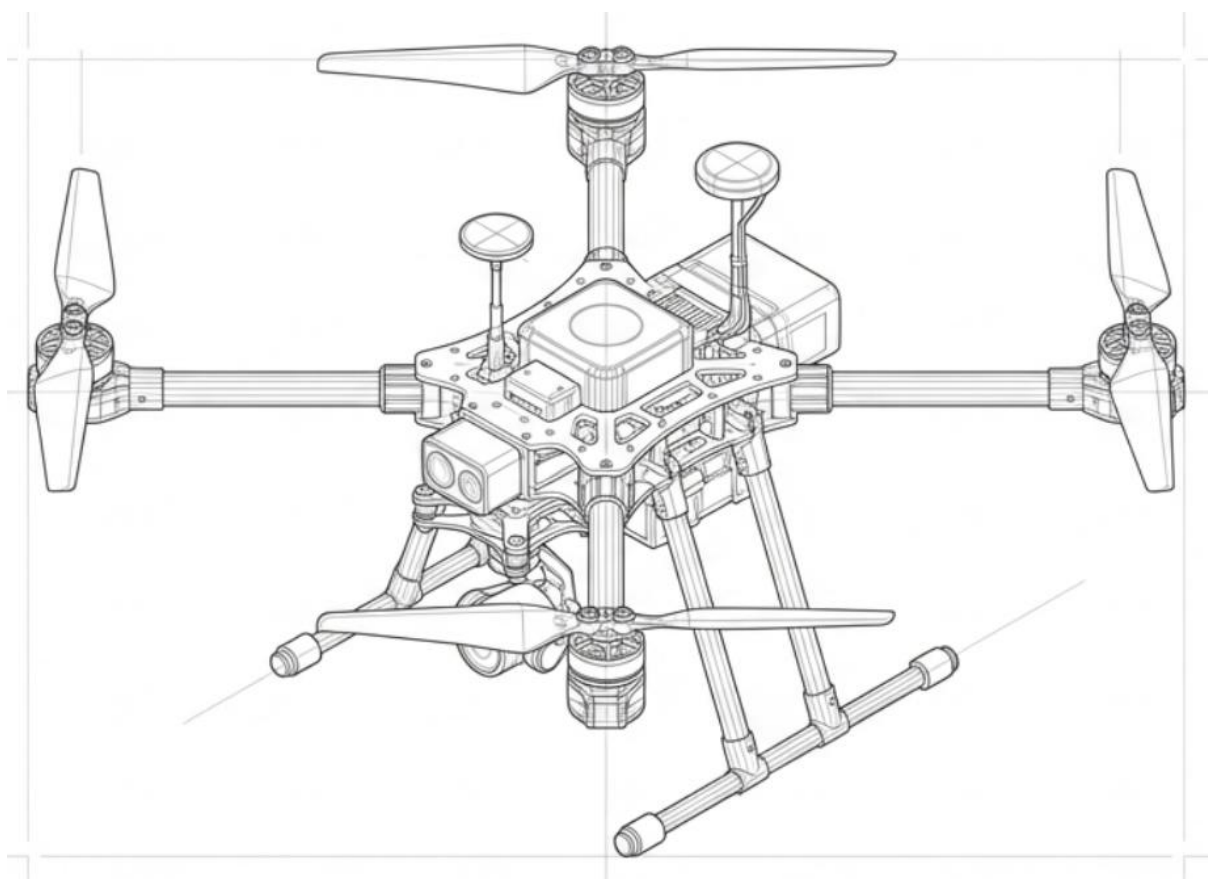


產業用語指引手冊

無人載具—空中篇

(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)



國立成功大學
雙語教育推動辦公室

序言 (Preface)

隨著航空科技與自動化技術的飛速發展，無人航空系統 (Unmanned Aircraft System, UAS) 已成為跨足多元領域的關鍵科技。從消費型的空拍與娛樂，到商用型的精準農業與物流配送，乃至軍用型的戰術偵察與精確打擊，無人機 (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) 正以前所未有的速度，改變著全球產業與社會的運作模式。

為因應無人載具產業的快速成長，並提升我國專業人才的國際接軌能力，國立成功大學雙語教育推動辦公室特此編撰《產業用語指引手冊：無人機篇》。本手冊旨在為產、官、學界提供一套標準化、系統化的中英雙語專業詞彙指引。

一個完整的無人機運作體系並非僅有飛行載具本身，而是由無人機本體、地面控制站 (Ground Control Station, GCS) 與數據鏈路 (Data Link) 三大要素所整合而成。為幫助讀者深入理解，本手冊依據系統定義的架構，將無人機詳細拆解為七大關鍵次系統進行雙語解析：

- 提供物理結構與機架的載具次系統 (Vehicle Subsystem)
- 儲存並供應電力的能源次系統 (Energy Subsystem)
- 產生升力與推力的動力次系統 (Propulsion Subsystem)
- 作為運算大腦的航電次系統 (Avionics Subsystem)
- 處理指令與路徑規劃的遙導控及任務規劃次系統 (Remote Control and Mission Planning Subsystem)
- 傳輸情資的通訊及天線次系統 (Communication and Antenna Subsystem)
- 搭載相機或感測器以執行特定任務的酬載及應用功能次系統 (Payload and Application Function Subsystem)

語言是知識傳遞與跨國技術交流的重要橋樑。我們期盼透過本雙語手冊的發行，能協助航太與工程相關領域的學子降低語言隔閡，更能賦予產業界人士在國際舞台上溝通的利器。期許未來在國際商務洽談、跨國專案合作或技術研發上，使用者皆能精準運用專業術語，展現我國在無人載具領域的堅強實力與專業素養。

註：本手冊內之插圖皆由 AI 技術生成。

目錄 (Table of Contents)

序言 (Preface)	i
第一章：總論與系統定義	1
1.1 無人航空系統核心構成	1
1.2 系統組成架構	2
第二章：載具硬體與物理結構	3
2.1 載具次系統與機型分類	3
2.2 機體骨架與構造	4
2.3 起降方式	5
2.4 機型特性綜合評比	6
第三章：能源分配與動力輸出	7
3.1 能源次系統	7
3.2 動力次系統	8
第四章：導航決策、控制與通信系統	9
4.1 航電次系統	9
4.2 飛行力學基礎	10
4.3 遙導控及任務規劃	11
第五章：通訊鏈路與環境感知	12
5.1 通訊及天線次系統	12
5.2 全球衛星導航系統 (GNSS/GPS)	14
5.3 環境感知與避障	15
第六章：任務執行與飛行運作	16
6.1 模組化任務酬載	16
6.2 飛行閉環 (Flight Loop)	17
6.3 飛行模式與自動化階層	18
第七章：系統安全與產業應用	19
7.1 安全防護機制	19
7.2 產業應用領域	20
無人機產業中英文專業用語彙整表 (Glossary)	21

第一章：總論與系統定義

要理解無人機的運作，首先必須跳脫「單一飛行載具」的傳統框架。本章將帶領讀者認識完整的「無人航空系統 (UAS)」，探討無人機本體、地面控制站與數據鏈路這三大核心要素如何緊密結合以確保任務的安全與有效性。此外，本章也將總覽構成無人機的七大關鍵次系統，為後續深入各硬體與軟體架構奠定系統化的理論基礎。

1.1 無人航空系統核心構成



圖 1 系統定義 (System Definition) 示意圖

此圖說明無人航空系統 (Unmanned Aircraft System, UAS) 的核心構成與系統定義 (System Definition)。一個完整的運作體系並非僅指飛機本身，而是要由以下三大要素整合而成：

- 無人機 (Unmanned Aerial Vehicle, UAV)：指飛行載具本體 Airframe)，是執行空中任務的硬體核心。
- 地面控制站 (Ground Control Station, GCS)：包含筆記型電腦與遙控器，提供操作員進行飛行任務規劃、指揮與監控的介面。
- 數據鏈路 (Data Link)：負責在飛行載具與地面站之間傳輸控制指令、遙測數據及影像資訊的通訊橋樑。

當這三者相互結合時，即構成具備完整運作能力的無人航空系統 (Unmanned Aircraft System, UAS)，確保任務能從起飛、巡航到降落皆維持安全且有效的作業。

