

標準技術文件

標 題	Ardupilot-Mission Planner 設定步驟		
撰 寫 者	黃勇介	日期	2026-10-15
文件版號	2.0		

目錄

介紹.....	3
飛控連接 Mission Planner	3
無人機安裝方向.....	4
固定飛控.....	4
飛控紅區說明.....	5
飛控減震球的必要性.....	5
馬達安裝方向與順序.....	6
Mission Planner HUD 與飛控設定.....	7
快速設定步驟.....	11
步驟(1).....	11
步驟(2).....	11
步驟(3).....	13
步驟(4).....	15
步驟(5).....	16
步驟(6).....	17
最後步驟確認.....	18
PID 調校.....	19
PWM+AUX 供電方法.....	20
Blue Pinout 定義.....	21
Blue 飛控尺寸與 3D 檔下載位置.....	22
理解 ArduCopter 的 PID 控制架構.....	23
PID 各項參數的作用與症狀判讀.....	23
Basic Filters（右側紅框）.....	24
Yaw 的特殊性.....	25
FLTT / FLTE / FLTD 三個濾波器.....	26
ArduCopter 飛行模式說明.....	27
一、手動模式(不需 GPS).....	27
二、GPS 位置模式(需 3D Fix 狀態下).....	27
三、自動任務模式.....	28
四、返航與降落.....	28
五、特殊功能模式.....	29
SILT 尾坐式（Tailsitter）.....	30
基本設定(選用 ArduPlane 軟體，不是 Copter).....	30

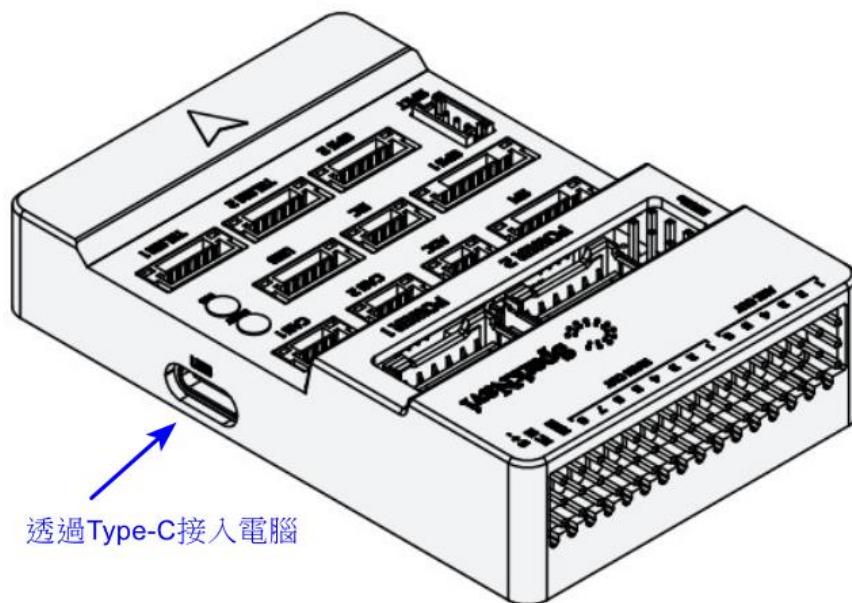
Tailsitter 姿態轉換相關	30
Tailsitter 飛行流程	30
Tailsitter 調校重點	31

介紹

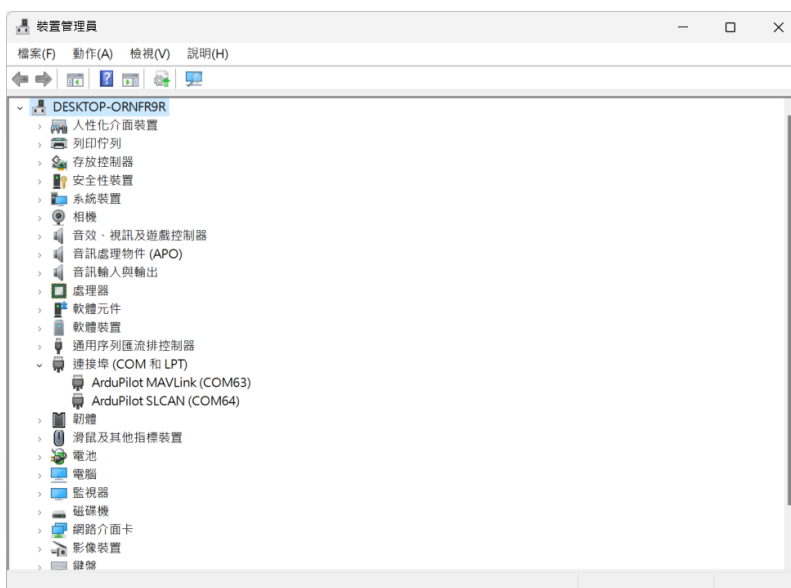
SparkNavi Blue 是一款搭載 STM32H743 處理器的高性能飛控電腦,專為專業無人機、機器人與研究平台設計。完整支援 ArduPilot 生態系,並針對可靠度與耐用性部署於工業與研究應用而打造。已廣泛應用於工業、研究與自主平台整合專案。

飛控連接 Mission Planner

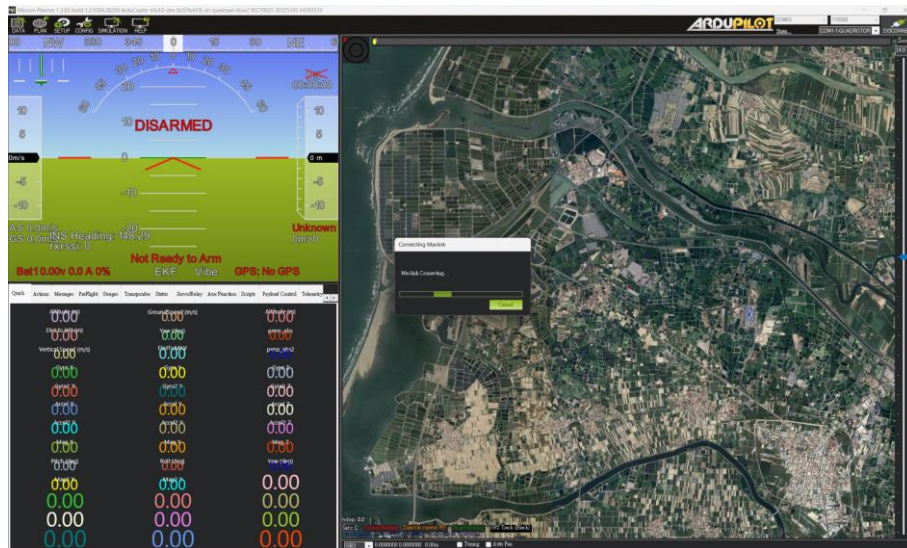
將 TypeC 接入電腦，LED 狀態燈會開始閃避，代表飛控正常開機啟動。



打開裝置管理員→連接埠(COM 和 LPT)，找到 Ardupilot MAVLink (COMxx)，看它 COM 數字。



然後到 Mission Planner 右上方選擇正確的連接埠(COM)，按下[Connect]。USB 連線不用管 Baud Rate。如果是用數傳模組連線時，Baud Rate 可以選 57600。



無人機安裝方向

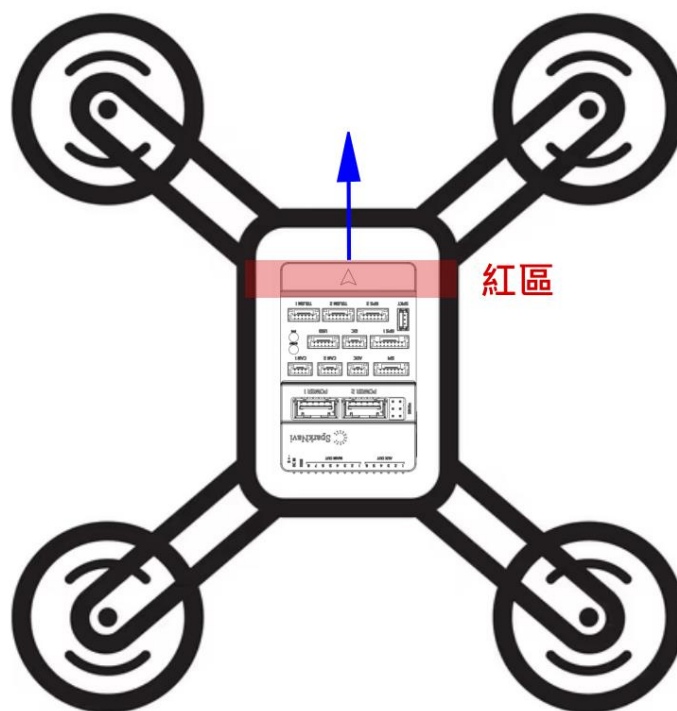
飛控安裝的方向說明，Blue 飛控上方有一個白色箭頭，箭頭方向與無人機的頭向需要一致的，如果某些特殊情況下，飛控的安裝方向與無人機的頭向不同，屆時再修改 AHRS_ORIENTATION 修改，將飛控的座標系轉換成與無人機的載具方向一致即可，對於初次使用者，會建議飛控與無人機的方向一致。

固定飛控

將出貨時隨附的 3M 泡棉雙面膠黏在飛控的背面，並將飛控黏貼在載具上。

飛控紅區說明

Blue 飛控箭頭位置，下圖標示紅區位置是最重要的地區，飛行穩定度好不好都是在這區塊，所以這區塊請避開金屬物品、電線也不要從上方經過。

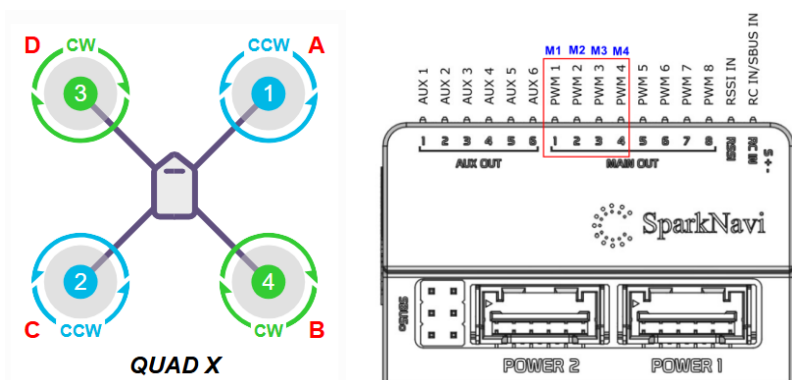


飛控減震球的必要性

許多人會覺得無人機的飛控都需要安裝減震，其實這是一個錯誤的觀念，正確的觀念是，需不需要減震球決定於機體傳導的震動頻率，這個連續的頻率會不會讓加速度計的採樣超過它本身的最大『滿量程範圍 Full-Scale Range (FSR)』，一旦持續累積超過，才需要進行減震球的安裝。減震球的挑選須要搭配飛控 Log 去分析主要震動帶是落在哪個範圍後，再去挑選合適能消除此震動的減震球。

馬達安裝方向與順序

馬達上方標示的(1)(2)(3)(4)對應飛控上方 PWM 通道(1)(2)(3)(4)接法。



然後在 SETUP→Optional Hardware→Motor Test 頁面，測試馬達轉動，將畫面中的 Throttle(油門)% 輸入 30%，旁邊的 Duration 維持轉動 2 秒就好。

槳葉記得拆除!!

