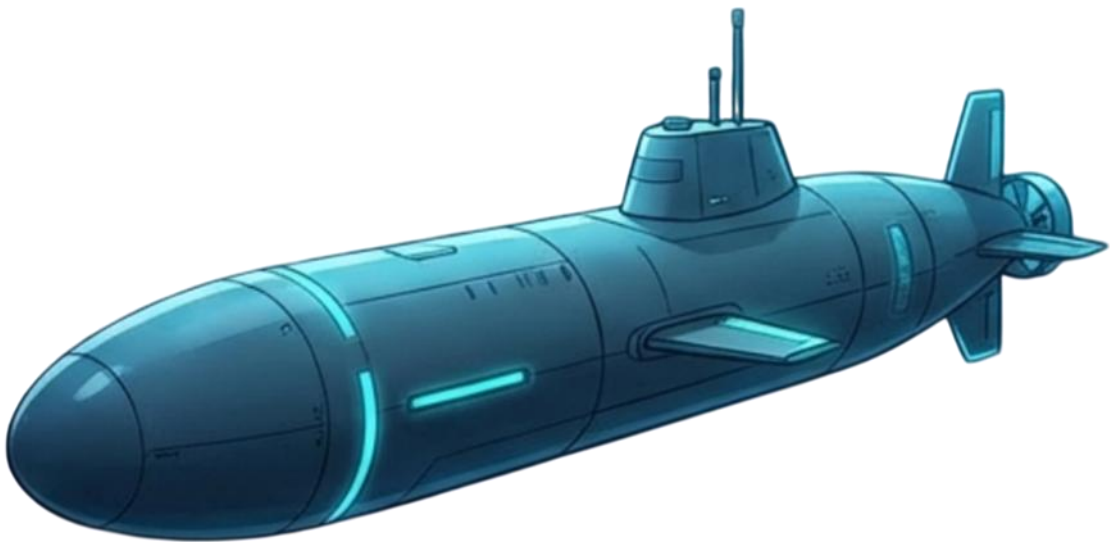


產業用語指引手冊

無人載具—水下篇

(Unmanned Underwater Vehicle, UUV)



國立成功大學
雙語教育推動辦公室

序言(Preface)

隨著海洋科技與探測需求的快速發展，無人水下載具(Unmanned Underwater Vehicle, UUV) 在深海環境中扮演著日益關鍵的角色。為了協助相關領域的專業人士、研究學者與學生建立統一且準確的專業認知，國立成功大學雙語教育推動辦公室特此編撰本《無人水下載具產業用語指引手冊》。

本手冊致力於將複雜的水下科技系統化，帶領讀者由淺入深地認識載具的各項核心技術。手冊開篇首先介紹了三大主流載具的運作差異：包含適合定點精細作業的「遙控式水下無人載具(ROV)」、專精快速巡航偵察的「自主式水下無人載具(AUV)」，以及適合長時程監測的「自主式水下滑翔機(AUG)」。

為了讓讀者能全面掌握水下載具的運作原理，手冊詳細剖析了緊密交織、共同撐起載具完整運作的六大核心次系統：

- **結構與殼體系統**：介紹提供絕對水密與物理防護的耐壓殼體及支撐骨架。
- **推進與操縱系統**：解析無刷直流馬達、螺旋槳與各式推進器如何賦予載具水下移動的能力。
- **電力與能源系統**：探討從密封電池到氫燃料電池等供應全機動能的技術。
- **控制與計算系統**：說明作為決策大腦的機載電腦與微控制器如何完美結合以實現自主運作。
- **導航與感知系統**：解析慣性導航系統、聲納設備與溫鹽深儀如何幫助載具偵測環境與精確定位。
- **通訊與任務設備**：探討水下聲學通訊的特性，以及機械手臂等執行專業作業的設備。

此外，為促進國際化的技術交流，本手冊特別於書末收錄了詳盡的「無人水下載具產業中英文專業用語彙整表(Glossary)」，該彙整表提供了精確的中英詞彙對照與名詞說明，涵蓋從基礎硬體架構到高階演算法的各項專業術語。

期盼本指引手冊能成為水下科技領域中實用的雙語參考工具，幫助讀者跨越語言與技術門檻，深入探索無人水下載具產業的豐富知識與發展脈絡。

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：無人水下載具種類與核心架構.....	1
第二章：結構與殼體系統.....	3
第三章：推進與操縱系統.....	5
第四章：電力與能源系統.....	8
第五章：控制與計算系統.....	10
第六章：導航與感知系統.....	12
第七章：通訊、資料融合與任務設備.....	19
附錄：無人水下載具產業中英文專業用語彙整表(Glossary)	22

第一章：無人水下載具種類與核心架構

本章開篇顯示了三大主流系統的運作差異，包含：遙控式水下無人載具（ROV）、自主式水下無人載具（AUV）以及自主式水下滑翔機（AUG）。接著介紹構成 UUV 系統網絡的六大核心模組(結構與殼體、電力與能源、推進與操縱、控制與計算、導航與感知、任務設備)，說明這六大次系統如何緊密交織以撐起載具的完整運作。

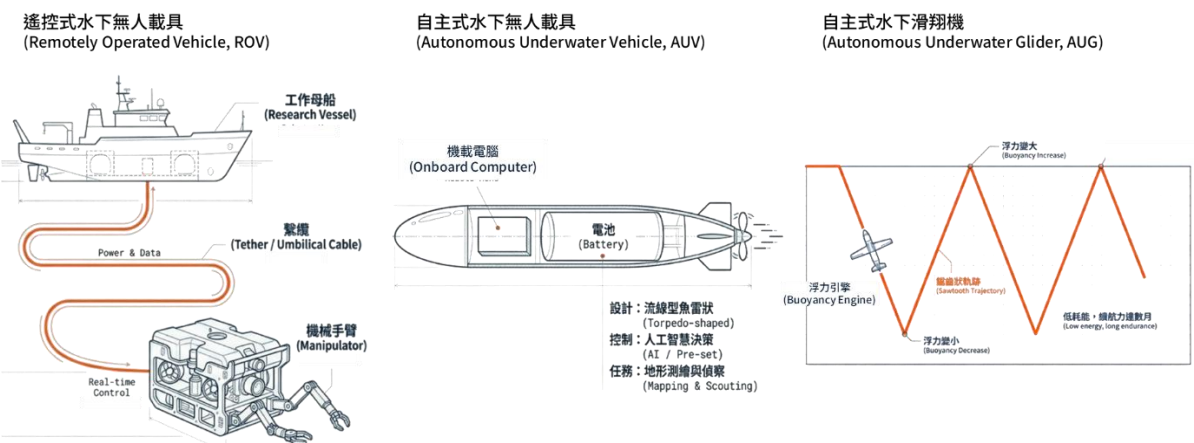


圖 1 無人水下載具(Unmanned Underwater Vehicle, UUV)種類示意圖

本圖顯示三大主流系統的運作差異：

- 遙控式水下無人載具(Remotely Operated Vehicle, ROV): 透過繫纜(Tether/Umbilical Cable)與工作母船(Research Vessel)相連以獲取動力與數據，能利用機械手臂(Manipulator) 進行即時控制。
- 自主式水下無人載具(Autonomous Underwater Vehicle, AUV): 呈流線型魚雷設計，內建電池(Battery)與機載電腦(Onboard Computer)，可依賴 AI 自主執行地形測繪與偵察。
- 自主式水下滑翔機(Autonomous Underwater Glider, AUG): 藉由浮力引擎(Buoyancy Engine)改變比重，以鋸齒狀軌跡(Sawtooth Trajectory)前進，具備極低耗能特性，續航力高達數月。

	ROV	AUV	AUG
能源 (Power)	繫纜供電 (Tethered)	內建電池 (Battery)	浮力驅動 (Buoyancy)
控制 (Control)	人工即時遙控 (Human)	AI / 預設程式 (AI)	週期性指令 (Periodic)
最佳用途 (Best For)	定點精細作業 (Precision)	快速巡航偵察 (Scouting)	長時程監測 (Long-term)

圖 2 無人水下載具(UUV)技術規格比較示意圖

本圖對比了三大載具在能源(Power)、控制(Control)與最佳用途上的核心差異：

- ROV：仰賴繫纜供電(Tethered)，由人工即時遙控，最適合執行定點精細作業。
- AUV：使用內建電池(Battery)並由 AI / 預設程式(AI) 控制，專精於大範圍的快速巡航偵察(Scouting)。
- AUG：運用浮力驅動(Buoyancy)改變深淺，依賴週期性(Periodic)指令運作，是執行長時程監測(Long-term)任務的最佳選擇。