1.2 系統組成架構

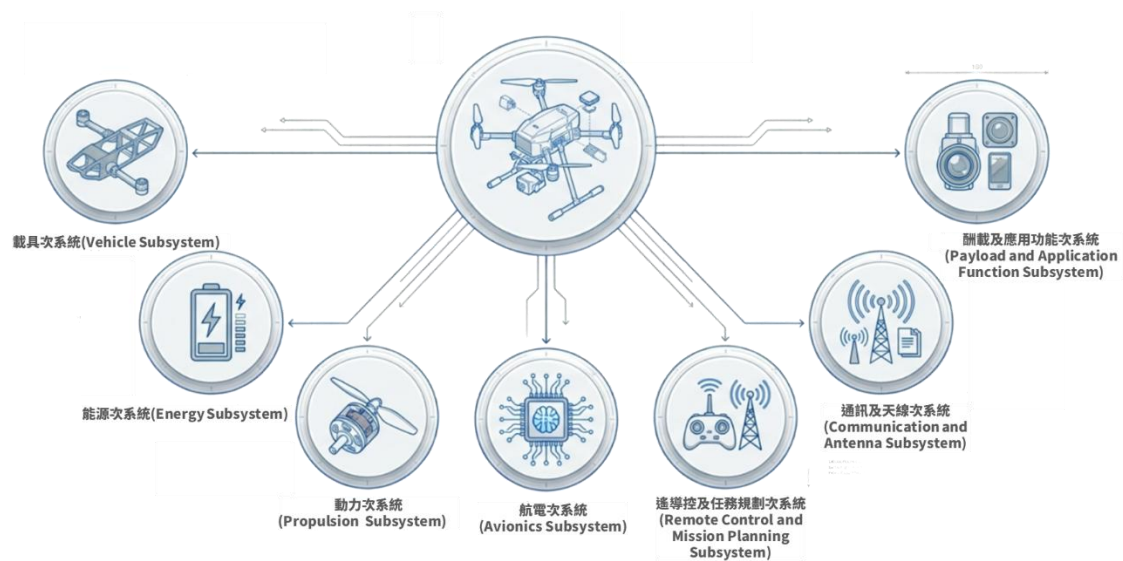


圖 2 無人機 (UAV) 系統示意圖

此圖詳細展示無人機系統的組成架構，可將其細分為七大關鍵次系統 (Subsystem)：

- 載具次系統 (Vehicle Subsystem)：提供飛行載具的物理結構與機架。
- 能源次系統 (Energy Subsystem)：儲存並供應電力，為系統運作的能量來源。
- 動力次系統 (Propulsion Subsystem)：包含馬達、電調與旋翼，負責產生升力與推力。
- 航電次系統 (Avionics Subsystem)：無人機的大腦，包含飛控電腦與各類導航感測器。
- 遙導控及任務規劃次系統 (Remote Control and Mission Planning Subsystem)：處理操作指令與自動飛行路徑的規劃。
- 通訊及天線次系統 (Communication and Antenna Subsystem)：確保地面站與機體間數據鏈路的情資傳輸。
- 酬載及應用功能次系統 (Payload and Application Function Subsystem)：搭載如相機、感測器等設備，以執行特定任務。

透過這些高度整合的次系統，無人機能夠在自動或人工控制下，精準地完成各類複雜任務。

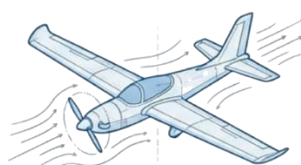
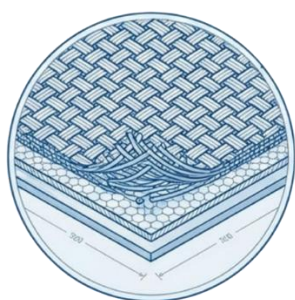
第二章：載具硬體與物理結構

載具不僅是無人機的物理骨架，更是決定其飛行性能、效率與載重能力的關鍵載體。本章將深入剖析機身與結構的設計，探討碳纖維與鋁合金等輕量化材料的應用。同時，我們將比較定翼機、多軸旋翼機與複合式垂直起降機等不同機型，並解析它們在水平起降（HTOL）與垂直起降（VTOL）等作業方式及場地需求上的優勢與限制。

2.1 載具次系統與機型分類

機身與結構 (Body and Structure) :
包含中心機身、機臂及起落架
(Landing Gear)。

主要材質：碳纖維 (Carbon Fiber)、鋁合金



定翼機 (Fixed-wing)



單旋翼機 (Single-rotor/Helicopter)



多軸旋翼機 (Multi-rotor)



複合式垂直起降機 (Hybrid VTOL)

圖 3 載具次系統 (Vehicle Subsystem) 示意圖

圖中說明無人機的載具次系統 (Vehicle Subsystem)，涵蓋其組成結構、材料特性以及常見的飛行平台分類：

- 機身與結構 (Body and Structure)：核心組件包括中心機身、支撐馬達的機臂，以及負責起飛與降落緩衝的起落架 (Landing Gear)。
- 材料應用 (Materials)：為兼顧結構強度與輕量化需求，主要材質採用碳纖維 (Carbon Fiber) 與鋁合金 (Aluminum Alloy)。
- 機型分類 (Aircraft Classification)：
 1. 定翼機 (Fixed-wing)：仿效飛機機翼產生升力，適合長距離巡航。
 2. 單旋翼機 (Single-rotor/Helicopter)：具備主旋翼與尾槳的傳統直升機構造。
 3. 多軸旋翼機 (Multi-rotor)：透過多組螺旋槳變速達成操控，是目前最常見的無人機形式。
 4. 複合式垂直起降機 (Hybrid VTOL)：結合了旋翼機的垂直起降便利性與定翼機的高效率飛行優點。

該次系統作為無人機的物理載體，其設計直接決定了飛行器的載重能力與飛行效率。

2.2 機體骨架與構造



圖 4 機體 (Airframe) 示意圖

圖中展示無人機的機體 (Airframe) 物理構造，這是支撐整個系統運行的核心骨架，其機體的關鍵要素包含：

- 機體構型 (Airframe)：定義了飛行器的整體外觀設計與氣動力佈局，是決定飛行性能的基礎。
- 機身與結構 (Body and Structure)：包含中心機殼與延伸機臂，負責保護內部電子設備並傳遞動力。
- 碳纖維 (Carbon Fiber)：機體主要採用的複合材料，以其高強度與輕量化的特性，在維持結構剛性的同時極大化飛行續航力。
- 起落架 (Landing Gear)：位於機體最下方的支撐結構，確保起飛時的穩定度並在降落時緩衝撞擊，保護機腹搭載的精密設備。

機體作為無人機的物理平台，其結構設計必須在耐用性與重量之間取得完美平衡。

2.3 起降方式

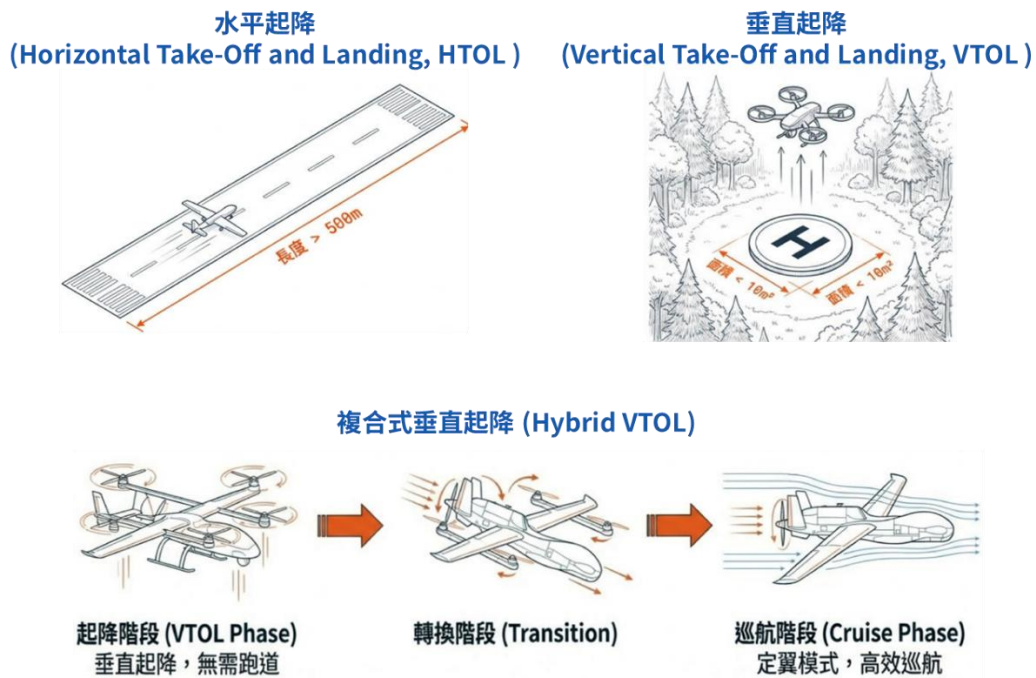


圖 5 起降方式 (Vehicle Subsystem) 示意圖

圖中對比無人機三種主要的起降 (Take-Off and Landing) 方式，以下詳細說明不同構型對於場地的空間需求與作業邏輯：

- 水平起降 (Horizontal Take-Off and Landing, HTOL)：多見於傳統定翼機，需仰賴長距離 (圖示大於 500 公尺) 的跑道進行滑行以產生升力，適合具備完善設施的環境。
- 垂直起降 (Vertical Take-Off and Landing, VTOL)：常見於多軸旋翼機，僅需極小空間 (圖示小於 10 平方公尺) 即可直接起升，具備高度的場地適應性。
- 複合式垂直起降 (Hybrid VTOL)：結合了兩者的優點，其運作流程包含三個關鍵階段：
 1. 起降階段 (VTOL Phase)：利用旋翼垂直起飛，無需任何跑道。
 2. 轉換階段 (Transition)：在空中進行動力或構型切換，由垂直升力過渡至水平推力。
 3. 巡航階段 (Cruise Phase)：切換為定翼模式，以達成高效率、長距離的飛行任務。

