

計畫編號：SWCB-105-126

無線感測雨量計開發與設置研究
Propotype of WSN optical rain gauge
development and setup

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

執行期間：105 年 4 月 1 日至 105 年 12 月 31 日

計畫主持人：王光華 博士

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 105 年 12 月

(本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考)

無線感測雨量計開發與設置研究

摘要

雨量站設置受限於交通及通訊設施，所以目前大多雨量站設置於人口較稠密及交通可以到達的地區，但是山區雨量卻往往是造成土石流或山崩的主要原因，因為山區雨量資料不足而不易掌握坡地災害的發生時機。目前雨量分佈多是採用內插或平均法來估計，所得到的降雨量誤差不易評估。

本研究中開發簡易型之雨量感測儀器，配合目前發展快速的無人飛行載具之高度機動性，開發無人飛行載具的定點佈放與回收技術並且提升飛行載重量；結合目前正在大量推廣的物聯網概念，採用無線感應通訊技術，開發新感測器元件及軟體，建立具經濟效益的無線感測雨量計網。在深山地區、人煙罕至的高山進行雨量監測任務，進而透過崩塌潛勢地圖，選定易致災地區，未來進行大量佈署，獲取災中所記錄之崩塌發生時間、及當時雨量等資訊，以利崩塌潛勢預警與坡地災害的分析資訊。

本計畫從無中生有，已經完成初階系統開發設計及校驗工作，各工作項目都合乎預定進度，並且兩次於尼伯特及梅姬颱風期間，進入山區進行實地量測並且傳回觀測資料，結果顯示觀測的雨量在誤差範

圍以內，整體效益非常高，並且符合經濟效益。

關鍵詞:雨量計、無線感測、土砂災害

Propotype of WSN optical rain gauge development and setup

Abstract

For the restriction of transportation and communication in mountain area, most rain gauges are setting at easy approached places. Although most sever rainfall are occurred at some unreachable area. Different interpolation skills are applied in those issue. There are huge bias existing and it is hard to make better disaster warning.

The revolution of telecommunication skill can afford wider, cheaper and quickly wireless communication in this decay.

Connect to the idea of “Internet of Things”, a new portable rain gauge device is developed in this project. Approached by UAV (Unmanned Aerial Vehicle), which is possible carry small rain gauge, up to 8Kg device, to mountain top with stable power and communication system. When these cheap rain gauge system could be wildly distributed, it is possible catch better precipitation and could announce warning message before the land slide happened.

This project is created from nothing and could be called a multidisciplinary research project. It is implemented by many working meetings and experiments, which includes rain gauge searching, communication system design, UAV instruction, observation architecture design, power and wiring technology etc. Most important is the field examination during Typhoon. After a few times correction, during Typhoon MEGI in Sep. 2015, it is confirmed that this portable rain gauge

device is capable to get the right observation and has good economy benefit to widely usage in near future.

Keywords: Rain gauge, wireless sensor networks, sediment harzards

目次

摘要.....	I
Abstract.....	III
目次.....	V
表次.....	VII
圖次.....	VIII
第一章 計畫緣起與目標	1
第一節 計畫緣起	1
第二節 計畫目標	2
第三節 人力配置	4
第二章 計畫工作項目	1
第一節 工作執行方法	1
第二節 組裝新的無人飛行載具	1
第三節 雨量計的校驗與誤差分析	2
第四節 雨量計機作設計與系統整合	2
第五節 通訊模組的軟硬體開發與組裝	3
第六節 觀測資料接收與分析	3
第三章 工作方法與步驟	1
第一節 尋找合適的雨量計測試地點	1
第二節 組裝無人飛行載具	5
第三節 雨量計的校驗與誤差分析	10
第四節 雨量計基座設計與系統整合	16
第五節 通訊模組的軟硬體開發與組裝	17
第六節 觀測資料接收與成本分析	33
第四章 結論及建議	1

參考文獻.....	1
附錄.....	1
附錄一、工作會議紀錄	1
附錄二、期末審查意見回覆	23

表次

表 1-1 成員學經歷表	5
表 3-1 電路單元列表	20
表 3-2 指令列表	24
表 3-3 電力單元列表	27
表 3-4 南投新高口自動雨量站與塔塔加雨量計的觀測 結果分析	37
表 3-5 雨量計成本估算	38

圖次

圖 1-1 人力配置圖	4
圖 3-1 中華電信 3G/4G 信號涵蓋範圍圖	1
圖 3-2 北(上右)、中(下左)、南(下右)目前雨量站分佈點位圖	2
圖 3-3 烏來信賢里擬放置雨量計位置之 UAV 照片疊合 GOOGLE EARTH	3
圖 3-4 移動式雨量站於鹿林山佈放地點	4
圖 3-5 鹿林山佈放地點正射影像	4
圖 3-6 3G 訊號強度及涵蓋範圍	5
圖 3-7 本計畫所使用之無人飛行載具(左)，美國 NICADRON 產製之電磁鐵(右)	7
圖 3-8 任務規劃軟體設定畫面	8
圖 3-9 任務規劃軟體地面站畫面	9
圖 3-10 無人飛行載具負重測試飛行	9
圖 3-11 雨量計檢驗報告(1)	11
圖 3-12 雨量計檢驗報告(2)	12
圖 3-13 雨量計檢驗報告(3)	13
圖 3-14 雨量計檢驗報告(4)	14
圖 3-15 雨量計檢驗報告(5)	15
圖 3-16 最初的雨量計基座概念圖	16
圖 3-17 民國 105 年 6 月接近定稿的設計圖	16
圖 3-18 雨量計無線感測器組合圖	17
圖 3-19 通訊系統架構	18

圖 3-20	電路單元硬體	19
圖 3-21	電路單元機械結構	19
圖 3-22	雨量計內含磁力開關	21
圖 3-23	雨量計記號處理流路	21
圖 3-24	藍色為原始訊號，黃色為 SCHMITT 處理訊號	22
圖 3-25	系統流程圖	23
圖 3-26	指令傳輸範例	24
圖 3-27	資料格式說明圖	25
圖 3-28	實際資料傳輸範例	25
圖 3-29	雨量計室內測試圖	26
圖 3-30	電力單元結構	27
圖 3-31	電壓降低與時間關係圖	28
圖 3-32	戶外測試(1)電壓降低與時間關係圖	29
圖 3-33	戶外測試(1)系統溫度與時間關係圖	30
圖 3-34	戶外測試(1)雨量計讀數與時間之關係圖	30
圖 3-35	戶外測試(1)氣象局台南站雨量觀測數值	30
圖 3-36	戶外測試(2)電壓降低與時間關係圖	31
圖 3-37	戶外測試(2)系統溫度與時間關係圖	32
圖 3-38	戶外測試(2)雨量計讀數與時間之關係圖	32
圖 3-39	戶外測試(2)台南氣象站雨量觀測數據	33
圖 3-40	梅姬颱風期間台南氣象站和位於成大的雨量 計觀測結果	34
圖 3-41	塔塔加鞍部附近雨量觀測結果與玉山觀測站 雨量的時間序列比較	34

圖 3-42 塔塔加鞍部附近雨量觀測結果與新高口雨量 觀測的時間序列比較	35
圖 3-43 A)~E)五個不同時間塔塔加的雨量站所在雨量 分佈與新高口雨量站雨量觀測的空間分佈圖	36
圖 3-44 RS101 雨量計外觀	40
圖 3-45 放置於塔塔加鞍部鹿林山莊附近的雨量計的 整體外觀	40

第一章 計畫緣起與目標

第一節 計畫緣起

雨量站設置受限於交通及通訊設施，所以目前雨量站多設置於人口較稠密及交通可以到達的地區，但是山區雨量卻往往是土石流或山崩主要原因，卻因資料不足而不易掌握潛在的坡地災害。目前多是採用內插或平均法來估計，所得到的降雨量誤差難以評估。

崩塌潛勢相關因子組的篩選包含 11 個內在地形因子及 2 個外在降雨因子(吳俊毅,2016)。崩塌危害預警指標則以崩塌潛勢與雨量的關係式來計算(Liu,2015)，降雨量因子在崩塌潛勢或預警系統中占相當大的比重。台灣地區平均雨量站距離為 6 公里，依據雷達的降雨熱點(站稀少、回波頻率高)及冷點(站稀少，回波頻率少)之位置進行分析，擬定建議的新雨量站位置(劉清煌, 2012)，唯所建議位置在 1000 公尺以上僅有 33 個，占有建議地點的 36%，主要因為山區的資源相對薄弱。隨著電子通訊技術的發展及無線傳輸科技的普及，量測系統走向無線化、小型化、模組化、網路化及經濟與省電化發展，透過 802.11、藍芽、ZigBee 或 GSM 之無線傳輸方式，架設分散或多頻道遠端監控與即時分析資料擷取系統，建構無線感測網路已經不是太大的問題(萬一怒, 2006)。適地性服務(Location Based Service, LBS)是一項資訊整合技術應用，主要構想為隨著使用者背景位置的不同，提供使用者個人化的行動服務(唐國寰，葉國賢 2013)，無線感測網路已經廣泛應用於商業、軍事、醫藥、安全與生態等領域，並結合 GPS 技術已達成主動通知使用者的服務功能。

第一項 本研究結合輕型雨量計，無人飛行載具及物聯網通訊技術，研發具有經濟效益且具有相當觀測精度的雨量計系統，在無人可以抵達及無電力、無維修的非常環境下，建立自動雨量觀測系統。其中需要考量的因素包括無人飛行載具必須提高承載重量，因此不是目前市面一般的無人飛機，需要有能夠遙控操作佈放能力的無人飛機。雨量計必須重量輕、耗電小，不會被強風吹倒，放置地表限定高度以免影響雨量觀測，即使略傾斜也可以修正回正確雨量值。通訊系統必須可以至少維持一週，不受天候影響傳回信號並且可以透過手機遙控啟動或關閉。在非常狀況下系統可以傳送位置資訊以利回收作業。

因此在人煙罕至地區在颱風豪雨期間，連續數日提供穩定而正確的雨量觀測資訊為本計畫的主要目標。由於這項計畫屬於創新計畫，受限於經費時及時間，因此開發兩個雨量計系統作為效益檢核。期望藉此創新研究提供一個可以大量佈設的新雨量觀測模式。

第二節 計畫目標

承接農委會水土保持局委託之創新科技計畫，提開發經濟型自動雨量計，透過無線感測技術將位於山區無人無電力供應的地點，將觀測的雨量傳回地面，以了解在颱風豪雨期間山區的降雨時間空間分佈，藉此計畫了解無線遙感技術，未來在山區大量佈署的可行性評估。本計畫擬定下列四大工作項目：

- 1.尋找合適的雨量計測試地點：測試地點必須是略平坦地面，周圍 5 公尺內沒有樹木或其他建築物影響雨量觀測。距離人可以抵達的位置在 UAV 飛行距離內，同時現階段必須有

3G/4G 信號，未來再建置無 3G/4G 網路的通訊模式。

2.開發新的無人飛行載具：配合於運送雨量計設備，無人飛行載具必須可以承載 10 公斤重量，滯空時間至少 20 分鐘，具備佈放與回收能力的裝置。攜帶超音波測距儀，在高度 10 公分左右安全放下雨量計系統。飛行載具操控必須具備非目視遙控操作能力，必須有照相功能。

3.雨量計的校驗與誤差分析：能夠耐長期在戶外工作，經過政府核可的單位校驗雨量計，重量在 300g 以內。具備傾斜及誤差修正係數。

4.雨量計基座設計與系統整合：可能在戶外工作，不生銹材質且重量輕，能夠承受颱風風雨吹襲。雨量計高度至少 120cm 高，因應不同地表有不同腳以增加附著。

5.通訊模組的軟硬體開發與組裝：電池要防水及加裝二極體，防止因接電失誤產生危險，電池足以連結使用 7 天，雨量計加裝計數器，加裝環境偵測感應裝置及傾斜角度。具備 3G/4G 資料傳輸能力，有防水功能且系統不致過熱。自行開發資料傳輸軟體，可以透過手機設定是否傳送及省電控制指令等，接收端程式可以在伺服器或個人電腦上執行，傳送資料為文字檔。

6.觀測資料接收與分析:於颱風豪雨期間進行觀測資料收集與統計分析，作成雨量分析報告。目前雖然只有兩個雨量計，將與附近氣象局雨量觀測資料進行內插分析比較。

各項工作分別由工作小組執行，最後進行系統整合，因此透過多次內部工作會議討論，以利計畫順利推動。工作會議已經召開 11 次，會議記錄如附件一。

第三節 人力配置

本計畫人力分別由雨量計組、通訊工程組、資訊工程組及無人飛行載具組四組所構成。通訊工程組主要由陳炳志老師帶領的團隊，其他為全球觀測與資訊分析中心成員所擔任。劉正千老師提供建言，陳炳志老師帶領通訊單元的構成與建置，並提供許多建言。計畫由王光華副主任擔任計畫整合及協調工作，同時也分擔雨量計校驗工作。無人飛行載具由鍾曉緯博士帶領，其他人員也都是一時之選。人員分工如圖 1-1 所示。

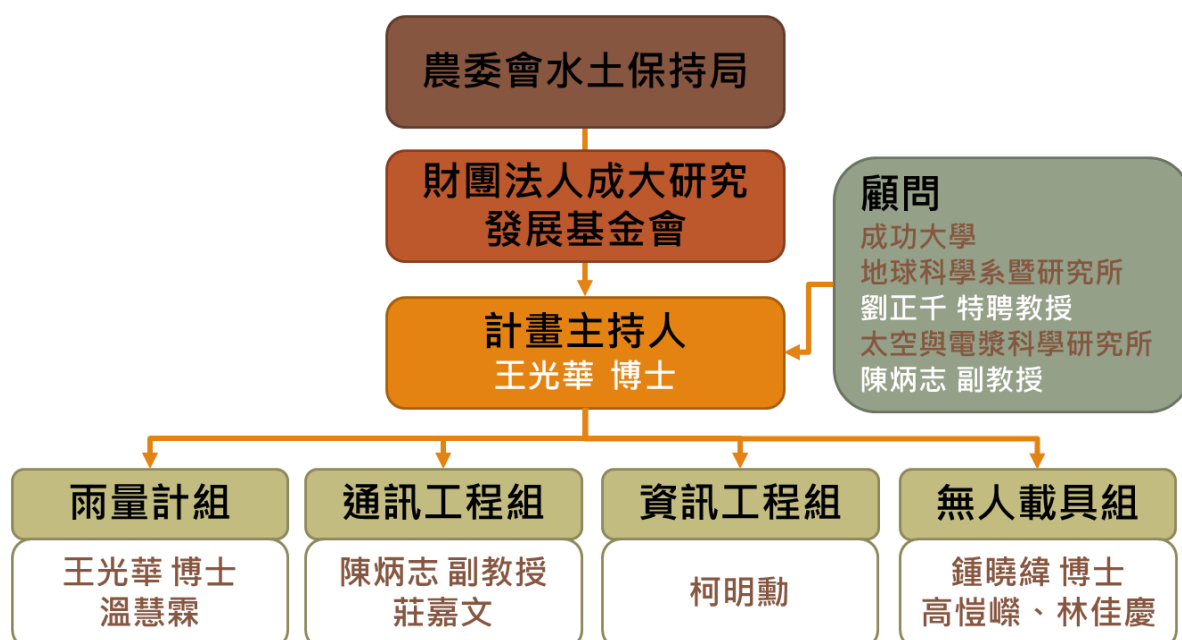


圖 1-1 人力配置圖

表 1-1 成員學經歷表

姓名	職稱	最高學歷	經歷
王光華博士	成大全球觀測中心副主任，計畫主持人	中央大學大氣物理研究所博士	中央氣象局衛星中心副主任 (~2011)
陳炳志博士	成功大學電漿科學研究所副教授	中央大學物理天文研究所博士	成功大學助理教授
高愷嶸	副組長	國立台灣海洋大學海洋環境化學與生態研究所碩士	國立成功大學全球觀測與資料分析中心
柯明勳	副組長	國立台南大學數位學習科技學系所碩士	永全空間資訊股份有限公司 (2009-2011)
溫慧霖	專案經理	國立嘉義大學林業暨自然資源研究所碩士	達利開發建設有限公司 (2008-2012)
鍾曉緯	專案經理	國立成功大學地球科學研究所博士	國立成功大學全球觀測與資料分析中心
莊嘉文	博士研究生	成功大學電漿科學研究所	

