

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 工程學(一)科

佳作

052305

太陽能長滯空定翼無人機- 4G LTE 遠端影像數據監測及應用於 PM2.5 之分析

學校名稱：臺中市立大甲工業高級中等學校

作者： 職三 楊秉橙 職三 陳易詮	指導老師： 王建仁 余秉祐
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：太陽能固定翼無人機、PM2.5 分析、

綠能永續發展



摘要







世界各地也開始提倡能源永續發展，又因近幾年無人機相關產業日漸增加，我們團隊決定把這兩個趨勢做一個整合，透過太陽能輔助系統讓傳統無人機的續航有所提升，未來搭載各式感測元件與攝像頭的組合與搭配可運用在各式場合合作探勘與量測之作業。

壹、研究目的

此作品是鑒於目前環保意識抬頭，接連有更多的替代能源開始發展和應用在生活中，相較於過去傳統的無人載具都是以油引擎來作為持久飛行的動力來源，因此我們希望能透過太陽能作為延長電池續航的輔助動力，以此來達到能源永續發展與節能減碳的目的。

貳、研究設備及器材

研究設備、器材 (主要)	設備、器材研究用途	圖片
雷射雕刻機	<ol style="list-style-type: none">1. 機翼肋片切割2. 機身組件切割3. 垂直尾翼固定座4. 飛機各控制機構5. 機體零部件	
3D 列印機 (熱融堆疊)	<ol style="list-style-type: none">1. 機翼連結件2. 機艙蓋板3. 固定部件4. 小型部件模具5. 電源支架	

<p>CNC 機台</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 螺旋槳摺疊固定座 2. 起落架連結件 3. 機翼連結部件 	
<p>樹梅派+ 4G LTE 模組</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 數據串接 2. 影像、數據即時傳輸 3. 資料處理 	
<p>PIXHAWK 飛行控制器</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 飛行姿態穩定 2. 自動路徑規劃 3. GPS 衛星定位 	
<p>圖傳系統</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. FPV 無延遲影像傳輸 2. 操作者監視畫面 	
<p>地面控制站</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mission planner 路徑規劃系統 2. 即時影像連結 3. 通訊設備 	
<p>載具機體</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 飛行任務 2. 研究測試 	

表一、 研究設備及器材

參、研究過程或方法

一、預設目標

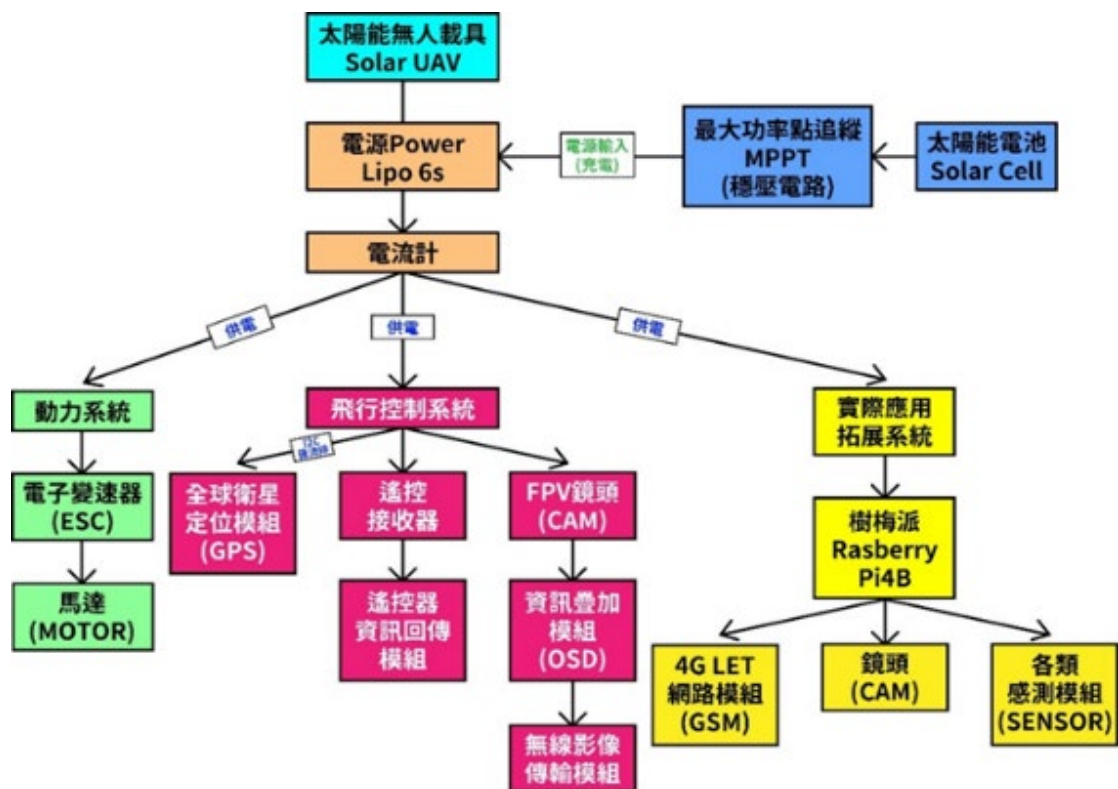
滑翔翼架構與簡單飛行測試完成後，將搭載 PIXHAWK 飛行控制系統進行飛行任務規劃測試，系統建立後將開始加入太陽能供電輔助系統提升穩定飛行續航，測試後可開始加裝相關感測元件與攝影相關設備運用於實際應用。

二、研究流程

此次專題設計為跨領域嘗試，從剛開始只有想法到滑翔翼的設計與實際製作，中間也遇到種種困難與需要修改之問題，雖然過去有接觸過多旋翼無人機，但這次所設計的飛機為一架翼展超過 4 米的定翼無人載具，只能運用自身所知有限的飛行原理和經驗與自行翻找大量文獻自行摸索。



圖一、研究計畫



圖二、研究架構

三、研究主體

(一) 4.8 米太陽能固定翼設計開發

1、載具構型

由於我們主要目標是讓載具長滯空，經由誘導阻力得知，我們必須透過機翼的高展弦比 (AR) 來降低誘導阻力。理論上，展弦比愈大，滯空性能較佳。由於我們以手工製作載具，其精準度及結構設計將成為一個很大的挑戰。我們設定翼展最大為 4.5 公尺，而符合此規格的翼展，其展弦比大約可達 15 之比值。

2、機身、載重艙設計

載具機艙前段設計使用 3mm 的航空夾板，用雷射雕刻雕出機身設計圖檔組裝為機身主體，機身連結處及部分重點結構將用碳纖維交織布加上環氧樹脂 (Epoxy) 做結構的增強加固。基於飛控板和一些精密處理設備需安裝在較平整的機艙，經過討論後在機身內做了層板與隔板的設計來分隔各設備，並讓飛控等儀器能與機身平行。



圖三、機身雷射切割
(圖片來源：自行拍攝)



圖四、機身組裝、隔板設計
(圖片來源：自行拍攝)

3、機翼設計

機翼重量為達到輕量化，機翼主結構將採用 2 公分的碳纖維管作為高強度飛機主梁，加上 1 公分與 0.3 公分碳纖棒分別於後緣與前緣，作為輔助定位校正，並使用具有輕量特性的巴爾莎木包覆其機身。此機型因當初定位為需具備長距離飛行，速度也不需太快，所以本架飛機的機翼將採用低巡航速度、低雷諾數、高升力之翼型 (RG-15 8.9%-Rolf Girsberger)，翼型設計時為日後舵機與太陽能單元佈電源線時能夠拉線，而設計多個穿線通道方便穿電源、數據線，翼型為方便、精準且大量製作也採用雷射雕刻機雕出。機翼完工後需貼覆飛機專用蒙皮燙紙，形成飛機空氣動力的成形構件。



圖五、翼型切割
(圖片來源：自行拍攝)



圖六、機翼組裝黏合
(圖片來源：自行拍攝)

4、機體組裝



圖七、機體完整組裝

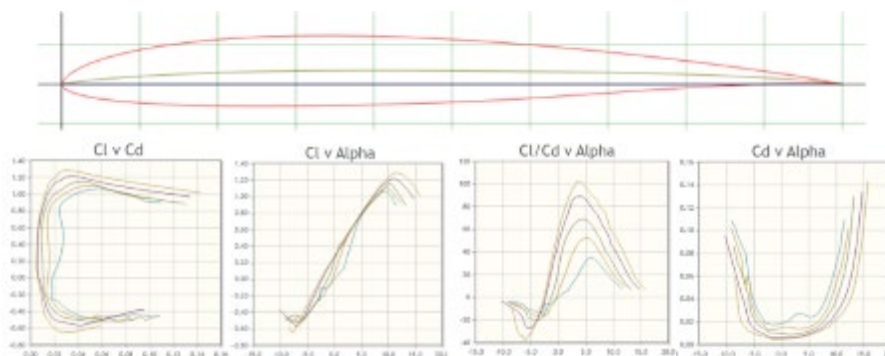
5、翼剖面型參數 (Airfoil Data)

(rg15-il) RG-15 8.9%

Rolf Girsberger RG15 low Reynolds number airfoil.

