 9-2 (P93-94) 目前規劃建置 2 項子系統，惟並未說明系統規劃建置期程、所需經費及軟硬體等，請補充。</p> <p>18. 9-3 (P94) 「其中第 1 及第 2 項藉由被校正影像的空中三角測量解算而得」，至於標準值如何獲得則未說明？2. 項重疊度及航偏角、航傾角校正並非本計畫原規劃校正項目，請問本項是否為團隊建議本中心可納入校正之項目？請說明如何使用校正標辦理各校正項目之計算/推衍進行連結及說明。</p> <p>19. P95 內二、項第 3 行：提及「設備</p>	<p>章。</p> <p>16. 已改寫第 9 章，詳見第 9 章。</p> <p>17. 已改寫第 9 章，詳見第 9 章。</p> <p>18. 已改寫第 9 章，詳見第 9 章。 本場校正之標準在確認「原廠所宣稱之性能是否屬實」因此一切標準是以原廠宣稱並且能滿足國土測繪之需求為主，原則上不需另訂標準。航偏角、航傾角及重疊率於基本圖測製規範及一千分之一航測地形圖測製規範內均有訂定標準，故可據以執行校正。至於以上各項目之計算均為目前航測空三之標準作業程序，沒有特殊之處，其計算及程序細節將後續計畫撰寫校正作業程序時再詳細說明。</p> <p>19. 本校正場目的就在建立能</p>

委員別	委員意見及建議事項問題	回覆辦理情形
	<p>品質或成果品質都沒有認證能力」，TAF 亦無對應項目，如何推出具有公信力之校正方式？是否有階段方案？</p> <p>20. 10-2 (P97-98) 五、項有關「平台所需經費 45 萬元」，本項規劃與 9-2 節內容並無法對應，該經費規劃依據為何？請說明。六、項有關教育訓練內容規劃部分，因 101 年度校正場尚未建置完備，建議修正訓練內容為軟體操作技術面相關訓練。九、項第 3 行未提及「購置空載光達實測資料」，該工作並非本計畫中程綱要計畫原規劃辦理工作項目，本中心並無規劃該資料購置經費。十二、項內提及「修正本計畫後續綱要」，請修正為「將提供與中程綱要計畫執行方有有關建議給測繪中心參考」。後續工作規劃並未對若要朝取得 TAF 認證之具體工作項目。</p> <p>21. 10-3 (P99) 教育訓練工作項目並非主要/重要工作，請「辦理航測感應器系統校正作業第 1 階段教育訓練」於流程圖內刪除。</p>	<p>出具有公信力的校正報告。既然未來由測繪中心進行校正，本身沒有利益衝突已經具有公信力（對於廠商及影像用戶而言），因此與 TAF 是否有能力認證本場其實關係並不大。但本團隊會與 TAF 密切聯繫、配合，儘量以達到取得認證為目標，詳見第 9 章說明。</p> <p>20. 已補充，詳見 P.98、P103、P104。</p> <p>九、因「購置空載光達實測資料」，該工作並非本計畫中程綱要計畫原規劃辦理工作項目，在此將工作小組所述該段予以刪除。</p> <p>21. 已修正，詳見 P.105。</p>