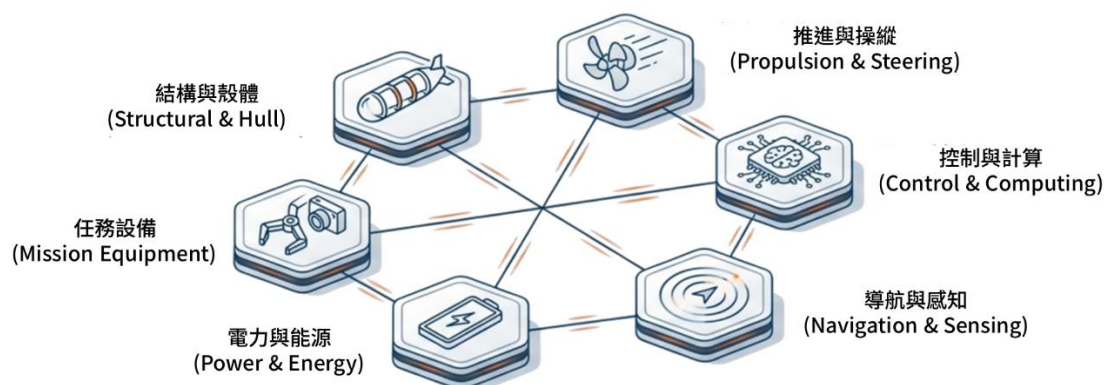


圖 3 無人水下載具(UUV)主要架構示意圖

本圖展示 UUV 構成其系統網絡的六大核心模組：

1. 提供物理防護的結構與殼體(Structural & Hull)。
2. 供應全機動能的電力與能源(Power & Energy)。
3. 負責水下移動的推進與操縱(Propulsion & Steering)。
4. 作為決策大腦的控制與計算(Control & Computing)。
5. 偵測環境與定位的導航與感知(Navigation & Sensing)。
6. 執行專業作業的任務設備(Mission Equipment)。

這六大次系統緊密交織，共同撐起 UUV 的完整運作。

第二章：結構與殼體系統

本章開頭剖析了無人水下載具的三大物理防護與支撐構造：負責降低流體阻力的「整流罩」、具備絕對水密以抵禦深海高壓的「耐壓殼體」，以及負責承載模組並維持剛性的「骨架」。這三層設計完美兼顧了載具在水下的航行效率與深海作業的安全性。

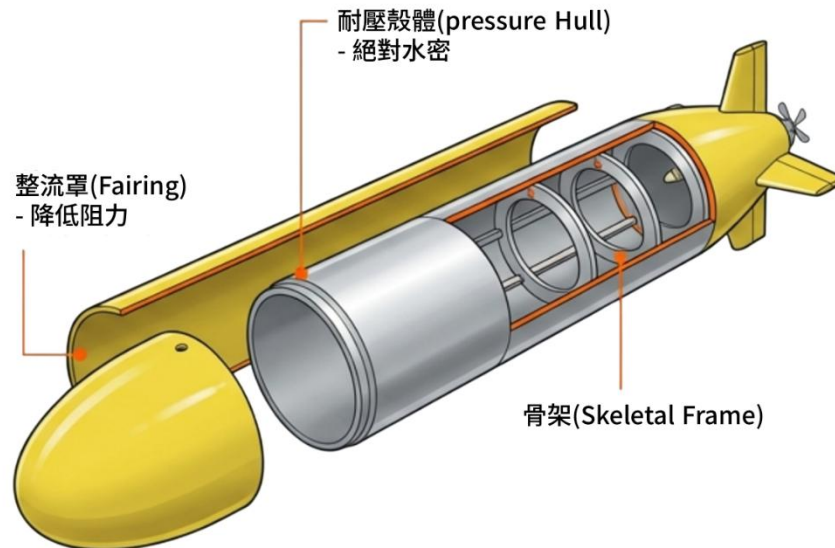


圖 4 結構與殼體系統(Structural and Hull System)示意圖

本圖剖析了無人水下載具的三大物理防護與支撐構造：

- 整流罩(Fairing)：構成載具最外層的流線型外殼，主要功用為降低水下航行時的流體阻力，提升推進效率。
- 耐壓殼體(Pressure Hull)：位於內部的圓筒狀核心艙體，具備「絕對水密」的特性，專門用來抵禦深海的高壓環境，保護脆弱的電子儀器與控制設備。
- 骨架(Skeletal Frame)：內建的環狀支撐結構，負責承載各項模組，維持整體載具的剛性與物理強度。

此三層設計完美兼顧了載具在水下的航行效率與深海作業的安全性。

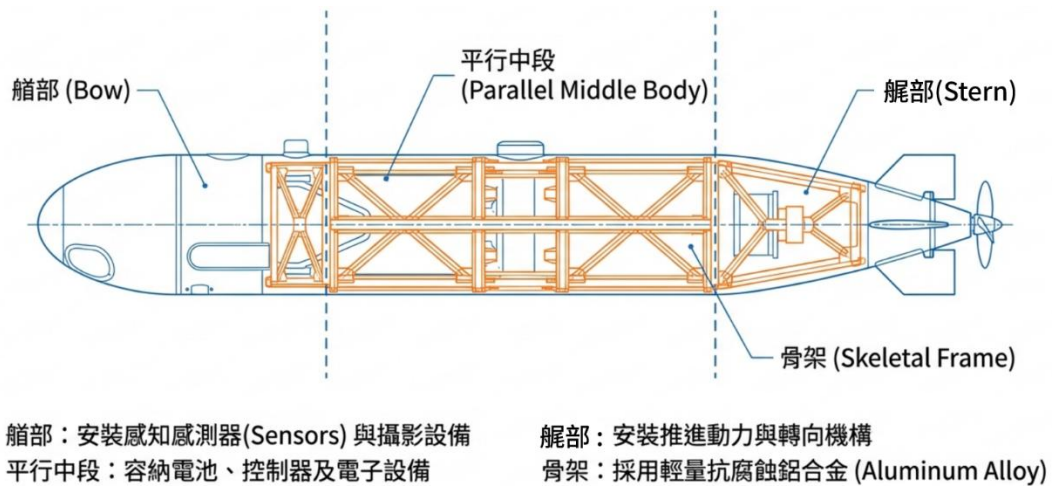


圖 5 結構設計(Structural Design)示意圖

本圖剖析無人水下載具的三段式空間配置：

- 前端的艏部(Bow)專責安裝感知感測器(Sensors)與攝影設備，如同載具的眼耳；
- 平行中段(Parallel Middle Body)作為核心艙間，負責容納電池、控制器及電子設備；
- 後方的艉部(Stern) 則配置推進動力與轉向機構以提供動能。

此外，支撐全機的内部骨架(Skeletal Frame) 採用輕量且抗腐蝕的鋁合金(Aluminum Alloy)，確保水下嚴苛環境中的結構穩固與耐用。

第三章：推進與操縱系統

本章引言剖析了載具尾部動力系統的關鍵組件。說明核心動能來自配備編碼器的推進馬達，馬達驅動螺旋槳產生前進推力，並搭配十字配置的舵來控制航向與轉向。此外，側邊配置的推進器能輔助多軸移動，賦予載具高度靈活的機動能力。

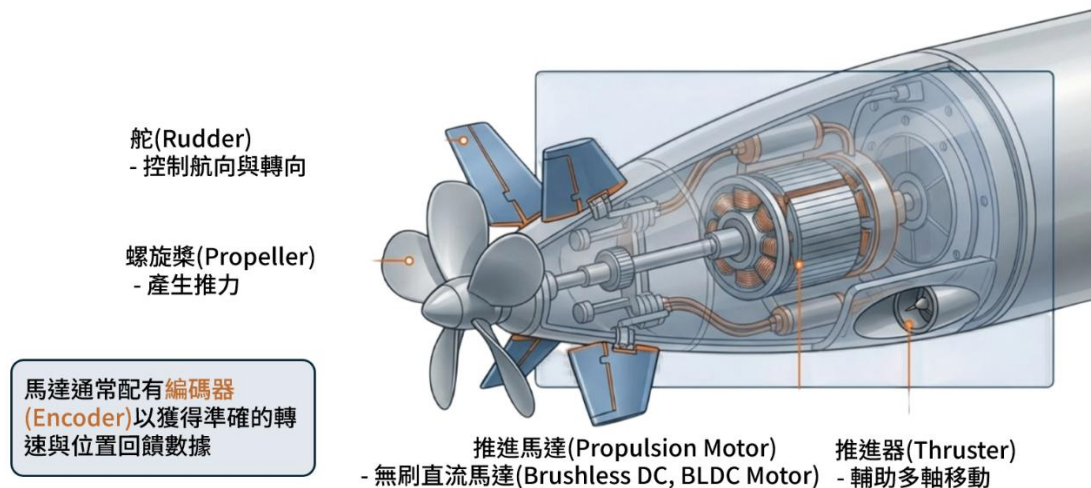


圖 6 推進與操縱(Propulsion & Steering)示意圖

本圖剖析了無人水下載具尾部動力系統的關鍵組件：

核心動能來自推進馬達(Propulsion Motor)，通常採用無刷直流馬達(Brushless DC Motor, BLDC Motor)，其內部配備編碼器(Encoder) 以提供精準的轉速與位置回饋數據。馬達驅動後方的螺旋槳(Propeller) 產生前進推力，並搭配十字配置的舵(Rudder) 來控制航向與轉向。此外，側邊配置的推進器(Thruster) 則負責輔助多軸移動，賦予載具在複雜水下環境中具備高度靈活的機動能力。