按下下方的 Test motor A/B/C/D 按鈕，確認轉動的馬達有沒有對應到上圖的位置，以及馬達轉動的方向對不對。如果起飛當下立馬翻肚，通常都是馬達順序不對或是槳葉裝錯。

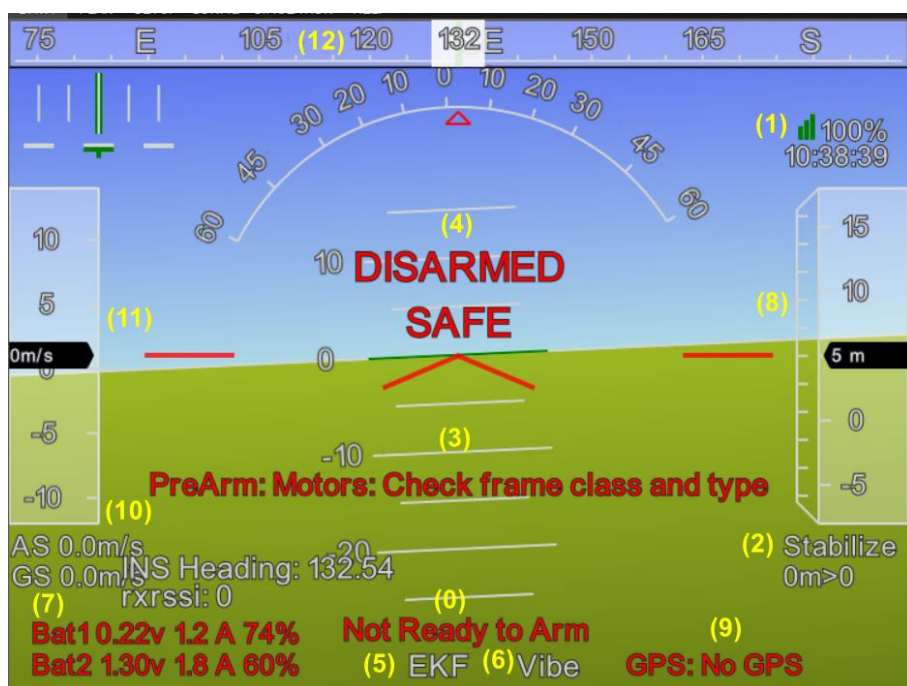


Mission Planner HUD 與飛控設定

連線 Mission Planner 後，左上方的抬頭顯示器，Heads-Up Display(HUD)畫面，是即時監控無人機飛行狀態的核心介面。它模擬了真實飛機的儀表板，讓你在一個畫面上就能掌握所有關鍵數據。

在 HUD 畫面要有一個觀念，一旦出現紅字，都必須要處理。一旦飛控說『Not Ready to Arm』，就不要繞過它跑去參數設定將警告關閉，因為這個動作的飛行結果就是摔機。

有一個狀況需要特別注意：當您全部的步驟都設定好了，HUD 上面也顯示了『Ready to Arm』，但時常在飛行時又會出現要您做羅盤校正。這代表羅盤是真的有被干擾到。需要巡視一下電線、或是有無金屬物品在飛控附近。



上圖 HUD 標示了重要的編號，在飛行時必須時常注意上面的訊息變化，0 到 12，數字越小越重要。(0)是飛行前的檢查，飛行後就不看它。飛行時就看(1)~(12)。

(0) Not Ready to Arm

解鎖就緒指示。PreArm 檢查未全部通過時顯示紅色「Not Ready to Arm」；全部通過後變成白色「Ready to Arm」。

(1) 遙測鏈路品質+時間

綠色訊號柱與 100%，這是地面站與飛控之間的連線品質(link quality，封包接收率)；當接上數傳飛行時就得看這裡，下方 10:38:39 為目前時間。

(2) 飛行模式 / 導航距離

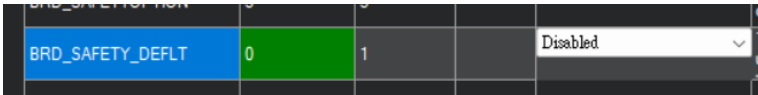
Stabilize 是目前飛行模式(會隨 Loiter、Auto、RTL 等切換)。下方 0m > 0 格式為「距離下一航點的距離 > 目前航點編號」。

(3) 狀態訊息列

飛控回傳的即時訊息。這裡 PreArm: Motors: Check frame class and type 表示 FRAME_CLASS / FRAME_TYPE 參數尚未設定(預設為 0)，需先設定機架型式才能解鎖。或是羅盤未校正、加速度未校正、等等的訊息都會在這裡顯示。

(4) DISARMED / SAFE

上行是解鎖狀態(DISARMED / ARMED)；下行是安全開關狀態(SAFE 代表安全開關尚未按下，PWM 輸出被封鎖)，解鎖後會顯示白色的 ARMED 文字，馬達開始急速運轉。飛控有安全開關參數，可以在參數設定裡將 BRD_SAFETY_DEFLT 設為 0。(記得寫入參數並重新開機後才會生效)。



當解鎖後，馬達開始急速運轉，10 秒後會自動上鎖。如果需要延長時間，可以在參數設定中修改 DISARM_DELAY。

Name	Value	Default	Units	Options
DISARM_DELAY	10	NaN	s	10.0

(5) EKF

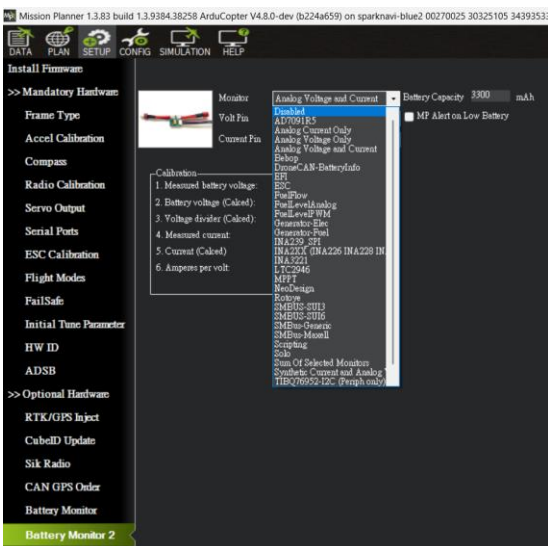
EKF(卡爾曼濾波狀態)健康度指示器。點擊會展開狀態視窗，顯示 Velocity / Pos horiz / Pos vert / Compass / Terrain variance 五條進度條，超過門檻會黃，嚴重變紅，代表姿態或位置估計不可信。

(6) Vibe

振動監控。點擊打開 X/Y/Z 三軸震動量(m/s^2)與 Clipping 0/1/2 加速度計削波計數，一般建議 $< 30 m/s^2$ ，Clip 應維持 0。不要忽視 Clip。

(7) 電池狀態

Bat1 / Bat2 分別顯示電壓、電流、剩餘電量百分比。此圖電壓明顯異常(0.22V / 1.30V)因為沒有接上電源模組，當接上電源模組後，需要進行電壓校正，校正後這裡就會是白色數字，在飛行時變紅色字代表電池現有電壓已經進入到低電壓範圍。 Bat2 沒有使用就在 SETUP→Optional Hardware→Battery Monitor2 將它關閉。



(8) 高度尺規(Altitude Tape)

右側垂直尺規，黑框內 5 m 為目前高度(相對 Home 點的高度)。旁邊的紅色水平線是姿態儀的固定機翼參考標記。

(9) GPS 狀態

有幾個 GPS 狀態依序：為 No GPS → No Fix → 2D Fix → 3D Fix → 3D DGPS → RTK Float → RTK Fixed。單點定位模式的 GPS 通常都是 3D Fix，規格好的單點定位 GPS 模組會出現 3D DGPS，代表虛擬距離差分：SBAS。

飛控有接上 RTK 設備就會看到 RTK Float 或是 RTK Fixed 狀態，此刻飛行精度都是公分級。

(10) 速度與航向數值

AS：空速(Airspeed，這是空速管的資訊，固定翼才需要注意)

GS：地速(Groundspeed)：飛行器相對於「地面」的移動速度。

(11) 速度尺規(Speed Tape)

左側垂直尺規，黑框 0m/s 為目前速度(預設顯示地速)。

(12) 航向帶(Heading Tape)

頂部橫向羅盤帶，中央白框 132 為目前機頭航向；下方細小的綠色標記代表橫向誤差和轉彎率。

補充說明：

INS Heading：慣性導航解算出的航向角(沒有慣性導航設備可以略過)

rxrssi：遙控接收機訊號強度 (遙控器本身沒有 RF RSSI 訊號傳送到飛控的功能時，可以略過)

中央紅色 V 形符號：固定的機體參考符號

綠色水平短線：飛控的目標滾轉／俯仰(Nav roll / Nav pitch)