這種設計使無人機能夠在受限的空間內部署，同時保有長時續航的作業能力。

2.4 機型特性綜合評比

機型特性(Model Characteristics)

機型 (Type)	續航力 (Endurance)	跑道需求 (Runway)	停懸能力 (Hover)
定翼型 (Fixed-Wing)	高 (High)	✔ 需要 (Yes)	✘ 無 (No)
多旋翼 (Multi-Rotor)	低 (Low)	✔ 不需要 (No)	✔ 優異 (Excellent)
複合式 (Hybrid VTOL)	高 (High)	✔ 不需要 (No)	✔ 有 (Yes)

圖 6 機型特性 (Model Characteristics) 示意圖

此圖詳細彙整了三種主流無人機的機型特性 (Model Characteristics)，並針對續航力 (Endurance)、跑道需求 (Runway) 與停懸能力 (Hover) 三大關鍵指標進行綜合評比：

- 定翼型 (Fixed-Wing)：具備極高的續航力 (Endurance)，適合執行大面積或長距離任務，但其起降依賴跑道 (Runway) 且完全不具備停懸能力 (Hover)。
- 多旋翼 (Multi-Rotor)：擁有優異的停懸能力 (Hover) 且無需跑道即可部署，靈活性最高，但受限於動力效率，其續航力 (Endurance) 表現相對較低。
- 複合式 (Hybrid VTOL)：結合了前兩者的技術優勢，既具備高效率的長時續航表現，又能在不依賴跑道的環境下垂直起降，並保有基本的停懸作業能力。

這份特性對照圖清楚揭示了不同機型在作業效能與場地限制上的差異，是選擇合適任務平台的重要參考依據。

第三章：能源分配與動力輸出

穩定且高效的能量轉換，是無人機得以翱翔天際的動力泉源。本章將揭開能源與動力次系統的運作面紗，從鋰電池、氫燃料等多元動力來源，到電源管理單元（PMU）如何精準分配與監控電能。接著，我們將追蹤電能如何傳遞至電子調速器（ESC）、無刷直流馬達（BLDC）與螺旋槳，最終高效地轉化為推動機體升空前進的空氣動力推力。

3.1 能源次系統

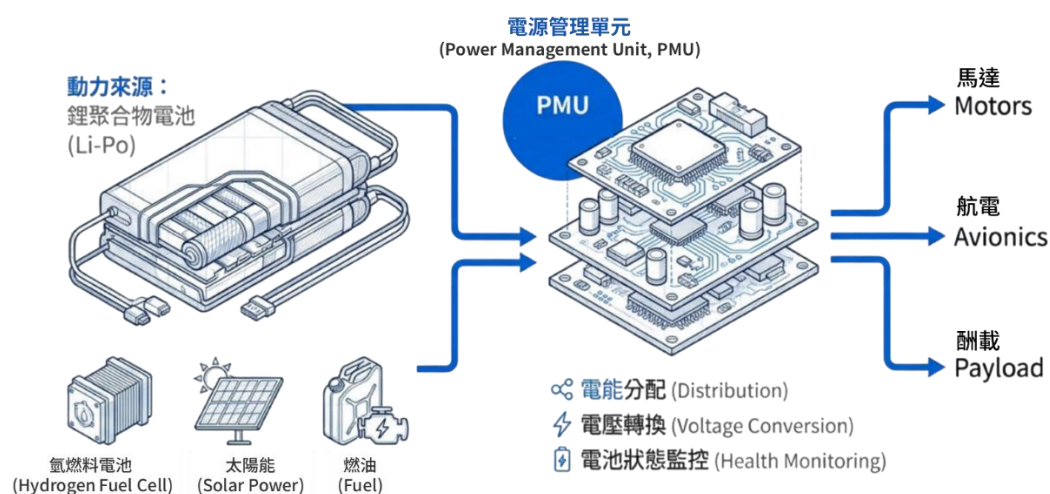


圖 7 能源次系統 (Energy Subsystem) 示意圖

此圖說明無人機的能源次系統 (Energy Subsystem) 運作邏輯與組成架構，展示了能量從儲存到分配的完整流程：

- 動力來源 (Power Source)：無人機可採用多種能源，最常見為鋰聚合物電池 (Li-Po)，此外也包含氫燃料電池 (Hydrogen Fuel Cell)、太陽能 (Solar Power) 以及燃油 (Fuel) 等不同型態。
- 電源管理單元 (Power Management Unit, PMU)：作為系統的核心調節者，負責以下三大關鍵功能：
 - 電能分配 (Distribution)：將電力精準輸送至各執行元件。
 - 電壓轉換 (Voltage Conversion)：調整電壓以符合不同組件的運作需求。
 - 電池狀態監控 (Health Monitoring)：即時掌握電池餘電與健康狀況，確保飛行安全。
- 輸出端：電能經由 PMU 處理後，供應給馬達 (Motors) 以產生動力、航電 (Avionics) 進行運算控制，以及酬載 (Payload) 執行任務功能。

該次系統如同無人機的循環系統，穩定且高效的能源管理是延長續航與提升任務可靠性的關鍵。

3.2 動力次系統

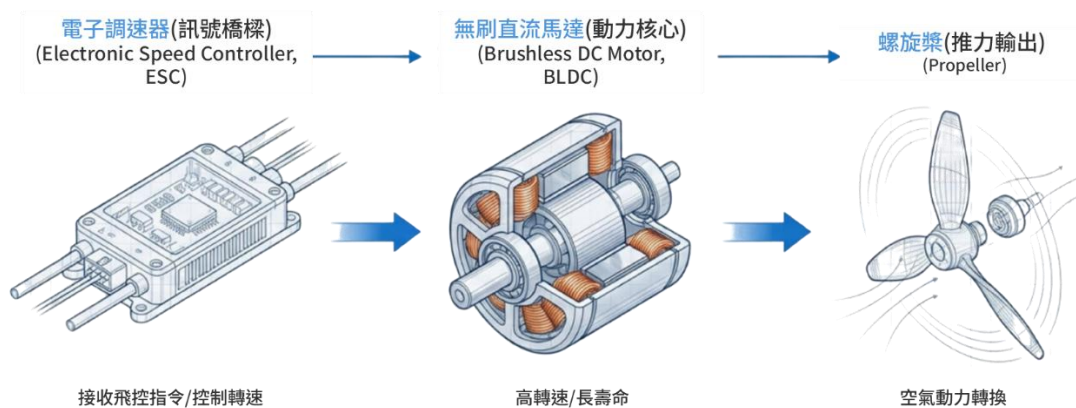


圖 8 動力次系統 (Propulsion Subsystem) 示意圖

此圖解析無人機的動力次系統 (Propulsion Subsystem)，展示了電能轉化為空氣動力推力的完整路徑：

- 電子調速器 (Electronic Speed Controller, ESC)：作為訊號橋樑，負責接收飛行控制器的指令，並精確控制馬達的轉速與換向。
- 無刷直流馬達 (Brushless DC Motor, BLDC)：系統的動力核心，具備高轉速與長壽命的特性，將電能高效轉換為機械旋轉能。
- 螺旋槳 (Propeller)：負責推力輸出，透過高速旋轉進行空氣動力轉換 (Aerodynamic Conversion)，產生足以讓載具升空或前進的拉力或推力。

該次系統的元件協作決定了無人機的載重能力與飛行靈敏度，是實現精準飛行控制的關鍵硬體基礎。

第四章：導航決策、控制與通信系統

航電次系統堪稱無人機的核心「大腦」，負責處理龐大的感測資訊與複雜的飛行控制邏輯。本章將探討飛行控制器如何指揮伺服機構，並結合慣性測量單元 (IMU) 精準感知三維空間中的六自由度 (6 DOF) 運動變化。讀者也將了解操作員如何透過地面控制站與任務規劃次系統，進行手動操控與全自動化航點任務的設定與下載。