Max thickness 8.9% at 30.2% chord.

Max camber 1.8% at 39.7% chord.



圖八、Profili 分析

(圖片來源：

<http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=rg15-il>)

6、軟體、硬體操作方式

(1) 硬體操作方式

- STEP1. 將中段機翼與機身使用 M5 螺絲鎖緊。
- STEP2. 將中段襟翼舵機線連接。
- STEP3. 將左右副翼裝上，並確認卡榫已經固定好。
- STEP4. 將左右副翼的副翼舵機線、與指示燈線連接。
- STEP5. 將水平尾翼與垂直尾翼使用 M4 螺絲鎖緊。
- STEP6. 將水平、垂直尾翼與指示燈的訊號線連結。
- STEP7. 確認操縱舵的連接線與指示燈的訊號連至飛控。

- STEP8. 安裝載具專用鋰電池。
- STEP9. 校準飛機重心。
- STEP10. 開啟電源，開始軟體啟動程序。

(2) 軟體操作方式

- STEP1. 將遙控器啟動，確認已與接收器連結成功
- STEP2. 開啟 AUTOPILOT 地面控制軟件，使用數傳模組將其連結，確認系統狀態有無錯誤
- STEP3. 開啟 XBStation 與 Mission Planner 軟體連接。
- STEP4. 確認 4GLTE 網路模組訊號連接是否穩定
- STEP5. 將影像與 AUTOPILOT 啟用串接連線
- STEP6. 啟動檢查程序 (APP 軟件條列式檢查)
- STEP7. 飛行狀態就緒。

(二) 電子通訊、感測應用系統

1、電子通訊、應用控制電路

為了達到實際運用的需求，我們將 PIXHAWK 飛控板上的 I2C 串列接口與樹梅派（應用微電腦控制）連接，在樹梅派上搭載 4G LTE GSM 網路傳輸模組，運用一系列程式將影像與資料做及時運算傳至地面控制站！



圖九、飛控及應用微處理機搭建
(圖片來源：自行拍攝)



圖十、GPS 及多項飛行控制元件
(圖片來源：自行拍攝)

2、4G LTE 模組連結測試

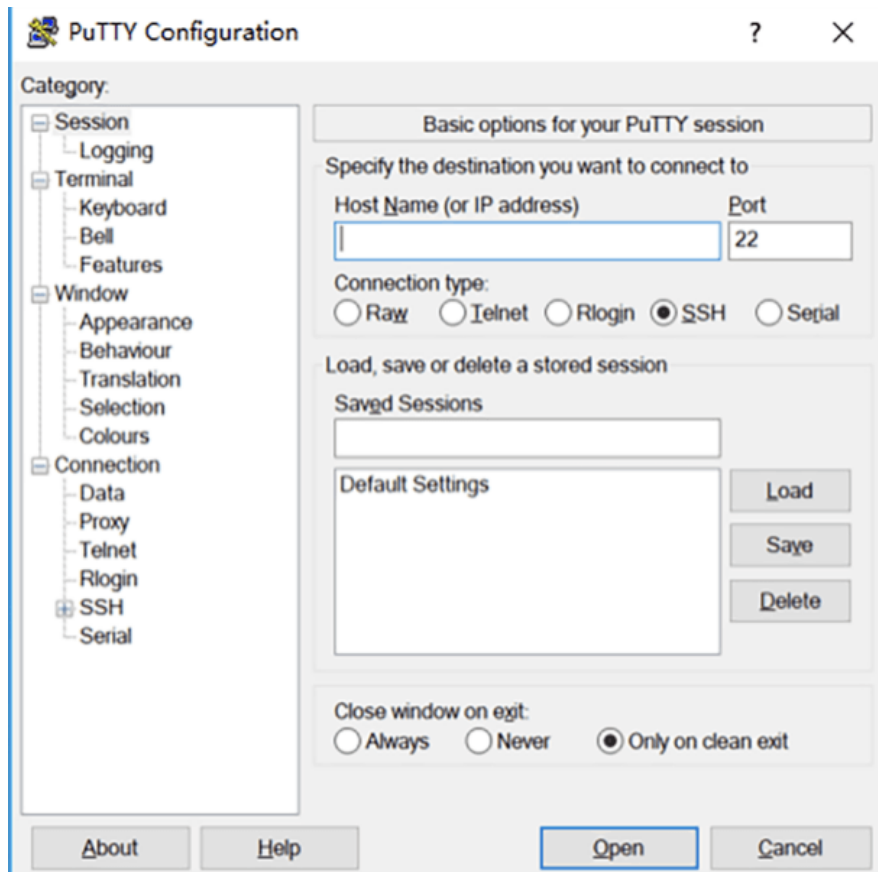
(1) 軟硬體開發環境

- A. 硬體：Raspberry Pi 4 Model B、EC20 4G 模組、天線、SIM 網路卡、電源線（兩條 Type C 資料線）
- B. 軟體：putty（開放原始碼程式）、OpenCV、XBStation



圖十一、樹梅派連結 4G LTE 搭建（圖片來源：自行拍攝）

(2) PPP 撥號連接上網



圖十二、Putty 工具 SSH 通訊端（圖片來源：自行截圖）

```

send (^MAT+CGDCONT=1,"IP","3gnet"^\M)
expect (OK)
^\M
AT+CGDCONT=1,"IP","3gnet"^\M^\M
OK
-- got it

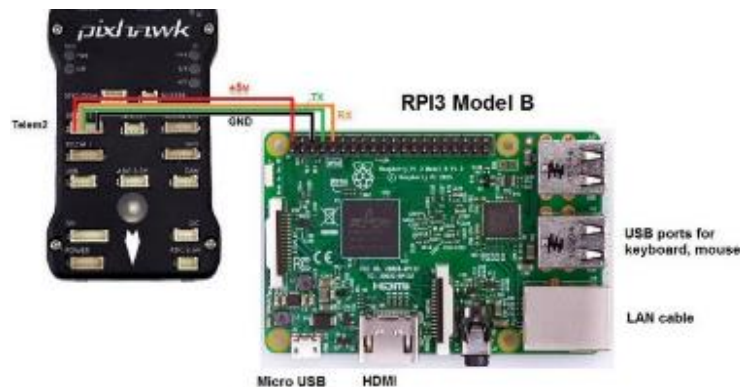
send (ATDT*99#^\M)
expect (CONNECT)
^\M
ATDT*99#^\M^\M
CONNECT
-- got it

send (\d)
Script /usr/sbin/chat -s -v -f /etc/ppp/peers/rasppp-chat-connect finished (pid 7635)
Serial connection established.
using channel 1
Using interface ppp0
Connect: ppp0 <--> /dev/ttyUSB2
sent [LCP ConfReq id=0x1 <asyncmap 0x0> <magic 0x707fa848> <pcomp> <accomp>]
rcvd [LCP ConfReq id=0x0 <asyncmap 0x0> <auth chap MD5> <magic 0xd0dc62bf> <pcomp> <accomp>]
No auth is possible
sent [LCP ConfReq id=0x0 <auth chap MD5>]
rcvd [LCP ConfAck id=0x1 <asyncmap 0x0> <magic 0x707fa848> <pcomp> <accomp>]
rcvd [LCP ConfReq id=0x1 <asyncmap 0x0> <magic 0xd0dc62bf> <pcomp> <accomp>]
sent [LCP ConfAck id=0x1 <asyncmap 0x0> <magic 0xd0dc62bf> <pcomp> <accomp>]
sent [LCP EchoReq id=0x0 magic=0x707fa848]
sent [IPCP ConfReq id=0x1 <addr 0.0.0.0> <ms-dns1 0.0.0.0> <ms-dns2 0.0.0.0>]
rcvd [LCP DiscReq id=0x2 magic=0xd0dc62bf]
rcvd [LCP EchoRep id=0x0 magic=0xd0dc62bf 70 7f a8 48]
rcvd [IPCP ConfReq id=0x0]
sent [IPCP ConfNak id=0x0 <addr 0.0.0.0>]
rcvd [IPCP ConfNak id=0x1 <addr 10.249.7.41> <ms-dns1 120.80.80.80> <ms-dns2 221.5.88.88>]
sent [IPCP ConfReq id=0x2 <addr 10.249.7.41> <ms-dns1 120.80.80.80> <ms-dns2 221.5.88.88>]
rcvd [IPCP ConfReq id=0x1]
sent [IPCP ConfAck id=0x1]
rcvd [IPCP ConfAck id=0x2 <addr 10.249.7.41> <ms-dns1 120.80.80.80> <ms-dns2 221.5.88.88>]
Could not determine remote IP address: defaulting to 10.64.64.64
not replacing default route to wlan0 [10.0.0.1]
local IP address 10.249.7.41
remote IP address 10.64.64.64
primary DNS address 120.80.80.80
secondary DNS address 221.5.88.88
Script /etc/ppp/ip-up started (pid 7640)
Script /etc/ppp/ip-up finished (pid 7640), status = 0x0

```

圖十三、樹梅派指令連接 (圖片來源：自行截圖)