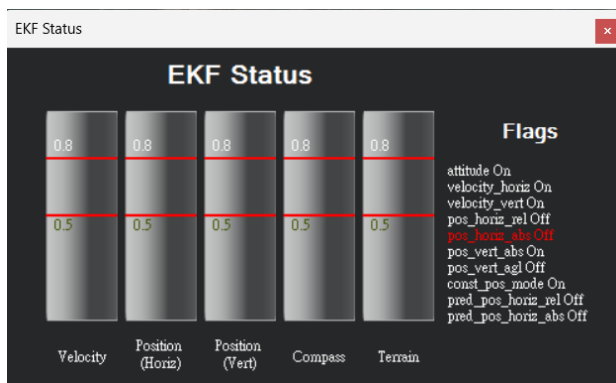
上方弧形刻度：滾轉角刻度，紅色三角為目前滾轉

中央橫向長刻度線：俯仰尺(每格 10°)

然後，滑鼠點擊(5)與(6)打開這兩個小視窗，在飛行時必需一直注意(5) EKF 與(6)Vibe。這兩個視窗的元素有百分之 80%決定您會不會摔機。

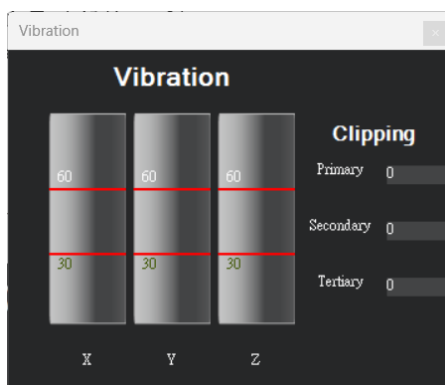
(5)EKF Status (卡爾曼濾波狀態)視窗，無人機在飛行時，這幾條條狀圖會上上下下的浮動，有幾種狀況說明：

- 有超過 0.5，但又馬上降下來的，這個狀態沒關係，屬正常現象
- 如果是超過 0.5 後一直都沒降下來的，就代表要排除問題，羅盤、GPS 天線位置。
- 如果超過 0.8，建議一定要降落排除，如果不排除，再過幾十秒，無人機就會在空中直接翻 180 度。



(6)Vibration (振動)視窗

振動狀態視窗看的是飛行中整體的振動傳導到飛控時，飛控內部的濾波器能不能完全消除。這裡常見的是 Z 軸振動持續上升降不下來；以及 Clipping 數字持續累積。當出現這些情況，都是要排除的。



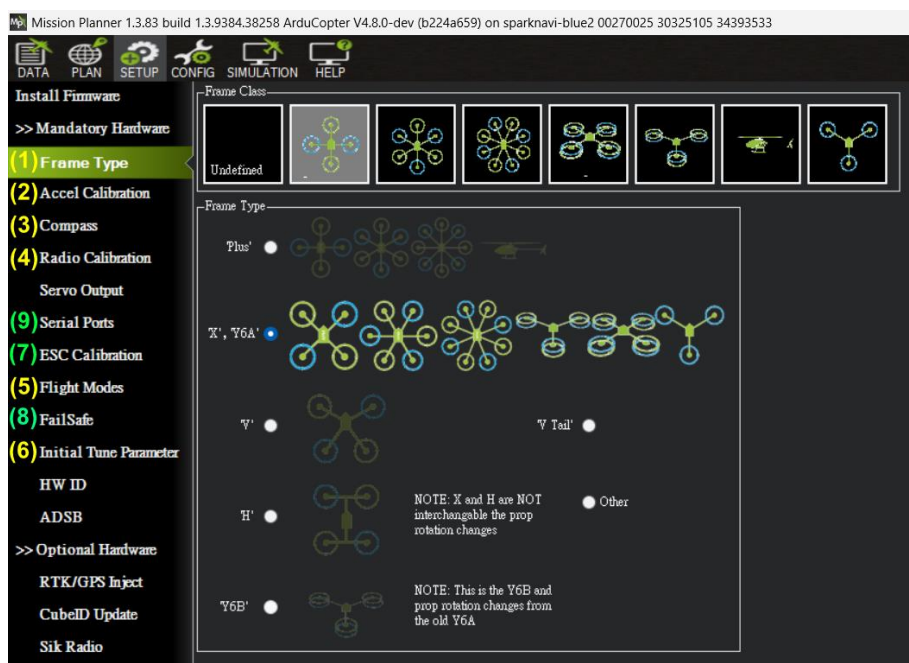
快速設定步驟

下方標示設定(1)~(6)步驟，設定完成後，基本上在 HUD 畫面就會顯示 Ready to Arm，代表可以解鎖起飛，這時候切換到 ALTHOLD 飛行，就能看到很穩定的首飛，接著就能體驗一下飛行，但動作不要太大，因為還沒調校 PID。

降落後再設定(7)~(9)步驟，這裡有些人會發現為什麼 ESC 沒有校正也能飛行得很穩定。這是可以的，因為馬達的不同步問題飛控已經幫它吸收掉，飛控會持續讓無人機平衡，因為現在這個階段只是在體驗飛行，所以 ESC 校正不是這麼重要。當 ESC 校正後，馬達的均熱會比較分散到四顆上面。

步驟(1)

在 Frame Type 頁面，先點選上方的 Frame Class，如果是四軸機，就點選四軸，再點選下方的 Frame Type：'X'，'Y6A'，標準的四旋翼的機架都是選這個。

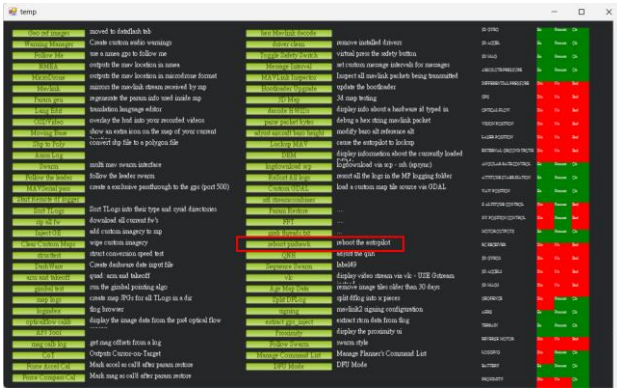


步驟(2)

在 Accel Calibration 頁面進行加速度計校正，這裡可以先做(2.1)與(2.2)，等到飛機全部都組裝好後，再進行(2.3)步驟，在進行 (2.3)步驟，它是六個面向的校正，所以無人機會翻來翻去，所以 USB 線要夠長。

順序：按下(2.1) → 等待按鈕變成 Completed 後 → 飛控重新開機 → 再按(2.2) → 等待按鈕變成 Completed。

飛控重開的方法：按 Ctrl+F 會出現下面這個視窗，選擇 reboot pixhawk，飛控就會重新開機。



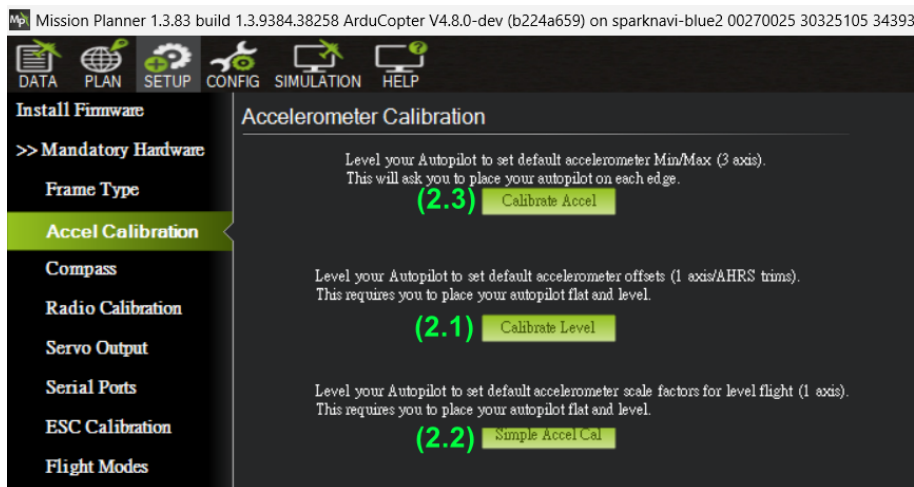
(2.1) 按鈕說明：Calibrate Level(水平校正)

不動加速度計參數，只寫 AHRS_TRIM_X/Y，並記錄「飛控實體安裝相對於機體水平面的傾斜量」。它修的是安裝誤差，不是感測器誤差。

(2.2) 按鈕說明：Simple Accel Cal（單姿態簡化校正）

只在水平放置時量一次，假設此時重力全部落在 Z 軸，反推出偏置。它會寫入 INS_ACCOFFS_*，但 X/Y 軸的 scale 完全無法解算，只能維持預設 1.0。

ArduPilot 的解鎖檢查邏輯是「INS_ACCOFFS_* 是否為非預設值」，而不是「是否做過完整六面校正」。Simple Accel Cal 有寫入 offset，pre-arm 檢查自然通過。但注意，這是檢查機制的寬鬆，不是品質認可，真正長時間或長距離放飛還是要做(2.3)。



(2.3) 按鈕說明：Calibrate Accel，六面加速度計校正，MEMS 加速度計出廠時每一軸都存在兩種誤差：

- offset(偏置)：靜止時應該讀 0 卻讀到 0.3 m/s²
- scale(刻度因數)：受 1g 時應該讀 9.81 卻讀到 9.95

加速度的量測值 = scale x (真實值 + offset)

三軸共 6 個未知數。要解出 6 個未知數，數學上至少需要 6 個獨立的觀測方程式，這就是為什麼一定要擺六個面。

(2.3) 操作流程

Mission Planner 會依序提示你擺放六個姿態，每擺好一個按一次鍵盤任意鍵(不是滑鼠)：

順序	提示	實際擺法	此時重力落在
1	Place vehicle LEVEL	正常水平放置	+Z
2	Place vehicle on its LEFT side	左側朝下	+Y 或 -Y
3	Place vehicle on its RIGHT side	右側朝下	反向
4	Place vehicle NOSE DOWN	機頭朝下	+X
5	Place vehicle NOSE UP	機頭朝上	-X
6	Place vehicle on its BACK	整個翻過來	-Z