4.1 航電次系統

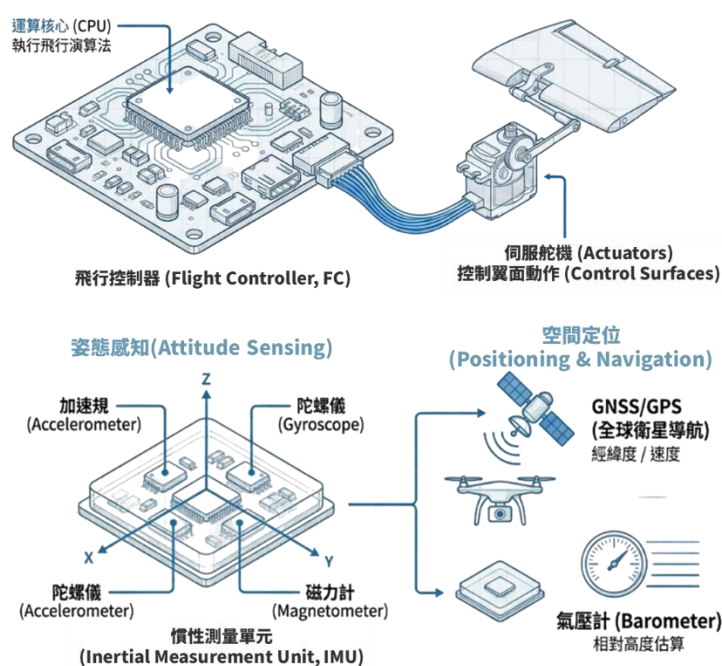


圖 9 航電次系統 (Avionics Subsystem) 示意圖

此圖解析無人機的核心大腦——航電次系統 (Avionics Subsystem)，展示了感測資訊與控制邏輯的整合流程：

- 飛行控制器 (Flight Controller, FC)：搭載運算核心 (CPU)，負責執行複雜的飛行演算法，並指揮伺服舵機 (Actuators) 控制翼面動作 (Control Surfaces) 以調整飛行姿態。
- 姿態感知 (Attitude Sensing)：核心為慣性測量單元 (Inertial Measurement Unit, IMU)，整合了加速規 (Accelerometer)、陀螺儀 (Gyroscope) 與磁力計 (Magnetometer)，用以精準偵測三維空間中的加速度與旋轉資訊。
- 空間定位 (Positioning & Navigation)：
 1. GNSS/GPS (全球衛星導航)：提供精確的經緯度座標與速度資訊。
 2. 氣壓計 (Barometer)：透過偵測大氣壓力變化進行相對高度估算。

該系統透過多感測器融合技術，確保無人機在動態環境中仍能維持穩定的定位與自動化飛行控制。

4.2 飛行力學基礎

3個平移運動(Translational Movement)
3個旋轉運動(Rotational Movement)

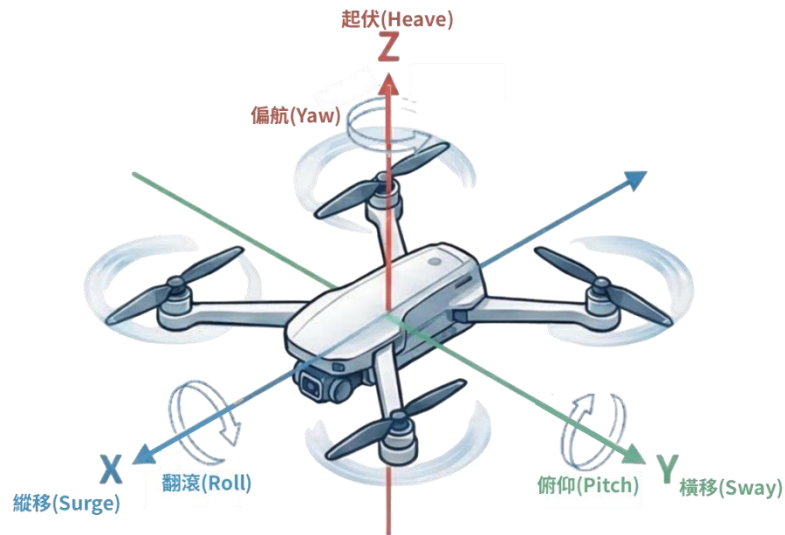


圖 10 空間運動的六自由度 (Six Degrees of Freedom, 6 DOF) 示意圖

此圖說明無人機的三維空間中運動的六自由度 (Six Degrees of Freedom, 6 DOF)，由三組平移運動 (Translational Movement) 與三組旋轉運動 (Rotational Movement) 構成：

- 平移運動：包含沿著 X 軸的縱移 (Surge)、沿著 Y 軸的橫移 (Sway) 以及沿著 Z 軸的起伏 (Heave)。
- 旋轉運動：
 1. 翻滾 (Roll)：繞著 X 軸轉動，控制載具左右傾斜。
 2. 俯仰 (Pitch)：繞著 Y 軸轉動，控制機頭上下抬升或下壓。
 3. 偏航 (Yaw)：繞著 Z 軸轉動，控制機頭左右轉向。

理解這六個維度的動態變化，是實現無人機精準姿態控制與自動導航演算法的理論基礎。透過調整各軸間的運動組合，無人機能夠在空中完成複雜的軌跡飛行。

4.3 遙導控及任務規劃



圖 11 遙導控 (Remote Control) 及任務規劃 (Mission Planning) 次系統示意圖

此圖說明無人機系統中的遙導控及任務規劃次系統 (Remote Control and Mission Planning Subsystem)，說明指令如何從操作端傳遞至執行端：

- 遠端遙控器 (Remote Control, RC)：提供操作員進行手動操作的介面，透過即時控制桿訊號直接導引載具飛行。
- 地面控制站 (Ground Control Station, GCS)：主要用於監控與規劃，操作員可在此進行任務規劃 (Mission Planning)，設定一系列自動飛行的航點 (Waypoints)。
- 傳輸與執行：規劃好的任務資料透過數據鏈路下載 (Download) 至無人機上的飛行控制器 (Flight Controller, FC)，由其自動執行既定航線。

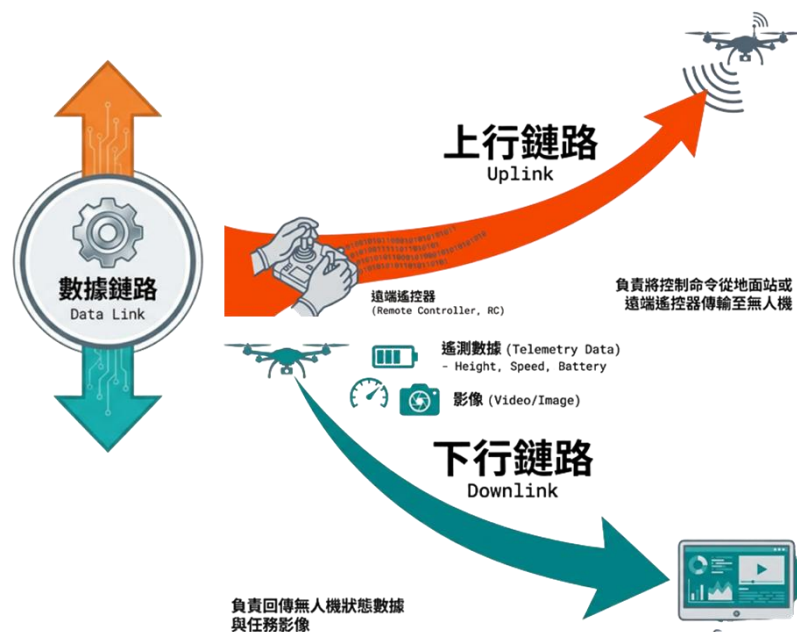
該次系統整合了人機介面與自動化邏輯，確保無人機無論在人工介入或自主導航模式下，都能精準且安全地完成預設任務。

第五章：通訊鏈路與環境感知

在遠端操作環境下，無人機必須依賴無形的「神經網絡」與地面保持聯繫，並精確掌握自身的空間方位。本章將解析通訊次系統中的上下行數據鏈路架構與全向/指向天線技術的應用。同時，介紹全球衛星導航系統 (GNSS/GPS) 如何結合大氣氣壓計，為無人機提供精準的經緯度座標與高度，確保載具在廣袤空域中維持穩定的飛行軌跡。

5.1 通訊及天線次系統

通訊鏈路(Communication Link)