姓名	職稱	最高學歷	經歷
林佳慶	組員	國立虎尾科技大學 學士	中山科技研究 院駐點機務 (2014~2015)

第二章 計畫工作項目

為了完成本計畫設定之目標，擬定了以下六個工作項目：

- 1.尋找合適的雨量計測試地點
- 2.組裝新的無人飛行載具
- 3.雨量計的校驗與誤差分析
- 4.雨量計基座設計與系統整合
- 5.通訊模組的軟硬體開發與組裝
- 6.觀測資料接收與分析

各項工作內容說明如下：

第一節 工作執行方法

為測試山區雨量計的功能與觀測精度，並且避開已經有氣象局自動雨量站位置。以土石流發生頻率較高的地點為優先考量，同時考慮地區性，預先選取北、中、南和一個合適測試點，再依颱風警報預報的路徑決定將雨量計放置於何處。工作內容包括：

- 1.Google Earth 先搜尋適當位置:依據其交通條件、無線電信網路、地行、坡度等條件。
- 2.派無人飛機到現場進行拍照，以確定地點是否合適。
- 3.找尋萬一回收失敗，可以徒步抵達的觀測地點。

第二節 組裝新的無人飛行載具

- 1.市面上的無人飛行載具多屬於小型機，無法負載超過 1kg 的重量。受限於經費，無法購置較大的無人飛機。因此必須請有經

驗業者協助自行組裝六軸的 UAV。

2.佈放裝置：為了有效佈放與回收雨量計，採用電磁鐵來攜帶雨量計架，因此電力消耗必須非常留意，以免影響飛行距離。

3.超音波測距儀：無線感測器不能承受過大的衝擊，尤其無人飛機降落時仍有相當的衝力。為了避免雨量測器受損，必須加裝超音波測距儀，讓飛機在接近地面時放下雨量計。並且要有搖控的影像傳送設備。受限於無人飛機的載重與電力限制，所有增添的設備都要考慮重量。

第三節 雨量計的校驗與誤差分析

本計畫所採用的雨量計為低成本且輕量型，和目前官方採用的雨量計大不同。因此雨量計的誤差分析與校驗是很重要的。否則觀測的數值沒有代表性就失去整個任務的目標。因此送請政府核可的校驗單位進行校驗及誤差分析。

在山區不易找到水平地面，因此有可能有斜度，此傾斜度在環境感感器中可以得到此收據，因此每個傾角的誤差校正也要預先量測計算。

第四節 雨量計機作設計與系統整合

1.無中生有的設計：因為過去沒有所以一切的設計必須重新思考，依據目標規畫設計符合此計畫目的的雨量計架構，其中包括電力，通訊、感測器等。

2.系統整合：雨量計必須放置高度 120 公分，同時要避免側邊雨水濺入，又要避免樹葉或其他物體阻擋雨量觀測，防風、防水、還要防止設備本身過熱。因此各個組件的放置位置、電力消耗、重量搭配等細節均必須考慮到。

第五節 通訊模組的軟硬體開發與組裝

今年為第一階段的開發，暫時不考慮沒有網路環境下的通訊設備，而是採用位在有 3G/4G 信號的山區。因此計畫採用 3G/4G 通訊能力的電路板，結合感測器電路板，加上控制指令及電池系統組成一個可以讀取雨量計量測值，在預定時間間隔傳送觀測雨量文字碼傳送出去。在個人電腦或伺服器安裝接收軟體，長期接收觀測的資料。

目前個人行動網路發達，因此此系統也可以透過個人手機設定系統的起始或關閉以節省電力。但是系統永遠會維持接收控制手機傳來的開作業的指令，同時具有傳送 GPS 位置的功能，萬一佈放失敗或傾倒，仍然可以找到儀器所在位置，以利搜尋及回收。

第六節 觀測資料接收與分析

觀測資料接收與分析是最後的一個工作項目，也是檢驗此計畫是否成功的最後一個驗收階段。如果觀測時附近發生土石崩塌事件將更有利於崩塌的分析。觀測結果也將和目前官方的雨量內插得到的面積雨量和本計畫觀測到的雨量進行比較、分析以做出報告。

第三章 工作方法與步驟

第一節 尋找合適的雨量計測試地點

計畫的執行由不同專長的團隊人員所組成，因此每次構想與進度都透過工作會議當中，集思廣意，多方考慮、調整後一一達成。

第一項 雨量計測試地點信號評估

首先透過中華電信 3G/4G 信號涵蓋圖，轉為 GIS 圖層，疊在 Google Earth 上，再進行所在山區位置的交通及距離，避開已經設置雨量站的地方，選擇合適的測試地點。中華電信信號範圍如圖 3-1，目前雨量站位置圖如圖 3-2。

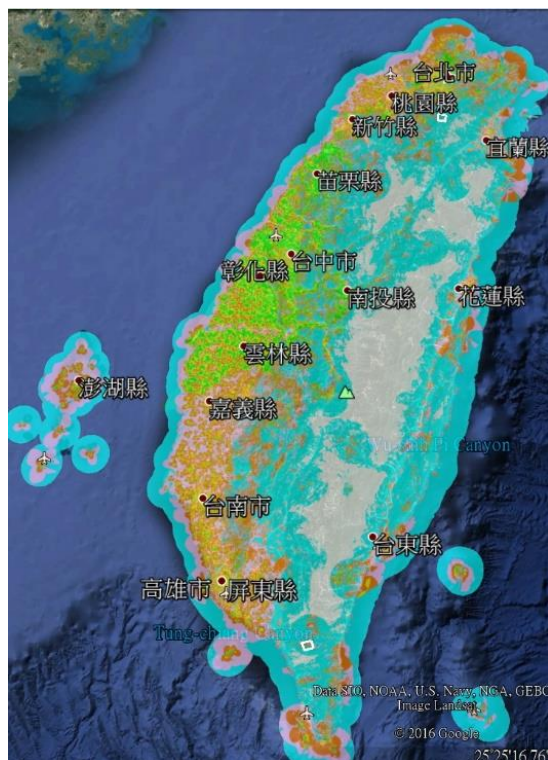


圖 3-1 中華電信 3G/4G 信號涵蓋範圍圖

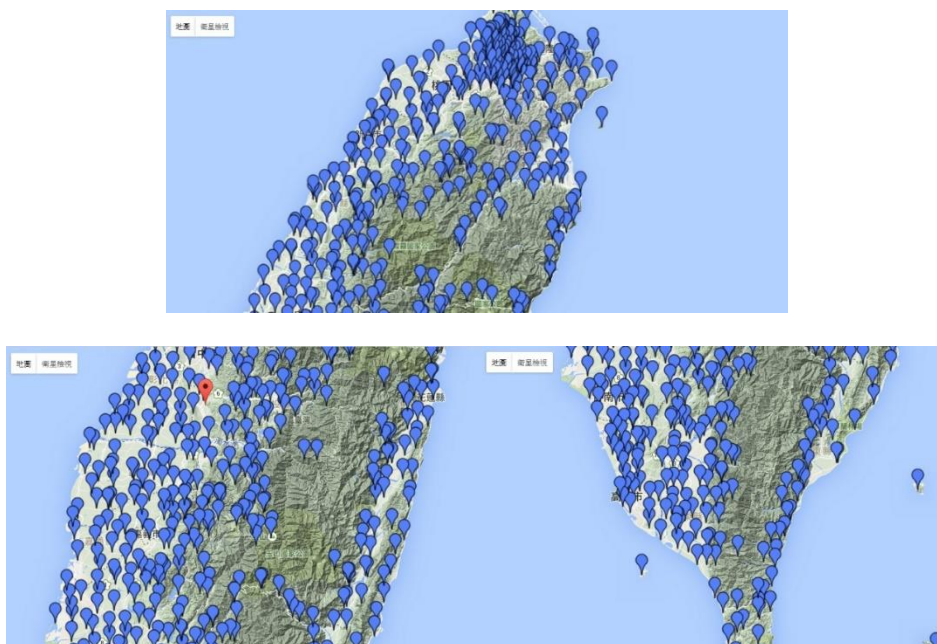


圖 3-2 北 (上右)、中(下左)、南(下右)目前雨量站分佈點位圖

第二項 雨量站佈放環境勘查作業

移動式雨量站因需要在惡劣環境下進行即時雨量資料收集，所以於佈放前，需詳加思考各種地形環境，對於資料收集與佈放流程之影響，因而進行現地勘查。考量豪雨在台灣造成的土石災害易發生區，因此優先考慮去年發生嚴重崩塌的烏來地區。在信賢里一帶，經由 Goole Earth 及手機信號分佈後選定目標區，再由無人飛機現場勘查(如圖 3-3)。



圖 3-3 烏來信賢里擬放置雨量計位置之 UAV 照片疊合 Google Earth

雖然該地附近沒有其他雨量觀測站，信號也很好，由於該坡地陡峭，樹木茂密，沒有適合的空間置放雨量計。因此放棄該點而另找海拔在 3000 公尺以上的山區。

此次選定優先佈放地點位於玉山國家公園內的鹿林山(圖 3-4;北緯 23.474935，東經 120.886942)，此處標高 2740 公尺，由正射影像顯示佈放地點無高大樹林(圖 3-5 內黃框為雨量站佈放地點)，不會干擾雨量資料收集，此處地形為緩降坡面，且地表植被低矮，所以於佈放時須考慮雨量站擺放位置，以及於強風下如何使雨量站穩固於地表上，以上現地觀察重點皆可列入設計雨量站機架之依據。由中華電信所提供訊號涵蓋範圍資料得知，此處訊號呈現好的通訊強度(圖 3-6)，對於即時觀測資料必定能穩定回傳，但離此地點 1.5 公里處，中央氣象局於附近鹿林天文台已有設置雨量站有利資料比較，正因此

次計畫為創新研發計畫，於研發前期須確保資料正確性，研擬於颱風前，將雨量站施放於此處，並與鹿林天文台雨量站進行資料比對，可證明本計畫所研發之移動式雨量站資料正確性。



圖 3-4 移動式雨量站於鹿林山佈放地點



圖 3-5 鹿林山佈放地點正射影像

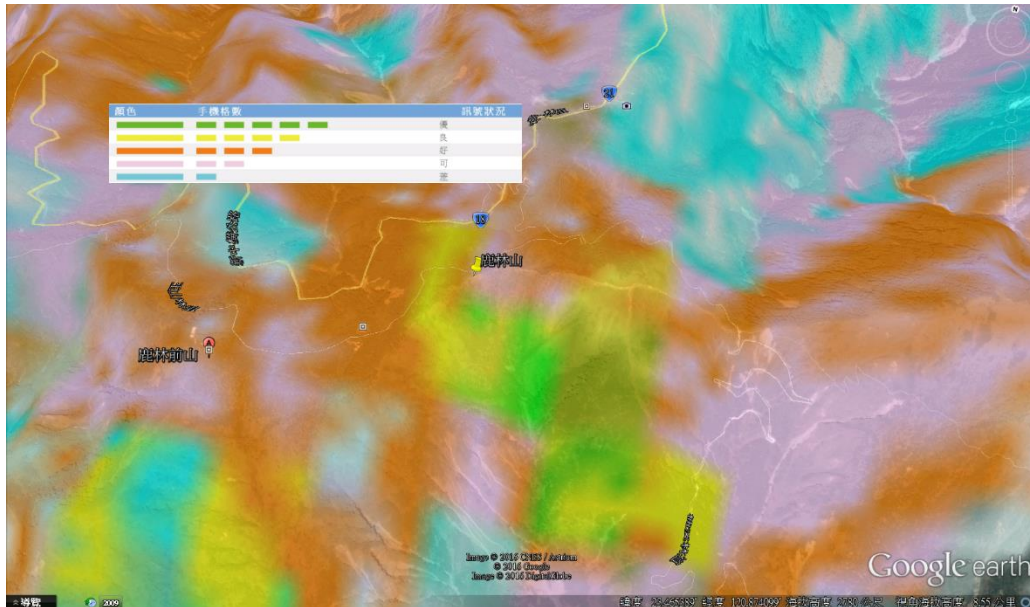


圖 3-6 3G 訊號強度及涵蓋範圍

在完成塔塔加的測試後將考慮另外在南部土石災害熱點的屏東山區也進行一處實測。

第二節 組裝無人飛行載具

第一項 無人飛行載具研發之目的

台灣位於高密度颱風行經之島嶼，隨之而來的強降雨往往造成山崩及土石流等災害，正因這些偏僻山區無法取得即時雨量資料，須藉由內插法或平均法進行估算，導致不易掌握潛在的坡地災害。無人飛行載具具有高度機動性、系通建置成本低與受地形限制較小等特性，近年來全球對於無人飛行載具應用極為廣泛，有空間調查、災害探勘、道路監視、山林及水土保持以及空中攝影等等，因此藉由無人飛

行載具可快速取得高空間解析度之影像，以利於科學家進一步進行資料分析。

無人飛行載具應用不僅如此，本計畫利用自主開發移動式光學雨量站進行試驗，其中運送雨量站之任務格外重要，因需要克服地形限制，並且於颱風來臨前，必須快速且精準的將雨量站安全佈放至規劃地點，所以本團隊選擇利用無人飛行載具作為運送雨量站之運輸工具，並自行研發負重能力強與長時間滯空之無人飛行載具。

第二項 無人飛行載具設計

本計畫主要使用的無人載具為自動導航型式之六軸多旋翼機(圖 3-7 左)，淨重 9 kg，以 2 顆鋰聚電池(12S 48V)驅動，軸距 1600 mm，可架設長 76 cm 碳纖維槳，搭配六顆客製化無刷馬達，單顆無刷馬達即可輸出 3 kg 之推力，有效提升載具之負重能力，其可滯空 15-20 分鐘；巡航速度約 20-30 km/hr (需視現場風速風向而定)。透過載具上搭載的 GPS 接收器，每秒接收 4-10 組衛星定位訊號，定位精度達水平方向 2 m。機上備載三軸陀螺儀、氣壓計與電子羅盤計算載具姿態參數，並透過飛控板針對其姿態做修正，以確保載具掛載雨量站時能安全飛行。此載具搭載一具由美國 NicaDrone 所購置之電磁鐵(圖 3-7 右)，其電磁鐵表面積 $4 \times 4 \text{ cm}^2$ 、重量只有 67 g，不僅大大降低飛機機

體重量，並且其載重能力可達 200 N(約 20 kg)，足以應付目前雨量站 (8 kg)之佈放及回收任務。

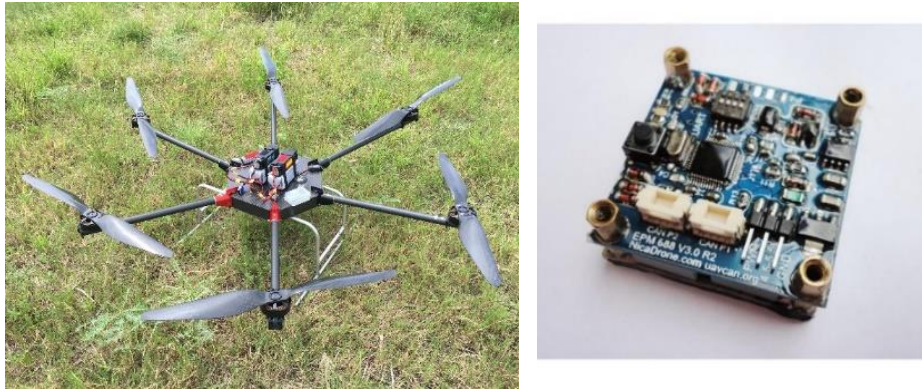


圖 3-7 本計畫所使用之無人飛行載具(左)，美國 NicaDrone 產製之電磁鐵(右)