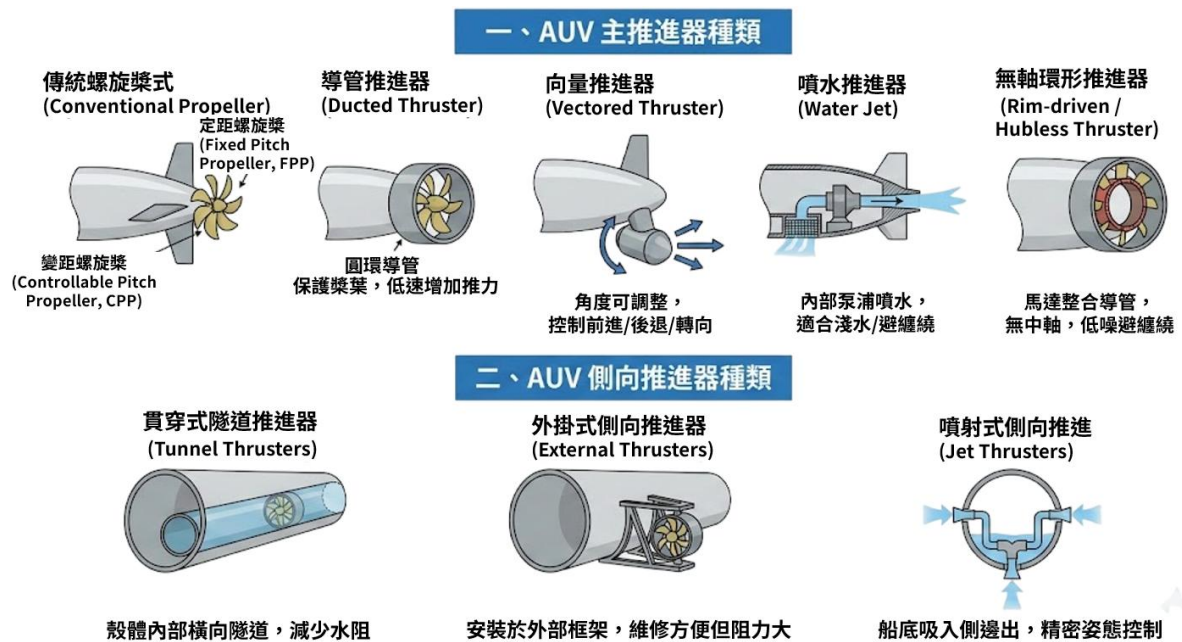


圖 7 推進種類(Types of Propulsion)示意圖

本圖展示 AUV 的多樣化動力配置：

一、主推進器(Main Thruster)包含：

- 傳統螺旋槳式(Conventional Propeller)，分定距(Fixed Pitch Propeller, FPP)與變距(Controllable Pitch Propeller, CPP)
- 利用圓環增強低速推力的導管推進器(Ducted Thruster)、可調整角度的向量推進器(Vectored Thruster)
- 適合淺水防纏繞的噴水推進器(Water Jet)
- 低噪無中軸的無軸環形推進器(Rim-driven / Hubless Thruster)。

二、側向推進器(Lateral Thruster)包含：

- 隱藏於殼體內減少水阻的貫穿式隧道推進器(Tunnel Thrusters)
- 安裝於外部的外掛式側向推進器(External Thrusters)
- 用於精密姿態控制的噴射式側向推進器(Jet Thrusters)。

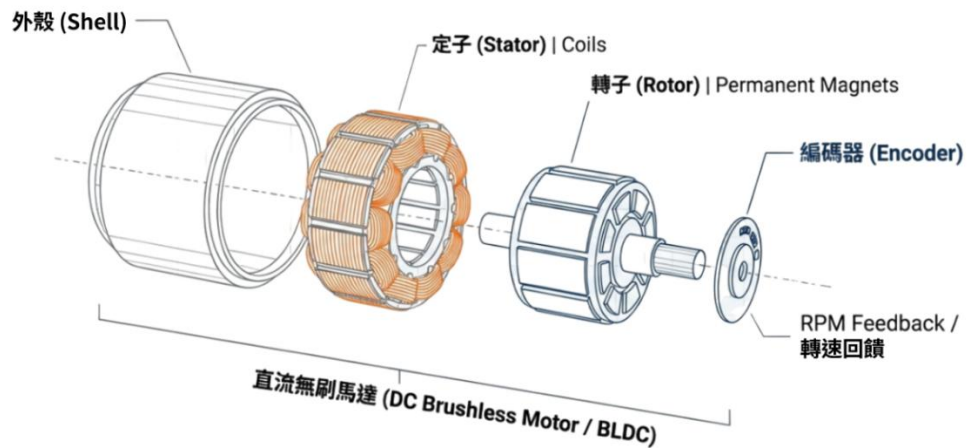


圖 8 無刷直流馬達(Brushless DC, BLDC Motor)示意圖

本圖顯示無刷直流馬達(Brushless DC Motor, BLDC) 的內部結構，此種馬達以電子控制取代傳統機械碳刷，具備高效率與長壽命的特性。

圖中呈現其四大核心組件：最外層的外殼(Shell) 提供物理防護；內部的定子(Stator)佈滿線圈(Coils) 以產生電磁場；中心的轉子(Rotor)由永久磁鐵(Permanent Magnets)構成，受磁力交互作用而驅動旋轉；尾端則配置了編碼器(Encoder)，負責即時提供精確的轉速回饋(RPM Feedback)，以實現高精度的系統控制。

第四章：電力與能源系統

本章開篇介紹了無人水下載具的四種主要動力來源：最普遍的「密封電池」(如鋰電池)、利用海水作電解液的「鎂海水電池」、透過氫氣化學反應產生電力的「氫燃料電池 / 鋁/過氧化氫半燃料電池」，以及專門用於戰略級應用且提供極高能量的「核動力裝置」。

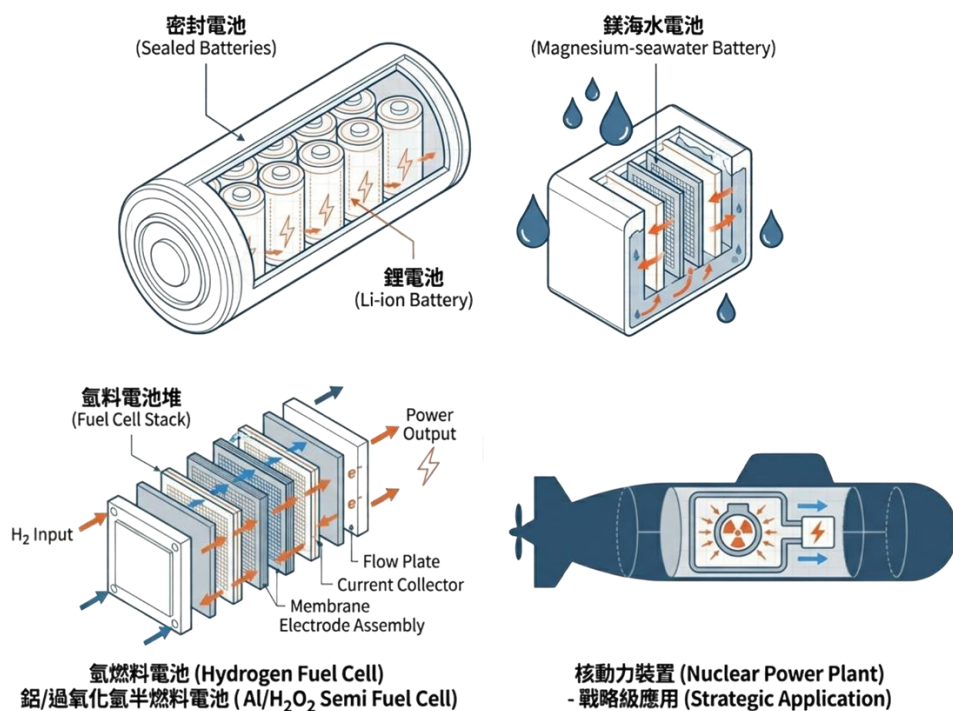


圖 9 能源種類(Type of Energy)示意圖

本圖顯示無人水下載具的四種主要動力來源：

- 密封電池(Sealed Batteries)：圖中以常見的鋰電池(Li-ion Battery)為例，是目前最普遍且技術成熟的儲能方式。
- 鎂海水電池(Magnesium-seawater Battery)：一種利用海水作為電解液來進行化學反應並產生電能的特殊電池。
- 氫燃料電池(Hydrogen Fuel Cell) / 鋁/過氧化氫半燃料電池(Al/H₂O₂ Semi Fuel Cell)：圖中詳細解剖了燃料電池堆(Fuel Cell Stack)，顯示氫氣輸入(H₂ Input)後，經由膜電極組(Membrane Electrode Assembly)、集電板(Current Collector)及導流板(Flow Plate)進行反應，最終產生電力輸出(Power Output)。
- 核動力裝置(Nuclear Power Plant)：能提供極高能量與超長續航力，專門用於戰略級應用(Strategic Application)。