天線(Antenna)：負責發射與接收無線訊號的關鍵組件

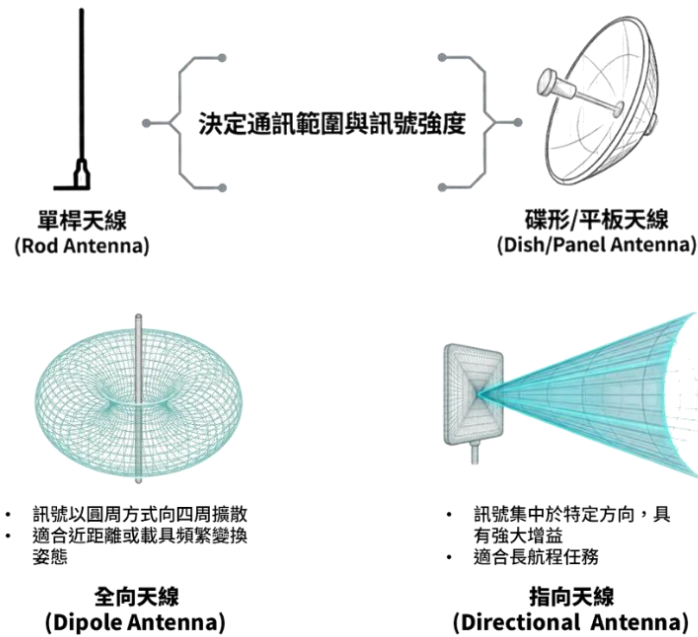


圖 12 通訊 (Communication) 及天線 (Antenna) 次系統示意圖

此圖說明通訊及天線次系統 (Communication and Antenna Subsystem)，展示了數據傳輸架構與天線技術的應用：

- 數據鏈路 (Data Link)：分為兩個主要傳輸方向：
 - 上行鏈路 (Uplink)：負責將控制命令從地面站或遙控器傳輸至無人機。
 - 下行鏈路 (Downlink)：負責回傳遙測數據 (Telemetry Data) (如高度、速度、電量) 與任務影像。
- 天線 (Antenna)：負責發射與接收訊號，其形式決定了通訊範圍與強度：
 - 全向天線 (Dipole Antenna)：訊號向四周擴散，適合近距離或載具頻繁變換姿態的環境。
 - 指向天線 (Directional Antenna)：如碟形或平板天線，訊號集中於特定方向且具備強大增益，適合長航程任務。

該系統確保了操作員與載具間的情資同步，是達成遠程監控與精準操控的關鍵通訊架構。

5.2 全球衛星導航系統 (GNSS/GPS)

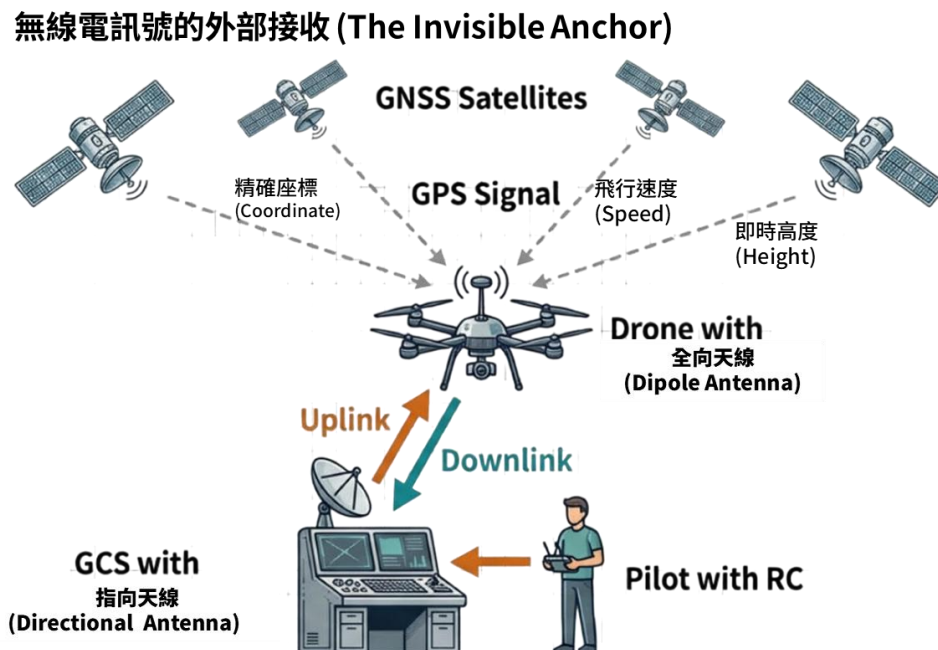


圖 13 全球衛星導航系統 (Global Navigation Satellite System, GNSS/全球定位系統 (Global Positioning System, GPS) 示意圖

這張圖顯示無人機如何透過全球衛星導航系統 (Global Navigation Satellite System, GNSS) 進行精準定位，以及整體系統的訊號流向：

- 無線電訊號外部接收：無人機透過接收多顆 GNSS 衛星發送的 GPS 訊號，經運算後取得精確座標 (Coordinate)、飛行速度 (Speed) 及即時高度 (Height)，確保導航的準確性。
- 通訊鏈路與天線應用：
 1. 下行鏈路 (Downlink)：無人機透過全向天線 (Dipole Antenna) 將定位與感測數據傳回地面。
 2. 上行鏈路 (Uplink)：操作員透過遠端遙控器或搭載指向天線 (Directional Antenna) 的地面控制站 (Ground Control Station, GCS) 發送控制指令。

這套系統架構將衛星定位資訊與地面操作指令整合，使無人機如同擁有「隱形的錨」，能在複雜環境中維持穩定的飛行軌跡與精準的任務執行。

5.3 環境感知與避障



圖 14 環境感知 (Environmental Awareness) 與避障 (Collision Avoidance) 示意圖

圖中說明無人機如何透過整合多種感測器，讓無人機能夠即時掌握飛行狀態與周遭環境資訊：

- 空速感測器 (Airspeed Sensor): 安裝於機身前緣，用於偵測相對空氣速度 (Relative Airspeed)，是維持飛行穩定與升力控制的關鍵數據。
- 測距儀 (Rangefinder): 通常位於機身底部，結合光達 (Light Detection and Ranging, LiDAR) 或超音波 (Ultrasonic) 技術，精準測量機身與地面或下方障礙物的距離，輔助定高與降落。
- 避障 (Collision Avoidance) 系統: 利用機載感測器進行障礙物偵測 (Obstacle Detection)，建立前方的空間模型，以確保在自動飛行或手動操控時能主動規避碰撞。

此示意圖呈現了感測器在無人機航行安全中扮演的核心角色，確保其在複雜環境下具備高度的自主化與安全性。

第六章：任務執行與飛行運作

無人機之所以能跨足多元產業，歸功於其強大的任務執行彈性與自動化能力。本章將介紹具備增穩雲台的模組化任務酬載（如光電相機、光達與農業噴灑系統），並解構從控制指令發出至任務執行的「飛行閉環（Flight Loop）」七大協同階段。此外，本章將探討無人機如何透過環境感知感測器主動避障，並實現由基礎自穩操作到全自動導航的多層級飛行模式。

6.1 模組化任務酬載

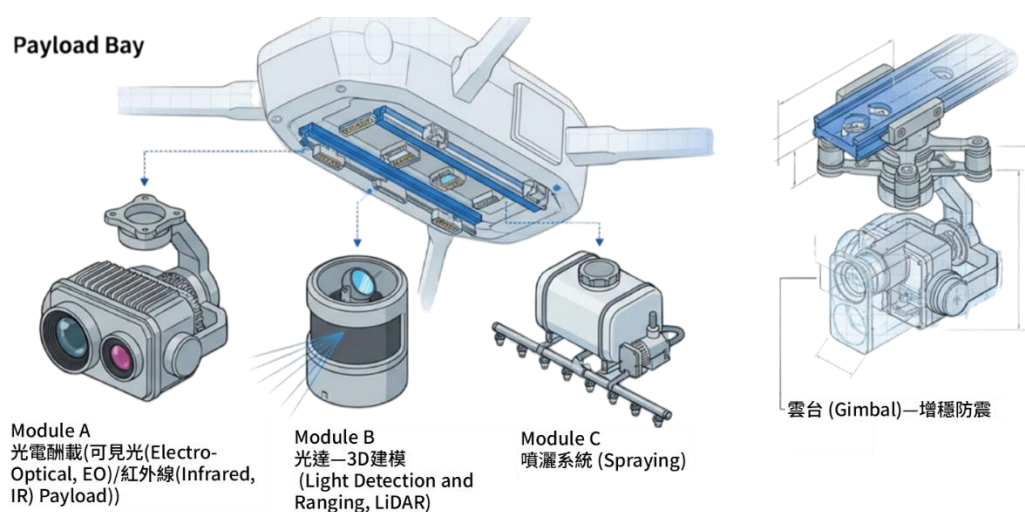


圖 15 酬載（Payload）及應用功能次系統示意圖

圖中詳細描繪了無人機底部的酬載艙（Payload Bay），具備模組化介面，可根據任務需求快速更換不同的功能組件：

- 模組 A：光電酬載（Electro-Optical, EO / Infrared, IR Payload），整合了可見光與紅外線感測器，適用於全天候偵蒐。
- 模組 B：光達（Light Detection and Ranging, LiDAR），主要用於執行 3D 建模（3D Modeling），透過雷射脈衝獲取精準的地貌空間數據。
- 模組 C：噴灑系統（Spraying System），可用於農業植保或特定藥劑噴灑任務。