每個姿態要靜止穩定後再按鍵，飛控會取一段時間的平均值。完成後顯示 Calibration successful，參數自動寫入並存檔。

(2.3)步驟做完後，飛控會寫入哪些參數？

主 IMU：

INS_ACCOFFS_X / INS_ACCOFFS_Y / INS_ACCOFFS_Z

INS_ACCSCAL_X / INS_ACCSCAL_Y / INS_ACCSCAL_Z

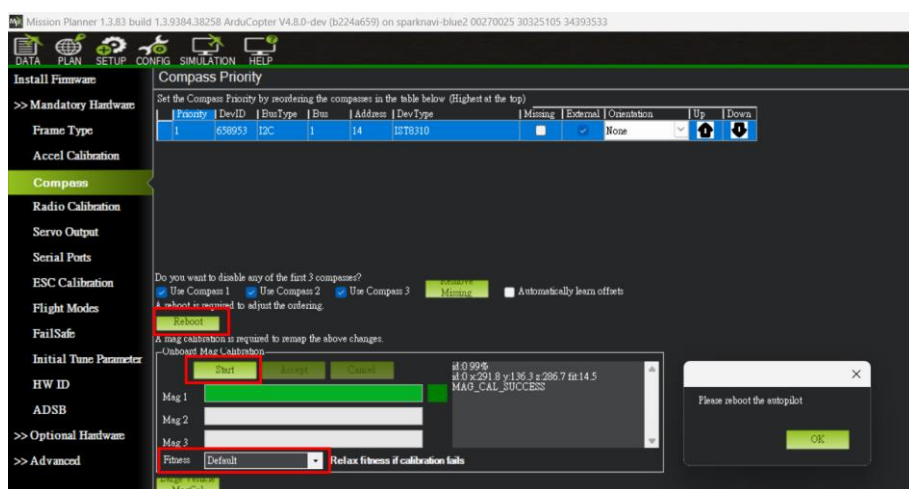
第二、三顆 IMU 各自一組：INS_ACC2OFFS_*、INS_ACC2SCAL_*、INS_ACC3OFFS_*、INS_ACC3SCAL_*。一次六面校正會同時解算板上所有 IMU，不需要分別做。

另外 INS_ACC_ID、INS_ACC2_ID 會記錄感測器 ID，用來確認校正結果對應到哪顆晶片，換了不同型號的 IMU，飛控會發現 ID 不符而要求重新校正。

步驟(3)

在羅盤校正頁面，在 Fitness 選擇[Default]，按下[Start]，然後開始繞 8 字形，慢慢繞...

這時會看到 Mag1 的綠色條狀滿格後就會出現”Please reboot the autopilot”，按[OK]，然後按頁面的[Reboot]按鈕讓飛控重新開機。



Fitness 是什麼？

Fitness 是羅盤校正的驗收門檻。校正過程中飛控收集大量磁場向量，把它們擬合成一個球面（sphere fit），Fitness 就是「實測點與理想球面的平均偏差」。

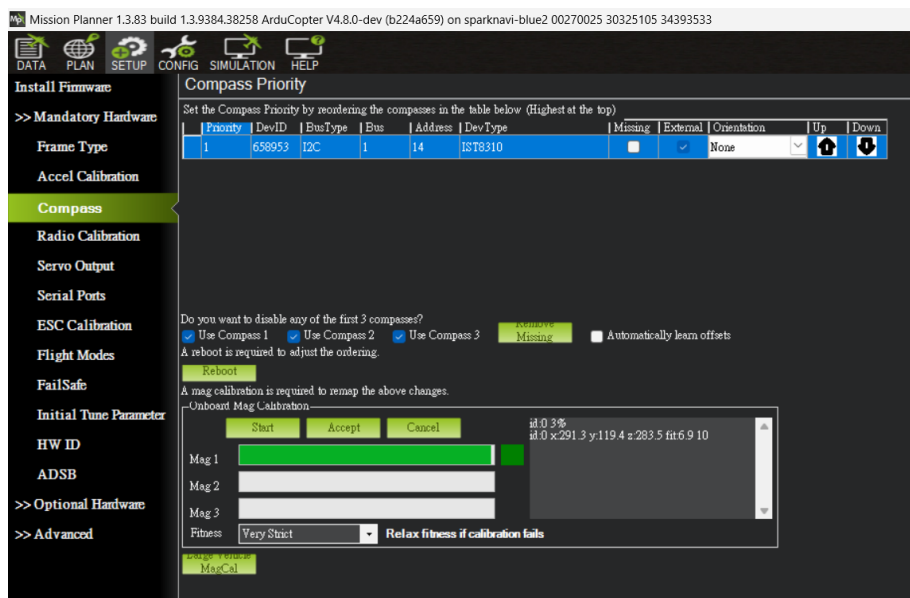
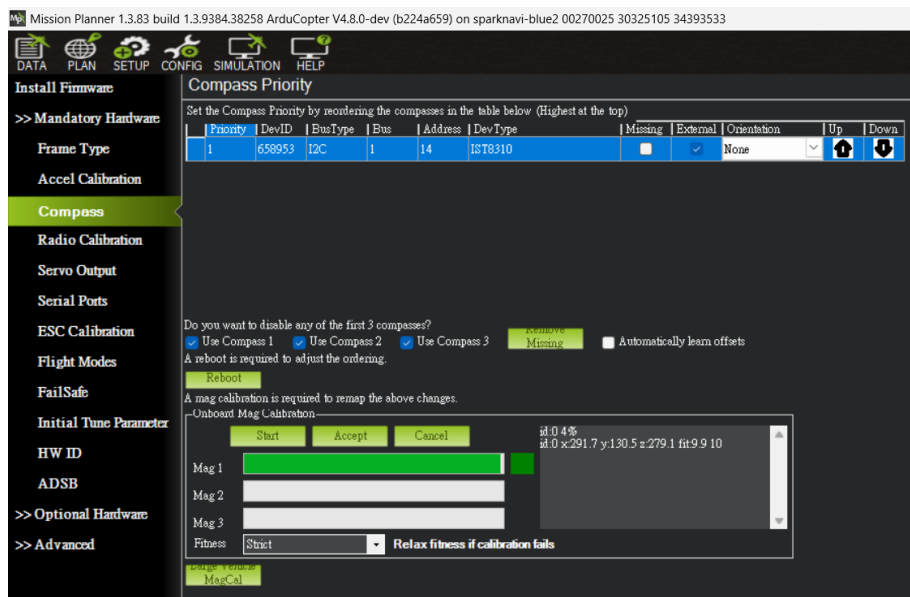
圖右側的 fit:14.5 就是這次校正實際達到的偏差值，數字越小，代表磁場資料越乾淨、球面擬合得越好。

Fitness 下拉選單的選項，對應的參數是 COMPASS_CAL_FIT。

Fitness 五個等級對應的門檻：

選項	COMPASS_CAL_FIT	說明
Very Strict	4	極嚴格，幾乎只有實驗室環境過得了
Strict	8	嚴格，安裝品質良好的機體
Default	16	預設值，一般機體的合理標準
Relaxed	32	放寬，磁干擾較明顯的機體
Very Relaxed	128	極寬鬆，形同放行

SparkNavi Blue 飛控是可以通過 Very Strict 與 Strict 的校正，無人機上方的電源乾淨度是會有影響的。想要挑戰大疆的飛行效果就可以用 Strict，但要檢查自己周邊設備的噪聲，許多排紅無人機模組都是亂做，在電磁相容上並沒有特別考慮到。



步驟(4)

在 Radio Calibration 遙控器校正頁面，當遙控器與接收器有正常連線時，這頁面的通道才會是綠色的，如果都是灰色的，代表遙控器與接收器沒有對頻完成，這個需要檢查接收器與遙控器的設定。遙控器如果是正常連線狀態下，就按下畫面中的 Calibrate Radio 按鈕，這時會出現一些提示，按 [OK]，這些提示是要您先拆槳葉。這裡特別提醒，初次安裝直到 Ready to Arm 訊息出現之前，都是不裝槳葉的，起飛前才會裝槳葉，通常我們也是起飛前才會裝上槳葉，平時都是卸下槳葉的。

當按下畫面中的 Calibrate Radio 按鈕，這時就動一動遙控器上面所有的撥桿，撥桿都打到底，讓飛控去偵測每一個通道的最小值與最大值；做完所有通道的最小值與最大值後就可以按下[Click when Done]按鈕，這時會自己計算出要補償的數字，按下[OK]就完成校正。

步驟：Calibrate Radio → Click when Done → Saving → Completed

下圖可以看到遙控器校正畫面，其實並不用全部的通道都用上，Pitch/Roll/Yaw/Throttle 與 CH5 是必要的，其他都看個人的應用。通常我會再增加一個 CH6 通道做上鎖/解鎖用，但要注意不要在無人飛行中不小行誤觸。近距離飛行可以用這個功能；遠距離飛行時，就不要去綁定實體的撥桿去連動上鎖/解鎖功能，解鎖與上鎖功能就改用 Mission Planner 畫面中的按鈕。



步驟(5)

Flight Modes 飛行模式頁面，在遙控器的通道(CH5)，找一個三個檔位的通道，試著撥動，可以看到畫面會連動 Flight Mode 1、Flight Mode 4 與 Flight Mode 6，可以依照下圖的設定：

Flight Mode 1：Stabilize (穩定模式)

Flight Mode 4：AltHold (氣壓定高) 適合初學者

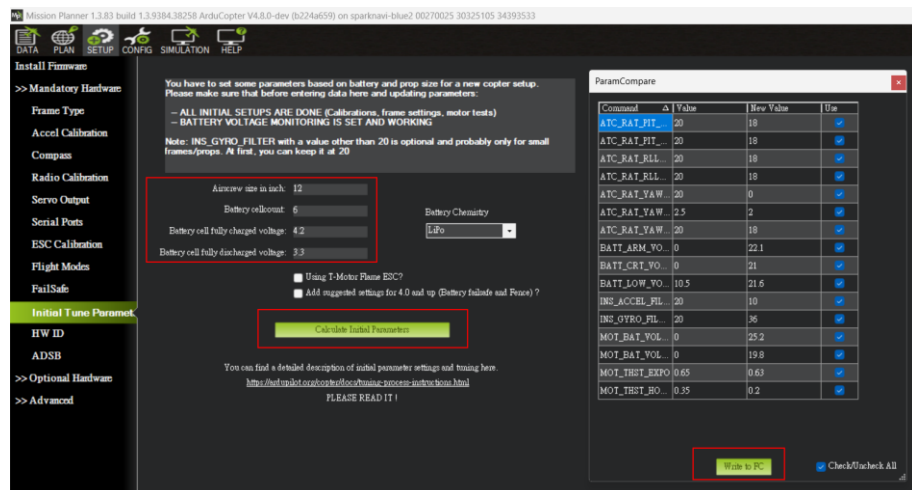
Flight Mode 6：Loiter (定點模式) GPS 模式飛行，強烈建議用這模式飛，搭配 F9P GPS 模組，飛過後就回不去了，設定得好就變懶人模式，都交給飛控自己飛。