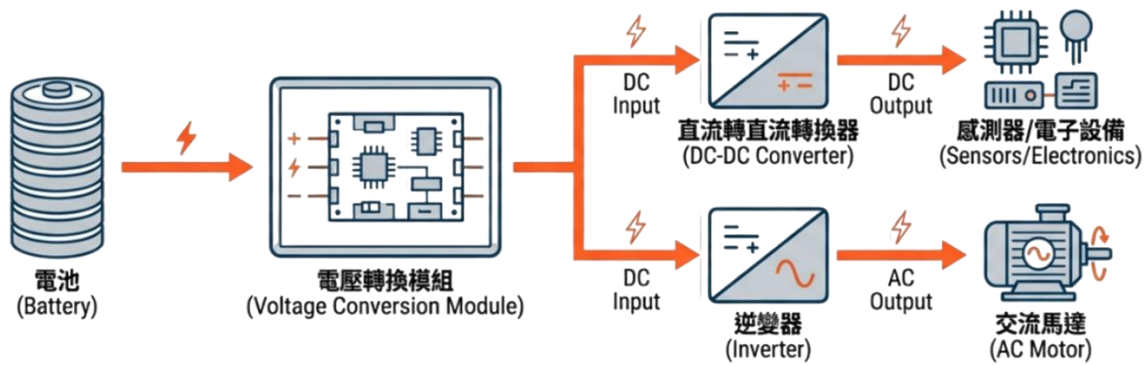


圖 10 電力管理與轉換(Power Management and Conversion)示意圖

本圖展示無人載具內部的電能分配流程，系統的初始能源來自電池(Battery)，其輸出的電能首先會進入核心的電壓轉換模組(Voltage Conversion Module)進行集中調配與管理。接著，電力會依據不同設備的用電需求分為兩條主要傳輸路徑：

- 直流供電路徑：透過直流轉直流轉換器(DC-DC Converter)，將直流輸入(DC Input) 轉換為適當電壓的直流輸出(DC Output)，以穩定供應給感測器/電子設備(Sensors/Electronics)運作。
- 交流供電路徑：另一部分直流輸入則利用逆變器(Inverter)轉換成交流輸出(AC Output)，用以驅動需要交流電的交流馬達(AC Motor)。

此雙軌轉換機制確保了載具內各項零組件皆能獲得正確且穩定的電力供應。

第五章：控制與計算系統

本章開頭剖析了無人水下載具內部的核心決策與控制架構，指出運算與控制系統主要由兩大硬體組成：作為「大腦」處理高階任務決策的「機載電腦」，以及負責底層控制、確實執行動作指令的「微控制器單元 (MCU)」。這兩套系統緊密協作以確保載具能精準自主運作。

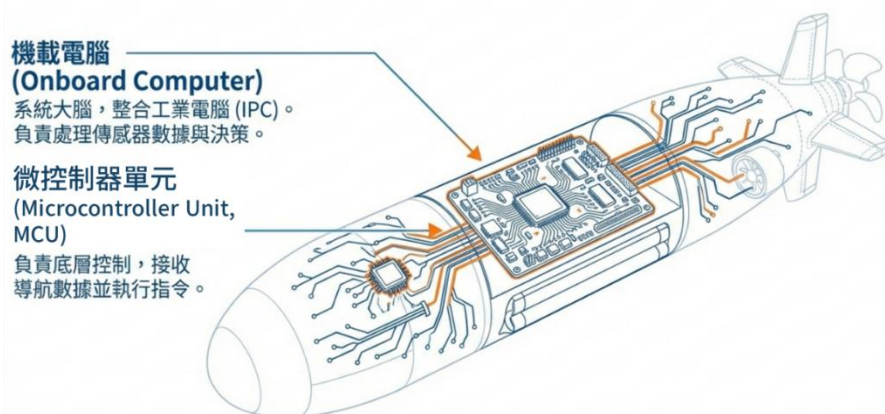


圖 11 電子控制與計算(Control and Computing System)示意圖

本圖剖析了無人水下載具內部的核心決策與控制架構，載具的運算與控制系統主要由兩大硬體核心組成：

- 機載電腦(Onboard Computer): 作為整個載具系統的「大腦」，內部整合了工業電腦(Industrial Personal Computer, IPC)，主要負責處理龐大且複雜的傳感器數據，並進行高階的任務決策。
- 微控制器單元(Microcontroller Unit, MCU): 負責系統的底層控制，其任務是接收導航數據，並確實執行由機載電腦下達的各項具體動作指令。

這兩套系統分工明確且緊密協作，將高階運算與底層硬體控制完美結合，確保載具能在複雜的水下環境中進行精準且自主的運作。

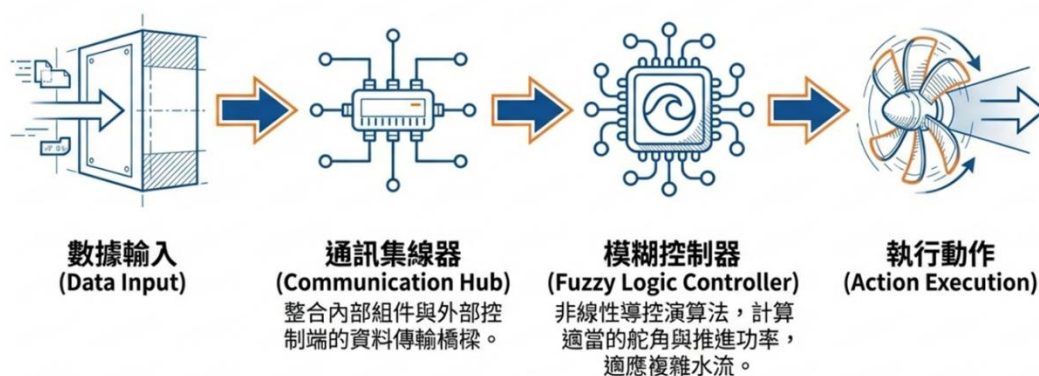


圖 12 控制與計算流程(Control and Computing Process)示意圖

本圖呈現了無人水下載具從接收指令到產生動作的四個循序階段，流程起於前方的數據輸入(Data Input) 接收各項感測資訊與指令，隨後資料會進入通訊集線器(Communication Hub)，此單元扮演著整合內部組件與外部控制端的資料傳輸橋樑。

接著，核心運算交由模糊控制器(Fuzzy Logic Controller)處理；它採用非線性導控演算法，能精確計算出適當的舵角與推進功率，使載具能有效適應水下複雜的水流變化。最後，系統將運算結果輸出為實際的執行動作(Action Execution)，直接驅動推進器等設備完成相應的操作。

第六章：導航與感知系統

本章引導部分展示了載具在執行任務時感測器系統的三大核心配置區塊：負責維持航向與精確座標的「導航與定位」系統、依賴聲納與光學設備建構周遭環境與避障的「環境感知」系統，以及專門量測海洋物理數據的「水文特性」感測模組。