第三項 飛航任務規劃系統與任務執行

本計畫利用 APM Mission Planner 開源軟體進行任務規劃，其為針對 ArduPilotMege 自動飛航任務所設計的地面控制站，此外，軟體也可以針對使用者需求對載具進行飛行參數調教，由於此套軟體支援 Google Maps，使用者可利用滑鼠於左側畫面加入航點，進行航線規劃，透過右側畫面下拉式選單即可對航點下達任務指令(圖 3-8，紅框為任務指令、黃框為航點之坐標、綠框為航點之高度)，載具在執行任務中，亦可將此軟體座為地面站，觀察載具姿態及飛行狀態等資訊(圖 3-9)，助於駕駛手於任何突發狀況做最好的處置，在載具執行任務中，飛控板平均每兩分鐘紀錄一筆記錄檔，於任務完成後，也可

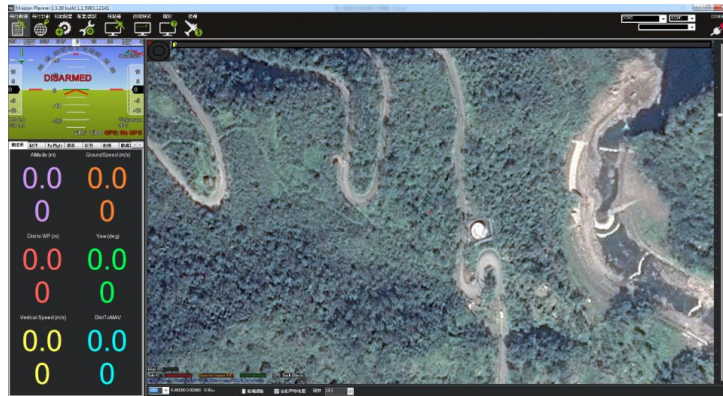


圖 3-9 任務規劃軟體地面站畫面

第四項 研發成果

無人飛行載具已完進度如下述;目前高負重能力無人載具已建置完成，並且完成試飛測試，緊接著分別進行負重手動飛行、以及任務規劃並負重全自動飛行，首先執行負重手動飛行，因初估移動式雨量站重量不到 7 kg，所以此次進度載具將掛載 7 kg 鐵塊飛行(圖 3-10)，並訓練飛行手熟悉載具有無掛載重物之飛行技術，以助於爾後突發狀況能安全降落載具，其中也考驗掛載雨量站之關鍵-電磁鐵之承受程度，此階段測試於八月初順利完成，飛行手也獲得相當豐富的經驗，並著手於負重自動飛行任務，此階段之任務規劃系統已完成。



圖 3-10 無人飛行載具負重測試飛行

第三節 雨量計的校驗與誤差分析

所有的雨量計都有其觀測誤差，因此在執行觀測任務前有必要了解該儀器的觀測特性以修正其觀測誤差。期能在實際觀測上提出有效的觀測數值。因此本計畫採用較作成本的雨量計，誤差校正尤其重要。

為求慎重，原有意委請中央氣象局儀器檢校中心代為檢測，因為該中心目前正在改建房舍，由該中心介紹領有證照的台灣大學水工實驗室代為進行雨量計誤差校驗工作。於 105 年 4 月 25 日送去，6 月 21 日領回。台大水工所分別以小降雨到強降雨 600mm/hr 的超級降雨強度進行多次校驗。

檢測結果相對器差在雨強較弱時較大，雨強增大，相對器差減小。經過修正後，相對器差縮小在 1% 左右，不確定性維持在 1.1~1.2% 之間。

雨量計採用台灣玖廷企業公司代理的 RS101 雨量計，雨量漏斗入口為 10cmx5cm，面積為 50cm²。量測單元每次為 1.0mm/tip。屬於單向傾倒式雨量計，總重量 240g。檢測報告如圖 3-11~圖 3-15 所示。戶外測試結果則說明於第五節第十項。

國立臺灣大學水工試驗所
水文量測技術研發暨服務中心水文觀測儀器校正實驗室

10673 臺北市大安區羅斯福路 4 段 1 號
電話：02-3366-2644；傳真：02-3366-5866



報告編號：R016061R01

第 1 頁/共 5 頁

傾斗式雨量計校正報告

報告日期：2016/06/21

送校單位：財團法人成大研究發展基金會

地 址：70101 台南市大學路 1 號

儀器名稱：單傾斗式雨量計

環境溫度：24 °C ± 4 °C

廠牌/型號：Pronamic / RS101

環境濕度：50 % ± 30 %

儀器序號：1003

收件日期：2016/04/25

校正日期：2016/05/21

使用說明：

- 一、本報告內之數值是在本實驗室環境下執行校驗所得之結果。受校雨量計儀器之準確度，會受儀器安裝、搬運及使用時小心程度、使用頻率、檢校週期、環境因素、儀器及場地維護狀況而影響。
- 二、上項儀器經本實驗室校驗，結果如後。本報告含附頁共 5 頁，僅對上項儀器負責，分離使用無效。

實驗室主管 (Chief of Laboratory)

圖 3-11 雨量計檢驗報告(1)

國立臺灣大學水工試驗所
水文量測技術研發暨服務中心水文觀測儀器校正實驗室

10673 臺北市大安區羅斯福路 4 段 1 號
 電話：02-3366-2644；傳真：02-3366-5866

報告編號：R016061R01

第 2 頁/共 5 頁

校正報告

送校單位：財團法人成大研究發展基金會

地 址：70101 台南市大學路 1 號

收件日期：2016 年 04 月 25 日 校驗日期：2016 年 05 月 21 日

校正程序：台大水文量測技術研發服務中心雨量計校正作業程序書
 ((I-QP-TRG(2.2))

校正環境：室溫：24 °C ± 4 °C 相對濕度：50 % ± 30 %

校正儀器：雨量計靜態法校正設備

受校雨量計校正前檢查結果

檢查項目	正常	異常	異常說明或其他註記
外觀檢視	V		
動作檢查	V		1.穩定性檢測選用模擬雨強： <u>598</u> mm/h 2.穩定性檢測以上述模擬雨強至少連續 1 分鐘或讓傾斗翻傾 50 次以上，檢視傾斗翻傾動作是否正常？ 3.記錄超出 5%離群值數量百分比： <u>0</u> %；每傾斗翻傾平均時間： <u>5.961</u> 秒；最大離群值： <u>6.129</u> 秒。

承雨器集雨面積校驗結果

項目	承雨器集雨面積		相對器差	擴充不確定度
	標稱值 (參考標準)	承雨器內徑量測值	(%)	(%)
構件	☐ D_{ref} : (mm) ☒ A_{ref} : 5000 (mm ²)	$\bar{D}_m =$ (mm) $A_m =$ 5015 (mm ²)	0.30	1.03

※承雨器面積器差 (相對誤差) $RE = \frac{(A_m - A_{ref})}{A_{ref}} \times 100\%$ ；其中， A_m 及 A_{ref} 分別為承雨器之量測面積

及標稱面積； $A_m = \pi/4 \times \bar{D}_m^2$ ； $\bar{D}_m$ 為承雨器內徑平均值， $\bar{D}_m = (\sum_{i=1}^4 D_{mi}) / 4$ 。

圖 3-12 雨量計檢驗報告(2)

國立臺灣大學水工試驗所
水文量測技術研發暨服務中心水文觀測儀器校正實驗室

10673 臺北市大安區羅斯福路 4 段 1 號
 電話：02-3366-2644；傳真：02-3366-5866

報告編號：R016061R01

第 3 頁/共 5 頁

雨量計校正結果

組別	參考雨強 RI_{ref} (mm/h)	雨強器示值 RI_m (mm/h)	相對器差 RE (%)	修正雨強 RI_{adj} (mm/h)	修正後相對 器差 RE_{adj} (%)	擴充不確定度 (%)
1	18.88	20.88	10.6	19.00	0.7	1.2
2	70.29	74.82	6.5	71.05	1.1	1.2
3	120.07	124.91	4.1	119.91	-0.2	1.1
4	201.45	210.64	4.6	204.69	1.7	1.2
5	300.23	307.71	2.5	302.46	0.8	1.1
6	400.11	409.64	2.4	407.16	1.8	1.1
7	597.61	603.34	1.0	611.84	2.4	1.1
備註	1.本項模擬雨強範圍：20 to 600 mm/h (最大雨強：598 mm/h)。 2.相對誤差 $RE(\%) = (RI_m - RI_{ref}) / RI_{ref} \times 100\%$ ，其中， RI_m 及 RI_{ref} 分別為雨強之器示值及參考值；修正後相對器差 $RE_{adj}(\%) = (RI_{adj} - RI_{ref}) / RI_{ref} \times 100\%$ ，其中， RI_{adj} 為修正器示值後之雨強。 3.器示值修正公式： $RI_{adjr} = 0.0001 \times RI_m^2 + 0.9554 \times RI_m - 0.9934$ 相關係數： $R^2 = 1.0000$ 。 4.擴充不確定度： 先計算各影響因子之標準不確定度，再計算組合標準不確定度 $u_c(RE)$ ，進一步計算自由度，再由 Student-t 分布表，取信賴水準 95%，查得涵蓋因子 k ，擴充不確定度為 $U = k \cdot u_c(RE)$ 。 5.為規格特殊規格受校件（矩型承雨筒、計量 Tipping 構件為 spoon bucket）。由於被校捕集雨量面積較小（ 50 cm^2 ），spoon bucket 標稱容量僅 5mL，影響校驗相對器差計算。 6.被校件本身量測值之重複性低（校驗器差變異性大）。以上數據僅代表當次（5/21）校驗之器差狀況（器示值皆呈現高估情形），使用時宜特別注意。另附被校件其他受校結果比較。					

校驗者：謝黎惠

審核：

簽署人：

圖 3-13 雨量計檢驗報告(3)

國立臺灣大學水工試驗所
水文量測技術研發暨服務中心水文觀測儀器校正實驗室

10673 臺北市大安區羅斯福路4段1號

電話：02-3366-2644；傳真：02-3366-5866

報告編號：R016061R01

第 4 頁/共 5 頁

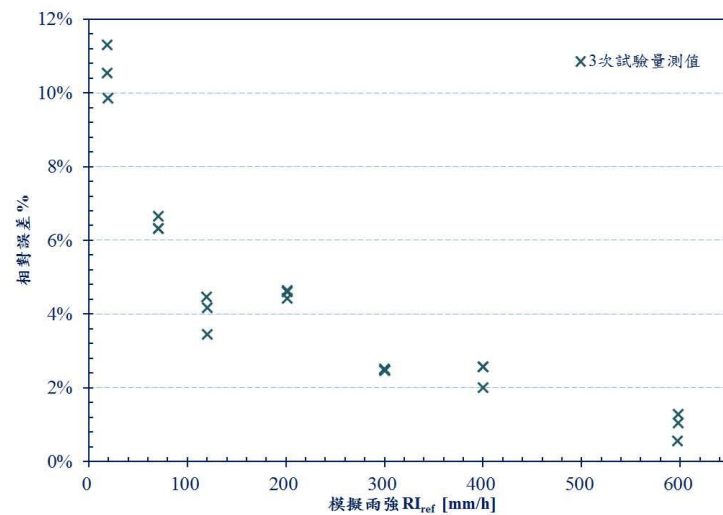


圖 1 受校雨量計不同雨強之觀測誤差圖

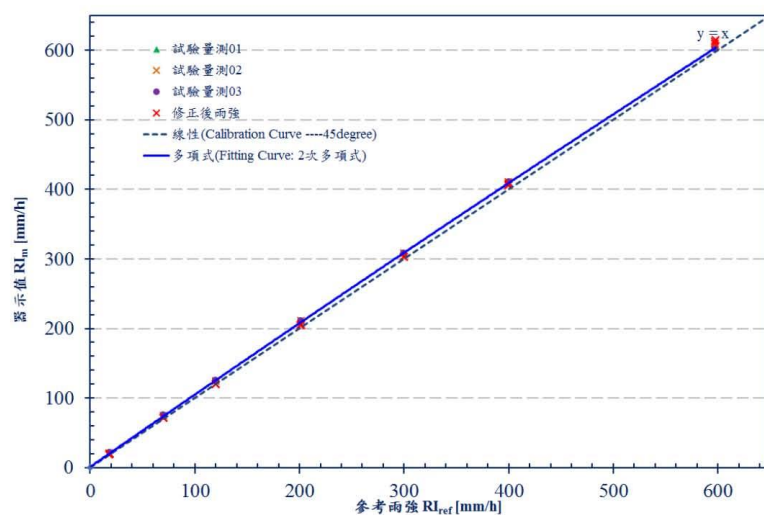


圖 2 雨量計器示值 RI_m 量測偏差情形以及修正後 RI_{adj} 值與參考標準 RI_{ref} 之比較

圖 3-14 雨量計檢驗報告(4)

國立臺灣大學水工試驗所
水文量測技術研發暨服務中心水文觀測儀器校正實驗室

10673 臺北市大安區羅斯福路 4 段 1 號
 電話：02-3366-2644；傳真：02-3366-5866

報告編號：R016061R01

第 5 頁/共 5 頁

校正說明

一、校正方法：

- 1.本校正係在恆溫環境下，以供水設備將恆溫（水溫 $24^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}\text{C}$ ）水體直接導入受校承雨器內，模擬承受特定雨強之降雨情況。分別以電子天平量測捕集型（Catch type）雨量計實際受水量 M （重量），以及受校雨量器計量傾斗翻傾特定次數所需時間 t ，然後分別計算出模擬雨強 RI_{ref} （參考標準）與量測降雨強度 RI_m （器示值）。每一受校雨量器共接受 7 種不同強度模擬降雨，每一模擬降雨強度 RI_{ref} 皆進行 3 次量測試驗。
- 2.比較各次量測受校件之器示值 RI_m 與參考標準 RI_{ref} ，求得雨量計之系統性誤差（systematic error），繪製受校雨量計不同雨強之觀測誤差圖（橫座標為模擬雨強），說明受校雨量計在各模擬雨強下之相對器差。
- 3.提出雨量計器示值之修正方程式，繪製雨量計器示值 RI_m 量測偏差圖（與參考標準 RI_{ref} 比較）以及修正後 RI_{adj} 值與參考標準 RI_{ref} 之關係圖。

二、擴充不確定度：

- 1.先計算各影響因子之標準不確定度（Uncertainty），再計算組合標準不確定度 $u_c(\text{RE})$ ；
- 2.進一步計算自由度，再由 Student-t 分布表，取信賴水準 95%，查得涵蓋因子 k ；
- 3.擴充不確定度為 $U = k \cdot u_c(\text{RE})$ 。

三、實驗室工作標準器：

長度儀器名稱：	數位游標卡尺	廠牌型號：	日本三豐 Mitutoyo 500-173
儀器序號：	1132426	有效日期：	2018/10/26
追溯單位：	建大貿易股份有限公司長度校正實驗室		
TAF 認可編號：	0495	報告編號：	10410017-01
重量儀器名稱：	精密電子天平	廠牌型號：	英國 ADAM PGL 8001
儀器序號：	AE772350	有效日期：	2017/03/31
追溯單位：	台灣檢驗科技股份有限公司		
TAF 認可編號：	1199	報告編號：	ECAC0795914