此外，圖右側強調了雲台（Gimbal）的結構，其具備增穩防震（Stabilization and Anti-vibration）功能，確保酬載感測器在飛行過程中能維持穩定的觀測品質。此示意圖完整呈現了現代無人機透過多樣化酬載實現多功能的技術架構。

6.2 飛行閉環 (Flight Loop)

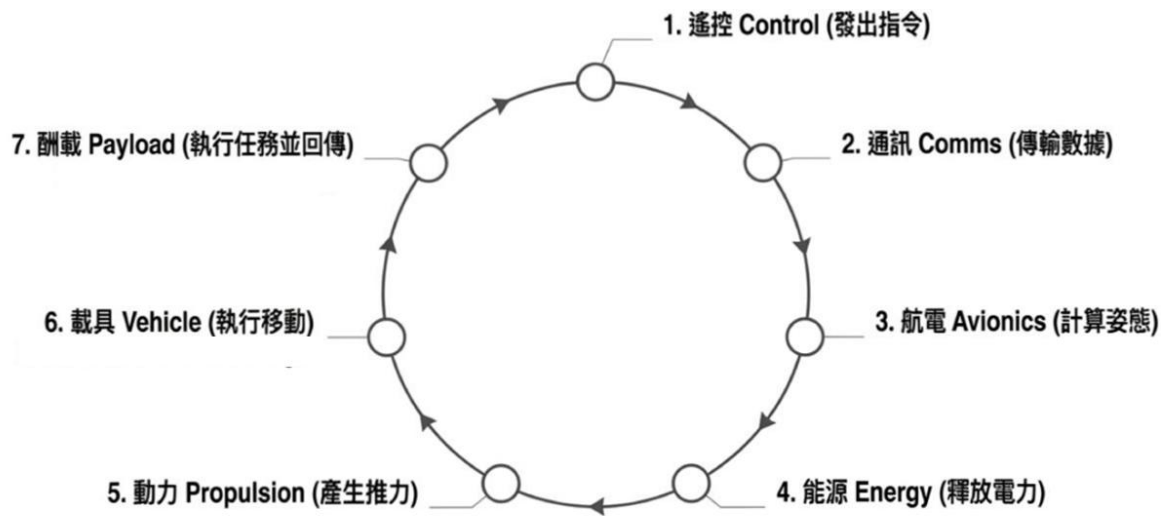


圖 16 飛行閉環 (Flight Loop) 示意圖

這張圖示展現無人機系統運作的飛行閉環 (Flight Loop)，描繪了從指令發出到任務執行的完整循環過程，共包含七個核心階段：

1. 遙控 (Control)：發出操作指令，啟動整個循環。
2. 通訊 (Comms/Communications)：負責傳輸數據，將指令送達機身。
3. 航電 (Avionics)：進行核心運算，負責計算姿態 (Attitude Calculation) 以維持飛行平衡。
4. 能源 (Energy)：釋放電力，為全機系統提供運轉動力。
5. 動力 (Propulsion)：驅動馬達與螺旋槳以產生推力 (Thrust Generation)。
6. 載具 (Vehicle)：實體機身執行移動，改變空間位置。
7. 酬載 (Payload)：執行特定任務 (如拍攝、感測) 並回傳數據，完成閉環。

此示意圖強調了無人機各子系統間的協同運作，確保在動態環境下能精確且持續地響應指令並達成任務目標。

6.3 飛行模式與自動化階層

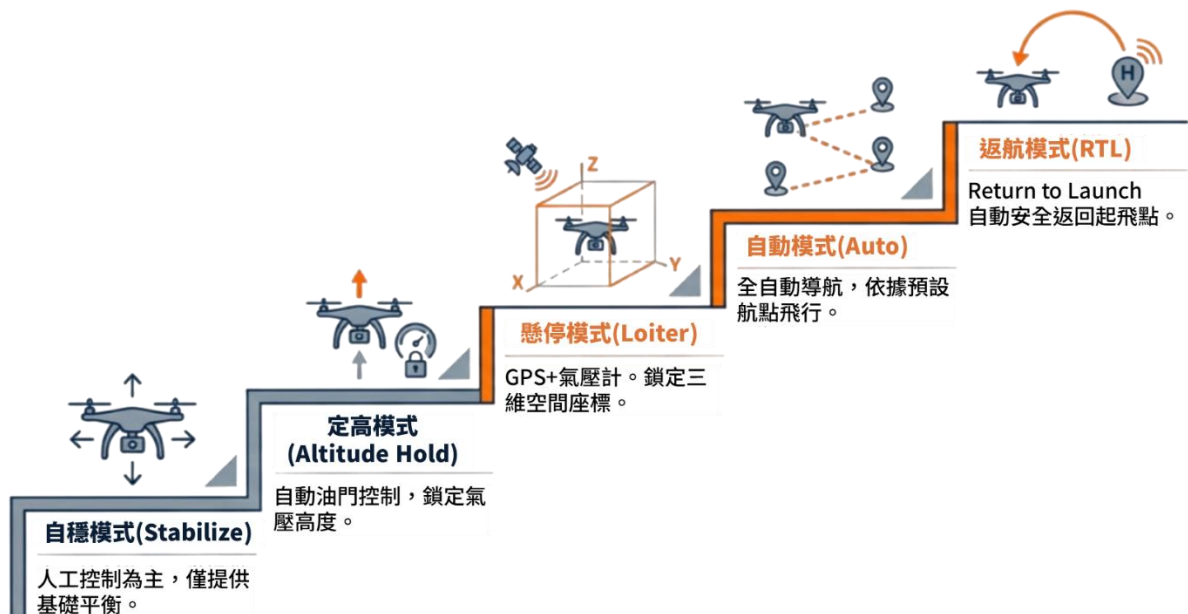


圖 17 飛行模式階層 (Flight Modes 示意圖)

這張圖示呈現了無人機的飛行模式階層 (Flight Modes Hierarchy)，由基礎的人工操作逐步演進至高度自主的飛行功能：

- 自穩模式 (Stabilize Mode)：以人工控制為主，飛控系統僅提供基礎的姿態平衡。
- 定高模式 (Altitude Hold Mode)：透過自動油門控制，利用氣壓計 (Barometer) 鎖定飛行高度。
- 懸停模式 (Loiter Mode)：整合全球定位系統 (Global Positioning System, GPS) 與氣壓計，精確鎖定三維空間座標。
- 自動模式 (Auto Mode)：實現全自動導航，無人機會依據預設的航點 (Waypoints) 進行飛行。
- 返航模式 (Return to Launch, RTL)：具備自動安全機制，引導無人機自動返回起飛點。

此示意圖清楚展示了隨著感測器與自動化程度增加，無人機能夠實現從人工操作 (Manual Control) 到自主導航 (Autonomous Navigation) 的多層級任務能力。

第七章：系統安全與產業應用

隨著無人載具技術的普及，飛行安全與空域風險控管成為產業發展的重中之重。本章將詳細說明無人機的核心安全防護機制，包含訊號遺失或低電量時的失效安全 (Failsafe) 觸發、地理圍籬 (Geo-fencing) 禁航區限制，以及馬達失效時的動力冗餘保護。最後，我們將總結無人機技術在消費娛樂、商用巡檢及軍事國防等三大領域的實際應用特性與發展價值。