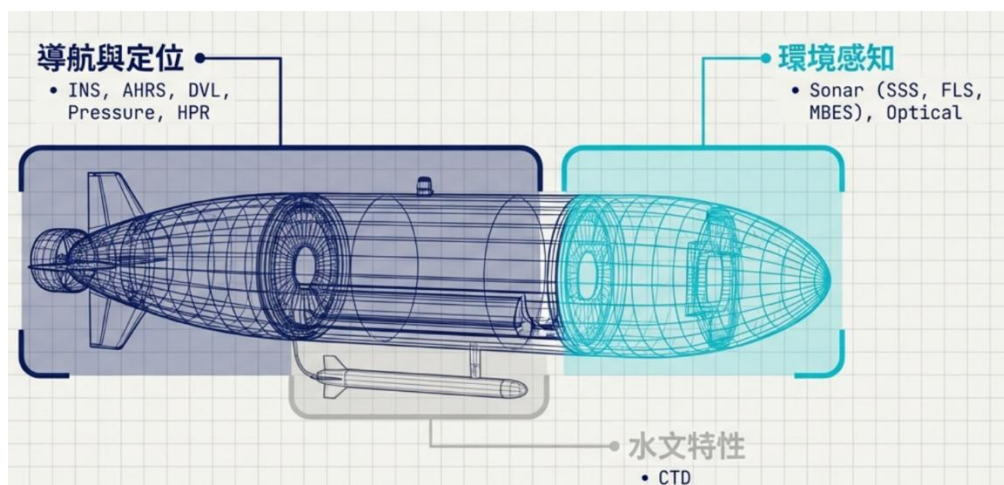


圖 13 導航與感知(Navigation & Sensing)示意圖

本圖展示了無人水下載具在執行任務時，其感測器系統的三大核心配置區塊：

1. 導航與定位(Navigation & Positioning): 佈局於載具中後段，是維持航向與精確座標的關鍵。圖中標示其整合了慣性導航系統(Inertial Navigation System, INS)、姿態航向參考系統(Attitude & Heading Reference Systems, AHRS)、都卜勒計速儀(Doppler Velocity Log, DVL)、壓力感測器(Pressure) 以及水聲定位系統(Hydroacoustic Positioning Reference, HPR)。
2. 環境感知(Environmental Sensing): 配置於載具艏部(前方)，負責建構周遭水下環境與避障。主要依賴聲納(Sonar) 設備，如側掃聲納(Side Scan Sonar, SSS)、前視聲納(Forward-Looking Sonar, FLS)、多波束測深聲納(Multibeam Echosounder, MBES)，並輔以光學感測器(Optical) 進行影像辨識。
3. 水文特性(Hydrological Characteristics): 以外掛模組的形式安裝於腹部，搭載了溫鹽深儀(Conductivity, Temperature, Depth, CTD)，專門用於量測並收集海洋環境的物理數據。

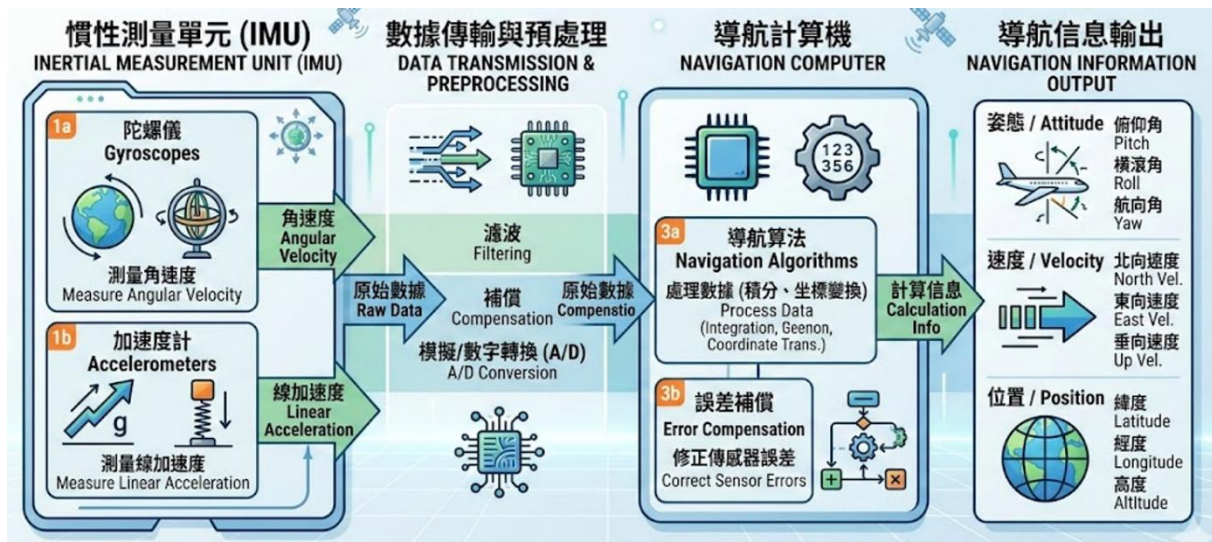


圖 14 慣性導航系統(Inertial Navigation System, INS) 運作架構示意圖

圖中展示了慣性導航系統(Inertial Navigation System, INS)的運作架構，整體流程可分為四個主要階段：

1. 慣性測量單元(Inertial Measurement Unit, IMU): 系統的核心感測層，包含陀螺儀(Gyroscopes)用於測量角速度(Angular Velocity)，以及加速度計(Accelerometers)用於測量線加速度(Linear Acceleration)。
2. 數據傳輸與預處理(Data Transmission & Preprocessing): 感測器輸出的原始數據(Raw Data)會經過濾波(Filtering)、補償(Compensation)及模數轉換(Analog-to-Digital, A/D Conversion)。此階段旨在消除雜訊並將類比訊號轉為導航電腦可識別的數位格式。
3. 導航計算機(Navigation Computer): 核心處理層，包含兩大核心任務：
 - 導航算法(Navigation Algorithms): 對處理後的數據進行積分(Integration)與座標轉換(Coordinate Transformation)。
 - 誤差補償(Error Compensation): 針對感測器誤差進行即時修正，以確保計算準確性。
4. 導航信息輸出(Navigation Information Output): 最終輸出精確的計算信息(Calculation Info)，涵蓋三大導航參數：
 - 姿態(Attitude): 包含俯仰角(Pitch)、橫滾角(Roll)與航向角(Yaw)。
 - 速度(Velocity): 提供北向、東向及垂向速度。
 - 位置(Position): 包含緯度(Latitude)、經度(Longitude)與高度(Altitude)。

提供載具的姿態 (Attitude)，包括俯仰角 (Pitch)、橫滾角 (Roll) 和航向角 (Yaw)。

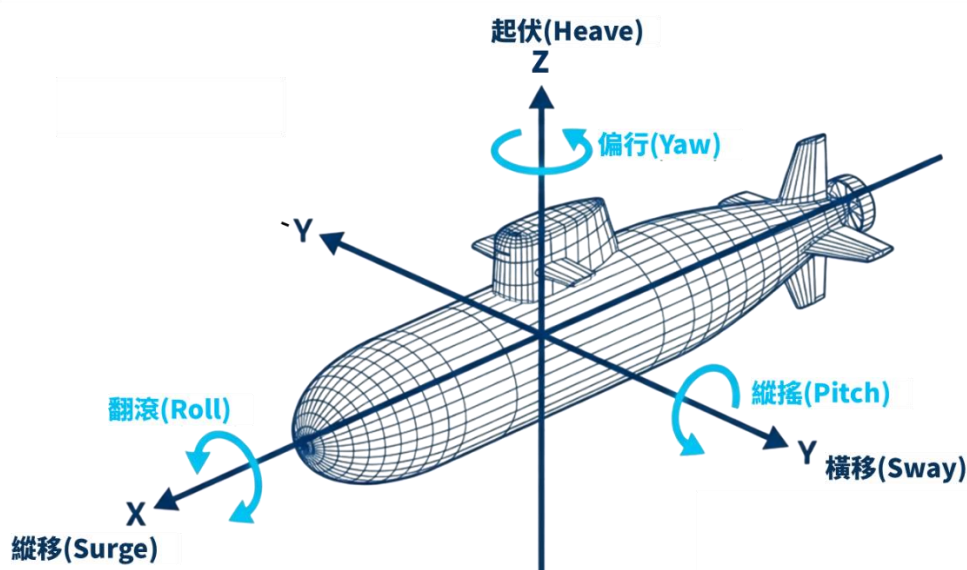


圖 15 航姿儀(Attitude and Heading Reference System, AHRS)示意圖

圖中說明載具在三維空間中的六自由度(Six Degrees of Freedom, 6 DoF) 運動狀態：

1. 旋轉運動：姿態(Attitude)：圖中以藍色弧箭頭表示載具繞軸轉動的姿態(Attitude)變化。

- 翻滾(Roll)：繞著 X 軸(前後軸) 旋轉，描述載具左右傾斜的狀態。
- 縱搖(Pitch)：繞著 Y 軸(左右軸) 旋轉，即一般所說的俯仰角(Pitch Angle)，描述載具車頭/機首抬高或下壓。
- 偏行(Yaw)：繞著 Z 軸(上下軸) 旋轉，亦稱為航向角(Heading)，決定載具行進的方位。

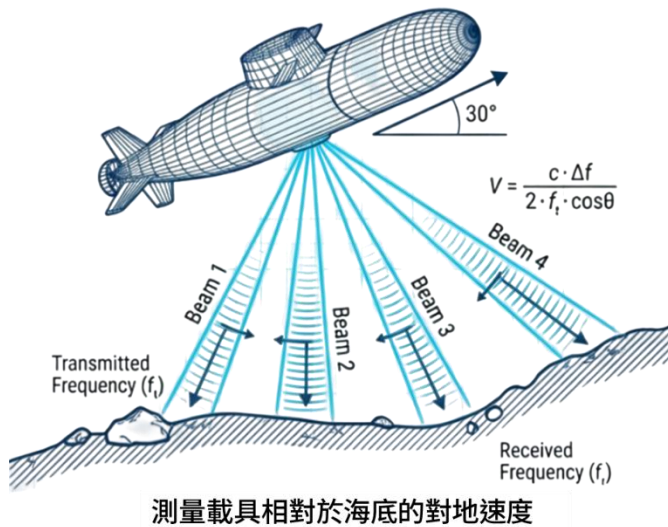
2. 直線運動：位移(Translation)：圖中以直線座標軸表示載具沿三個維度的位移方向：