(3) 樹梅派與 PIXHAWK 串列連接測試



圖十四、樹梅派與 PIXHAWK I2C 連接
(圖片來源：<https://reurl.cc/ZQ98N6>)

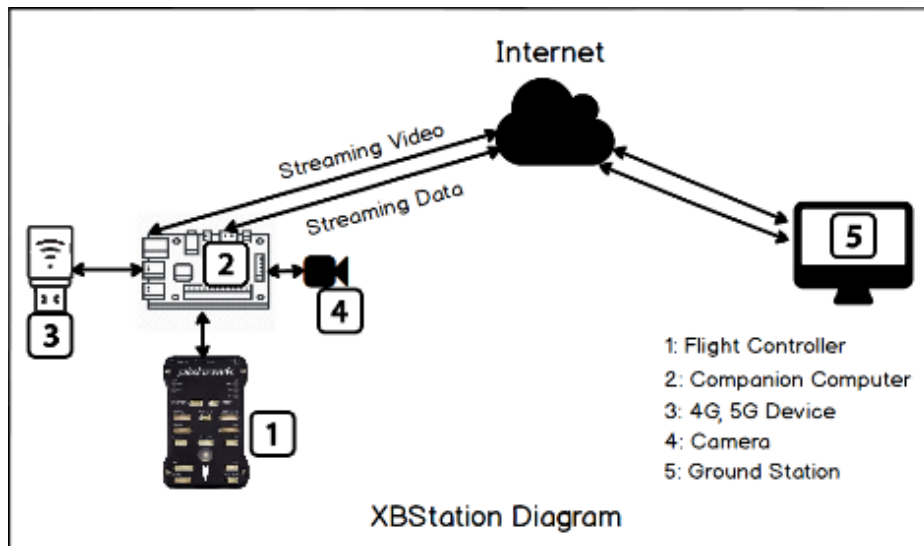
(4) 影像 4G 即時傳輸測試

使用 OpenCV 將裝於樹梅派上的視訊鏡頭模組透過程式編寫將視訊代碼和 XBStation 輸入端口串接，使影像資料傳至 XBStation 雲端資料系統，再利用內建功能與地面控制站 (Autopilot) 做影像即時傳輸，提供載具狀態監控！



圖十五、樹梅派連至地面站即時影像（圖片來源：自行截圖）

(5) 運作原理



圖十六、即時傳輸系統運作原理圖

(圖片來源：<https://docs.xbstation.com/introduction/>)

(三) PM2.5 偵測系統於定翼無人機偵測分析

隨著環保意識抬頭，國人越發注重台灣空氣污染議題，因應這股趨勢我們團隊決定在我們的作品太陽能定翼無人機上裝設 PM2.5、溫溼度、GPS 模組等感測器，飛到台中、彰化上空監測空氣品質，我們將 4G LTE 網路技術取代傳統無人機的無線電與短距離遙控，讓操作者在視線以外的地方也能使用無人機進行空污監測。比起業界所使用的多軸無人機需要進行多次電池更換，在太陽能定翼機上就不會有此問題。

1、數據收集方法

為了偵測不同高度的 PM2.5 值，我們使用定翼的無人機將搭載環境偵測系統（Raspberry Pi 4B、PM2.5 模組以及 GPS 模組）於空中作資料蒐集，並且使用自主開發的 4GLTE 影像連接程式代碼技術（詳細介紹可參考電子通訊、感測應用系統章節）與開源資料庫（HBase）。

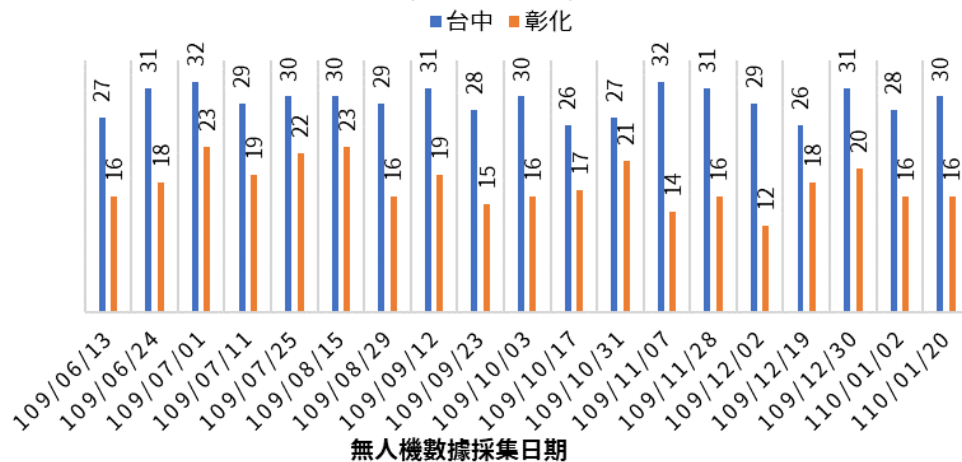


圖十七、PM2.5 粉塵空氣品質模組
（圖片來源：自行拍攝）

2、數據採集分析

本研究聚焦於 PM2.5 污染，故採用環保署在對 PM2.5 所定義標準（ $PM_{2.5} < 70 \mu g/m^3$ ）門檻。數據顯示台中與彰化地區在半年來皆在容許範圍，但台中相較於彰化空氣污染較為嚴重，可在未來擬定方案將問題排除。

懸浮微粒(PM2.5)變化分析

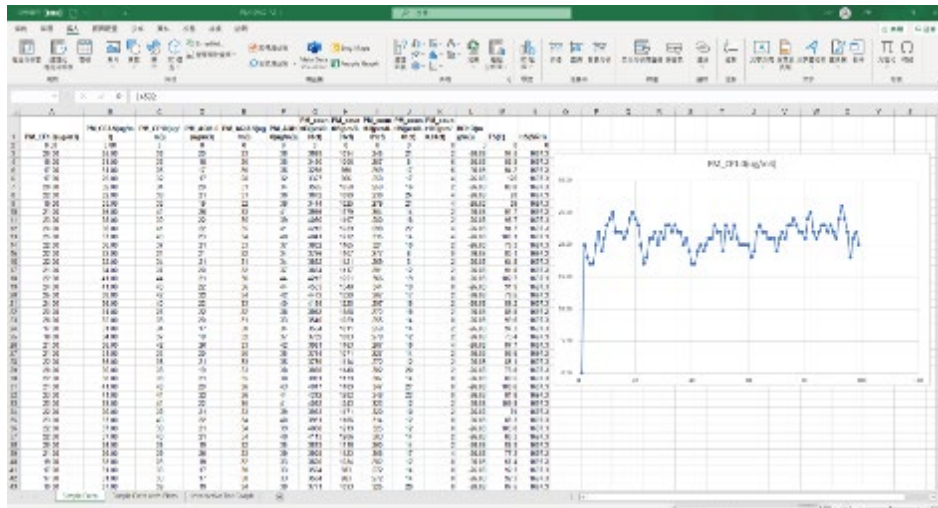


圖十八、PM2.5 粉塵空氣品質模組（圖片來源：自行繪製）

3、數據採集系統

為了偵測不同高度的 PM2.5 值，我們使用的定翼無人機將搭載環境偵測系統（Raspberry Pi4B、PM2.5 模組以及 GPS 模組）於空中作資料蒐集，並且使用自主開發的 4GLTE 影像連接程式代碼技術與開源資料庫（HBase）。收集到的數據

立即傳至地面數據終端，並且即時導入 Excel 每 10 秒動作偵測一次，同時繪製出空氣品質曲線。



圖十九、PM2.5 空氣品質數據收集系統（圖片來源：自行繪製）

（四）太陽能系統續航研究開發

為了供應飛行時所需的電力消耗，經過計算後須達到 250W 輸入功率才足以供應消耗電量，並且考量到載具需以輕量化為總目標，我們在材料選擇上特別採用 Sunpower C60 太陽能薄膜，其輕量的特性成為此次作品成功關鍵！

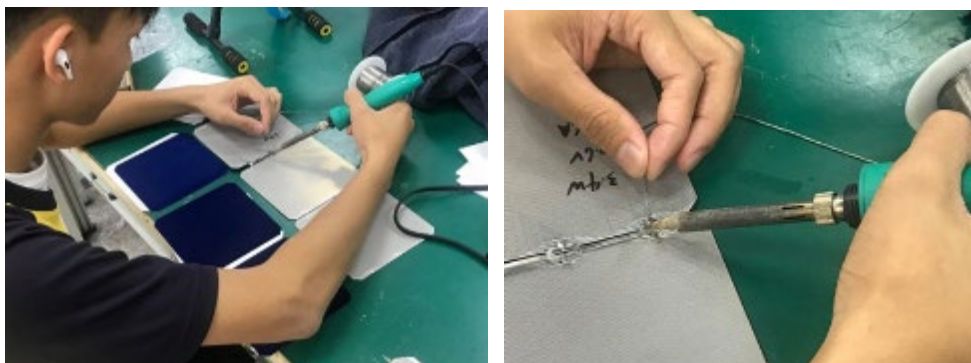
1、太陽能薄膜電池陣列設計

（1）單片太陽能薄膜參數：

- A. 電壓 Voltage：0.6 (V)
- B. 電流 Ampere：6 (A)
- C. 功率 Power：3.6 (W)
- D. 轉換效率 Efficiency：23.2-23.5%