7.1 安全防護機制

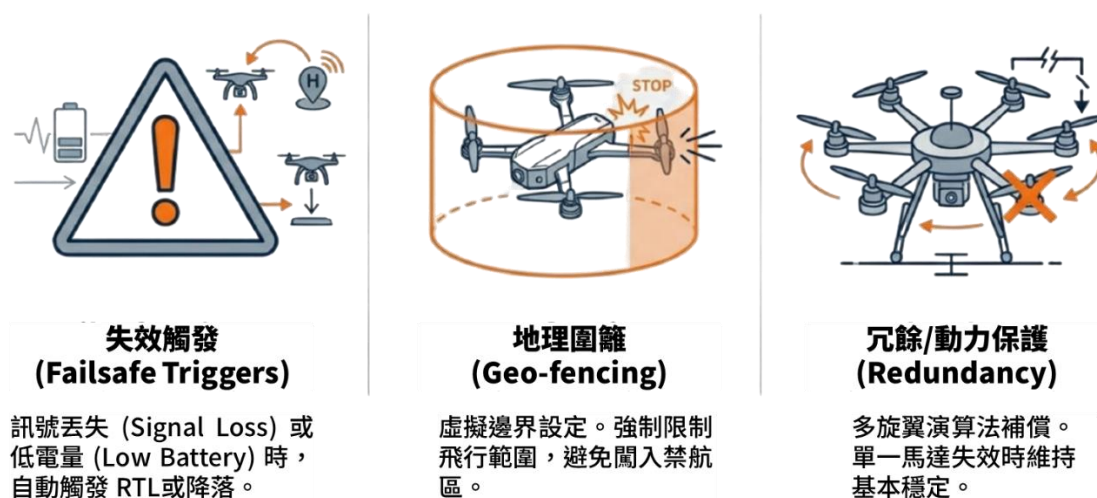


圖 18 安全防護機制：失效安全 (Failsafe) 與地理圍籬 (Geo-fencing) 示意圖

這張圖示說明了無人機的核心安全防護機制 (Safety Protection Mechanisms)，旨在提升飛行安全性並減少事故風險：

- 失效觸發 (Failsafe Triggers)：當系統偵測到訊號丟失 (Signal Loss) 或低電量 (Low Battery) 等異常狀況時，會自動觸發自動返航 (Return to Launch, RTL) 或原地降落程序。
- 地理圍籬 (Geo-fencing)：透過設定虛擬邊界，強制限制無人機的飛行範圍 (Flight Boundary)，能有效避免機體闖入禁航區或敏感領域。
- 冗餘/動力保護 (Redundancy / Propulsion Protection)：針對多旋翼機型，利用控制演算法進行補償。當發生單一馬達失效 (Single Motor Failure) 時，系統能即時調整其他電機輸出以維持基本飛行穩定。

此示意圖呈現了現代無人機如何透過失效安全 (Failsafe) 與空間限制技術，確保在複雜或緊急環境下仍能維持可靠的運作。

7.2 產業應用領域



圖 19 應用領域 (Application Fields) 示意圖

這張圖示概述了無人機的三大主要應用領域 (Application Fields)，展現了技術如何跨足不同市場需求：

消費型 (Consumer)：以空拍 (Photography) 與娛樂 (Entertainment) 為核心，主要面向個人使用者，用於影像創作與休閒飛行。

商用型 (Commercial)：應用範圍廣泛，包含精準農業 (Precision Agriculture)、工業設施巡檢及物流配送，強調透過自動化技術提升生產力。

軍用型 (Military)：專注於高階戰術任務，如偵察 (Reconnaissance)、電子戰 (Electronic Warfare) 及精確打擊 (Precision Strikes)，對系統的隱密性與可靠度要求極高。

此示意圖呈現了無人機從大眾娛樂到專業產業應用，再到國防安全的多樣化發展趨勢。

無人機產業中英文專業用語彙整表 (Glossary)

產業用語	英文	中文	說明
3D Modeling	3D Modeling	3D 建模	透過光達獲取的點雲數據，建立高精度立體空間模型的應用。
Accelerometer	Accelerometer	加速規	安裝於慣性測量單元中，負責量測機體線性加速度的元件。
Actuators	Actuators	伺服舵機	接收飛控指令並改變機構位置（如翼面）的執行元件。
Aerodynamic Conversion	Aerodynamic Conversion	空氣動力轉換	螺旋槳將旋轉的機械能轉化為升力或推力的物理過程。
Airframe	Airframe	機體 / 機體構型	定義飛行器的整體外觀設計與氣動力佈局。
Airspeed Sensor	Airspeed Sensor	空速感測器	安裝於機身前緣，測量機體相對於空氣移動速度的儀器。
Altitude Hold Mode	Altitude Hold Mode	定高模式	自動控制油門以鎖定高度，其餘姿態由人工控制的模式。
Aluminum Alloy	Aluminum Alloy	鋁合金	兼顧結構強度與輕量化，常用於機身結構的金屬材質。
Antenna	Antenna	天線	負責發射與接收通訊訊號的實體設備，決定通訊範圍。
Attitude Calculation	Attitude Calculation	計算姿態	飛控系统進行運算以維持載具動態平衡的核心邏輯。
Attitude Sensing	Attitude Sensing	姿態感知	利用感測器融合技術精準偵測三維空間中的加速度與旋轉。
Auto Mode	Auto Mode	自動模式	無人機完全依據預設航點執行全自動導航的飛行狀態。
Autonomous Navigation	Autonomous Navigation	自主導航	系統獨立完成尋路、避障與任務執行的高階自動化能力。
Barometer	Barometer	氣壓計	透過偵測大氣壓力變化，提供機體相對高度估算的元件。
Body and Structure	Body and Structure	機身與結構	包含中心機殼與機臂，負責保護內部電子設備並傳遞動力。

			力。
BLDC	Brushless DC Motor	無刷直流馬達	具備高轉速與長壽命特性，將電能高效轉換為機械旋轉能。
Carbon Fiber	Carbon Fiber	碳纖維	具備高強度與輕量化特性的主要機身複合材料。
Collision Avoidance	Collision Avoidance	避障	主動偵測並規避路徑上障礙物，保障飛行安全的系統。
Commercial	Commercial	商用型	強調提升生產力與自動化，應用於各產業鏈的專業無人機。
Communication	Communication	通訊	維持無人機與地面站數據聯繫的廣義傳輸機制。
Consumer	Consumer	消費型	面向一般大眾，以個人休閒與娛樂為主打的無人機市場。
Control Surfaces	Control Surfaces	翼面動作	透過伺服舵機驅動，藉以改變飛行姿態的機翼活動部分。
Coordinate	Coordinate	座標	衛星定位系統解算出的無人機精確經緯度位置。
Cruise Phase	Cruise Phase	巡航階段	載具切換為定翼模式，以達成高效、長距飛行的任務階段。
Data Link	Data Link	數據鏈路	在飛行載具與地面站之間傳輸指令與影像的通訊橋樑。
Dipole Antenna	Dipole Antenna	全向天線	訊號向四周擴散，適合近距離或載具頻繁變換姿態的環境。
Directional Antenna	Directional Antenna	指向天線	訊號集中特定方向且具強大增益，適合長航程任務。
Distribution	Distribution	電能分配	將電力精準且穩定地輸送至各硬體執行元件的過程。
Downlink	Downlink	下行鏈路	將遙測數據與任務影像從機體回傳至地面站的資料流。
ESC	Electronic Speed Controller	電子調速器	負責接收飛行控制器的指令，並精確控制馬達的轉速與換向。
EW	Electronic Warfare	電子戰	軍用無人機掛載干擾設備，壓制敵方通訊與雷達的高階

			戰術。
EO/IR	Electro-Optical / Infrared	光電 / 紅外線	整合了可見光與紅外線感測器，適用於全天候偵蒐任務的模組化酬載。
EO	Electro-Optical Payload	光電酬載	搭載可見光相機，主要用於日間環境的影像偵蒐模組。
Endurance	Endurance	續航力	無人機能夠維持滯空飛行的時間或距離能力。
Environmental Awareness	Environmental Awareness	環境感知	無人機利用感測器即時掌握周遭環境狀態與空間距離的能力。
Failsafe	Failsafe	失效安全	當系統偵測到訊號丟失或低電量等異常狀況時，會自動觸發的保護機制（如返航或降落）。
Failsafe Triggers	Failsafe Triggers	失效觸發	系統遭遇嚴重異常狀況時自動啟動的最高優先級保護程序。
Fixed-wing	Fixed-wing	定翼機	仿效飛機機翼產生升力的機型，適合長距離巡航。
Flight Boundary	Flight Boundary	飛行範圍	透過地理圍籬設定的虛擬邊界，用以限制載具活動區域。
FC	Flight Controller	飛行控制器	無人機的大腦，負責執行複雜飛行演算法，並指揮伺服舵機控制飛行姿態。
Flight Loop	Flight Loop	飛行閉環	從地面發出指令、機體執行到數據回傳的完整循環流程。
Flight Modes Hierarchy	Flight Modes Hierarchy	飛行模式階層	依據飛控系統自動化介入程度區分的各級操作模式。
Geo-fencing	Geo-fencing	地理圍籬	透過設定虛擬邊界，強制限制無人機的飛行範圍，避免機體闖入禁航區。
Gimbal	Gimbal	雲台	連接機身與相機，具備多軸穩定的機械結構。
GNSS	Global Navigation Satellite System	全球衛星導航系統	透過接收多顆衛星發送的訊號，提供無人機精確的經緯度座標、速度與高度。
GPS	Global Positioning System	全球定位系統	全球衛星導航系統的一環，提供定位、速度與高度資訊。