步驟(6)

設定初始參數

初始參數會計算出一組可以飛行的參數，但這裡需要輸入實際的槳葉尺寸、實際的電池芯是多少S。輸入後按下[Calculate Initial Parameters]按鈕會跳出一個視窗，按下[Write FC]，讓參數寫入飛控。



最後步驟確認

關閉 Bat2，重新啟動飛控，Mission Planner 也關掉重開，為什麼 Mission Planner 需要關掉重開，因為它會殘留之前無法解鎖的訊息，整個都重開後，過去無法解鎖的訊息就不會殘留。這時可以看到”Ready to Arm”，就能解鎖了，解鎖後馬達就會旋轉。



解鎖有兩種方法，一種是遙控器解鎖，將遙控器的通道與解鎖綁在一起。一種是在畫面中的 Actions 分頁按下[Arm/Disarm]。



PID 調校

經過前面的設定步驟後，在 AltHold 模式飛行，通常都可以飛行的穩定，但距離遠距離飛行的標準還不夠，所以需要調整 PID，初步只要調整下方 Rate Roll、Rate Pitch 與 Rate Yaw。調整 PID 的方法就是 P=I，然後 P 一次微調 0.02~0.04，調整到飛機會開始自己搖擺後，這時就開始降 P 值，也是一次降 0.02~0.04。

初始參數算不出好的 Rate Yaw，所以 Yaw P 的可加很多，加到 Yaw 桿放開時，Yaw 不會滑行。

右側的 Basic Filters，可以根據機體現況調整。

Mission Planner 1.3.83 build 1.3.9384.38258 ArduCopter V4.8.0-dev (b224a659) on sparknavi-blue2 00270025 30325105 34393533

DATA PLAN SETUP CONFIG SIMULATION HELP

GeoFence

Basic Tuning

Extended Tuning

Onboard OSD

MAVRp

User Params

Full Parameter List

Planner

CubeLan 8 port Switch

Stabilize Roll (Error to Rate)

P 4.500

ACCEL MA 0

Stabilize Pitch (Error to Rate)

P 4.500

ACCEL MA 0

Stabilize Yaw (Error to Rate)

P 4.500

ACCEL MA 0

Position XY (Dist to Speed)

P 0.000

INPUT TC 0.100

☒ Lock Pitch and Roll Values

Rate Roll

P 0.135

I 0.135

D 0.0036

IMAX 0.500

FL TE 0

FL TD 18

FL TT 18

Rate Pitch

P 0.135

I 0.135

D 0.0036

IMAX 0.500

FL TE 0

FL TD 18

FL TT 18

Rate Yaw

P 0.180

I 0.018

D 0.000

IMAX 0.500

FL TE 2

FL TD 0

FL TT 18

Velocity XY (Vel to Accel)

P 0.000

I 0.000

D 0.000

IMAX 0

Basic Filters

Gyro 36

Accel 10

Throttle Accel (Accel to motor)

P 0.000

I 0.000

D 0.000

IMAX 0

Throttle Rate (VSpd to accel)

P 0.000

Tune None

Min 0.000 0.000

Altitude Hold (Alt to climbrate)

P 0.000

RC6 Opt Do Nothing

RC7 Opt Do Nothing

RC8 Opt Do Nothing

RC9 Opt Do Nothing

RC10 Opt Do Nothing

WPNV (cm/s)

Speed 20

Radius 5

Speed Up 10

Speed Dn 10

Loiter Speed 20

Filter Logs

Mask

Options 0

Static Notch Filter

Enabled

Frequency 10

Band Width 5

Attenuation 5

Harmonic Notch Filter

Enabled Disabled

Mode 0

Reference 0

Frequency 10

Attenuation 5

Bandwidth 5

Options 0

Harmonics 0

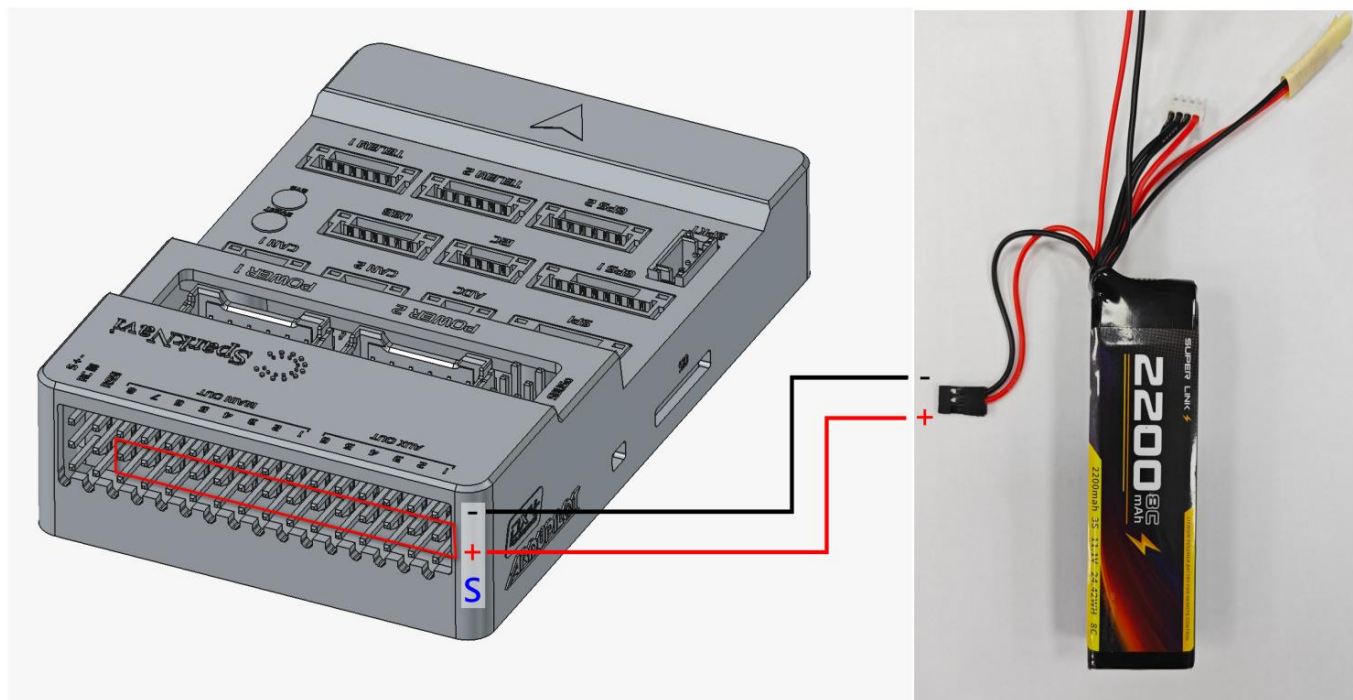
Write Params

Refresh Screen

PWM+AUX 供電方法

按照 Pixhawk Standard 標準，PWM+AUX 是不會有電源輸出，所以可以透過電池上面的 3pin 杜邦接頭，將電源插入飛控側面的 2.54mm 針腳(如下圖)，負極在上方。通常電池上方的 3pin 杜邦接頭是防呆接頭，所以無法反插。

將電源接上後，PWM+AUX 一整排的正極(+)，電源都會來自外部這顆電池。



Blue Pinout 定義

POWER1 and POWER2 是電源冗餘(redanducy)機制的電源設計，當分別接上兩顆電池與電流計後，其中一顆電池有問題，會自動切換到另外的電源來源，POWER1 與 POWER1 互相切換的過程不會掉電壓，不會瞬間斷電，馬達也不會停轉，飛控仍然可以穩定在空中飛行。

SBUSo 的 UART7_TX，它在 PX4-Autopilot 韌體上可以直接連 Nuttx console debug，很好用。在 Ardupilot 硬體 UART7 對應的是 ArduPilot SERIAL5