-----以下空白-----

圖 3-15 雨量計檢驗報告(5)

第四節 雨量計基座設計與系統整合

雨量計由無人飛行載具送到山區，因此必須設計一個支架足以承擔雨量計、通訊設備、電力及足以承受強風的雨量計支架，重量又不能太重。主要的概念希望藉由地心引力來使三角架穩固。雛形概念圖如圖 3-16 所示。

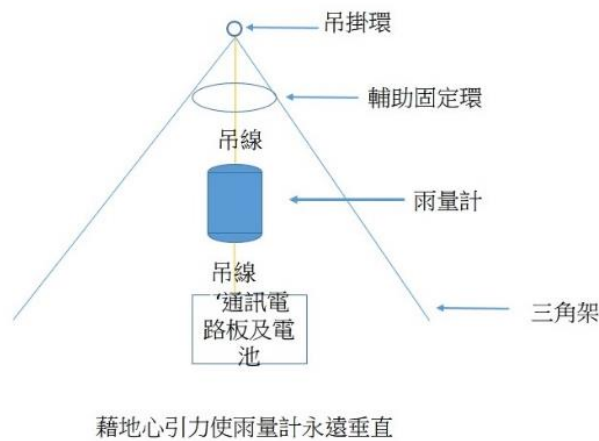


圖 3-16 最初的雨量計基座概念圖

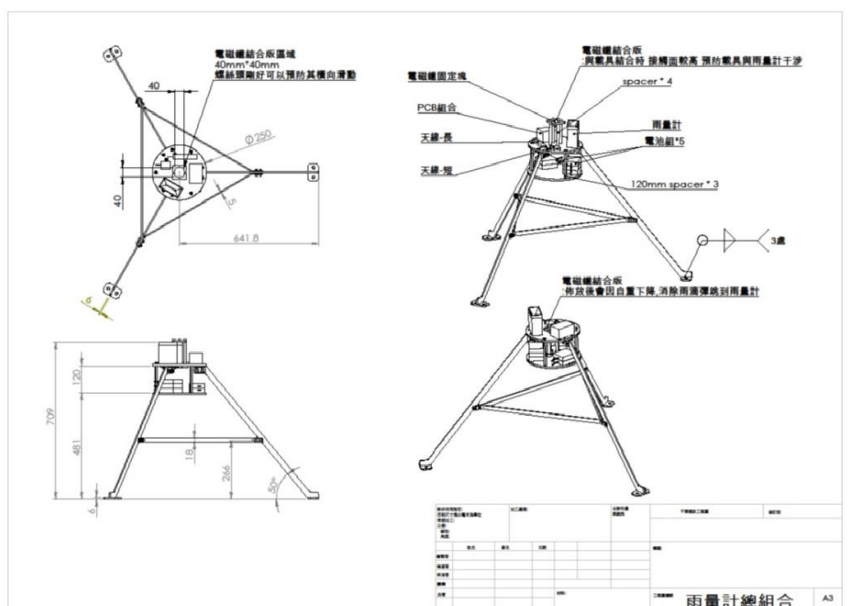


圖 3-17 民國 105 年 6 月接近定稿的設計圖

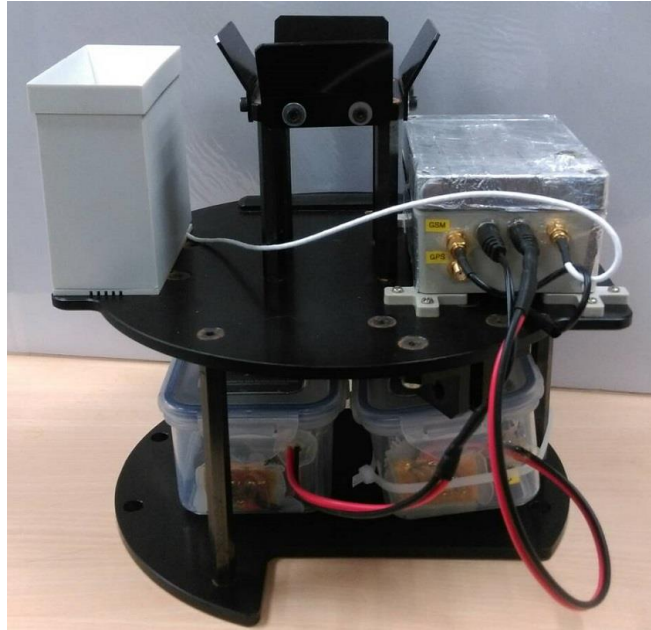


圖 3-18 雨量計無線感測器組合圖

材質最後選用鋁合金材質，減輕重量，並且增加一組三角架底座，以適應不同地表得以改用不同底座增加摩擦力。最後定稿後交由嘉義一家精密機械工廠製作，並且進行防銹處理，於8月2日完成。

最後組裝的結果如圖 3-18 所示，下方的電池盒採購自市面的密封保存盒具有防水功能，未來如果大量建置可以開模製作更完整的防水電池盒。

第五節 通訊模組的軟硬體開發與組裝

第一項 系統功能

- 1.提供操作所需之電力。
- 2.處理雨量筒之雨量脈衝訊號，並且計數。
- 3.精確紀錄時間、位置與姿態。

4.使用電信網路接收控制指令，並定時回傳雨量與系統健康狀態。

為達成上述功能，並且大幅縮小體積，此系統包含了兩個單元，分別為(如圖 3-19 所示)：

1.電路單元：感測器、微處理器、脈衝訊號處理電路、通訊模組。

2.電力單元

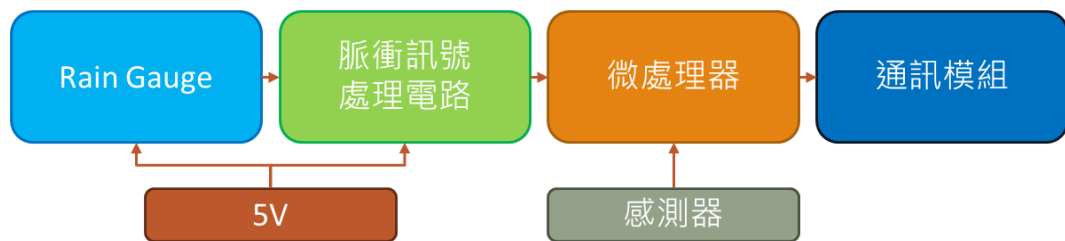


圖 3-19 通訊系統架構

第二項 電路單元硬體與機械結構

電路單元系統由感測器、微處理器、脈衝訊號處理電路、傳輸模組所組成如圖 3-20 所示。

1.通訊模組我們採用 MG2639，並搭配 GSM 天線可進行無線傳輸與收發簡訊與通話功能。

2.感測器包含：三軸加速規，目的為了解儀器姿態。GPS 接收時間與地理資訊。溫度計以監控系統溫度。

3.脈衝訊號處理電路：Schmitt 電路可有效降低訊雨量計雜訊並且提升訊號穩定度。



圖 3-20 電路單元硬體

機械結構我們採用防水盒來放置電路單元，並採用 SMA 接頭以降低訊號傳輸過程中所帶來的雜訊。最後在接頭部分以熱熔膠進行強化，避免雨滴經由縫隙進入儀器中。整套電路單元包含機械結構重量約為 250 克。如圖 3-21 所示。電路單元各個模組如表 3-1 所示。

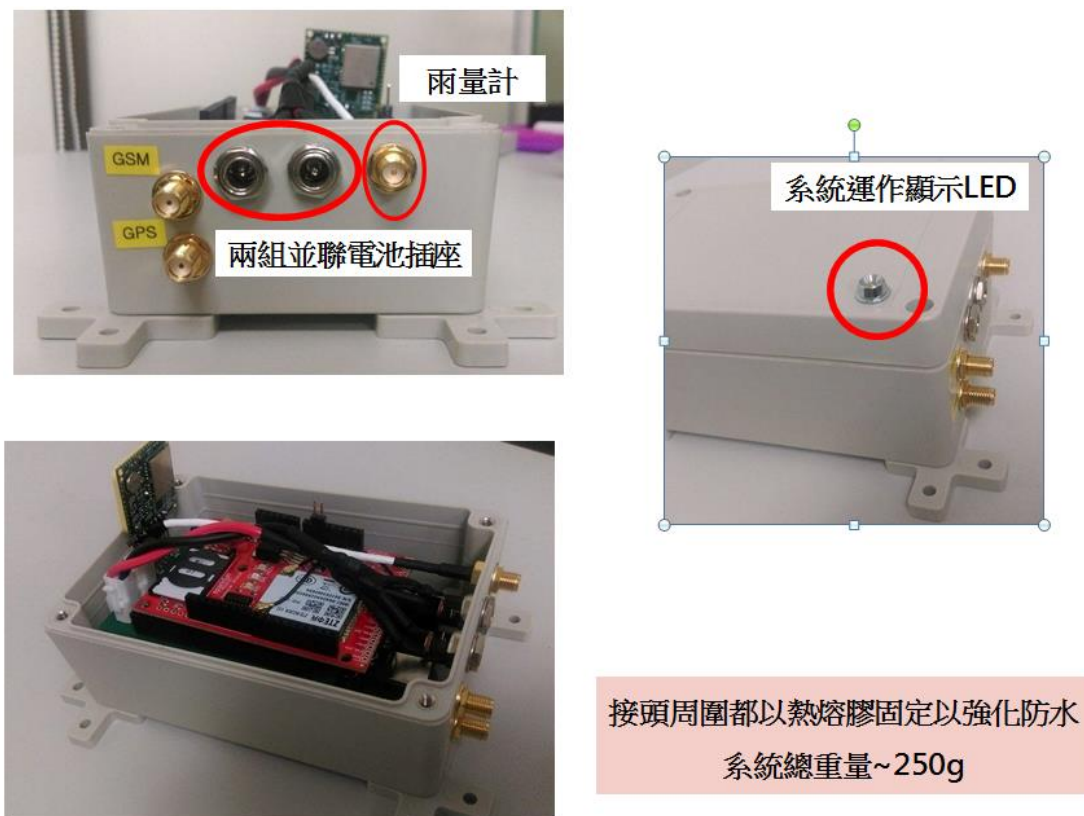


圖 3-21 電路單元機械結構

表 3-1 電路單元列表

品項	品名
中央處理模組	Arduino_Mega2560
通訊模組	MG2639
定位模組	LS20032
系統附加模組	溫度計、三軸加速規、訊號處理 IC
機械結構	電路防水盒*1

第三項 雨量計記號處理

雨量計內部採用 2 組磁力計開關，一組為常開另一組為常關，可依需求選取所需。當雨量計內部勺子累積雨量到預設重量後，勺子中會以傾倒將雨水排掉，並恢復原來姿態。以常關式的磁力計開關來解釋，當勺子傾倒時磁力開關會短暫導通，並在姿態恢復時斷路。如圖 3-22 所示。

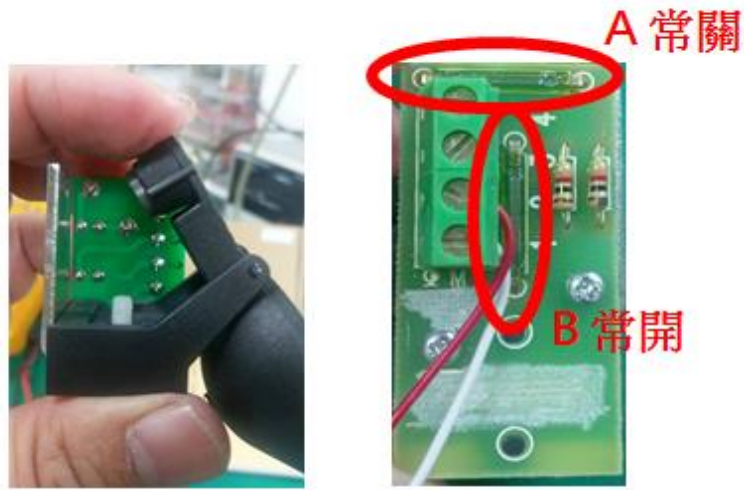


圖 3-22 雨量計內含磁力開關

因此可藉由提供 5V 訊號來製作脈衝訊號，並藉由 Schmitt 電路處理訊號，此電路可有效降低訊號雜訊並且提升訊號穩定度，以供計數器進行高低壓的判定，最後搭配微處理器的計數功能以取得雨量資訊。雨量計訊號處理流程如圖 3-23 所示，訊號的波譜如表 3-2 所示。



圖 3-23 雨量計訊號處理流路

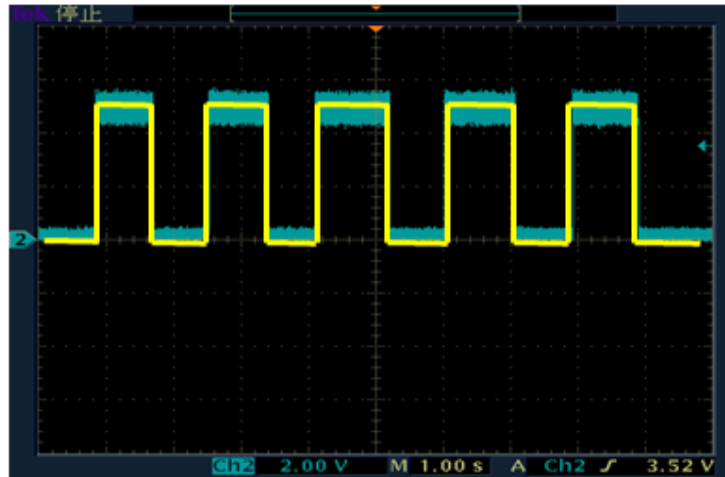


圖 3-24 藍色為原始訊號，黃色為 Schmitt 處理訊號

第四項 電路單元軟體

此系統流路主要為重複迴圈，每次於量測前檢查是否有新進簡訊，若簡訊內容符合預設字串則進行系統參數修正，並回傳簡訊至發送者以通知參數調整完成，指令字串將會於下段內容中介紹。若系統參數允許將接著進行量測，並將感測器觀測資料與雨量計計數整合成固定字串，並上傳至網路空間。

本系統因用於遠距離觀測，因此不易進行人為調整。為避免系統因未知因素而異常終止，我們設計了獨立的監測系統，當主系統的量測時間差超過預設長度，也就是停留在單次迴圈中的時間過長，我們將系統判定為異常終止，而進行重啟並以簡訊通知預設號碼。資料信號與系統控制命令傳送流程如圖 3-25 所示。