（2）太陽能陣列參數：

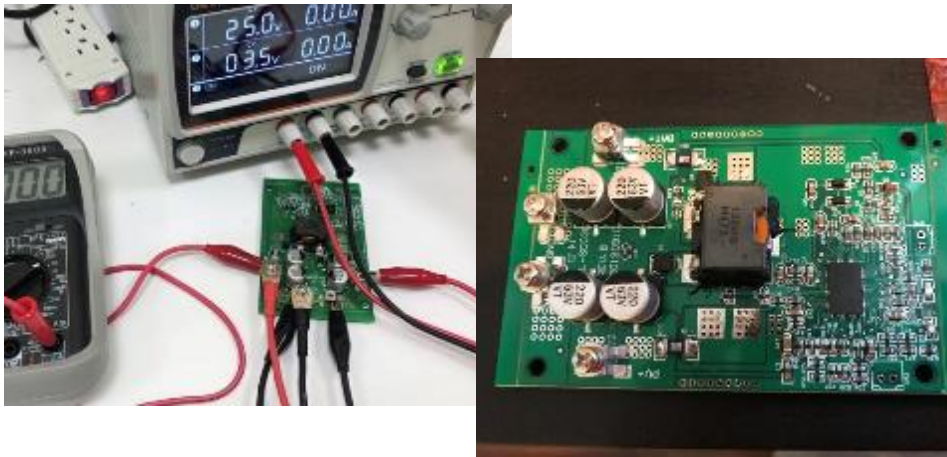
- A. 輸出電壓：22.2 (V)
- B. 總電流：6 (A)
- C. 輸出功率：288W
- D. 太陽能陣列總重：450g
- E. 陣列排列方法：40S-2P



圖廿、太陽能薄膜焊接（圖片來源：自行拍攝）

2、太陽能電能穩壓轉換系統-最大功率點追蹤 (MPPT)

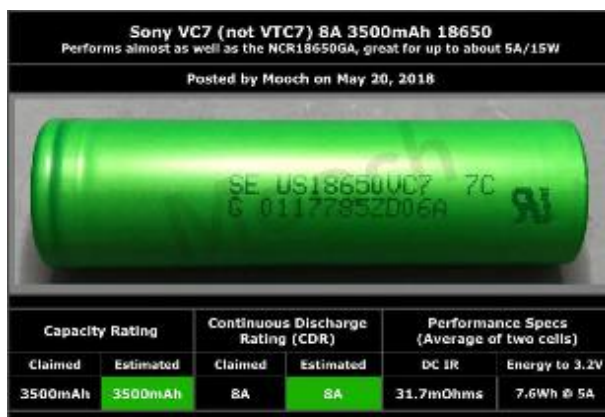
太陽能薄膜電池所產生的電能需經過一系列穩壓電路轉換出直流電，用來輸出至載具上的電能儲蓄系統（鋰離子電池），市面上有 MPPT 與 PWM 兩種電路選擇，前者系統發電效率高達到 97%，後者發電效率只有 70%，不符合經濟效益。經謹慎評估後採用發電效率較高的最大功率點追蹤電路（MPPT）裝設於無人載具上。



圖廿一、最大功率點追蹤電路 (MPPT) (圖片來源：自行拍攝)

3、電能儲蓄系統 (鋰離子電池)

因載具於航行時須及時進行電子設備與動力系統的供電，所以需要以鋰離子電池作為電子系統供電與太陽能電能儲蓄轉換的重要場所。選擇儲蓄電池因為考慮到輸出最大功率，我們將採用 Sony VTC7 18650 電池組或航模鋰聚合物電池兩者皆可以輸出高達 30A 以上瞬間電流，作為航行實驗計畫中所使用之儲能電池。



圖廿二、Sony VTC7 18650 (左)、鋰聚合物儲能電池 (右)

(圖片來源：網路翻攝)

4、太陽能系統實驗組裝、飛行續行測試

為了驗證太陽能系統裝於 4.8 米這架固定無人機上的可行性，我們使用了一台 Ranger2400 (EPP) 泡沫滑翔機，上面裝設 60W 的薄膜太陽能電池進行次數多達 16 次的飛行測試。

(1) 試飛報告 (此為數次實驗中其中一組測試數據)

A. 日期：2020 年 09 月 16 日
時間：1:10PM
地點：大甲高工 (操場)
天氣：晴時陰，側向陣風 26km/hr

B. 載具數據：
機型：Ranger2400
電池：5000mah 4s Lipo
載重：400g

C. 太陽能薄膜：60W
飛行數據：
飛行總時數：1hr 35min
剩餘電量：82%

(2) 飛行過程記錄



圖廿三、飛行前太陽能系統電壓量測
(圖片來源：自行拍攝)



圖廿四、飛行預備
(圖片來源：自行拍攝)

(五) 自動巡航系統控制

1、飛行控制系統裝配



圖廿五、pixhawk 飛控
(圖片來源：自行拍攝)



圖廿六、GPS 衛星導航
(圖片來源：自行拍攝)

2、自動巡航



圖廿七、自動巡航設定
(圖片來源：電腦截圖)



圖廿八、路徑規劃
(圖片來源：電腦截圖)

(六) 作品功能特色

1、機體特色

- (3) 重量輕，續航能力長
- (4) 翼展長，滯空能力佳
- (5) 碳纖維結構，韌性與耐受力高

2、電子通訊系統特色

- (1) 使用功能強大樹梅派處理機，應用處理效率高
- (2) 4G LTE 遠端控制、數據影像即時傳輸

- (3) 軟體連結快速，飛行準備效率提升
- (4) 使用 PIXHAWK 硬體系統，飛行姿態穩定
- (5) 導航系統路徑自動規劃

3、太陽能系統特色

- (1) 太陽能薄膜重量輕、效率高
- (2) MPPT 系統能量轉換損失低
- (3) 提升載具續行

(七) 相關依據、文獻

1、定翼滑翔機 (Glider)

(1) 基本構造

- D. 機翼 (Wing): 產生升力以支持在空中飛行，有副翼 (Aileron) 操縱飛機滾轉 (Roll) 和襟翼 (Flaps) 操作升力增大。
- E. 機身 (Fuselage): 裝載動力電池 (鋰聚合物電池)、酬載和各種設備。
- F. 尾翼 (Empennage): 包括水平尾翼和垂直尾翼，可控水平尾 (Elevator)、操作飛機俯仰 (Pitch)、可控的方向舵 (Rudder)、操縱飛機偏行 (Yaw)。
- G. 起落裝置 (Landing Gear) 與動力系統 (Power System)。

(2) 飛行原理

A. 牛頓運動定理

- 牛頓第一運動定律：靜者恆靜，動者恆沿切線方向等速運動。
- 牛頓第二運動定律：一個物體施予作用力 (推力) 將會對物產生加速度運動。
- 牛頓第三運動定律：對物體實施一個作用力，會得到相對的反作用力。
- 航空器的四個力
升力 (Lift)、重力 (Weight)、推力 (Thrust)、阻力 (Drag)。



圖廿九、航空器的四個力示意圖
 (圖片來源: Google 圖片庫)

B. 固定翼無人機

- 定翼機顧名思義就是具備固定的機翼，透過白努力定理再有水平速度飛行時產生升力。
- 機翼外型的設計以及飛行速度，決定飛機的載種能力。
- 機身的大小、流線設計等決定飛機的阻力狀況。

C. 白努力定理

- 有翼型的機翼，氣流不同會產生壓力差，形成升力。
- 有翼型的螺旋槳旋轉時會推動氣流，產生反作用力。

2、太陽能單元 (Solar Cell)

(3) 太陽能單元工作原理

太陽能電池由 n 型和 p 型的半導體組成，以矽太陽能電池為例：所謂 n 型半導體是矽半導體材料中加入 V 族元素（例如 P），提供施體也就是自由的電子，以及空間中固定不動的帶正電的受體離子，p 型半導體則為參雜 III 族元素，提供受體即自由的電洞，以及帶負電的受體離子。

3、飛行控制系統

(1) Pixhawk 開源系統

Pixhawk 設計開源飛行控制系統，使用者可以依據自己想要的控制輯特色，修改飛行控制率，以精進飛行性能。



圖三十、Pixhawk 飛控
(圖片來源：Google 圖片庫)

圖三十一、Mission Planner 地面站
(圖片來源：Google 圖片庫)


4、電子通訊應用系統

(1) 樹莓派 (Raspberry Pi) 微處理機

- A. 基於Linux的單晶片電腦，配備USB介面、HDMI的視訊輸出（支援聲音輸出）和RCA端子輸出，內建網路鏈結的方式。
- B. 可做出影像、數據運算即時傳輸，與Pixhawk以I2C介面做串傳輸達到資訊連動之效果。