在 Blue 的 hwdef.dat 加入：

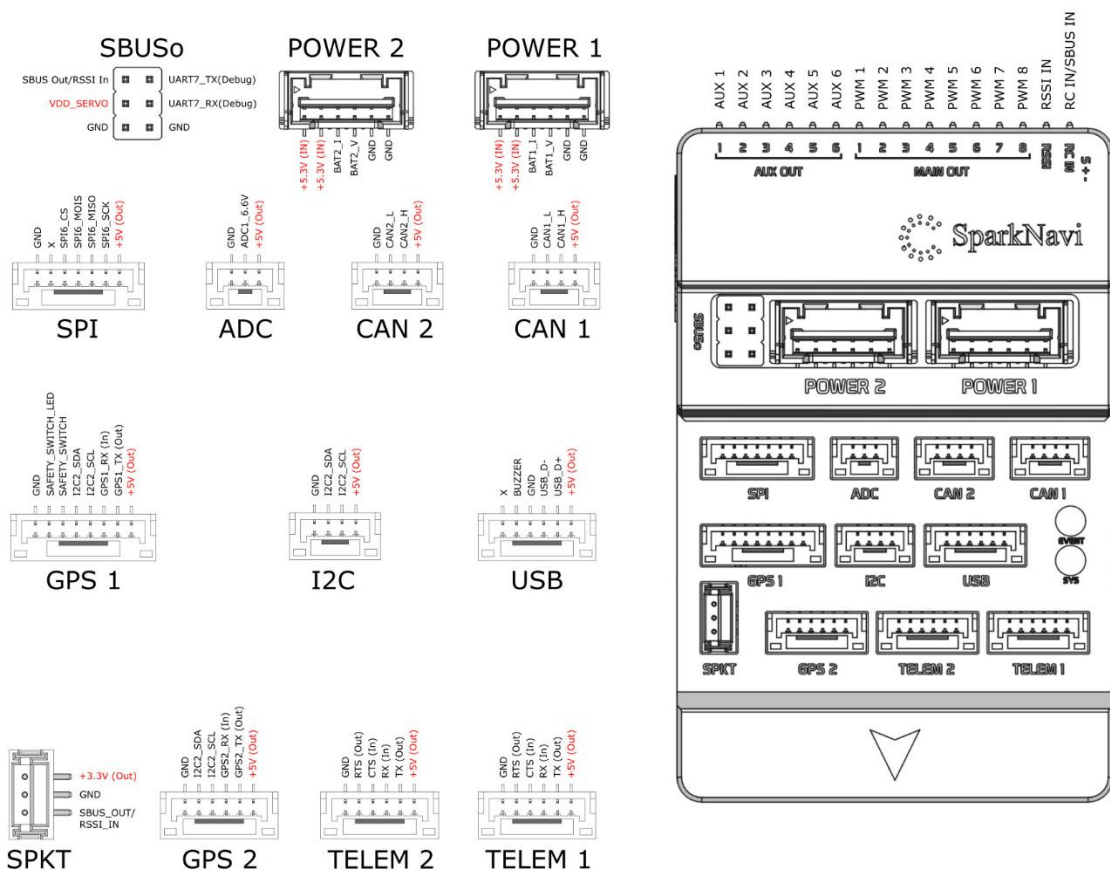
STDOUT_SERIAL SD7

STDOUT_BAUDRATE 115200

重新編譯、燒錄韌體，並將 SERIAL5_PROTOCOL = -1 (None)，避免其他通訊協定使用這個埠。接著在程式中加入：

printf("Blue UART7 debug: value=%d\r\n", value); ← debug 與 C/C++一樣。

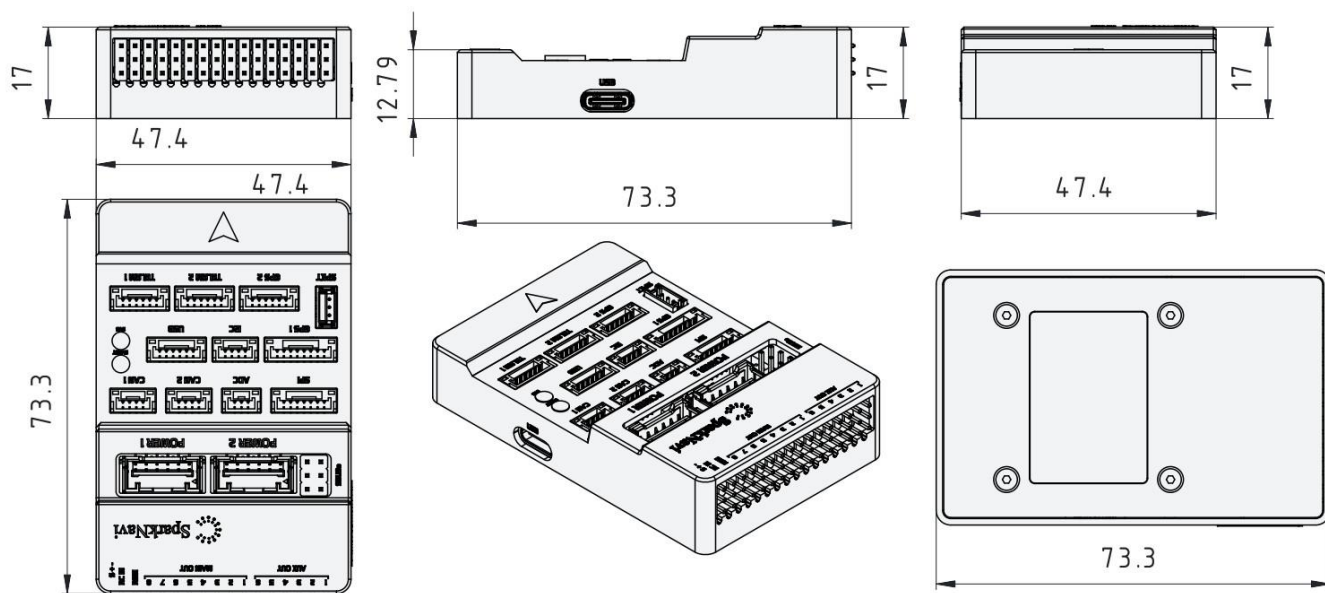
為什麼預設不將 UART7 拿來用開發模式的 debug print? 因為大多數使用者不會用到，當 UART 不夠用時，直接設定 mission planner SERIAL5 就能使用。



Blue 飛控尺寸與 3D 檔下載位置

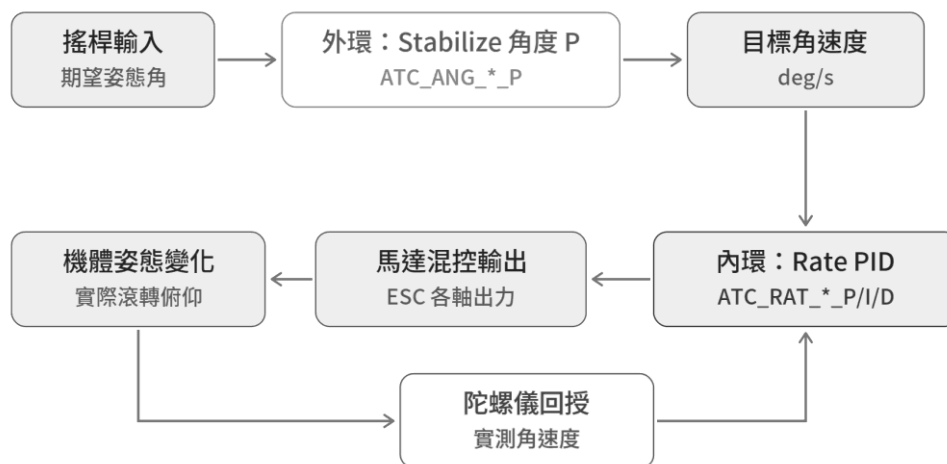
3D STEP 檔下載網址:<https://www.sparknavi.com/downloads/SparkNavi-Blue-3D-STEP.zip>

Blue 飛控尺寸圖如下：



理解 ArduCopter 的 PID 控制架構

ArduCopter 的姿態控制採用雙迴路串級（cascade）結構。外環把「角度誤差」轉成「目標角速度」，內環再把「角速度誤差」轉成馬達出力。



- 外環（Stabilize Roll/Pitch/Yaw）：把「角度誤差」轉成「目標角速度」，只有 P 一項，預設 4.5
- 內環（Rate Roll/Pitch/Yaw）：把「角速度誤差」轉成「馬達出力」，是真正決定飛行手感的部分

內環穩了外環才有意義，所以 Ardupilot 文件中說明只調內環 Rate 的做法是正確的。外環 P 幾乎不需要動，除非覺得整體反應太鈍(調高)或過於神經質(調低)。

PID 各項參數的作用與症狀判讀

P → 比例項

決定「反應強度」。誤差多大就出多少力。

現象	判斷
反應遲鈍、推桿後慢半拍才動	P 太低
姿態跟不上、大風中壓不住	P 太低
快速搖擺、馬達聽得到規律抖動聲	P 太高

I → 積分項

消除長期穩態誤差。重心偏移、機架微歪、單邊風壓，都靠 I 慢慢補回來。

現象	判斷
一直往同一方向偏、要一直修桿	I 太低
緩慢的大幅度晃動（週期 1~2 秒）	I 太高

ArduCopter 的慣例是 $I = P$ ，調 P 時 I 要一起同步跟著改。

D → 微分項

抑制震盪、增加阻尼。作用在「誤差變化率」，是唯一能讓機體「煞得住」的項。

現象	判斷
停桿後會回彈、過衝一下才穩	D 太低
高頻嘯叫、馬達發燙、機體有細微高頻震動	D 太高

Basic Filters（右側紅框）

參數	畫面值	預設	說明
Gyro (INS_GYRO_FILTER)	36	20	陀螺儀低通濾波截止頻率
Accel (INS_ACCEL_FILTER)	10	20	加速度計低通濾波截止頻率

低通濾波截止頻率原則是看機架大小：

機架	建議 INS_GYRO_FILTER
3~5 吋穿越機	40~60 Hz
一般攝影機（10~15 吋）	20~40 Hz
大型多軸（20 吋以上、農噴、載重）	10~20 Hz

設太高：噪聲進入控制迴路，D 項失效、馬達發燙

設太低：控制延遲增加，機體反應遲鈍、容易低頻震盪

改動 INS_GYRO_FILTER 後，FLTT/FLTD 欄位必須跟著改成新值的一半，否則兩層濾波不匹配。

Accel 設 10 是偏保守的值，會讓高度控制與 EKF 更平順，但對快速機動的響應稍慢。若是穩定拍攝取向的機體，這個設定合理。

Yaw 的特殊性

Yaw 靠的是馬達反扭矩差，而非直接推力，本質上力矩小、響應慢、慣量大（機臂與電池都繞 Z 軸分佈）。因此：

- Yaw P 可以設得比 Roll/Pitch 高（預設 0.180 vs 0.135），加到 0.3~0.5 都很常見
- Yaw I 是 P 的 1/10 (0.018)，不是 $P=I$ ，這與 Roll/Pitch 不同
- Yaw D 預設 0，通常不需要加
- Yaw FLTE = 2 Hz，因為航向誤差訊號較雜，需要額外濾波

判斷標準就是放開 Yaw 桿後，機頭應該立刻停住，若還會「滑行」轉過頭，就是 P 不足。但 Yaw P 過高的症狀是機頭左右抽動，同時會嚴重吃掉油門餘量 (Yaw 修正會讓對角馬達加減速)，這時應該回退，降低 P 值。

FLTT / FLTE / FLTD 三個濾波器

這三個是 4.x 之後才拆開的濾波點，單位都是 Hz：

參數	濾波位置	作用
FLTT (Target)	目標角速度	平滑外環送來的指令，避免搖桿突變造成急抽
FLTE (Error)	角速度誤差	過濾誤差訊號本身，Roll/Pitch 預設 0（停用），Yaw 預設 2
FLTD (Derivative) D	D 項輸入	最關鍵的一個，決定 D 項吃進多少噪聲