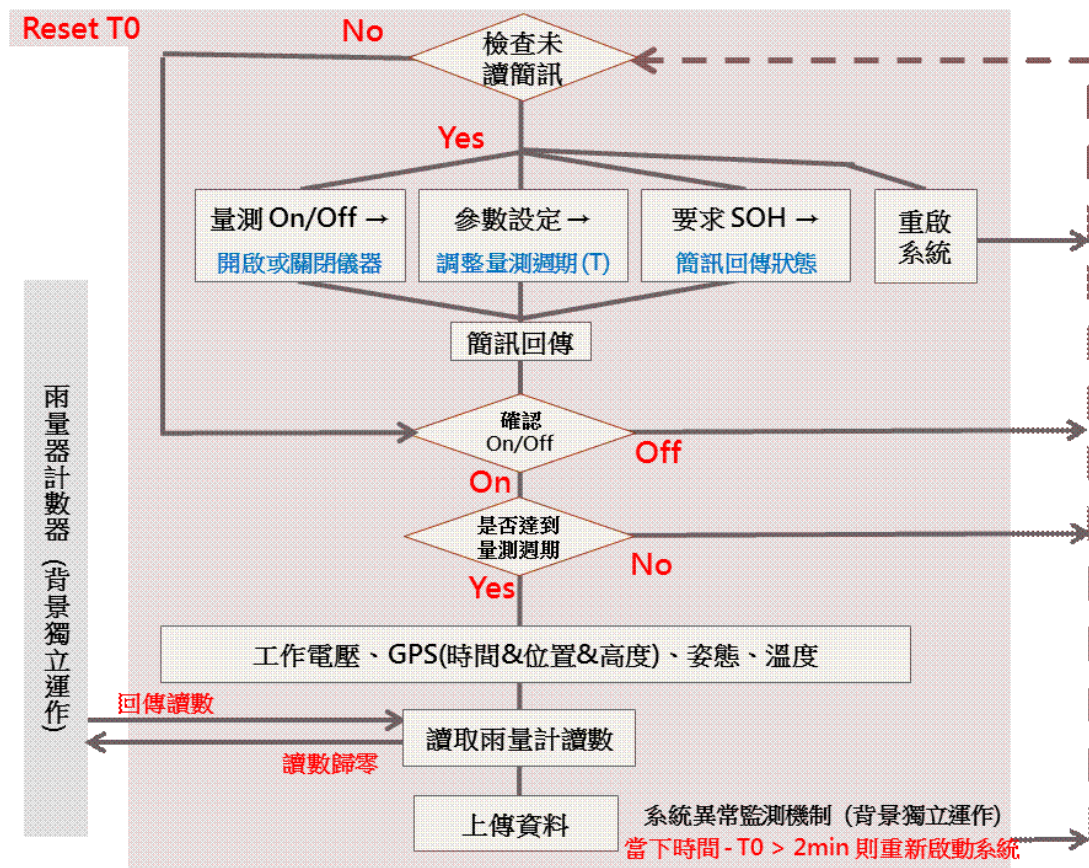


圖 3-25 系統流程圖

第五項 系統指令

本系統可藉由接收簡訊並判斷內容字串以修改系統參數。簡訊控制指令由密碼及指令所組成，當簡訊內容符合預設指令時，系統會進行內部參數的更改，並回覆簡訊至發送訊息的手機通知更改完成。反之，當簡訊內容不合預設內容時則直接刪除，而不進行回應。詳細內容於下方表 3-2 中。圖 3-26 為實際操作所顯示的執行指令頁面資訊。

表 3-2 指令列表

Key	Command	Execution	Example
MG2639	_Restart	重新啟動系統	MG2639_Restart
	_UpdateOn	資料擷取與上傳	MG2639_UpdateOn
	_UpdateOff	停止擷取與上傳	MG2639_UpdateOff
	_Return	簡訊回傳系統資訊	MG2639_Return
	_Looptime	迴圈週期設定	MG2639_Looptime

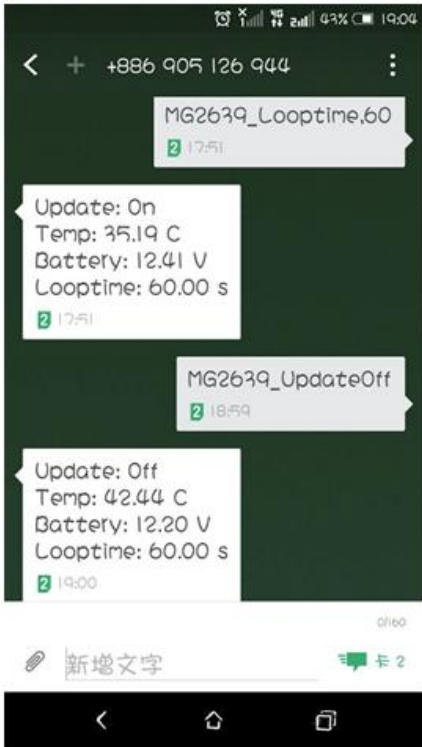


圖 3-26 指令傳輸範例

第六項 資料格式

每筆資料傳輸的內容包含日期、時間、位置與高度、姿態、雨量計計數、系統溫度、系統電力以及系統狀態。量測週期可藉由簡訊進行參數調整。如圖 3-27 所示。實測傳輸資訊如圖 3-28 所示。

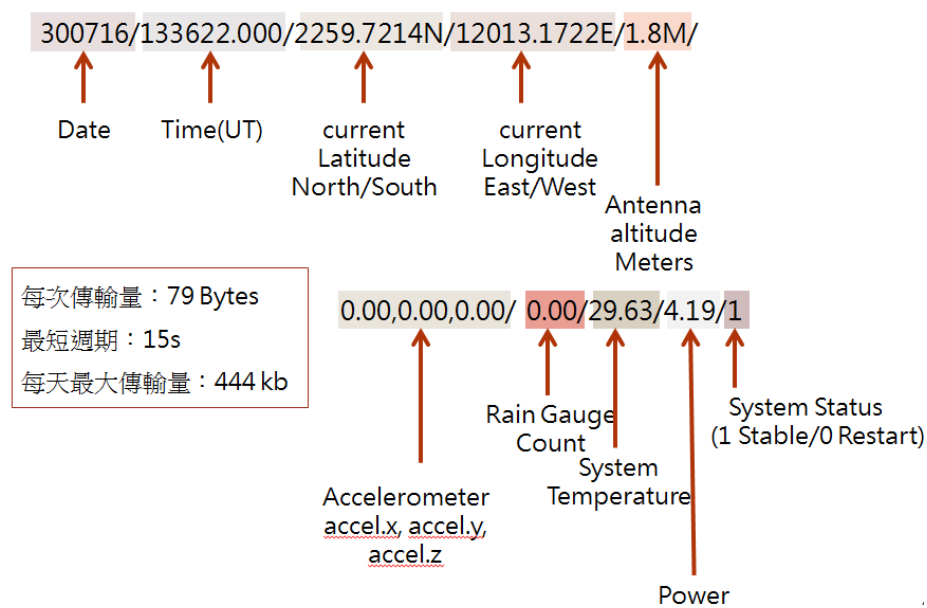


圖 3-27 資料格式說明圖

```
020816/011305.000/2259.7067N/12013.1647E/34.8M/-0.05,-0.01,0.98/0.00/41.31/9.97/1
020816/011406.000/2259.7148N/12013.1676E/41.1M/-0.05,-0.01,0.98/0.00/41.31/9.97/1
020816/011505.000/2259.7202N/12013.1697E/41.2M/-0.05,-0.02,0.99/0.00/41.25/9.96/1
020816/011606.000/2259.7216N/12013.1693E/36.6M/-0.04,-0.01,0.99/0.00/41.25/9.96/1
020816/011707.000/2259.7204N/12013.1676E/23.7M/-0.04,-0.02,1.00/0.00/41.19/9.96/1
020816/011806.000/2259.7294N/12013.1724E/22.0M/-0.05,-0.02,0.98/0.00/41.13/9.96/1
020816/011907.000/2259.7351N/12013.1752E/16.8M/-0.05,-0.02,0.98/0.00/41.19/9.96/1
020816/012006.000/2259.7318N/12013.1723E/14.6M/-0.04,-0.01,0.99/0.00/41.13/9.94/1
020816/012106.000/2259.7154N/12013.1650E/31.2M/-0.05,-0.01,0.98/0.00/41.13/9.94/1
```

圖 3-28 實際資料傳輸範例

第七項 實驗室內測試

我們設計了一套簡單實驗，藉由水瓶中的水量改變而使水滴流速改變，以取得雨量計的相對反應。此實驗雖然無法確切的知道水滴流量，但藉由這樣的改變可預期雨量計的量測數量會由大趨小，結果也與理論相符合，測試結果如圖 3-29 所示。

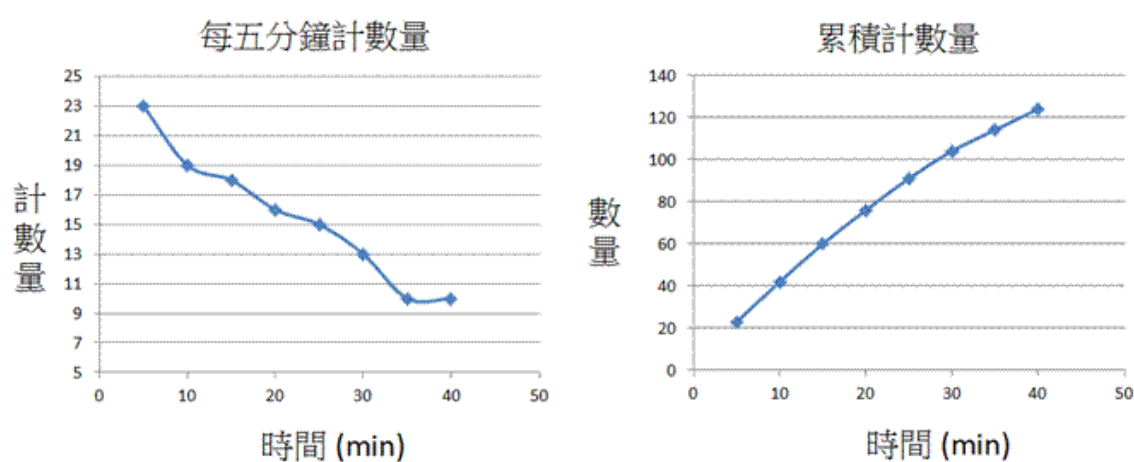


圖 3-29 雨量計室內測試圖

第八項 電力單元

本電力系統因需提供長時間的用電，因此我們挑選具有小體積且高容量的鋰電池，以最低的重量來提供最長的量測時間，電力單元構成如表 3-3。

表 3-3 電力單元列表

品項	品名
電池	NCR18650B*18
機械結構	電池防水盒*2

本電池組由兩盒電池防水盒所構成，每盒中包含 3 組電池，每組串連電池為 3 顆輸出電壓為 12V(3.7V*3)。為避免多組電池並聯而引起的互相充電現象，我們附加了一組電路以避免回充。整組電力單元重量約為 1.5kg，如圖 3-30 所示。



圖 3-30 電力單元結構

第九項 電力系統性能測試

電量測試中我們採用單組電池進行測試(實際飛行包含 6 組)，電壓耗損為 0.145V/hr，並將 10V 定為最低工作電壓，因此推算出單一組電池約可使系統維持運做 17hr，因此整套電池約可運作 4~5 天。

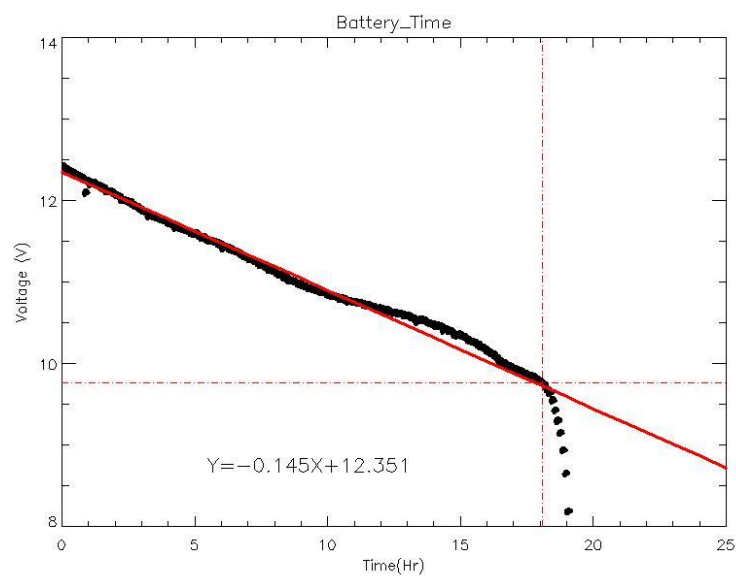


圖 3-31 電壓降低與時間關係圖

第十項 戶外測試及結果

戶外測試進行兩次，結果分別說明如下：

觀測時間：2016/08/16 16:00~2016/08/16 18:30

觀測實數：2.5 小時

觀測高度：42.5M

電池組：1 組

觀測地點：2259.7115N，12013.1856E

觀測目的：(1)觀測降雨量，(2)系統穩定性，(3)系統防水性

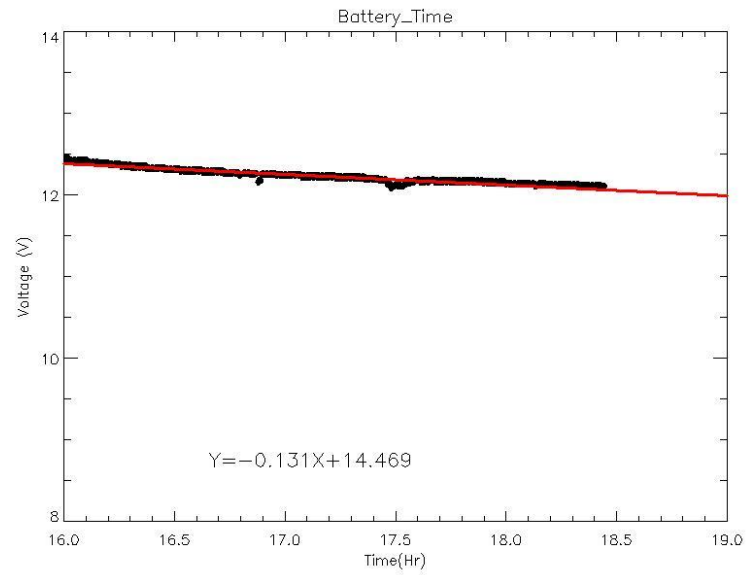


圖 3-32 戶外測試(1)電壓降低與時間關係圖

電壓變動情形如圖 3-32 所示。系統溫度變化情形如圖 3-33 所示，維持在 40°C 以下。觀測一個小時的計數器數值如圖 3-35 所示。

與台南氣象站所觀測的雨量資料比較，如圖 3-35，的確在下午 5 點有較明顯的降雨。降雨強度為 8mm/hr。降雨的地域性偏差頗大，本雨量計為 7mm/hr 在容許誤差範圍內。