- 縱移(Surge)：沿 X 軸前後移動。
- 橫移(Sway)：沿 Y 軸左右移動。
- 起伏(Heave)：沿 Z 軸上下垂直移動。

這類系統對於潛艦、飛機或無人機至關重要，能即時監控並提供精確的導航資訊(Navigation Information)，以維持航行的穩定性與安全性。

透過聲波頻移測速，並利用靜水壓力換算深度(每10公尺增加約1大氣壓)。

多普勒測速儀 (Doppler Velocity Log, DVL)



深度感測器 (Depth Sensor) / 壓力計

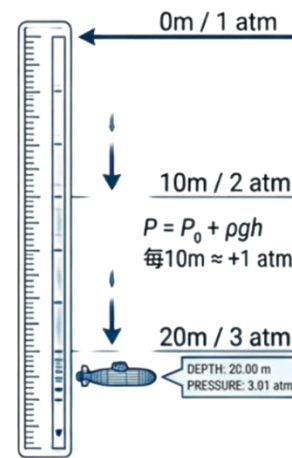


圖 16 速度與深度感知(Velocity and Depth Sensing)示意圖

圖中說明主要兩個核心組件構成：

1. 多普勒測速儀(Doppler Velocity Log, DVL)

位於圖左側，利用多普勒效應(Doppler Effect)原理運作。系統向海底發射四道聲波束，藉由測量發射頻率(Transmitted Frequency)與回傳之接收頻率(Received Frequency)之間的聲波頻移(Frequency Shift)，來精確計算載具相對於海底的對地速度(Ground Speed)。

2. 深度感測器(Depth Sensor) / 壓力計

位於圖右側，利用靜水壓力(Hydrostatic Pressure)換算深度。

- 在水面(0 公尺)時壓力約為 1 大氣壓(1 atm)。
- 隨著深度增加，每下降 10 公尺，壓力約增加 1 大氣壓(1 atm)。
- 藉由感測當前環境壓力，系統能即時回饋載具所處的精確高度/深度(Altitude/Depth)資訊。

這兩項數據與前述的姿態資訊結合，構成了水下自主導航的關鍵基礎。

利用聲波相位差或應答器(Transponder)，提供外部精確導航修正。

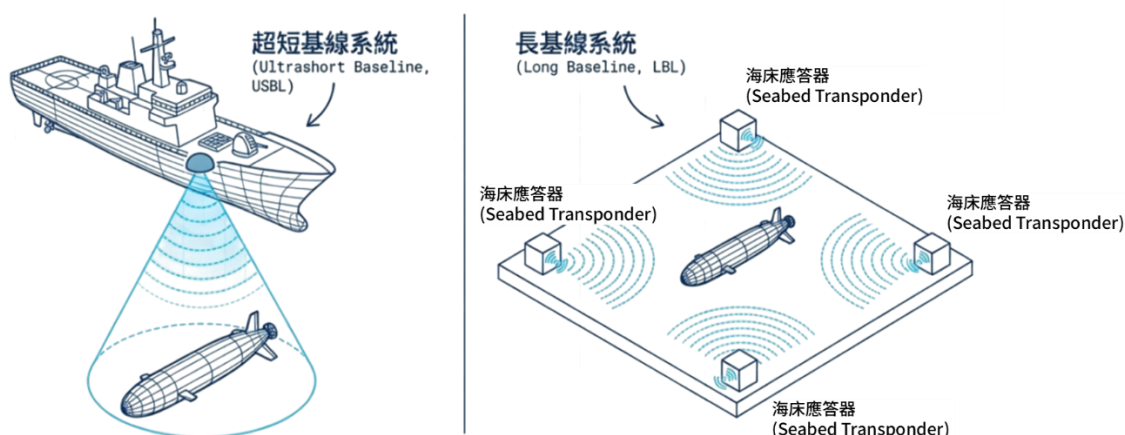


圖 17 水下聲學定位系統(Hydroacoustic Position Reference, HPR)示意圖

圖中介紹如何利用聲波相位差或應答器提供外部精確的導航修正：

1. 超短基線系統(Ultrashort Baseline, USBL)

如圖左側所示，超短基線系統(USBL)通常安裝於水面船隻底部。其特點在於將多個收發探頭整合在一個精密的感測器中，透過測量水下目標發出的聲波到達各探頭間的相位差(Phase Difference)，計算出目標相對於船隻的距離與方位。此系統安裝簡便，適合用於追蹤 ROV 或潛艦。

2. 長基線系統(Long Baseline, LBL)

如圖右側所示，長基線系統(LBL)在作業區域的海底佈署多個海底應答器(Seabed Transponder)組成陣列。水下航行器透過與這些固定座標的應答器進行聲波通訊，利用三邊測量原理獲得極高精度的絕對位置(Absolute Position)。這類系統適合需要在特定區域內進行高精度作業的任務。

透過這些應答器(Transponder)提供的外部參考資訊，能有效修正慣性導航系統隨時間產生的累積誤差，達成精確的外部導航修正(External Navigation Correction)。

光線無法達到深海，聲波反射是主要的探測手段。



圖 18 聲納系統(Sonar Systems)示意圖

圖中展示水下航行器使用的三種主要聲納系統(Sonar Systems)。由於光線無法穿透深海，聲波反射(Acoustic Reflection) 成為深海探測的核心手段：

1. 側掃聲納(Side-Scan Sonar, SSS)

位於圖左，聲波向載具兩側發射，主要用於海床地形描繪(Seabed Mapping)與目標辨識(Target Identification)，能產生類似照片的高解析度海床影像，適合搜尋沉船或管線。

2. 前視聲納(Forward Looking Sonar, FLS)

位於圖中，聲波向載具前方扇形區域掃描。其擁有特定的視野(Field of View, FOV)，主要功能為前方目標探測(Target Detection)與避障(Obstacle Avoidance)，確保航行器在複雜水下環境的安全。

3. 多波束探深儀(Multibeam Echosounder, MBES)

位於圖右，透過同時發射多個扇形排列的聲波束，進行大範圍海底測繪(Wide-area Bathymetry)。它能精確測量水深並產出三維的地形高度模型。

這些系統共同構成了載具的感官網路，使其能在黑暗的深海中感知環境並執行精密的探測任務。

近距離目標辨識與追蹤，必須搭配人工光源克服黑暗。

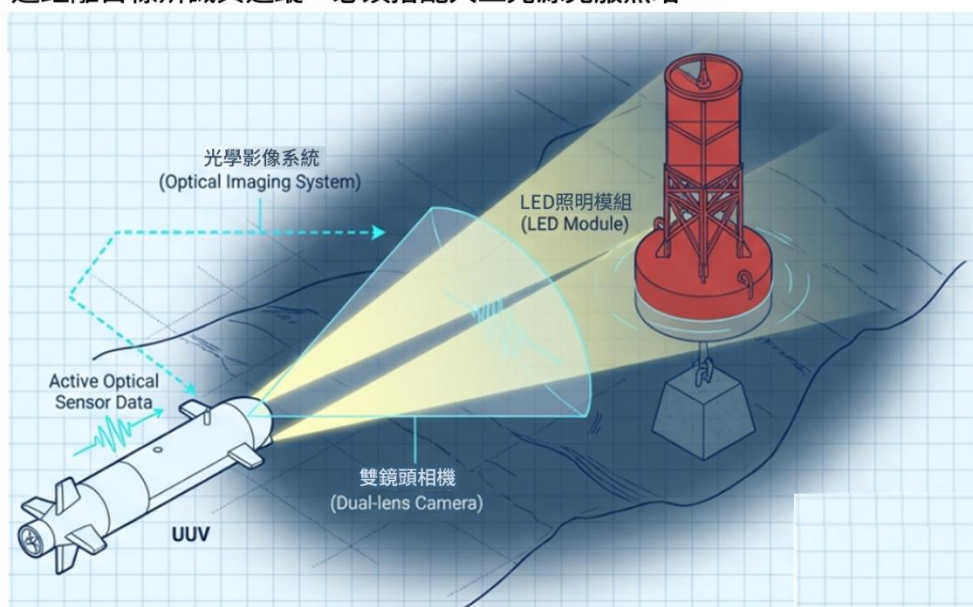


圖 19 近距辨識(Close-Range ID)示意圖

圖中說明在光線稀缺的水下環境中，光學影像系統(Optical Imaging System)是達成精準目標判別的關鍵：

1. 人工光源補償

由於深海環境極度黑暗，系統必須配置 LED 照明模組(LED Module)，透過主動提供人工光源，載具才能克服環境限制，使光學感測器捕捉到目標物的色彩與細節。

2. 立體視覺擷取

載具前端搭載雙鏡頭相機(Dual-lens Camera)，類似人類雙眼，能透過視差計算目標的深度與距離。擷取到的資訊會轉化為主動光學感測數據(Active Optical Sensor Data)，供導航電腦即時處理。