設定慣例：FLTT 與 FLTD 等於 INS_GYRO_FILTER 數值的一半。

ArduCopter 飛行模式說明

飛行模式先分成幾類看比較清楚，需不需要 GPS 是最關鍵的分野。

一、手動模式(不需 GPS)

Stabilize (穩定或自穩)

最基礎的模式。搖桿控制傾角，放開自動回正水平，油門完全手動。飛控只做姿態穩定，不管高度也不管位置，會隨風飄。所有機體的第一次試飛都應該從這裡開始。

Acro (特技)

搖桿控制角速度而非角度，放開後維持當前姿態不回正。可以做連續翻滾。這是唯一能做極限機動的模式，但完全沒有姿態保護，新手直接摔。參數 ACRO_RP_RATE、ACRO_Y_RATE 調整靈敏度。

AltHold (定高)

在 Stabilize 之上加了氣壓計定高。油門搖桿中位＝維持高度，往上推爬升、往下拉下降。水平仍會隨風飄，但不用一直微調油門，是新手練習的好起點。

Sport (運動)

「速率控制版的 AltHold」，姿態變化用速率控制但有角度上限(ANGLE_MAX)，適合較激進但仍要安全邊界的飛行。

FlowHold (光流定點)

用光流感測器取代 GPS 做位置保持，適合室內。需要光流模組加測距儀。

二、GPS 位置模式(需 3D Fix 狀態下)

Loiter (定點)

最常用的模式。搖桿放開後懸停在原地，自動對抗風力。有搖桿輸入時像 AltHol 一樣飛，放手立刻煞停並鎖定新位置。參數 LOIT_SPEED、LOIT_ACC_MAX。

PosHold (位置保持)

Loiter 的改良版，操控手感更接近 AltHold，搖桿直接對應傾角，放手才切換到位置保持。飛起來比 Loiter 更「直覺」，也是很多人喜歡用這個模式替代掉 Loiter。

Drift (漂移)

類似模型飛機的操控感，方向舵與滾轉自動協調轉彎(coordinated turn)，單手就能飛出流暢弧線。需要 GPS 輔助航向判斷，但沒有位置保持。

Brake (煞車)

立即全力煞停並懸停，完全不接受搖桿輸入。通常設為緊急停止用的瞬時開關，救援時很有用。

Circle (繞圈)

繞著一個中心點自動盤旋，機頭可設定朝向圓心。參數 CIRCLE_RADIUS、CIRCLE_RATE。空拍環繞鏡頭常用。

Follow (跟隨)

追隨另一個 MAVLink 裝置（地面站、手機、另一台機）。參數 FOLL_* 設定跟隨距離與方位。

ZigZag (Z 字形)

記錄兩個點 A、B，自動來回飛出平行航線，農噴應用設計的模式。

三、自動任務模式

Auto (自動)

執行 Mission Planner 規劃的完整航點任務，包含起飛、航點、動作指令、降落。解鎖後切入即開始執行。這是所有自主飛行的核心模式。

Guided (導引)

接受地面站或伴隨電腦的即時指令(飛到某座標、某高度)。Mission Planner 的「右鍵 → Fly To Here」用的就是這個。也是 MAVLink SDK、DroneKit、MAVSDK 開發的主要介面。

Guided_NoGPS

Guided 的變體，只接受姿態指令不接受位置指令，給沒有 GPS 但有外部姿態導引的應用(視覺 AI 引導專用)。

四、返航與降落

RTL (Return to Launch)

爬升到 RTL_ALT (預設 15 m)，飛回 Home 點，然後依 RTL_ALT_FINAL 決定懸停或降落。最重要的失效保護模式。

Smart RTL

返航時沿著來時路徑倒退飛回，而不是直線。適合在障礙物間(樹林、建築)飛行的場合，避免直線返航撞到東西。需要飛行過程持續記錄路徑點(SRTL_POINTS)。

Land (降落)

原地垂直下降至落地並自動上鎖。有 GPS 時會保持水平位置，沒有則單純下降。下降速度由

LAND_SPEED、LAND_SPEED_HIGH 控制。

Auto RTL

以 Auto 模式執行預先規劃好的 DO_LAND_START 之後的返航航線，比 RTL 更可控，可以規劃精確的進場路徑。

五、特殊功能模式

AutoTune (自動調參)

自動搖擺機體，逐軸測試並找出最佳 PID。需在無風環境、AltHold 或 Loiter 下執行，全程約 5~15 分鐘。調完的參數要落地後保持解鎖狀態切出模式才會存檔。**熟練整體的飛控與飛機後再嘗試用這個功能，否則很恐怖。**

Throw (拋飛)

解鎖後用手拋出，飛控偵測到自由落體與加速度變化後自動啟動馬達並穩定懸停。適合無法從地面起飛的場合。

Flip (翻滾)

一鍵自動完成 360° 翻滾後回到原姿態。需要足夠高度（建議 10 m 以上）與充足推重比。**小飛機可以，大飛機很恐怖。**

Turtle (翻身或烏龜翻)

炸機翻覆後，反轉馬達方向把機體翻回正面。需要 DShot ESC 支援雙向轉動。FPV 穿越機的實用功能。

Avoid_ADSB

偵測到 ADS-B 載人航空器接近時自動閃避。需要 ADS-B 接收模組。

SystemID (系統識別)

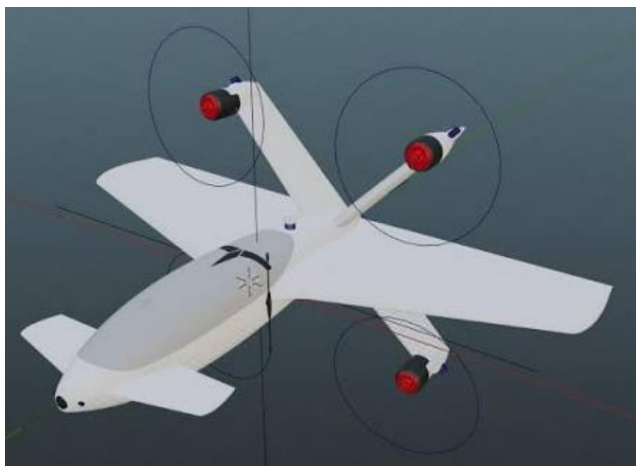
注入特定頻率的激勵訊號，記錄機體響應以建立數學模型，供進階控制器設計或 Filter 調校分析用。研究性質為主。

Heli_Autorotate (直升機自旋下降)

僅限傳統直升機。動力失效時利用旋翼自旋維持升力安全落地。多旋翼不適用。

SILT 尾坐式 (Tailsitter)

這種構型在 ArduPilot 叫尾坐式(Tailsitter)，也就是大家常說的火箭機，而且是「CopterMotor tailsitter」，用 ArduPlane 的 QuadPlane 架構就有原生支援，不需要改程式碼，純參數設定與調校即可。



基本設定(選用 ArduPlane 軟體，不是 Copter)

1. Q_ENABLE = 1(重開機)
 2. Q_TAILSIT_ENABLE = 1 (機翼上有 elevon/舵面時用)；若是純升力翼、完全沒有控制面，設 2(火箭機用這個)，定翼模式也會自動用四顆馬達差速做姿態控制。
 3. Q_FRAME_CLASS = 1 (Quad)、Q_FRAME_TYPE 依馬達佈局(通常 X)。注意馬達位置是以「機腹朝下(懸停姿態)」的視角定義。
- Q_TAILSIT_MOTMX = 15 (bitmask，馬達 1~4)，非零代表這是 Copter 式尾坐機，並決定進入定翼模式後哪幾顆馬達繼續運轉。

Tailsitter 姿態轉換相關

1. Q_TAILSIT_ANGLE：從 copter 控制切換到 plane 控制的俯仰角門檻，**例如設 60 度，機頭壓到離水平 30 度時就完成前轉換**。※注意，火箭機的機翼不會有舵面角度的控制，所以不可能完全水平狀態飛行。它依賴的是『四顆馬達差速做姿態控制』，**不要想說希望它是完全水平，完全水平與倒栽蔥失控剛好是在臨界點之間，不要太貪心，有接近水平就好，俯仰角有一點角度沒關係**。
2. Q_TAILSIT_ANG_VT：返航轉換(定翼→垂直)的角度，0 則沿用上面那個值。
3. 尾坐機的轉換是『姿態驅動』**不是計時的(它不是默數幾秒鐘轉態)**：切到 FBWA/AUTO 後**飛控自己把機頭壓平**。

Tailsitter 飛行流程

QHOVER/QLOITER 垂直起飛→切換 FBWA 或 AUTO 自動前轉換→定翼巡航
→切回 Q 模式自動拉起懸停降落。

Tailsitter 調校重點

1. 懸停用 Q_A_RAT_* 那組 PID；注意機身垂直時 body-frame 的 roll/yaw 和地面座標是對調的，Q_TAILSIT_INPUT 決定懸停時搖桿是走定翼慣例還是多旋翼慣例。
2. Q_TAILSIT_GSCMSK / Q_TAILSIT_DSKLD (機體重量 ÷ 總槳盤面積) 做增益隨油門/傾角的縮放，尾坐機高速前飛時舵效變化大，這組很關鍵。
3. 後轉換容易暴衝爬升(從 plane → copter)，可用 Q_TAILSIT_THR_VT 壓低轉換油門。

1. 更新程式碼 (Cygwin terminal)

```
cd ardupilot
```

```
git pull
```

```
git submodule update --init --recursive
```