GCS	Ground Control Station	地面控制站	包含電腦與遙控器，提供操作員進行飛行任務規劃、指揮與監控的介面。
Gyroscope	Gyroscope	陀螺儀	負責測量機體旋轉角速度，以維持姿態平衡的感測器。
Health Monitoring	Health Monitoring	電池狀態監控	即時掌握電池餘電與健康狀況，以確保飛行安全。
Heave	Heave	起伏	載具沿著 Z 軸向上或向下的平移運動。
HTOL	Horizontal Take-Off and Landing	水平起降	需仰賴長距離的跑道進行滑行以產生升力，多見於傳統定翼機。
Hover	Hover	停懸能力	載具在三維空間中保持定點靜止不動的飛行能力。
Hybrid VTOL	Hybrid VTOL	複合式垂直起降機	結合旋翼機垂直起降便利性與定翼機高效飛行的載具。
Hydrogen Fuel Cell	Hydrogen Fuel Cell	氫燃料電池	可提供長效續航的替代型動力來源之一。
IMU	Inertial Measurement Unit	慣性測量單元	整合加速規、陀螺儀與磁力計，用以精準偵測三維空間中的加速度與旋轉資訊。
IR	Infrared Payload	紅外線酬載	具備熱成像功能，不受光線限制的全天候偵蒐模組。
Landing Gear	Landing Gear	起落架	提供起飛穩定度，並在降落時緩衝撞擊的底層支撐結構。
LiDAR	Light Detection and Ranging	光達	利用雷射脈衝獲取精準的地貌空間數據，主要用於執行 3D 建模。
Li-Po	Lithium Polymer (Li-Po)	鋰聚合物電池	無人機最常見的高放電率動力來源。
Loiter Mode	Loiter Mode	懸停模式	整合 GPS 與氣壓計，全方位精確鎖定空間三維座標的模式。
Low Battery	Low Battery	低電量	系統偵測到電量不足以支撐後續航程，觸發返航的異常狀態。
Magnetometer	Magnetometer	磁力計	感測地球磁場，為載具提供精準航向資訊的電子羅盤。
Manual Control	Manual Control	人工操作	由操作員全程進行即時操控

			的低自動化飛行狀態。
Military	Military	軍用型	對系統隱密性與可靠度要求極高，專注於國防任務的軍事載具。
Mission Planning	Mission Planning	任務規劃	操作員在地面站預先規劃航線與任務細節的作業程序。
Model Characteristics	Model Characteristics	機型特性	評估無人機續航力、跑道需求與停懸能力的綜合指標。
Motors	Motors	馬達	接收電能並將其轉換為驅動螺旋槳的機械動能裝置。
Multi-rotor	Multi-rotor	多軸旋翼機	透過多組螺旋槳變速達成操控，目前最常見的機型。
Obstacle Detection	Obstacle Detection	障礙物偵測	建立前方空間模型以辨識潛在撞擊威脅的技術處理過程。
Payload Bay	Payload Bay	酬載艙	無人機機身預留，可用於安裝各類模組化任務設備的空間。
Pitch	Pitch	俯仰	載具繞著 Y 軸轉動，用以控制機頭上下抬升或下壓。
Positioning & Navigation	Positioning & Navigation	空間定位	確保無人機在動態環境中維持座標定位與導航的機制。
PMU	Power Management Unit	電源管理單元	作為能源系統的核心調節者，負責電能分配、電壓轉換與電池狀態監控。
Power Source	Power Source	動力來源	無人機能量儲存的形式，包含電池、燃料等。
Precision Agriculture	Precision Agriculture	精準農業	利用無人機進行農情監測與精準噴灑的高效農業應用。
Precision Strikes	Precision Strikes	精確打擊	軍用無人機針對特定目標進行高準確度武器投射的軍事行動。
Propeller	Propeller	螺旋槳	負責產生推力，透過高速旋轉進行空氣動力轉換的元件。
Rangefinder	Rangefinder	測距儀	精準測量機身與下方地面或障礙物距離，輔助降落的設備。
Reconnaissance	Reconnaissance	偵察	軍用無人機於戰場或敏感區域進行情資蒐集的常見任

			務。
Redundancy / Propulsion Protection	Redundancy / Propulsion Protection	冗餘 / 動力保護	當硬體損壞時，利用軟體演算法補償以維持飛行的保護機制。
Relative Airspeed	Relative Airspeed	相對空氣速度	決定固定翼機型是否能維持足夠升力的關鍵氣流速度。
RC	Remote Control	遠端遙控器	提供操作員進行無人機手動控制與即時介入的硬體介面。
RTL	Return to Launch	自動返航	具備自動安全機制，於訊號丟失或低電量時觸發，引導無人機自動返回起飛點。
Roll	Roll	翻滾	載具繞著 X 軸轉動，用以控制左右傾斜。
Rotational Movement	Rotational Movement	旋轉運動	無人機繞著三軸（翻滾、俯仰、偏航）的旋轉姿態。
Runway	Runway	跑道需求	固定翼機型起降所需仰賴的長距離地面滑行空間。
Safety Protection Mechanisms	Safety Protection Mechanisms	安全防護機制	旨在提升飛行安全性並減少無人機失控或墜毀風險的設計。
Signal Loss	Signal Loss	訊號丟失	機體與地面控制站斷開連接，極易引發危險的通訊中斷狀態。
Single Motor Failure	Single Motor Failure	單一馬達失效	多旋翼機遭遇單顆馬達停轉，系統自動分配推力維持平衡的狀況。
Single-rotor / Helicopter	Single-rotor / Helicopter	單旋翼機 / 直升機	具備主旋翼與尾槳構造的傳統飛行器形式。
6 DOF	Six Degrees of Freedom	六自由度	構成無人機在三維空間中運動的三組平移（縱移/橫移/起伏）與三組旋轉（翻滾/俯仰/偏航）。
Solar Power	Solar Power	太陽能	透過吸收光能輔助供電的綠色能源型態。
Spraying System	Spraying System	噴灑系統	用於精準農業中散佈液體藥劑或肥料的特製化酬載模組。
Stabilization and Anti-vibration	Stabilization and Anti-vibration	增穩防震	消除機身震動對觀測設備影響，維持影像清晰的技術。

Stabilize Mode	Stabilize Mode	自穩模式	以人工控制為主，飛控僅提供基礎姿態平衡的初階模式。
Surge	Surge	縱移	載具沿著 X 軸向前或向後的平移運動。
Sway	Sway	橫移	載具沿著 Y 軸向左或向右的平移運動。
Take-Off and Landing	Take-Off and Landing	起降方式	無人機升空與降落的作業邏輯與空間需求。
Telemetry Data	Telemetry Data	遙測數據	機體即時回傳的高度 速度 電量等重要健康狀態資訊。
Thrust Generation	Thrust Generation	產生推力	飛行閉環中，動力系統將能量轉為驅動前進力量的階段。
Transition	Transition	轉換階段	載具在空中由垂直升力過渡切換至水平推力的動態過程。
Translational Movement	Translational Movement	平移運動	無人機在三維空間中沿著 X、Y、Z 軸的直線移動。
Ultrasonic	Ultrasonic	超音波	透過聲波反射測量極近距離高度，常見於測距儀中。
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	無人機	指飛行載具本體，是執行空中任務的硬體核心。
UAS	Unmanned Aircraft System	無人航空系統	包含無人機本體、地面控制站與通訊鏈路的完整運作體系。 ⁺¹
Uplink	Uplink	上行鏈路	將控制命令從地面站或遙控器傳輸至空中機體的資料流。
VTOL	Vertical Take-Off and Landing	垂直起降	僅需極小空間即可直接升空，常見於多軸旋翼機。
Voltage Conversion	Voltage Conversion	電壓轉換	調整輸出電壓，以符合機身不同電子組件的運作需求。
Waypoints	Waypoints	航點	任務規劃中設定的空間座標，引導無人機自動依序飛行。
Yaw	Yaw	偏航	載具繞著 Z 軸轉動，用以控制機頭左右水平轉向。