3. 目標辨識與追蹤

此系統的核心任務是進行近距離目標辨識與追蹤(Close-range target identification and tracking)。相較於聲納影像，光學影像能提供更高的解析度，讓載具能精確鎖定如圖中的水下設施

(如浮標基座)，進行細部檢查或對接作業。

這種光學方案補足了聲學定位在極短距離下的盲點，是水下自動化作業中不可或缺的視覺感知技術。

蒐集大範圍水文資料，分析海水物理特性。

溫鹽深儀(Conductivity, Temperature, Depth, CTD)，測量海水電導率(用以換算鹽度)、溫度和壓力(用以換算深度)。

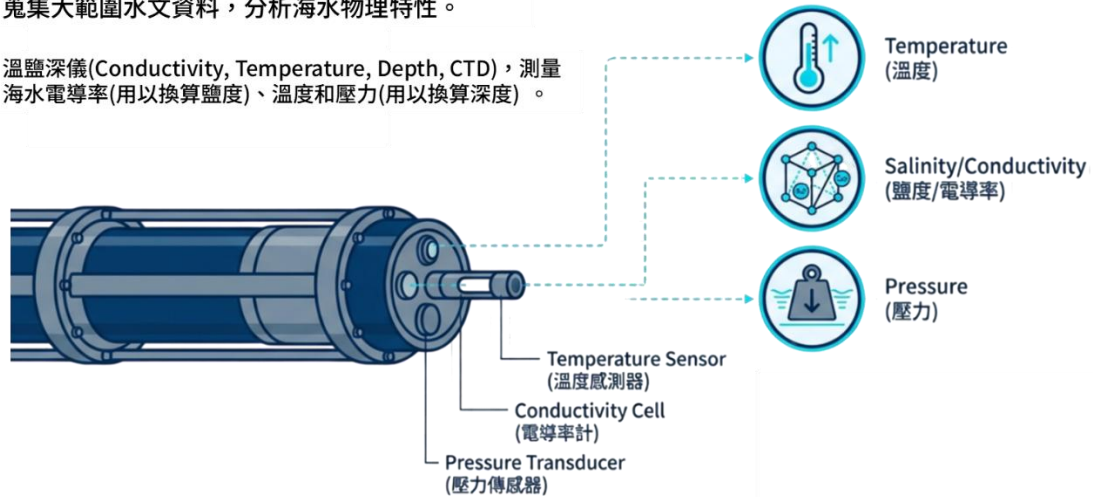


圖 20 水文感知(Hydrological Perception)示意圖

圖片展示溫鹽深儀(Conductivity, Temperature, Depth, CTD)組成，其主要功能是蒐集大範圍的水文資料(Hydrological Data) 並分析海水物理特性(Physical Properties of Seawater)。

該儀器整合了三種關鍵感測組件：

- 溫度感測器(Temperature Sensor)：精確測量海水的溫度(Temperature)。
- 電導率計(Conductivity Cell)：透過測量海水的電導率(Conductivity)，進而換算出鹽度(Salinity)。
- 壓力傳感器(Pressure Transducer)：感測環境壓力(Pressure)，並依此計算出載具所處的深度(Depth)。

透過 CTD 獲取的數據，研究人員能掌握海水的密度變化與聲速剖面，這對於校正水下聲學設備及海洋科學研究至關重要。

第七章：通訊、資料融合與任務設備

本章開篇探討了海陸介面中不同的通訊方式及其環境限制。說明了由於電磁波(如射頻或 Wi-Fi)在水中的穿透力極差且能量會被吸收反射, 因此水中傳導效率較高的「聲學」訊號成為了水下載具最主要的通訊手段。同時也提及水壓、溫度與鹽度等環境因素會限制傳輸的選項。

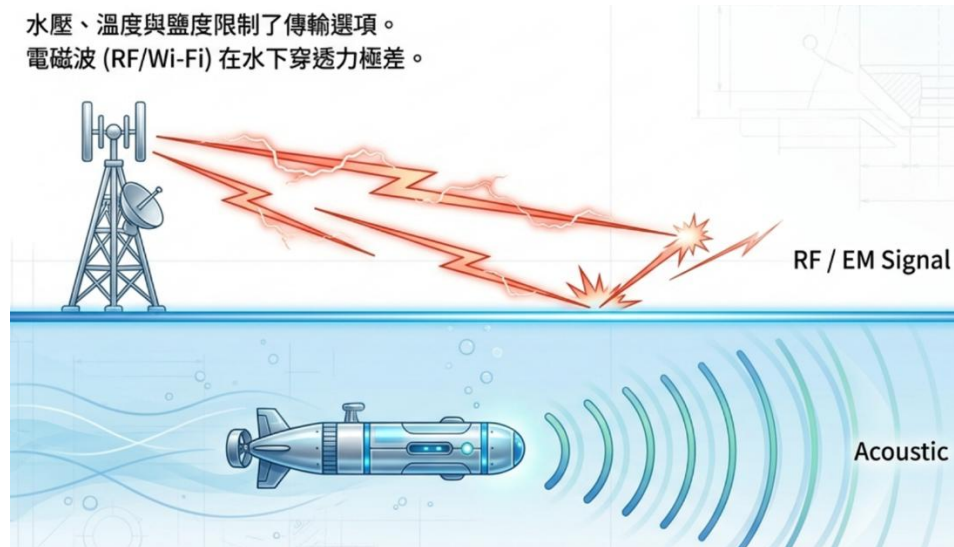


圖 21 通訊方式示意圖

這張圖片展示了海陸介面中不同的通訊方式(Communication Methods)及其環境限制, 由於電磁波(Electromagnetic Waves, EM Waves)(如: 射頻(Radio Frequency, RF) 或 Wi-Fi)在水中的穿透力(Penetration)極差, 能量會迅速被吸收或在水面反射, 因此無法支援深水傳輸。相對而言, 聲學(Acoustic)訊號在水中傳導效率較高, 是水下載具最主要的通訊手段。

此外, 水中的水壓(Water Pressure)、溫度(Temperature) 與鹽度(Salinity) 也會改變聲速與訊號品質, 進而限制傳輸選項。這說明了水下環境相較於大氣, 更依賴聲波而非無線電技術。

整合異質資訊，消除單一感測器的誤差(Error)與雜訊(Noise)，獲得更精確的狀態估算(State Estimation)。

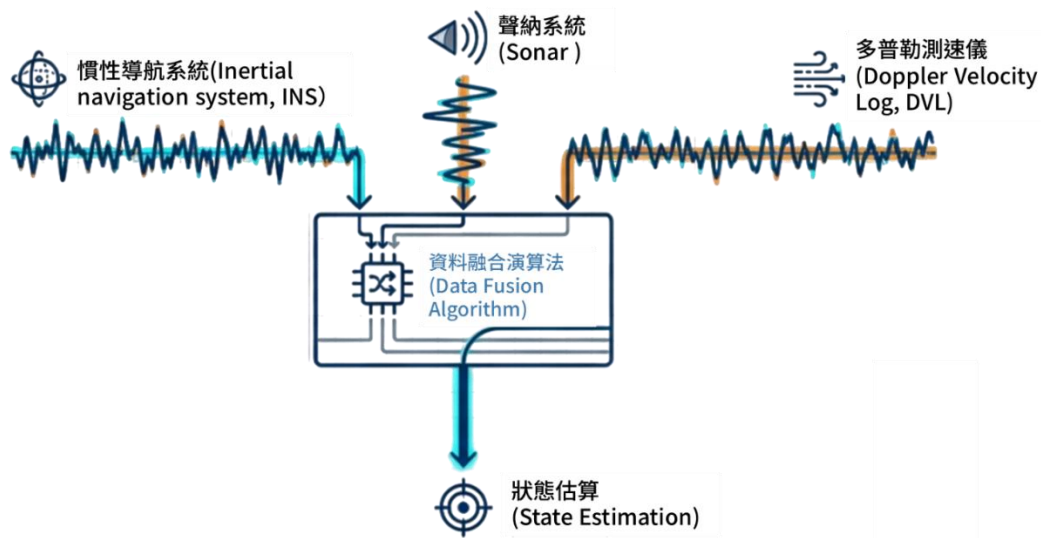


圖 22 資料融合(Data Fusion)示意圖

圖中呈現系統接收來自慣性導航系統(Inertial Navigation System, INS)、聲納系統(Sonar) 以及多普勒測速儀(Doppler Velocity Log, DVL) 的數據。由於單一感測器不可避免地會產生誤差(Error) 與雜訊(Noise)，透過資料融合演算法(Data Fusion Algorithm)(如卡爾曼濾波)，能有效交叉比對並補償各感測器的侷限性。