2. 啟動尾坐機 SITL

第一次會用 waf 自動編譯 SITL binary，等它跑完。

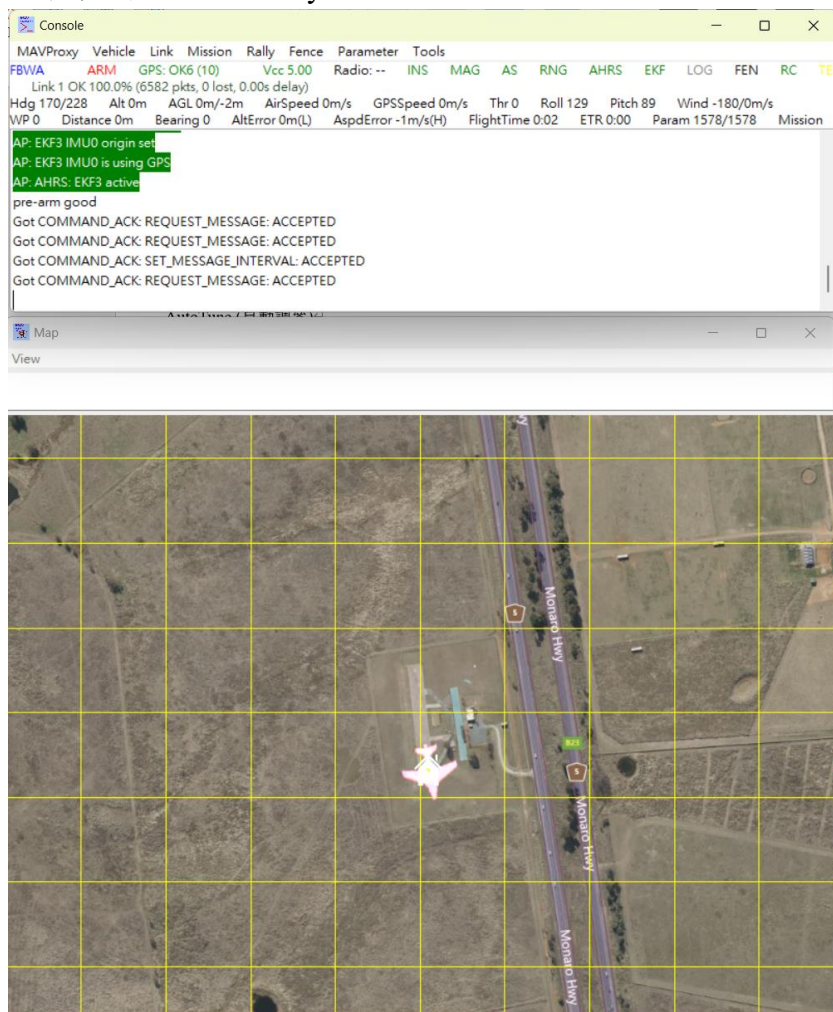
```
./Tools/autotest/sim_vehicle.py -v ArduPlane -f quadplane-copter_tailsitter --console --map
```

```
~/ardupilot
[1394/1401] Compiling ArduPlane/servos.cpp
[1395/1401] Compiling ArduPlane/fence.cpp
[1396/1401] Compiling ArduPlane/mode_training.cpp
[1397/1401] Compiling ArduPlane/mode_acro.cpp
[1398/1401] Compiling ArduPlane/commands_logic.cpp
[1399/1401] Linking build/sitl/lib/libArduPlane_libs.a
[1400/1401] Linking build/sitl/bin/arduplane.exe
[1401/1401] checking symbols build/sitl/bin/arduplane.exe
Waf: Leaving directory '/home/sparknavi-ethan/ardupilot/build/sitl'

BUILD SUMMARY
Build directory: /home/sparknavi-ethan/ardupilot/build/sitl
Target      Text (B)  Data (B)  BSS (B)  Total Flash Used (B)  Free Flash (B)  External Flash Used (B)
-----
bin/arduplane 4586529   230208    416      4816737  Not Applicable  Not Applicable

'build' finished successfully (3m22.202s)
SIM_VEHCILE: Using defaults from (Tools/autotest/default_params/quadplane.parm,Tools/autotest/default_params/quadplane-copter_tailsitter.parm)
SIM_VEHCILE: Run ArduPlane
SIM_VEHCILE: "/home/sparknavi-ethan/ardupilot/Tools/autotest/run_in_terminal_window.sh" "ArduPlane" "/home/sparknavi-ethan/ardupilot/build/sitl/bin/arduplane" "--model" "quadplane-copter_tailsitter" "--speedup" "1" "--slave" "0" "--defaults" "Tools/autotest/default_params/quadplane.parm,Tools/autotest/default_params/quadplane-copter_tailsitter.parm" "--sim-address=127.0.0.1" "-I0"
RiTW: Starting ArduPlane : /home/sparknavi-ethan/ardupilot/build/sitl/bin/arduplane --model quadplane-copter_tailsitter --speedup 1 --slave 0 --defaults Tools/autotest/default_params/quadplane.parm,Tools/autotest/default_params/quadplane-copter_tailsitter.parm --sim-address=127.0.0.1 -I0
SIM_VEHCILE: Run MavProxy
SIM_VEHCILE: "/usr/bin/cygstart" "-w" "mavproxy.exe" "--retries" "5" "--out" "127.0.0.1:14550" "--master" "tcp:127.0.0.1:5760" "--sitl" "127.0.0.1:5501" "--map" "--console"
```

接著會出現 MAVProxy :



3. Mission Planner 連線

MAVProxy 起來後預設會在本機開 UDP 14550/14551 輸出，Mission Planner 右上角選 UDP、port 14550 → [Connect] 就可以連線，不用設 IP。

接著會看到下面的畫面，HUD 看著天空是正確的，因為尾坐式(Tailsitter)在起飛前本身就是向著天空。



4. 測試飛行

指令說明:

mode qloiter (切換成 QLOITER 的姿態模式)

因為開機預設是 FBWA(定翼模式)，直接在定翼模式 arm 起飛，對尾坐機是災難。

姿態目標不同，FBWA 的姿態目標是「機翼水平、機頭朝前」。機體立在地上(機頭朝天)時，控制器看到的是 pitch 90°的巨大誤差，arm 加油門後它會立刻想把機頭「壓平」，結果就是在地面上翻倒或貼地亂跑。

QLOITER 的姿態目標是「懸停姿態」(機頭朝天就是水平)，跟機體停放姿態一致，起飛瞬間誤差為零，垂直穩定爬升。

arm throttle ← 解鎖

rc 3 1700 ← 垂直爬升

rc 3 1500 ← 定高

mode fbwa ← 前轉換

mode qloiter ← 後轉換

mode qrtl ← VTOL 版的 RTL

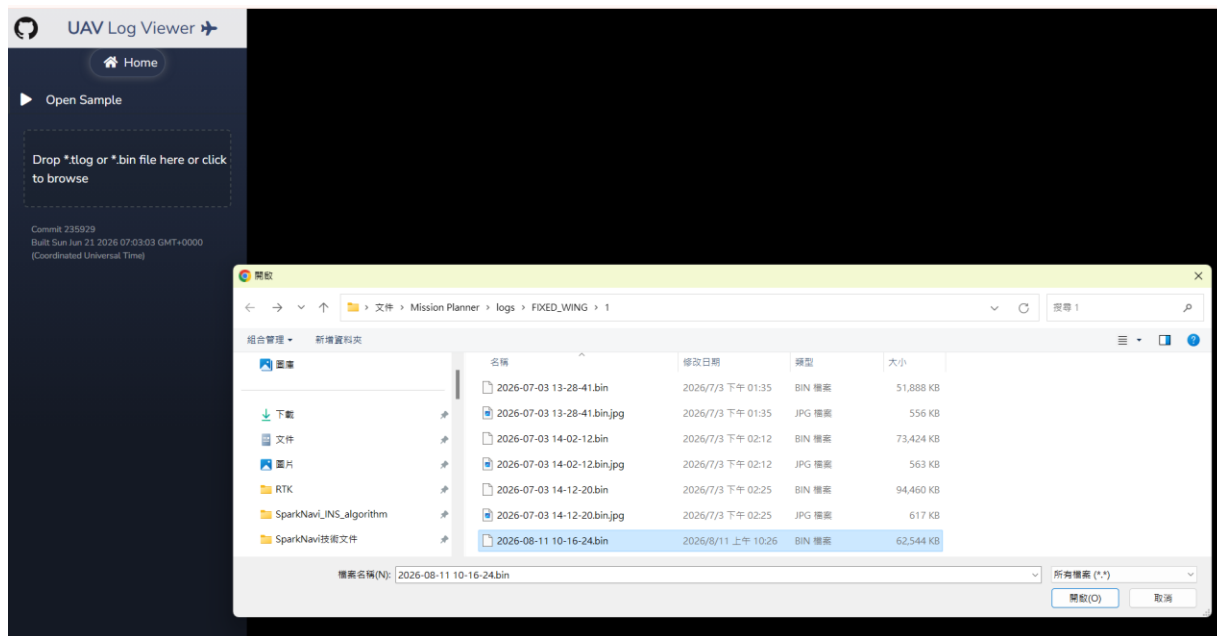
如果想在原地直接降(不回 home 點位置)：

mode qland

```
C:\Program Files (x86)\MAVPr >
rom using this package or pin to Setuptools<81.
Connect tcp:127.0.0.1:5760 source_system=255
Loaded module console
PyInstaller\loader\pyimod02_importers.py:419: UserWarning: pkg_resources is deprecated as an API. See https://setuptools
.pypa.io/en/latest/pkg_resources.html. The pkg_resources package is slated for removal as early as 2025-11-30. Refrain f
rom using this package or pin to Setuptools<81.
PyInstaller\loader\pyimod02_importers.py:419: UserWarning: pkg_resources is deprecated as an API. See https://setuptools
.pypa.io/en/latest/pkg_resources.html. The pkg_resources package is slated for removal as early as 2025-11-30. Refrain f
rom using this package or pin to Setuptools<81.
Loaded module map
Log Directory:
Telemetry log: mav.tlog
Waiting for heartbeat from tcp:127.0.0.1:5760
Detected vehicle 1:1 on link 0
Received 1578 parameters (ftp)
Saved 1578 parameters to mav.parm
FTP reply for mavlink component 190
FBWA> mode qloiter
QLOITER> mode qloiter
QLOITER> arm throttle
QLOITER> rc 3 1700
QLOITER> rc 3 1500
QLOITER> mode fbwa
GUIDED> mode qloiter
GUIDED> mode qloiter
RTL> mode qloiter
QLOITER> mode qrtl
QRTL>
Log 1 numLogs 1 lastLog 1 size 63721472 Tue Aug 11 03:24:53 2026
QRTL> |
```

5. 透過 UAV Low View 檢視與分析剛才的模擬飛行情況

因為是 Fixed Wing 的軟體，所以 log 位置會是在 Fixed Wing 目錄內:C:\Users\sparknavi-ethan\Documents\Mission Planner\logs\FIXED_WING\1 ← log 檔名，找時間最新的那個檔案
上面紅字是你的電腦帳號：



畫面就能看到剛才模擬的飛行軌跡：