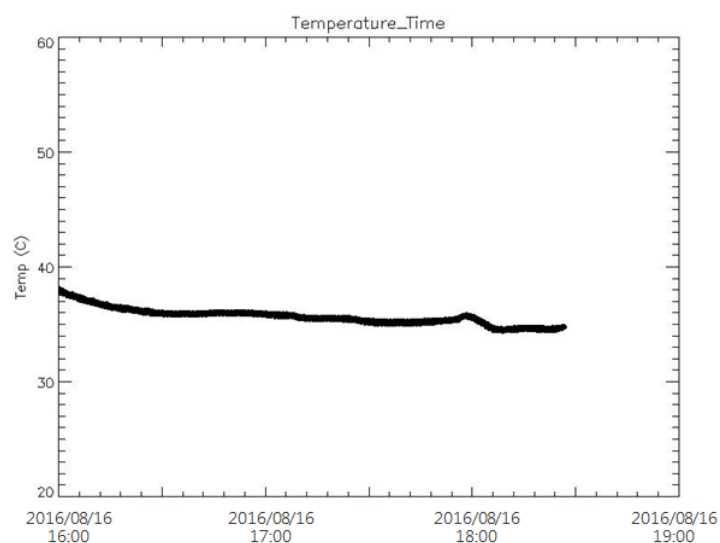


圖 3-33 戶外測試(1)系統溫度與時間關係圖

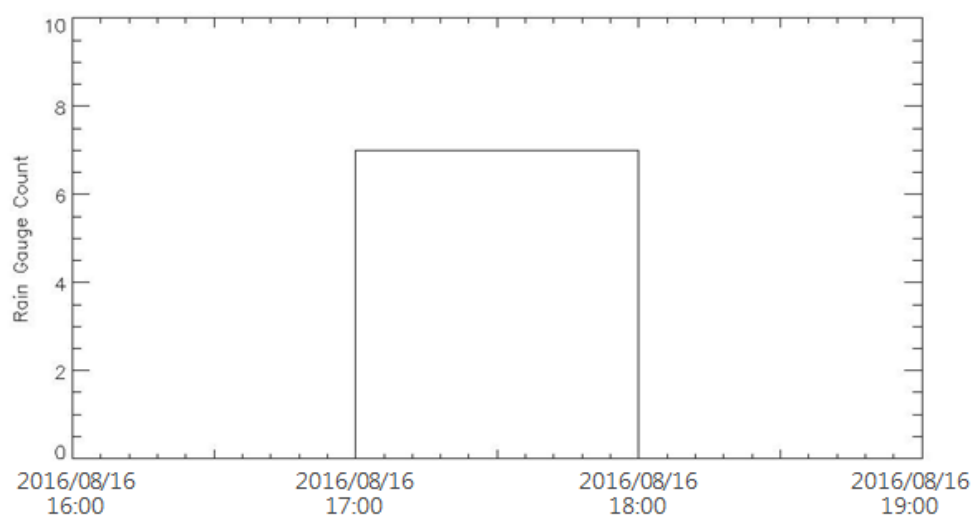


圖 3-34 戶外測試(1)雨量計讀數與時間之關係圖

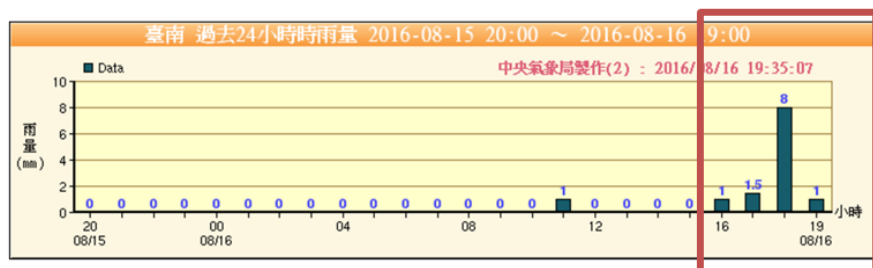


圖 3-35 戶外測試(1)氣象局台南站雨量觀測數值

第二次戶外測試在 8 月 18 日進行，電壓變化，如圖 3-36。

觀測時間：2016/08/18 14:00~2016/08/19 12:00

觀測實數：36 小時

觀測高度：42.5M

電池組：2 組

觀測地點：2259.7115N，12013.1856E

觀測目的：(1)觀測降雨量，(2)系統穩定性，(3)系統防水性

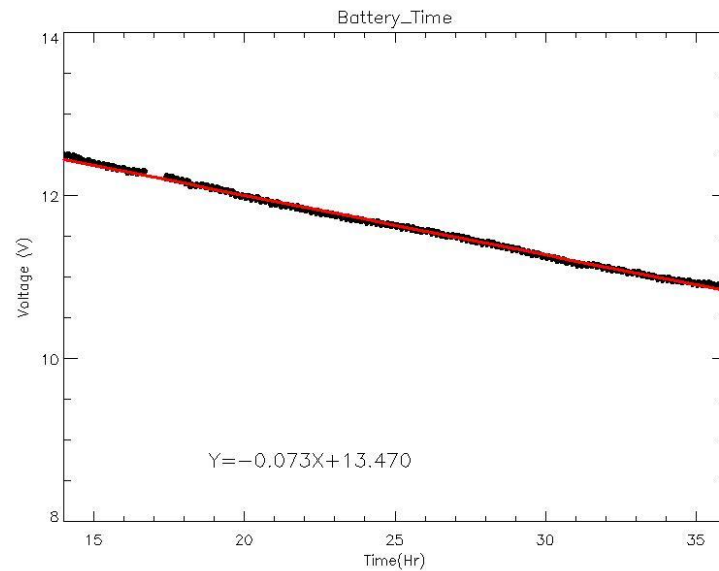


圖 3-36 戶外測試(2)電壓降低與時間關係圖

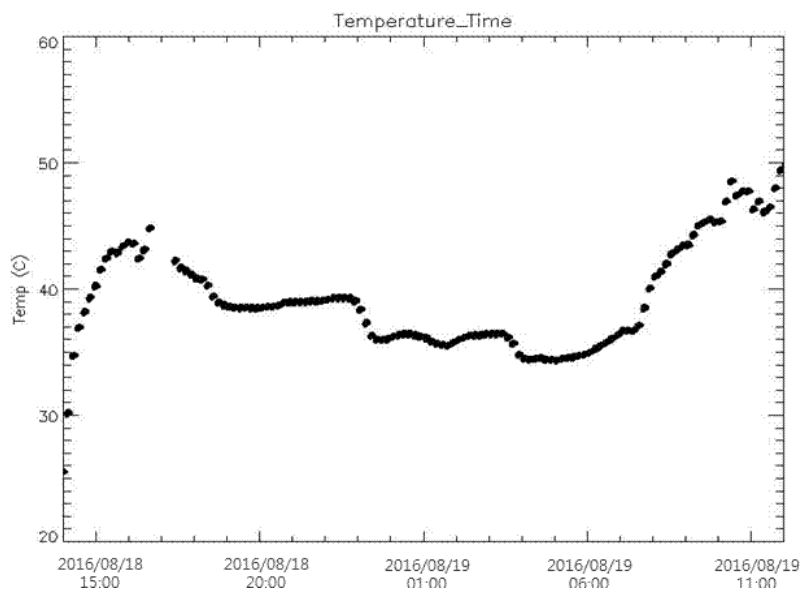


圖 3-37 戶外測試(2)系統溫度與時間關係圖

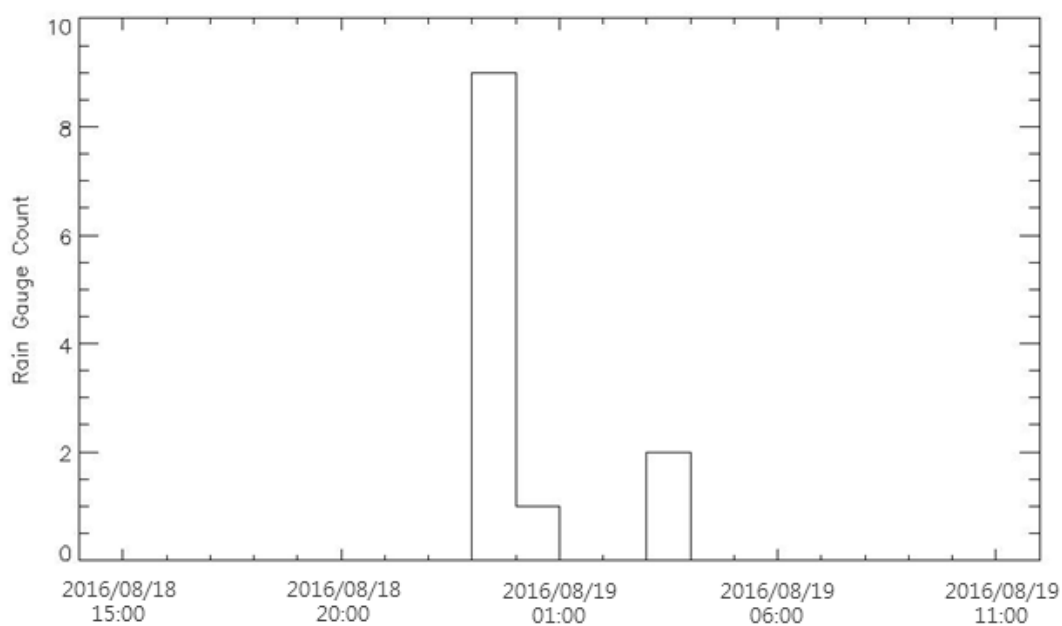


圖 3-38 戶外測試(2)雨量計讀數與時間之關係圖

系統溫度及雨量計讀數如圖 3-37 及圖 3-38 所示。台南氣象站觀測雨量如圖 3-39 所示。降雨時間吻合，降雨強度偏差大，可能是地區性差異造成。未來將在氣象站附近再次進行校驗。

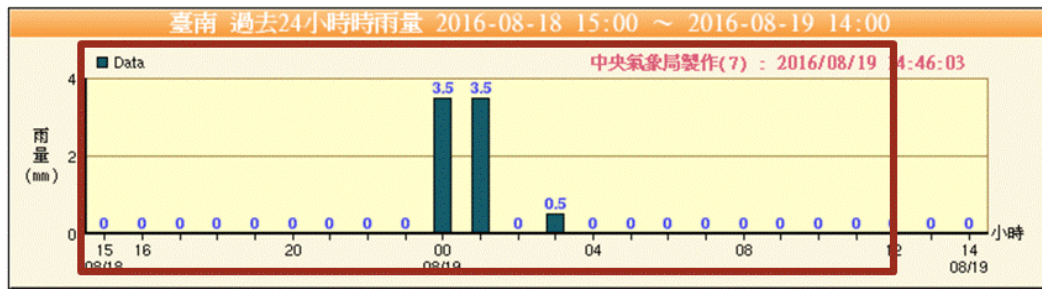


圖 3-39 戶外測試(2)台南氣象站雨量觀測數據

第十一項 小結

通訊模組系統目前已完成，也經過數次室內測試以及兩次戶外測試，電力系統與電路單元也已經穩定。未來也將計畫進行多次機械結構穩定度測試，以便對機械結構上的小細節進行進一步的調整。

第六節 觀測資料接收與成本分析

第一項 實測資料分析

目前整體系統均已完成，9 月 25 日 23:30 發佈梅姬颱風海上警報。因此在 9 月 26 日以無人飛行載具將雨量計送到塔塔加的鹿林山附近進行野外測試，同時留下一個雨量計在成大物理系館樓頂作為比較實驗。

留在台南成大校園的雨量計自 9 月 27 日與台南有人氣象站觀測的降雨時序圖結果比較如圖 3-40。在雨量的大小時間上非常吻合，顯示已經大幅改善了上回 9 月 15 日莫蘭蒂颱風發生的缺失。

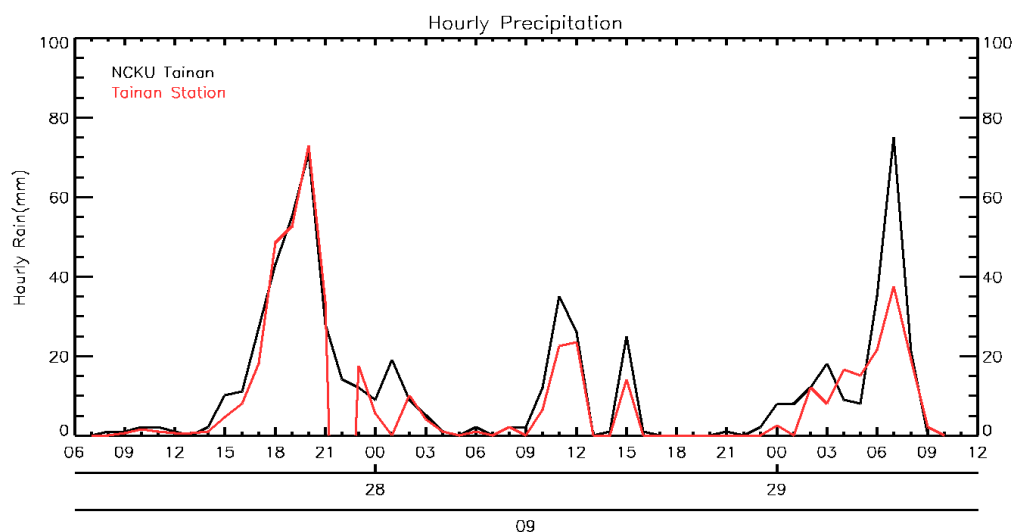


圖 3-40 梅姬颱風期間台南氣象站和位於成大的雨量計觀測結果

至於在塔塔加鞍部附近的雨量觀測結果與附近自動氣象站的比較結果如圖 3-41。

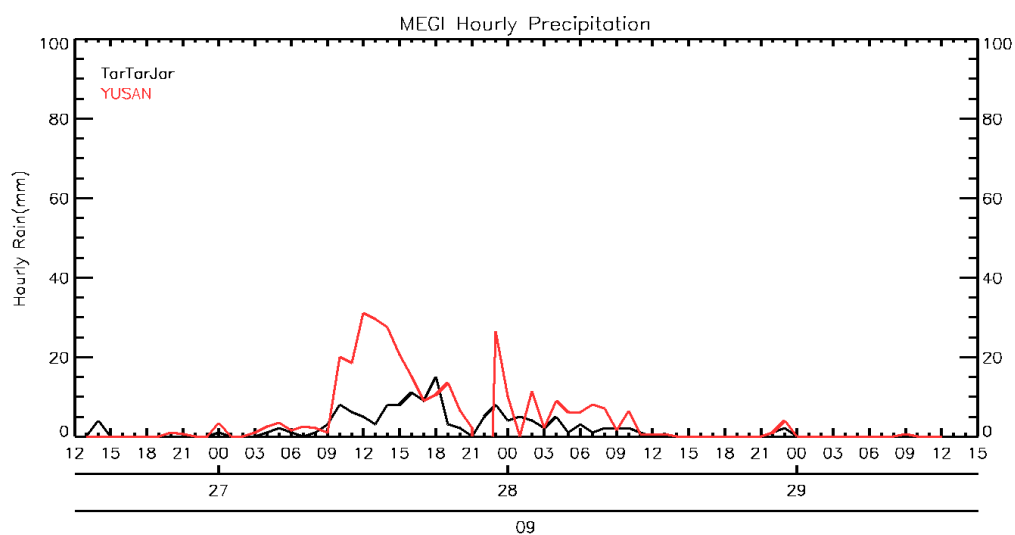


圖 3-41 塔塔加鞍部附近雨量觀測結果與玉山觀測站雨量的時間序列比較

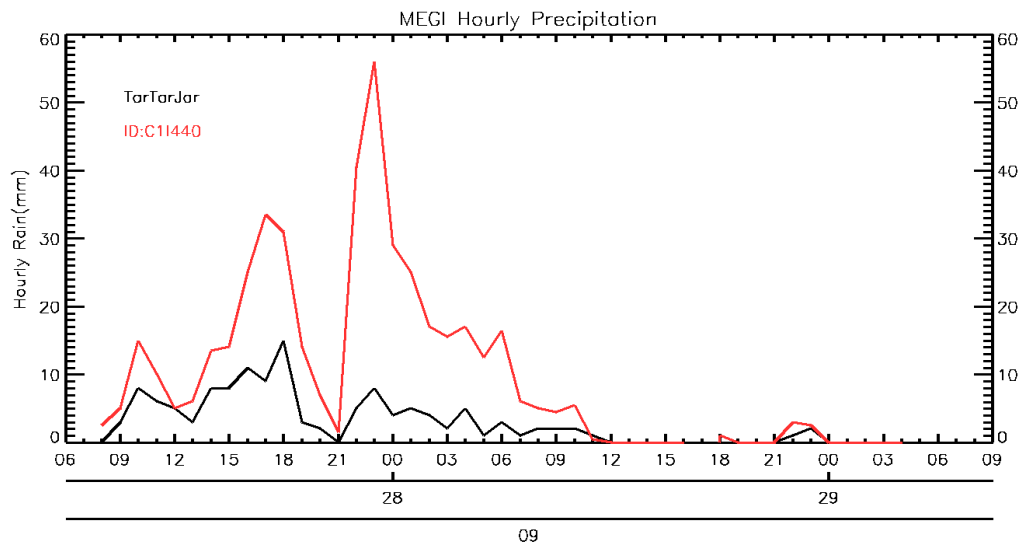
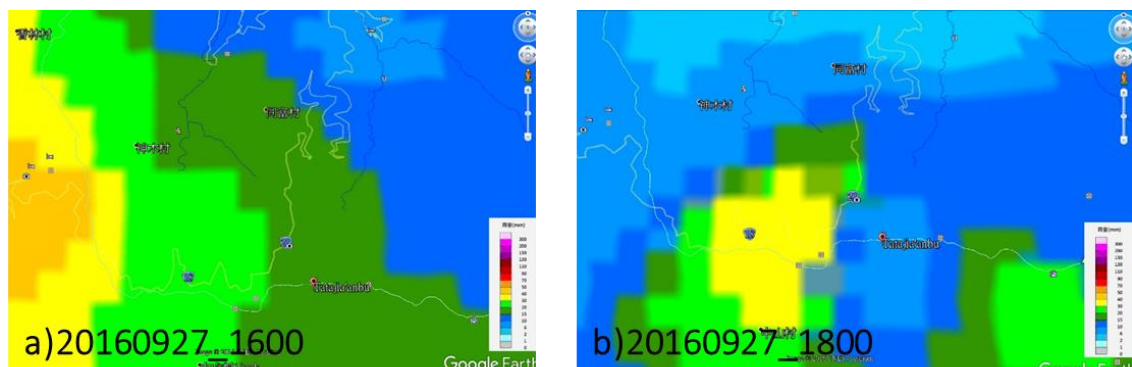