(八) 製作歷程說明

	製作歷程說明	圖片紀錄
文獻探討	於108年12月發想此次創意作品計畫。109年1月至109年3月為時3個月的討論，將各分組細項擬定完成，並把太陽能系統、載具設計、電子通訊系統與自動導航系統分項同時進行。日後我們於於書籍、網路上搜尋有關太陽能華香雞的相關應用，並參考瑞士理工大學的研究論文做為參考。	
材料選定	109年4月。題目選定後，我們的作品材質決定使用更輕且韌性更好的碳纖維管及複合材料，電子通訊設備採購了樹莓派、4G LTE 模組等多項電子設備...，此外在飛機的自動巡航系統採用PIXHAWK開源飛控，在日後的姿態編成能有更多的擴展性。而其餘皆尋找性能較優、品質頂配的零件，運用在這種需要精密控制的作品上需要具備高耐受度應付各種惡劣天氣，增加產品的耐久性，便於減少日後的維修次數，擁有好的經濟效益。	

程式代碼編程、鏈接	109年5月系統才料到期後我們開始同步進行太陽能系統、載具設計、電子通訊系統與自動導航系統的設計開發，其中包含樹莓派與4G LTE的資料連結和OPENCV的影像測試，我們使用Python語言開發，讓樹莓派與地面控制站可互傳資料。地面控制站則是使用Autopilot地面站與XBStation兩者配合將影像與數據傳至地面。	
-----------	--	--

表二、製作歷程說明

肆、研究結果、討論

本研究旨在針對實驗中所得之結果，進行綜合的數據分析與探討，主要以通訊系統、自動巡航、太陽能系統這三大方向進行數據紀錄及分析。

一、通訊系統分析

在利用4G模組傳輸影像資料測試時，因載具處於持續移動的狀態，所以網路的訊號時常會與通訊端有約40ms~100ms的影像延遲，在實驗中有遇到長達19s的訊號斷接。

(一) 討論

從各家電信服務商所提供的網路涵蓋的參數中我們團隊發現，理論上約在100m左右的高度4G網路訊號將開始衰減，在5G的發展下未來我們將採5G通訊技術克服目前網路延遲所導致的問題。

二、自動巡航分析

利用Pixhawk飛控進行載具姿態穩定的幾次試驗中，持續的在飛控上調校姿態參數，使系統具有較小的靜態誤差，在舵量的調校部分利用延遲使飛機的動態性能更優，不會出現舵量過大而引起大幅度偏轉。經過試驗所得的調校參數，能夠實現高度控制和優化的航跡飛行，滿足自主導航功能。

另外在巡航狀態若GPS衛星定位出現短期失效的狀況，我們利用程式的編寫，使飛機於當時空中做圓圈式航線飛行路徑，使我們有更多時間進行人工操作接管方案。

(一) 討論

在討論中我們團隊各部份負責人員提出大量預想方案，進行飛行姿態與可能出現的問題進行改良方案，目的在未來可以避免掉不可預期的緊急事故。

(二) 補充

GPS 失效的實際替補措施：當 GPS 短期失效時，利用預先設定好的參數，使飛機在當時的作業區上空做閉合航線飛行，則使飛機保持給定的偏航角速度 X 盤旋。當預定的偏航角速度 Y 超過某一上限值後，設定固定的升降舵偏量以進行補償。

三、太陽能系統分析

經過分析 PWM 和 MPPT 兩種太陽能控制電路的特性，我們最後選擇最大功率點分析電路(MPPT)穩壓電路，作為本次太陽能系統的研究核心，因為此電路具有接近 98%-99%的轉換效率，且最符合經濟效益與研究開發。

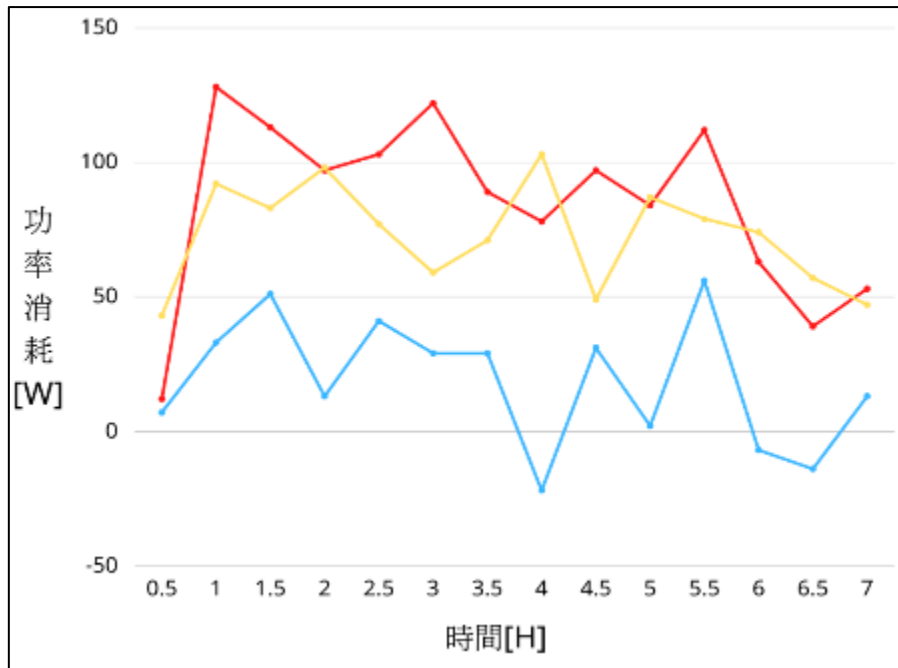
另外在太陽能的選擇上我們選擇了 SunPower C60 太陽能薄膜電池作為實驗材料，其具備輕薄等特點，非常適合用於載具的弧面翼型上。

我們透過太陽能系統裝設在定翼機上所得到的數據，了解是否能長時間續航的可行性。

(一) 討論

經過討論數據結果我們得出於天氣晴朗時最高飛行時數可達到 6 小時以上，只要在太陽能面積與飛機重量達到一定平衡便可擁有更多續行時間，且只要在天氣許可下可以達到 10W 的低電量損耗，意指只要電池的續行能撐過 6HR 的夜晚則可以達到連續天數的續航，因在夜晚當載具爬升到一定高度則可進行低耗能低時速巡航，其中將不會損耗電能。

(二) 電量消耗分析圖



圖三十二、電池耗能記錄折線圖
(圖片來源：自行繪製)

時間 \ 功率[W]	負載 消耗功率	太陽能 輸出功率	電池組 輸出功率
1hr	128	95	33
2hr	97	98	13
3hr	122	59	29
4hr	78	103	-22
5hr	84	87	2
6hr	63	74	-7
7hr	53	47	13

表二、電池耗能記錄表

伍、結論

透過本次對於太陽能長滯空無人機應用的相關研究，在永續能源這方面與數據收集應用中，我們能看到在這兩大趨勢在未來發展更具研究發展性，本研究涵蓋了航空材料結構設計、飛行控制、流體力學、微電腦控制及程式設計…等多項專業知識加以融合應用於本次研究。長滯空無人機的應用可讓過去需多次更換電池或補充燃料的問題得以

解決。並且透過裝於載具上的微電腦控制以及及時分析的能力，在數據收集方便也能更有效率地進行，另外將 4G LTE 模組與樹莓派（微電腦）做串列連結，將影像與資料透過 4G 網路鏈將資料回傳至地面，達到數據即時監控的能力！

從飛行數據與資料分析可以發現，太陽能能有效的使載具能有更好的續行能力，日後如果可以設計和製造出流線與重量更輕的無人飛機，將可提高載具負載並搭載更多航電設備與高密度電池，提供更多研究發展能力與飛行續行！

陸、參考資料及其他

- 陳大達（2013）。航空工程（飛行原理）概論與解析。台北市：秀威資訊
- 丁建寧（2018）。新型薄膜太陽能電池。北京市：化學工業出版社
- 陳致中（2020）。Python AIoT 智能物聯網。新北市：台科大圖書出版社
- 【危機年代】從大豆到太陽能 再生能源的開發與應用。經典雜誌。2013年12月15，取自 <http://www.rhythmsmonthly.com/?p=4783>
- 太陽能光伏技術領域。ABB 评论。2015 年，取自 https://library.e.abb.com/public/89a7247758e4430a9337c8cabb82a208/ABB_review_2015_02_CN.pdf
- SunSailor: Solar Powered UAV。2006 年，取自 <https://webee.technion.ac.il/people/maxcohen/SunSailorArt19nov06.pdf>
- Ackerman, E. (2013). Giant Solar-Powered UAVs are Atmospheric Satellites. IEEE Spectrum. Retrieved from <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/aerial-robots/giant-solar-powered-uavs-are-atmospheric-satellites>
- AeroVironment. (2013). AeroVironment Solar-Powered Puma AE Small Unmanned Aircraft Achieves Continuous Flight for More Than Nine Hours. Press Release. Retrieved from <http://www.avinc.com/resources/press-release/aerovironment-solar-powered-puma-ae-small-unmanned-aircraft-achieves-contin>
- ByeAerospace. (2015). Industry First: Solar-Electric Silent Falcon Prepares for Initial Customer Orders. Press Release. Retrieved from <http://www.byeaerospace.com/press/industry-first-solar-electric-silentfalcon%E2%84%A2-prepares-for-initial-customer-orders.aspx>
- Cocconi, A. (2005). AC Propulsion's solar electric powered SoLong UAV. AC Propulsion. Retrieved from