圖 3-42 塔塔加鞍部附近雨量觀測結果與新高口雨量觀測的時間序列比較

玉山測候站位於海拔高度 3950 公尺附近，而新高口雨量站高度相差不大但是有點距離差。由圖 3-42 看到降雨在高度的差別比水平距離影響大，即高山的降雨強度比作海拔大而且有時間差。至於和新高口的雨量比較在降雨強度趨勢的時間是比較符合的，但是觀測的降雨量有些差別。至於空間分佈關係可以由下面的圖 3-43 可以看出其雨量分佈空間關係。



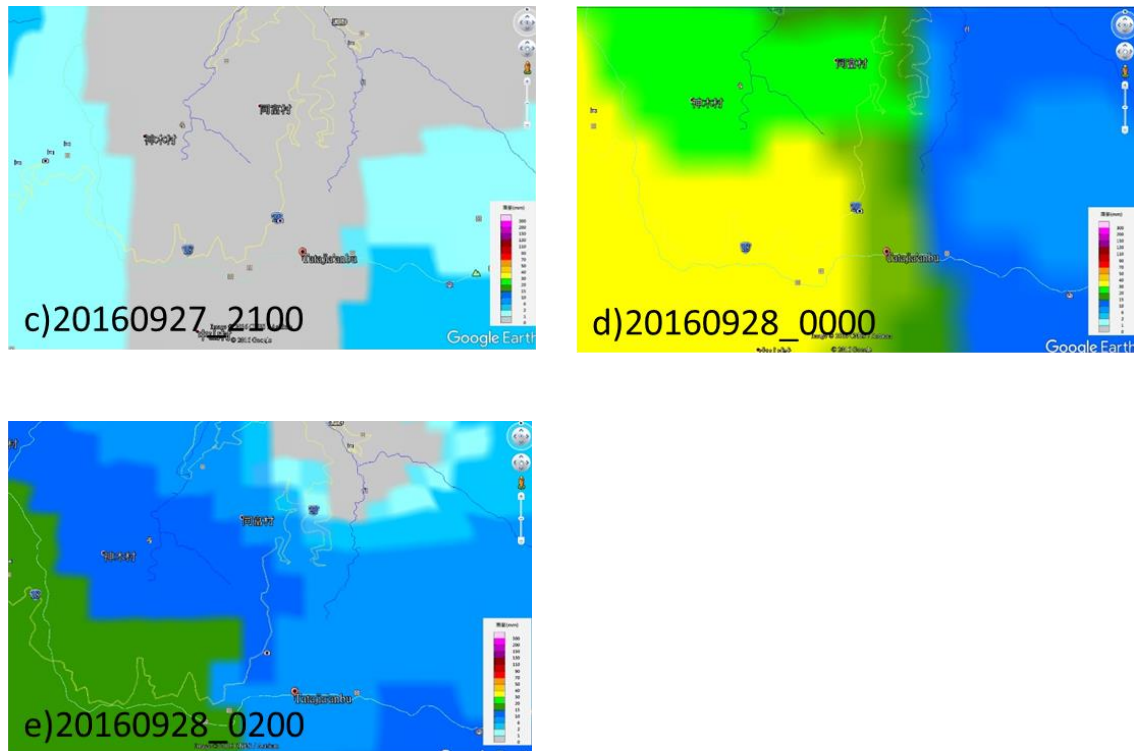


圖 3-43 a)~e)五個不同時間塔塔加的雨量站所在雨量分佈與新高口雨量站雨量觀測的空間分佈圖

由圖 3-43 的 a) 9/27 面積雨量 16:00 新高口為 20mm 而塔塔加為 15mm 觀測的新高口為 30mm，塔塔加為 11mm，b) 9/27 18:00 新高口是 15mm 而塔塔加為 10mm，觀測的新高口為 31mm 及塔塔加為 15mm 左右 c) 9/27 21:00 新高口和塔塔加均無雨，但是新高口觀測資料卻有 1.5mm 降雨。d) 9/28 00:00 新高口是 20mm 而塔塔加為 15mm，觀測的新高口是 29mm 而塔塔加為 2mm，分別是過高與過低， e) 9/28 2:00 新高口及塔塔加為 6mm，觀測的新高口是 17mm 而塔塔加為 2mm。綜合上述五個時間點的觀測結果與降雨面積分佈圖比較給果，

本計畫設計開發的雨量計給果並不算差。當然雨量分佈本行的內插計算存在一些誤差，加上降雨本身的時間空間分佈偏差，除非在同一地點，實在很下定論誰比較正確。平均偏差在塔塔加為-3.2mm，小於新高口的 8.5mm，均方根誤差在塔塔加為 6.72mm，小於新高口的 9.85mm。我們不能就在此依據一個觀測資料下結論，但是已經顯示具有相當參考價值，惟雨量可能因為設計的關係，大雨觀測值偏小。然而以在台南站為有人觀測氣象站與成大的雨量觀測結果而言，本計畫所開發的雨量計觀測結果是非常的吻合實際降雨的。

表 3-4 南投新高口自動雨量站與塔塔加雨量計的觀測結果分析

	9/27 16	9/27 18	9/27 21	9/28 00	9/28 02	Mean Bias	RMSE
(神)area rain	20	15	0	20	6		
觀測值	20	31	1.5	29	17	8.5	9.85
(塔)area rain	15	3	0	15	6		
觀測值	10	15	0	2	2	-3.2	6.72

第二項製作成本分析

本計畫開發的系統主要包含三大部份，即雨量計、通訊模組及無人飛行載具。無人飛行載具可以多次使用，暫不列入此計畫的雨量計製作成本。同時不計入八萬元的設計費，謹就雨量計及其支架以及通訊模組的成本，每個為 49,000 元。這次計畫內製作了兩個雨量計系統。其細目如表 3-5 所示。

表 3-5 雨量計成本估算

項目	型號	單位	價格	重量	說明
雨量計	RS101	個	10000	240g	
支架製作費		個	31500	5Kg	
中央處理器	Arguino Mega 2560	片	1600		
通訊&GPS 模組	MG2639	片	2300		
3 軸加速模組	MMA8452Q	片	390		
GPS		個	500		

項目	型號	單位	價格	重量	說明
GPS 天線		個	550		
天線轉接頭		個	130		
電池		6 組	450		使用 3 組
溫度計		個	200		
電路板製作		片	600		
機械結構		個	500		
通訊費		月	236		
合計			48956	總重量<7kg	

其中雨量計是英國 Maplin 公司自動氣象站元件編號：N77NF，因為在台灣採購，所以單價高，如果大量採購，每個單價可望大幅降低。成本也可望降低。雨量計如圖 3-44 所示。

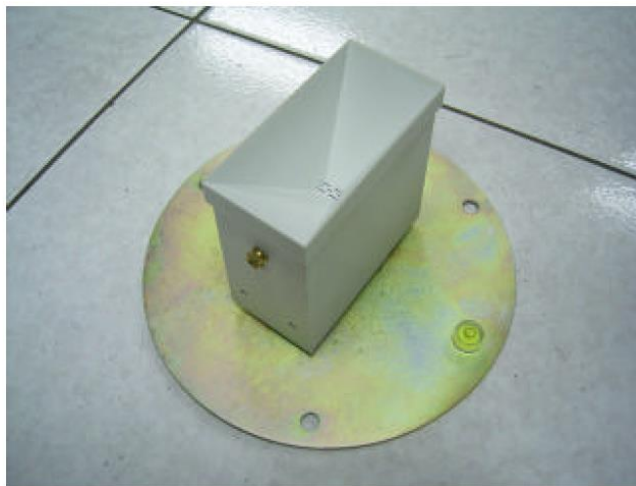


圖 3-44 RS101 雨量計外觀



圖 3-45 放置於塔塔加鞍部鹿林山莊附近的雨量計的整體外觀

雨量計支架如圖 3-45，若大量製作造價可望降低更多。每座的製作成本可以降至 4 萬元以內。

第四章 結論及建議

本計畫執行至期中報告繳交為止已經完成各工作項目的開發、建置與校驗工作。本計畫屬於新技術整合開發計畫，相信全台灣還沒有其他這樣的高 CP 值成品。研發期間遭遇許多沒有想到的難題，在全體組員的努力下一一克服，終於有實體成果呈現。在經過颱風豪雨的洗禮後，證實這項開發的雨量計是可行，值得在廣大山區大量佈設此經濟型雨量站網，提升天然災害防災資訊蒐集的能力。

受限於經費，今年計畫僅製作兩個雨量計系統，期望明年可以加入物聯網通訊模組，在沒有 4G/3G 網路的地方可以建立觀測網，擴大建置規模，提高防災的監測能力。今年本計畫使用的雨量計雖然輕，測試多次有彈性疲乏的問題，可以改用較耐用的雨量計，但是重量從目前 200g 增加到 1kg，對於無人載具也是一項考驗。

本計畫如期完成期中、期末審查會議，期末審查五項意見回覆請參閱附錄二。

參考文獻

1. 吳俊毅，博士論文，降雨誘發崩塌與土石流災害風險降低措施之效益分析，國立中興大學，2012。
2. 唐國宸、葉國賢，“結合感測器之廣域適地性服務”，第十二屆離島資訊技術與應用研討會論文集，五月二十四日，金門大學，金門，台灣，2013。
3. 萬一怒，農業無線感測器網路建構技術農業無線感測器網路建構技術，國立中興大學生物產業機電工程學系，2006。
4. 劉清煌，中央氣象局委託計畫報告，以防災與流域觀點探討西部高山地區雨量自動測報系統站網需求之研究，中國文化大學，118頁，2012。
5. Liu, C.C., Luo, W., Chen, M.C., Lin, Y.T., & Wen, H.L. (2015b). A new region-based preparatory factor for landslide susceptibility models: the total flux. Landslides,doi:10.1007/s10346-015-0620-3.

附錄

附錄一、工作會議紀錄

無線感測雨量計開發與設置研究 第 1 次工作會議記錄
時間: 2016 年 3 月 29 日 下午 2:00~3:30 地點: 劉正午老師辦公室 參加人員: 劉正千、王光華、陳炳志、莊嘉文、鍾曉緯、高愷嶸、林佳慶
內容:
1.光華老師報告整個計畫目標概況、預算、分工、時程。6 月底前完成組裝與測試 2.炳志老師說明通訊元件的組裝架構 3.佳慶報告目前市面長距離 UAV 狀況及如何改裝現有 UAV 4.曉緯報告 UAV LiDAR 四種儀器性能
結論
1.光華:雨量計希望能夠儘量減輕重量,其他各個元件第一要務是減重 2.目前廠商已經將鐵板改為鋁板以減輕重量 3.炳志老師: 請開始購入相關電路板,準備組裝。增加平衡、溫度及

電壓的 sensor

4.慧霖: 請參考 DEM 及中華電信 3G 覆蓋區域, 選出比較理想的雨量感測器可能置放地點

5.曉緯等: 請 UAV 團隊繼續尋找酬載及滯空時間長的 UAV, 並且估計其性價比。

6.UAV 試飛時建議攜帶一個簡單的手機以測試通訊情形

7.雨量計的維持平衡設計, 想大家一起動腦想想看!

8.請大家思考是否可能模組化?

9.如果雨量計提前到貨將另行通知大家聚集討論、測試

下次開會時間: 4 月 12 日下午 2 時在劉老師辦公室

計畫開始時間為 2016 年 4 月 1 日

無線感測雨量計開發與設置研究 第 2 次工作會議記錄
時間：2016 年 4 月 12 日 下午 2:00~3:00 地點：劉正千老師辦公室 參加人員：劉正千、王光華、陳炳志、溫慧霖、莊嘉文 記錄：溫慧霖
內容:
1.單杯式雨量計已購入二組，針對其雨量計數進行討論 2.炳志老師說明通訊元件的架構、預期元件的實體大小及重量(詳細內容會再附上簡報資料) 3.說明目前機板零件總價格，不含電池，希望電池可以找到更適當的。 4.觀測系統的啟動是否由特定門號透過簡訊啟動?
結論
1.慧霖：通訊元件的電話預付卡辦理，先買一個 2.炳志老師：持續通訊元件的組裝及測試 3.UAV 到定點擺放雨量計的開關機制，炳志老師建議可與專家商談設計

4.待通訊元件傳遞資料機制討論完畢後，全球中心資訊人員負責建置後端資料庫

5.光華老師：雨量計率定校驗

6.由於雨量計未來可能更動，後端電路也會跟著更改，因此建議暫時維持兩個雨量計設計與測試，暫時不增加購置

前次會議處理進度：

1.雨量計已於4月6日到貨並開立發票(待核銷)

2.炳志老師已完成電路板購入，並研究雨量計計數模式及通訊元件組裝規劃

3.3G網路覆蓋區域，已建置中華電信圖層，另外台灣大哥大以鄉鎮為單位的文字說明，遠傳電信覆蓋範圍比中華小，故只載圖檔並未進行套疊分析

4.由於觀測組執行任務並未參與第二次工作會議，故UAV進度將由第三次工作會議來討論

無線感測雨量計開發與設置研究 第 3 次工作會議記錄
時間: 105 年 4 月 26 日下午 2 時 地點: 劉老師辦公室 參加人員: 劉正千老師、陳炳志老師、王光華老師、溫慧霖、莊嘉文、 高愷嶸、林佳慶
內容:
1.上次會議決議執行情形 A.中華電信預付卡: 已經採購並且交付嘉文 B.雨量計送專門機構校驗: 已經送台大水工所校驗中 C.洽請專人設計雨量計: 已經請洪先生設計。設計方向討論 D.飛行載具功能提昇: 已朝組裝新機方向進行, 需要確認載重的重量數值才能決定機型。 2.嘉文報告目前電路板設計情形
結論
1.以後會議均說明目前執行進度與計畫的規劃時程 2.雨量計整體規畫設計以讓儀器可以穩定觀測為第一優先, 其次考量

設備回收機制，第三才是觀測儀器保持垂直。將以儀器傾斜的觀測記錄來進行校正。將於會後通知洪先生以此方向設計。

3.炳志老師的電路校設計，預計在 5/10 前完成並且 5/17 完成電路板製作。以便測試。如果日後有新功能需求再進行第二版的電路板製作。

4.雨量計的數值計算 Default 以十分鐘為單位。沒有雨的時候不傳送資料，有資料才傳送以節省電力。

5.增加電量量測的管理機制，如果電力快中斷，停止一切運作，傳送目前所在位置的 GPS 的坐標出來

6.今天未討論儀器操控的電話門號，建議保留 3 個門號來控制或傳送簡訊，若不設限可能有不可預期的干擾。

7.下次會議時間 5 月 10 日下午二點。5/24 炳志老師出國，第 5 次工作會議為 5/31

規畫時程: 5 月底完成系統整合，準備六月的野外測試

無線感測雨量計開發與設置研究 第 4 次工作會議記錄	
日期: 2016 年 5 月 10 日下午 2 時 地點: 地科系 2F 劉老師 office 出席人員: 劉正千、陳炳志、王光華、溫慧霖、莊嘉文	
內容:	
1.光華說明目前計劃執行進度及設計費不足問題 2.光華代表 UAV 小組說明這兩天新北市烏來測試地點位置飛行計畫 3.烏來的佈放點一個以 UAV 佈放，一個以人工方式佈放，確保可以正確量測 4.嘉文說明通訊電路板執行進度及重量 A.總重量 355g(含一組電池)，電池每組 220g, 可以使用 1 天 B.測試完成: MG2639 Module GPS，訊號處理電路-Schmitt，訊號處理電路-Counter，MMA8452 三軸加速器，溫度計 C.測試中:MG2639 Module GSM，中央處理器 D.待製作: PCB 機械架構確認後約一週時間	
結論	
1.1.將計畫內容分為細項討論。設定優先順序(A: 必須完成，B:部份	

完成，C:下一階段改進)

一、1)雨量計無線資料傳輸(A)

2)微處理器雨量數位量測(A)

3)環境參數數位量測（傾角、溫度）(A)

4)電信網路資料傳輸與控制: (A) 蜂巢或網路(C)

5)雨量計校正:誤差校正、傾角修正 (A)

6)長時間供電（省電設計）(B)

二、UAV 裝卸佈放雨量計

1)決定實驗地點: 新北烏來及屏東山區 (A)

2)釋放測試 (A)

3)回收測試 (B)

4)水平調整 (B)

5)抗風（固定） (B)

三、實地測試

2.請佳慶及 UAV 小組對於佈放的機械設計先做一次輕量級試飛，了解掛勾是否合用？

3.定出優先順序及 UAV 吊掛方式後，決定是否委託設計

4.下次工作會議時間 2016 年 5 月 31 日 2PM。相關消息可以隨時提供交換意見。

無線感測雨量計開發與設置研究 第 5 次工作會議記錄
時間: 2016 年 5 月 31 日 下午 2 點 地點: 劉正午老師辦公室 參加人員: 陳炳志老師, 王光華、莊嘉文、溫慧霖
內容:
光華: 說明目前執行狀況, 1. 洪先生設計雨量計系統主要構造圖完成, 提出洪先生的製圖 2. UAV 掛載採用電磁鐵 3. 雨量計放置地點改為塔塔加鞍部附近, 播放 6/25,26 在當地的航拍圖說明 4. 雨量計在台大水文中心檢測中, 未完成 嘉文: 說明電池的規劃設計圖及目前各項進度。中央處理程式在製作中, 電路製作待最後總測試前一週再進行。
結論
1. 7 月 19, 20 日陳老師要去塔塔加鹿林前山的天文台進行實習, 如果要進行儀器或 UAV 測試可以同行。透過陳老師該地方就可以提前申

請，就有地方住宿。便於儀器安裝測試

2.雨量計的腳要考量可以在現地才展開

3.電池要注意防水及加裝二極體，防止因接電失誤產生危險

4.找個週末假日讓洪先生和全體工作夥伴有個工作會議，一起討論。

從雨量計作業流程中思想是否還有沒有要修改的

5.工作時程

A.暫定和洪先生的會議在 6 月 12 日傍晚 5 點

B.六月底前完成雨量製作與裝配

C.雨量計送回來時開始進行雨量計與計數器的測試，希望在端午節前

D.七月開始進行 UAV 飛行測試，7/19(二)上山測試

無線感測雨量計開發與設置研究

第 6 次工作會議記錄

時間: 2016 年 6 月 7 日 地點: 地球科學系 2F 劉老師辦公室

參加人員: 劉正千老師、陳炳志老師、王光華老師、莊嘉文、高愷嶸、
林佳慶、鍾曉緯、許韜

內容:

1. UAV 掛載方式使用電磁鐵式: 無連結線, 為了讓飛機穩定飛行
2. 選擇塔塔加為雨量計測試放置地點
3. 雨量計檢驗進行中, 預計本月中取回; 最遲 6/20 取回
4. 7/19 與陳老師上山進行 UAV 吊掛及信號測試; 將進行載重吊掛及放置測試及通訊測試
5. 本月 30 日前完成腳架製作及系統組裝
6. 七月初進行校園內雨量計觀測的戶外測試
7. 3G 通訊費用核銷仍有待思考
8. 嘉文說明目前一個盒子有三個電池的處理方式, 先充電再置入, 可以放兩個盒子共六個電池, 已經加裝二極體, 防止因接電失誤產生危險
9. 如果我們可以成功以 UAV 置放 8Kg 的儀器在國內已經算是少有的

創舉了。

結論

- 1.請 UAV 小組考量電磁鐵耗電情形
- 2.請 UAV 小組於本月底前完成載重 10kg 的 UAV
- 3.請 UAV 小組增購超音波測距儀，併入傳回的控制資訊，目標為在高度 10 公分左右放下雨量計系統
- 4.6/30 完成電路板製作
- 5.6/30 前提供將於 7/19 上鹿林山天文台本中心工作人員名單給陳老師，同時也向天文台方面送出試驗計畫暨住宿申請單
- 6.原定 6/21 的第七次工作會議為配合設計師洪先生改為 6/18，詳細時間與洪先生連絡確認後另行通知大家，希望確認設計結果和我們認知沒有差別
- 7.6/18 前連繫洪先生取得詳細設計圖給大家看過。18 日後送交製作。
- 8.上天文台附近進行觀測作業，陳老師將與天文台長取得共識，方便未來的出入及住宿
- 9.三腳架材質留待 6/18 與洪先生討論後決定

無線感測雨量計開發與設置研究 第 7 次工作會議記錄	
時間： 2016 年 6 月 18 日上午 11 時 地點：地球科學系 2F 劉老師辦公室 參加人員：陳炳志老師、劉正千老師、王光華、莊嘉文、鍾曉緯、高愷嶸、林佳慶、洪子仁	
內容:	
1.三角架材質 2.重心位置 3.雨量計排水 4.回收機制 5.儀器位置調整 6.震動檢測	
結論	
1.材質無論使用鋁合金或不銹鋼費用差距不大，直接和承製商討論即可。目前設計重量約 6.2Kg 2.重心調整無重大影響，評估利弊得失維持目前設計位置為宜	

- 3.雨量計排水目前影響不大，保留未來修改空間。
- 4.以成功佈設為優先，回收其次，修改鐵片四周具有斜面設計以利於吊掛作業可以有最大接觸面
- 5.儀器上面板捨棄圓形，改為不規則狀，拉大雨量計和回收鐵片的間距。回收鐵片不考慮使用磁鐵，一則磁鐵片不易找，同時有萬一施放時無法脫開的顧忌
- 6.製作完成後的校內飛行測試，安裝 GPS 及水準規，記錄飛行、施放與回收程序中的震動情形，以利進行實驗室的最大耐震測試值檢定。
- 7.UAV 飛行測試先以手動目視操作開始，以後再進入遙測操作
- 8.新購 UAV 零組件下週到貨，抵達時通知炳志老師
- 9.電池外盒維持目前設計，安裝時不用打孔固定，改為黏著式，外加束帶固定
- 10.依嘉文指定位置調整天線位置
- 11.三角架為可拆卸式，儀器部分基本上為固定式，電池可以現場組裝。帶八角起子現場組裝，為不增加重量不考慮手轉式螺絲
- 12.原來打算在三角架底部加重量，降低重心，為提高 UAV 飛行穩定性，不增加重量
- 13.為提升穩定度增加三角架摩擦力，因應不同地表，腳架底改為可以更換式的腳，即加橡膠皮的腳及金屬錐形腳。

無線感測雨量計開發與設置研究 第 8 次工作會議記錄
時間: 2016 年 7 月 6 日下午 2 時 地點: 全球觀測與資料分析中心 參加人員: 陳柄志老師, 王光華老師, 莊嘉文, UAV 小組出任務
內容:
1.新購無人飛機昨天完成,但是因為要修改腳架,因此僅展示飛機照片 2.討論說明目前通訊處理系統設定與傳送字串格式 3.7/19 確定 UAV 無法上塔塔加進行飛行測試,陳老師將自行攜帶 UAV 拍攝 4.雨量計機架正在製作中,預定 7/21 左右完成
結論
1.提供陳老師先前我們去過的塔塔加預定觀測位置坐標 2.本中心系統工程師要提供信號接收伺服器的 IP, URL 並且放入 MySQL, 提供 server 端的 站台 ID 及對應的 KEY 3.傳送資料增加所在位置的海拔高度

- 4.系統優先處理簡訊，設定的時間周期時才處理觀測資料。簡訊提供四個指令 Restart, UpdateOn, UpdateOff, Return
- 5.交付一個雨量計提供陳老師進行雨量計資料傳送測試
- 6.預計整個系統在本月底前完成系統組裝
- 7.7/19 不開會，將視整體進度，擇定下次會議時間，預計在 7/26。

無線感測雨量計開發與設置研究 第 9 次工作會議記錄
時間:2016 年 8 月 2 日 14:00 地點: 地球科學系 2F 參加人員: 陳炳志、王光華、莊嘉文、鐘曉緯、高愷嶸、林佳慶
內容:
目前工作進度報告: 光華 1.雨量計機架總重量為 5 公斤，鋁合金打造 目前通訊設備報告: 嘉文 2.已完成資料控制流程及資料傳送內容，內容將增加與前一筆資料的相隔時間，啟動手機可以啟動項目包括量測 ON/OFF，參數設定，要求 SOH。指令新增一個:Looptime 設定 3.取消資料延遲時間方式，改為週期時間傳送資料 4.預計六個電池組，在正常狀況下運作可以達到 8 天
結論
1.請光華確認系統工程師時間後和嘉文約定時間，和 IT 人員到物理二館了解資料接收伺服器設定。

- 2.陳老師和嘉文在 10 天內完成雨量計定性測試同時完成感測器組裝，進行雨量量測測試。今天先交一組機架的儀器台給通訊小組
- 3.嘉文預備模擬重量的電器盒交給 UAV 小組。UAV 小組在 10 天內進行飛行測試，包括目視及遙控飛行。 UAV 小組協助測試雨量計架傾斜時的資料傳送內容中 X,Y,Z 值的變動情形。修改 UAV 的腳架
- 4.資料系統必須啟動手機號碼，目前由王老師提供手機號碼來操控，以後也可更改號碼。要購買第二個雨量計的預付卡
- 5.Campus check(校園測試) 包括實際降雨測試，要在 8/19 前完成，測試項目由嘉文列出 check list，同時拍攝記錄以便繳交期中報告。
Campus checklist 中，包括斜坡面上的雨量觀測誤差
- 6.Campus check 完成後，進行 Field experiment(野外實地測試)及目標地測試。同時另外找屏東山區作為第二次實際量測地點
- 7.預估八月底九月初海上警報發佈前一天進行塔塔加山區實際佈設及量測。若今年再有颱風，就到屏東山區進行觀測
- 8.測試階段使用未送檢測的雨量計
- 9.這段期間保持連絡，隨時調整、支援彼此的測試內容及設備，取代定期的工作會議

無線感測雨量計開發與設置研究 第 10 次工作會議記錄
時間:2016 年 8 月 23 日 14:00 地點: 地球科學系 2F 參加人員: 陳炳志、王光華、莊嘉文
內容:
1.嘉文報告最近的野外雨量觀測結果 2.最近通訊電路板缺貨，要等至少兩週 3.無人飛機預計本週五會送回來 4.嘉文帶回一片 SIM 卡取代原來的預付卡
結論
1.通訊組件基本上已經完成，將由全球中心選派一員和嘉文學習如何操作更新控制程式與充電程序。 2.測試總是有不可預期的失敗，因此要有備用計畫。 3.跨單位合作算告一段落，接著是實地觀測和資料處理，相信這項創新計畫開發的雨量計是國內唯一的物聯網概念下的創作品。

無線感測雨量計開發與設置研究

第 11 次工作會議記錄

時間: 2016 年 9 月 21 日 15:45

地點: 地球科學系 2F

參加人員: 陳炳志、王光華、莊嘉文、鐘曉緯、高愷嶸、林佳慶

內容:

一、上週在塔塔加及成大的觀測資料分析報告: 光華

1.電力及通訊系統沒有問題，電力使用自 9/14/2016~9/17/2016 使用超過 4 天，通訊大致沒有問題

2.雨量計觀測數值:有問題

3.雨量計位置未移動，放置姿態近於水平。目視沒有進水現象

二、雨量計實測報告: 嘉文

1.電力消耗率為-0.028V/hr，比預估值-0.025V/hr 相近，因為山上溫度低，消耗率大，仍然在容許範圍內

2.系統溫度沒有超過 40 度，儀器可維持正常運作

3.系統簡訊四天半中有 4 次系統異常訊號

4.系統姿態：在 14 日有短時間異動值，約在 X:0.03, Y:0.05,Z:0.06 以內，在容許值 0.1(10 度傾角)以下，所以顯示系統姿態在位置與姿態受到外在因素而改變的變動極小

5.(1)簡訊控制系統：簡訊重複接收與傳送(2)資料上傳系統：資料未上傳，同時系統也未發現異常。經查證確認是因為伺服器於 15 日凌晨 3 點地球科學系機房網路中斷造成的。網路恢復後資料仍然中斷，直到系統重啟才恢復正常。

6.雨量計記數讀取異常：當勺子傾倒時磁力開關會斷路，當斷路時訊號線不存在訊號(floating)，而容易受外在影響。因為下雨或濕度過高導致 SMA 線內阻降低，開關斷路時內部不存在訊號而容易受到干擾，以致導致計數異常。

結論

1.解決雨量計量測問題，擬在接收端增加接地線。

2.調整系統的電壓判別設定值

3.重新量測小雨時的雨量計靈敏度

4.預備在下週三可能的颱風警報，將儀器再次送到塔塔加觀測，另外

一組留在成大觀測。近日內重新調整系統。

5.無人飛機近日進行佈放吊掛飛行

6.伺服器擬增加顯示界面，易於上網讀取觀測值

附錄二、期末審查意見回覆

1.計畫開發之光學雨量計，其架設所需人力及部設時間是否足以提供大量臨時架設需求。

答覆：如果需要大量佈設，可以提前幾天佈設，在颱風來臨時再開啟電源，足以維持到颱風離開。建議以颱風可能登陸地點附近的土石流警戒溪流為主佈設。

2.架設及操作是否需要特殊專業人工使用。

答覆：因為許多飛行的操控已經可以自動化，只要設定好飛行路線及降落位置，一般人很容易學習操作。飛機可以自動飛到指定位置佈放。

3.山區無訊號如何改進方法。

答覆：本計畫目前是第一次開發，暫時以有 4G/3G 信號地區為測試區，終極目標是建立物聯網的觀測系統，使一個集水區內的觀測資料自成一個網路，再經由最外面的一個觀測點將資料傳回接收主機。

4.建議將試驗計放在官方觀測站旁，以利比較雨量量測值。

答覆：今年已經在台南進行和官方觀測站距離約 1.5Km 的比較，成效很好，如果放在官方觀測站旁邊會更好。今年主要顧慮設備要安排人員 24 小時看守而未如此進行。未來會考慮放在官方觀測站旁進行

比較。

5.雨量計重量輕 200 公克，於應變期間下之野外放置之穩定性為何。

答覆：在設計時已經考慮到強風下的穩定性，因為整個觀測系統還有電力及傳輸設備，而三腳支架設計已加強穩定性並且降低風阻係數。

目前總重量約為 6.2 公斤，UAV 可以承載 8 公斤。如果必要可以進行風洞試驗，以量測抗風係數，最大耐風級數。