- <https://archive.org/details/ACPropulsionSolongUAV2005>
- Drela, M. (2001). XFOIL 6.9 User Primer. MIT Aero&Astro. Retrieved from http://web.mit.edu/drela/Public/web/xfoil/xfoil_doc.txt
 - National Renewable Energy Laboratory. (2016). Best Research-Cell Efficiencies. Accessed: 2016-03-25. Retrieved from <http://www.nrel.gov/ncpv/>
 - Noth, A. (2008b). History of Solar Flight. Autonomous Systems Lab, ETH Zurich. Retrieved from <http://www.sky-sailor.ethz.ch/docs/History%20of%20Solar%20Flight%20v2.0-%20A.Noth%202008.pdf>
 - Oettershagen, P. (2016a). AtlantikSolar 81-hour Perpetual Flight. Dataset Release. Retrieved from <http://projects.asl.ethz.ch/datasets/doku.php?id=JFR2016>
 - Oettershagen, P. (2016b). Conceptual Design and Analysis Framework for Solar-powered UAVs. Software Release. Retrieved from https://github.com/ethz-asl/fw_conceptual_design
 - Osborne, T. (2016). U.K. Will Buy Two Zephyr 8 UAVs. Aviationweek Aerospace Daily. Retrieved from <http://aviationweek.com/awindefense/uk-will-buy-two-zephyr-8-uavs>
 - Panasonic. (2014). Lithium Ion Handbook. Retrieved from http://eu.industrial.panasonic.com/sites/default/pidseu/files/downloads/files/li-ion_handbook_22_10_15.pdf
 - QinetiQ. (2010). QinetiQ files for three world records for its Zephyr Solar powered UAV. Press Release. Retrieved from <http://www.qinetiq.com/media/news/releases/Pages/three-world-records.aspx>
 - Sion Power. (2014). Sion Power's Lithium-Sulfur Batteries Power High Altitude Pseudo-Satellite Flight. Press Release. Retrieved from <http://sionpower.com/media-center.php?code=sion-powers-lithium-sulfurbatteries-power-high-alt>
 - The Economist. (2013). On a bright new wing: Small, remote-controlled craft powered by the sun are taking to the air. Accessed: 2016-03-25. Retrieved from <http://www.economist.com/news/science-and-technology/21584962-small-remote-controlled-craft-powered-sun-are-taking-air>

- Weider, A., Levy, H., Regev, I., Ankri, L., Goldenberg, T., Ehrlich, Y., . . . Cohen, M. (2007). SunSailor: Solar powered UAV. Aerospace Engineering Faculty, Technion. Retrieved from <http://webee.technion.ac.il/people/maxcohen/SunSailorArt19nov06.pdf>

【評語】 052305

本作品設定在太陽能長滯空固定翼無人機，應用在 4G LTE 遠端影像數據監測及 PM2.5 之分析的研究是熱門議題，研究架構清楚、表達順暢，也提供實作成品展示，系統整合完整，是很成功的作品。然而針對所要探討問題，例如通訊延遲，自動巡航，與太陽能供電等問題，報告未能展現完整的設計考量與建立個別的評估基準，另外固定翼無人機太陽能需求及能耗分析也不夠深入，是可再改進之處，還有 PM2.5 的感測系統在流場具一定流速下之數據是否具有正確性也有待驗證。整體而言，作品設計具有實用性，團隊在簡報內容與時間掌握相當好。

作品簡報



國際中小學科學展覽會
中華民國中小學科學展覽會

太陽能長滯空定翼無人機 - 4G LTE 遠端影像
數據監測及應用於 PM2.5 之分析

組別

高中職組

科別

工程學科 (一)

壹. 前言 Introduction

研究問題

- 無人機結構種類與製作成功的可行性？
- 在提升續航力上，要用什麼替代能源進行供電？
- 多軸無人機跟定翼無人機哪個更適合用於長滯空飛行？
- 基於高續行力的基礎上有什麼實際應用？

該領域相關研究

- 蘇黎世聯邦理工學院 (Atlantik-Solar)專案：研究太陽能無人載具長滯空飛行、慣性自主導航、紅外線影像分析、太陽能儲能技術、長滯空定翼載具。
- 虎尾科技大學 (Moonflyer)專案：太陽能無人載具長滯空飛行、結構輕量化設計、高籌載結構設計、高密度儲能系統。

研究目的

- 根據現有設備製作輕量化定翼無人機
- 透過太陽能提升續航時數
- 能源永續發展與節能減碳
- 自動飛行減少人力控制
- 搭載感測元件進行實際運用
- 結合IoT技術將數據即時分析監控

貳．研究方法(1/3) Research Methods

研究流程 (簡化)

計畫構想

初步設計

實際操 (製) 作

各項數據分析

研究內容主體

■ 4.8米太陽能固定翼設計開發

- (1) 載具構型
- (2) 機身、載重艙設計
- (3) 機翼設計
- (4) 機體組裝



貳. 研究方法(2/3) Research Methods

■ 電子通訊、感測應用系統開發

- (1) 電子通訊、應用控制電路
- (2) 4G LTE 模組連結測試
- (3) 樹莓派與PIXHAWK飛控連接測試
- (4) 影像4G即時傳輸測試



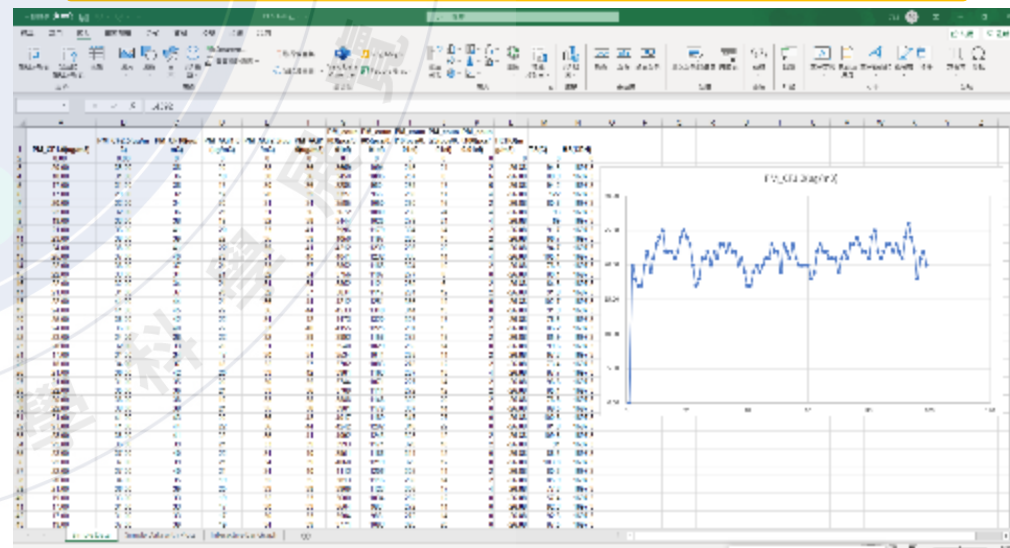
裝配於載具上之電子通訊系統

■ PM2.5偵測系統於定翼無人機偵測分析

- (1) 數據收集分析
- (2) 數據採集系統



將pm2.5所收集數據透過程式編碼匯入Excel進行分析



貳．研究方法(3/3) Research Methods

■ 太陽能系統續航研究開發

- (1) 電子通訊、應用控制電路
- (2) 4G LTE 模組連結測試
- (3) 樹莓派與PIXHAWK飛控連接測試
- (4) 影像4G即時傳輸測試



C60太陽能系統裝配



最大功率點追蹤電路 (MPPT)

以下內容為我們的研究成果

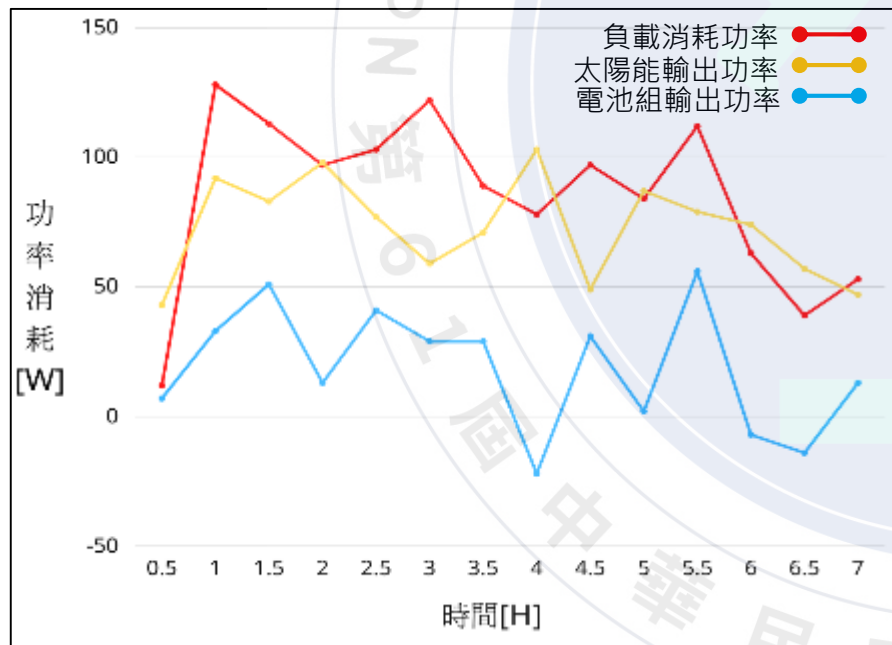
- 機翼長4.8公尺的滑翔機 (重設計到組裝、阻力分析)
- 樹莓派與飛控、PM2.5模組的程式編程 (軟體方面)
- PM2.5應用分析與數據收集系統建置 (軟體設計)
- 太陽能系統配電與控制 (功耗分析、電力配置)



參. 研究結果 (1/2) Results

太陽能系統應用於長滯空載具之可行性分析

為印證太陽能對固定翼載具延長滯空時數有實際效益，我們利用2.4米，翼面積達 4800cm^2 的小型泡沫機來做太陽能滯空滯空實驗。經過載具詳細資料與太陽能發電效率的多次推算於我們所研發的4.8米， 15360cm^2 的定翼載具上具有最佳的供電效率。



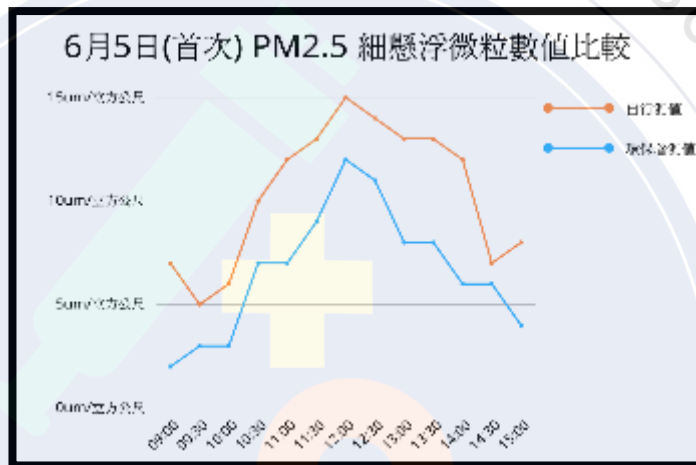
時間	功率[W]	負載消耗功率	太陽能輸出功率	電池組輸出功率
1hr		128	95	33
2hr		97	98	13
3hr		122	59	29
4hr		78	103	-22
5hr		84	87	2
6hr		63	74	-7
7hr		53	47	13

※此數據取多次實驗中其中一項實驗數據做為參考

參. 研究結果 (2/2) Results

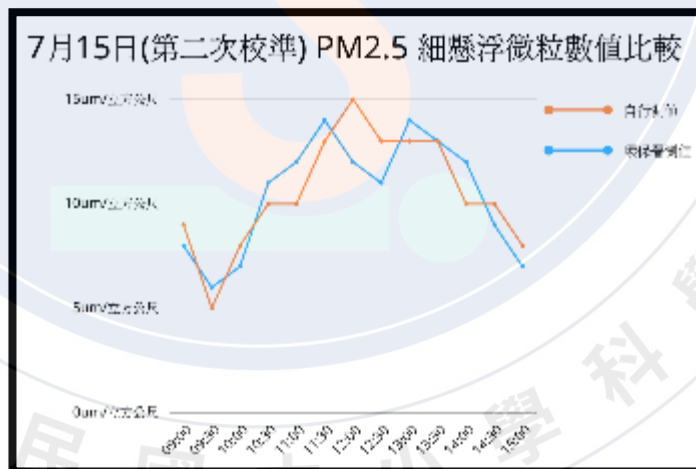
PM2.5數據收集與校正

組建好空氣品質偵測系統，於第一次試飛的研究數據中**對比環保署**的數值後，我們發現測量出的數據與官方所測得的數據有偏差，我們於第二、三次飛行**進行多次校正**，將**誤差值縮小至±15%**，又因為我們測量的方式是非定點測量，所以經過分析後此數值在合理誤差內，**具有可利用價值**。



	環保署測值	自行測值	誤差值
09:00	2um/m3	7um/m3	71.50%
10:00	3um/m3	6um/m3	50%
11:00	7um/m3	12um/m3	42%
12:00	12um/m3	15um/m3	20%
13:00	8um/m3	13um/m3	53.90%
14:00	6um/m3	12um/m3	50%
15:00	4um/m3	8um/m3	50%
		平均誤差值	48.24%

環保署測站：大甲 自行測量地點：██████高工



	環保署測值	自行測值	誤差值
09:00	8um/m3	9um/m3	12.00%
10:00	7um/m3	8um/m3	13%
11:00	12um/m3	10um/m3	17%
12:00	12um/m3	15um/m3	20%
13:00	14um/m3	13um/m3	7.20%
14:00	12um/m3	10um/m3	17%
15:00	7um/m3	8um/m3	13%
		平均誤差值	13.91%

環保署測站：大甲 自行測量地點：██████高工

肆．研究討論 (1/2) Descussion

通訊系統討論

問題

- 影像通訊系統有40ms~100ms延遲
- 實驗中遇到遇到長達19s的訊號斷接
- 當飛行高度超過100公尺高空訊號開始衰減

討論

- 未來改用5G技術減少網路延遲帶來的誤差
- 將飛行高度保持於50~100公尺高空



「即時影像傳輸」

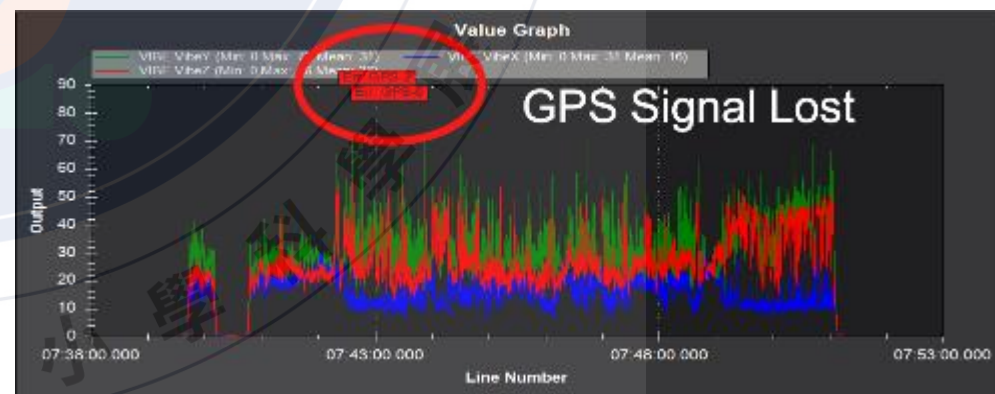
自動巡航系統討論

問題

- 巡航狀態GPS衛星定位出現短期失效的狀況
- 舵量過大而引起大幅度偏轉

討論

- 在舵量的調校部分利用延遲使飛機的動態性能更優
- 高度控制和優化的航跡飛行，滿足自主導航
- 預先設定參數，使飛機在作業區做閉合航線飛行
- ❖ 補充：飛機保持給定的偏航角速度X盤旋。當預定的偏航角速度Y超過上限值後，設定固定舵偏量以進行補償。



「GPS信號分析圖」

伍. 研究討論 (2/2) Descussion

PM2.5偵測系統討論

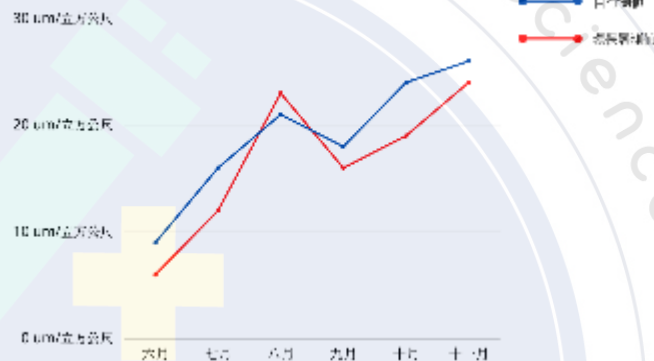
問題

- 系統讀出數值與環保署的測值有約 $\pm 30\% \sim \pm 55\%$ 左右的偏差
- 載具處於非定點偵測

討論

- 經過多次數值較正，將誤差值降低到 $\pm 15\%$ 以下
- 透過數值分析，誤差值在 $\pm 15\%$ 以內皆屬正常值

6月~11月 PM2.5 細懸浮微粒校正後數值比較



	環保署測值	自行測值	誤差值
6月	6um/m ³	9um/m ³	3
7月	12um/m ³	16um/m ³	4
8月	23um/m ³	21um/m ³	2
9月	16um/m ³	18um/m ³	2
10月	19um/m ³	24um/m ³	5
11月	24um/m ³	26um/m ³	2

■ 誤差值校正分析圖表

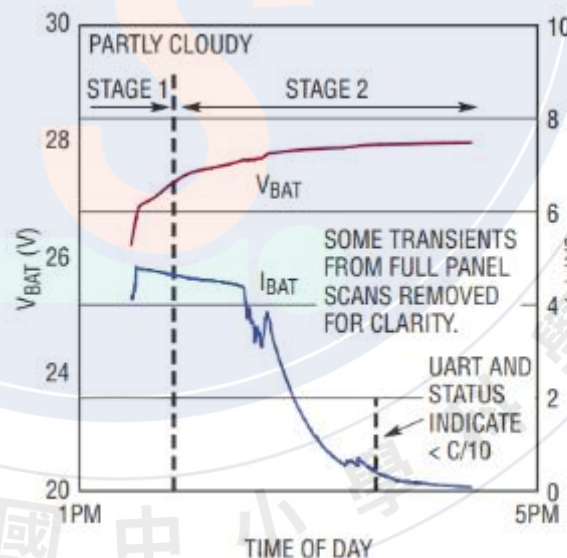
太陽能系統討論

問題

- 貼在弧面翼型上的太陽能板要能彎曲，且需夠輕薄
- 整組供電系統不能超過1.2公斤否則會影響飛行續航
- 穩壓電路需要低能量損耗

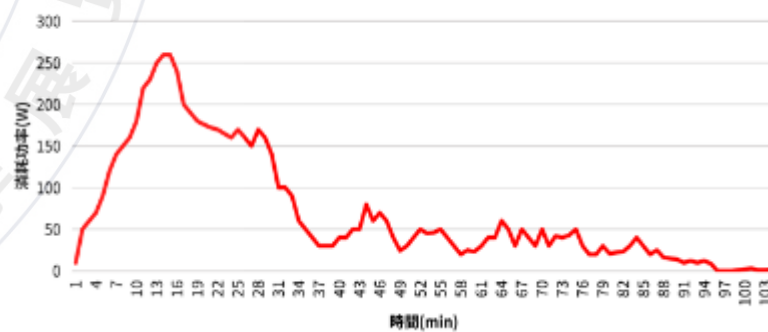
討論

- 採用C60太陽能薄膜，使總重不超過800g
- 穩壓電路使用高效率的Mppt功率點追蹤電路



■ 鋰聚合電池充電曲線

電池耗能記錄



未來展望 Future work

環境監測應用

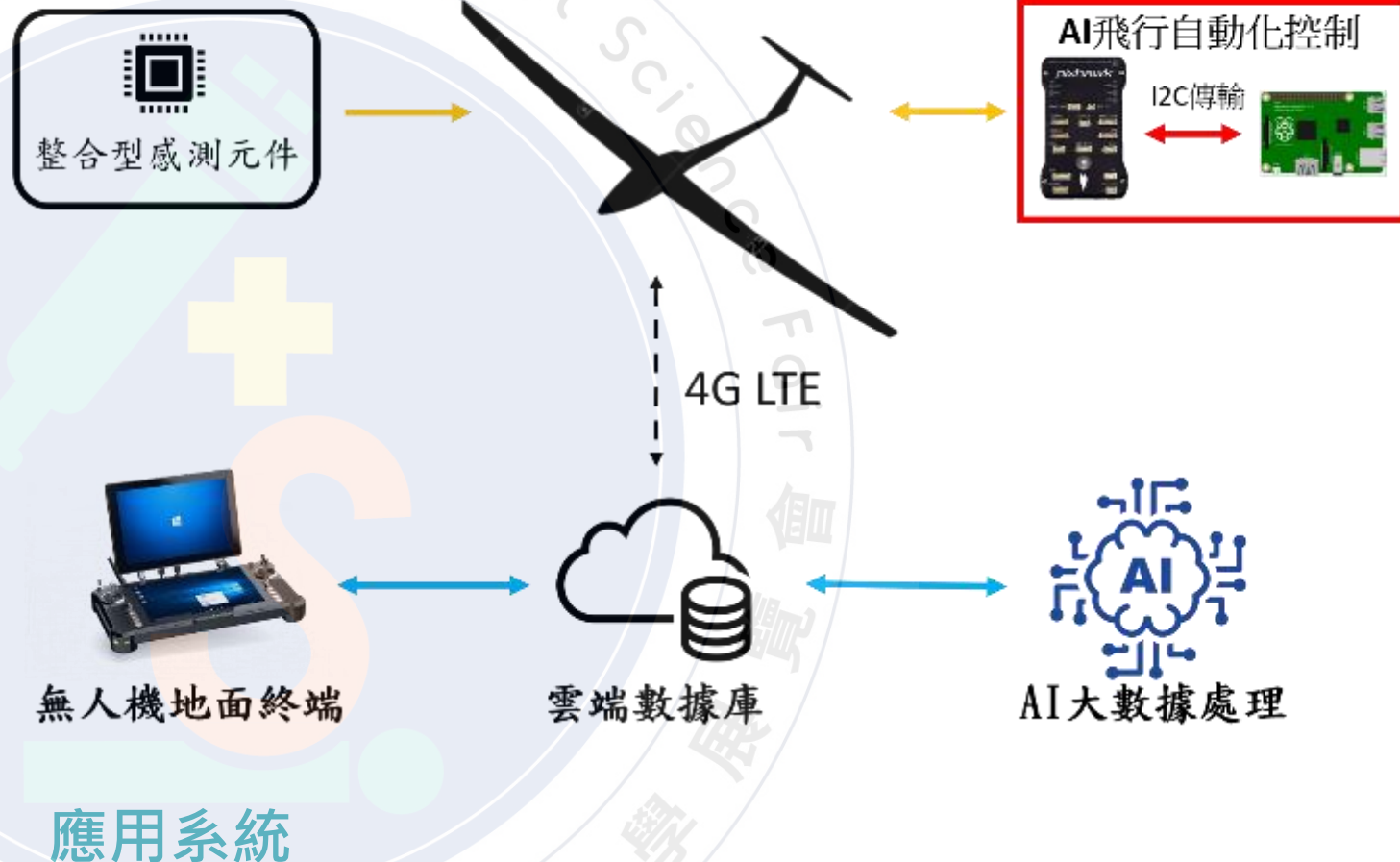
1. 於地勢險峻之地形進行勘探
2. 應用於山難救援物資投放
3. 農作物狀態監測分析

手機平板連線終端軟體

1. 飛行檢查表，系統化檢查
2. 資料即時共享，監看飛行進度
3. 數據監控，各項數據整合於軟體介面
4. 飛行計畫設定、飛行路線預覽

機身改進

1. 建構設計機身模具
2. 全碳纖維、玻璃纖維複合材施工



1. 樹莓派系統架構優化，減少系統耗電
2. 增加AI視覺系統，學習判斷飛行高度姿態

結論 Conclusion

透過本次對於太陽能長滯空無人機應用的相關研究，在永續能源這方面與數據收集應用中，我們能看到在這兩大趨勢在未來發展更具研究發展性，本研究涵蓋了航空材料結構設計、飛行控制、流體力學、微電腦控制及程式設計...等多項專業知識加以融合應用於本次研究。長滯空無人機的應用可讓過去需多次更換電池或補充燃料的問題得以解決。

專案設計理念 (Eternity Solar)

從一開始一個渺小想法，希望利用替代能源讓飛機持續的在空中作業，在我們團隊的討論過後我們用了太陽能為我們的載具提供能源，從開頭所看到的專案Logo可以看到我們團隊的理念，其中的太陽圖標代表能源的永恆，裡面的字Eternity(永恆)意思是希望飛機能持續的在空中翱翔，另外是希望整個專案能永續的發展！



參考資料 Reference

- 陳大達 (2013) 。航空工程 (飛行原理) 概論與解析。台北市：秀威資訊
- 丁建寧 (2018) 。新型薄膜太陽能電池。北京市：化學工業出版社
- 陳致中 (2020) 。Python AIoT 智能物聯網。新北市：台科大圖書出版社
- 太陽能光伏技術領域。ABB评论。2015 年，取自

https://library.e.abb.com/public/89a7247758e4430a9337c8cabb82a208/ABB_review_2015_02_CN.pdf

- Oettershagen, P. (2016a) . AtlantikSolar 81-hour Perpetual Flight. Dataset Release. Retrieved from <https://projects.asl.ethz.ch/datasets/doku.php?id=JFR2016>

- SunSailor: Solar Powered UAV。2006年，取自

<https://webee.technion.ac.il/people/maxcohen/SunSailorArt19nov06.pdf>

- Cocconi, A. (2005) . AC Propulsion's solar electric powered SoLong UAV. AC Propulsion. Retrieved from <https://archive.org/details/ACPropulsionSolongUAV2005>

- Osborne, T. (2016) . U.K. Will Buy Two Zephyr 8 UAVs. Aviationweek Aerospace Daily. Retrieved from <http://aviationweek.com/awindefense/uk-will-buy-two-zephyr-8-uavs>