最終，系統能消除不確定性，獲得比單一感測器更精確且穩定的狀態估算(State Estimation)，確保載具在複雜水下環境中的定位與航行準確度。

整合異質資訊(Heterogeneous Information)，消除單一感測器的誤差(Error)與雜訊(Noise)，獲得更精確的狀態估算(State Estimation)。

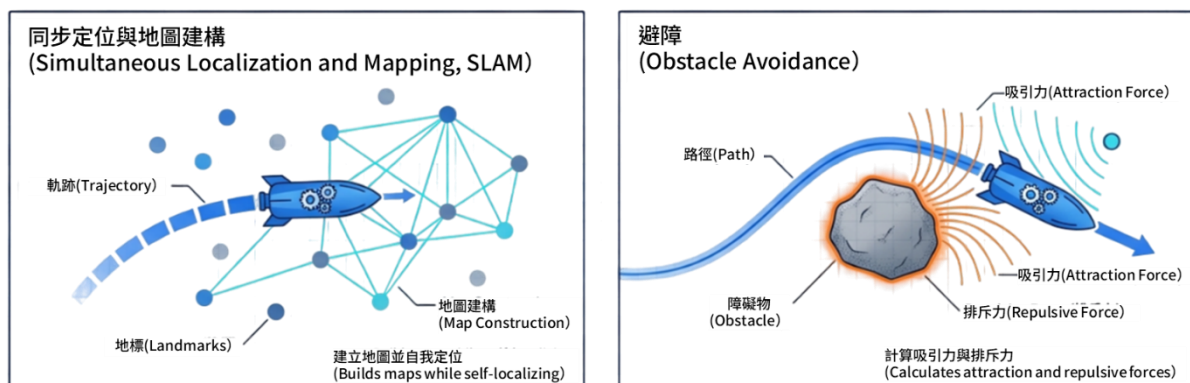


圖 23 定位與避障(SLAM & Avoidance)示意圖

圖中說明了水下自主導航的兩大核心技術：同步定位與地圖建構(Simultaneous Localization and Mapping, SLAM) 與避障(Obstacle Avoidance)。

- SLAM 技術：如圖左側所示，載具在未知環境中透過觀測地標(Landmarks)進行地圖建構(Map Construction)，同時推算自身的軌跡(Trajectory)，在沒有全球定位系統的情況下達成自我定位。

- 避障機制: 如圖右側所示, 系統透過計算目標點的吸引力(Attraction Force)與障礙物(Obstacle)的排斥力(Repulsive Force), 規劃出一條安全的航行路徑(Path)。

整項流程透過整合異質資訊(Heterogeneous Information), 有效消除單一感測器的誤差(Error) 與雜訊(Noise), 從而獲得精確的狀態估算(State Estimation)。



圖 24 任務設備(Mission Equipment)示意圖

圖中展示水下載具執行特定作業時所需的任務設備(Mission Equipment), 這些工具賦予了載具與物理環境互動、觀察及通訊的能力:

1. 機械手臂(Manipulator)

作為載具執行物理作業的核心, 機械手臂(Manipulator) 模擬人類手臂的功能, 主要用於海底物質的採樣(Sampling) 以及水下設施的維修(Maintenance)作業, 是工程與科研型任務的關鍵。

2. 水下攝影機(Camera)與 LED

負責作業過程中的影像捕捉(Image Capture)。由於深海環境極度黑暗, 攝影機通常與高亮度的 LED 照明 整合, 為系統提供清晰的視覺導引, 確保操作員或自動化演算法能準確辨識目標。

3. 繫纜(Tether)

這是水下遙控載具(Remotely Operated Vehicle, ROV)的專屬配置。這條纜繩連結水面船隻與載具, 負責穩定的電力(Power)供應與高頻寬的數據傳輸(Data Transmission), 確保遙控指令與視訊串流能即時傳遞。

透過這些設備的整合, 水下載具能突破環境限制, 完成高難度的深海勘查與維修任務。

附錄：無人水下載具產業中英文專業用語彙整表(Glossary)

產業用語	英文	中文	說明
Absolute Position	Absolute Position	絕對位置	航行器透過與海底應答器通訊所獲得的極高精度座標。
AC Motor	Alternating Current Motor	交流馬達	需要透過逆變器提供交流輸出才能驅動的馬達類型。
AC Output	Alternating Current Output	交流輸出	經過逆變器處理後，將直流轉換為供應馬達使用的交流電能。
Accelerometer	Accelerometer	加速度計	慣性測量單元中，專門用於測量線加速度的感測元件。
Acoustic Reflection	Acoustic Reflection	聲波反射	因光線無法穿透深海，利用聲波回彈來探測地形與目標的核心手段。
Action Execution	Action Execution	執行動作	控制流程的最終階段，將運算結果輸出以驅動實體推進器。
Aluminum Alloy	Aluminum Alloy	鋁合金	內部骨架所採用的輕量且抗腐蝕之材質。
A/D	Analog-to-Digital Conversion	模數轉換	將感測器的類比訊號轉換為導航電腦可識別的數位格式之過程。
Angular Velocity	Angular Velocity	角速度	由陀螺儀所測量，描述載具旋轉快慢的物理數據。
Attitude	Attitude	姿態	描述載具繞軸轉動的狀態，包含俯仰角、橫滾角與航向角。
AHRS	Attitude and Heading Reference System	航姿儀	即時監控並提供載具在三維空間中六自由度 (6DoF) 的姿態與直線位移資訊。
AUG	Autonomous Underwater Glider	自主式水下滑翔機	利用浮力引擎驅動，以鋸齒狀軌跡前進，具備極低耗能，適合長時程監測。
AUV	Autonomous Underwater Vehicle	自主式水下無人載具	採流線魚雷設計，內建電池與機載電腦，依賴 AI 自主

			執行巡航偵察。
Bow	Bow	艏部	載具前端，如同載具的眼耳，專責安裝感知感測器與攝影設備。
BLDC	Brushless DC Motor	無刷直流馬達	推進馬達的一種，以電子控制取代傳統機械碳刷，具備高效率與長壽命。
Calculation Info	Calculation Info	計算資訊	導航計算機最終輸出的精確姿態、速度與位置數據。
Coils	Coils	線圈	佈滿於馬達定子上，通電後會產生驅動轉子的電磁場。
Communication Hub	Communication Hub	通訊集線器	扮演整合載具內部組件與外部控制端的資料傳輸橋樑。
CTD	Conductivity, Temperature, Depth	溫鹽深儀	用於蒐集水文資料的儀器，可精確測量海水的溫度、電導率(換算鹽度)與壓力。
CPP	Controllable Pitch Propeller	變距螺旋槳	槳葉角度可依據航行需求進行調整的螺旋槳設計。
Conventional Propeller	Conventional Propeller	傳統螺旋槳式	主推進器的一種，依靠傳統螺旋槳葉片轉動產生推力。
Coordinate Transformation	Coordinate Transformation	座標轉換	導航運算中，將不同感測器數據轉換至統一座標系的過程。
Current Collector	Current Collector	集電板	燃料電池堆內部負責收集反應產生之電子的組件。
Data Fusion	Data Fusion	資料融合	演算法技術(如卡爾曼濾波)，透過交叉比對消除單一感測器的雜訊與誤差。
Data Input	Data Input	數據輸入	控制流程的初始階段，負責接收各項感測資訊與外部指令。
Data Transmission & Preprocessing	Data Transmission & Preprocessing	數據傳輸與預處理	將感測器數據進行濾波、補償及轉換為數位格式的處理階段。
DC Input	Direct Current Input	直流輸入	從電池輸出，進入直流轉直

			流轉換器或逆變器的原始直流電能。
DC Output	Direct Current Output	直流輸出	經過直流轉直流轉換器處理後，輸出給感測器使用的穩定直流電壓。
DC-DC Converter	DC-DC Converter	直流轉直流轉換器	將電池的直流輸入轉換為適當電壓的直流輸出，穩定供應給感測器與電子設備。
Depth Sensor	Depth Sensor	深度感測器	與壓力計結合，利用環境靜水壓力來即時回饋載具所處深度的元件。
Doppler Effect	Doppler Effect	多普勒效應	多普勒測速儀 (DVL) 用來測量速度的核心物理原理。
DVL	Doppler Velocity Log	多普勒測速儀	利用聲波多普勒效應測量頻移，精確計算出載具相對於海底的對地速度。
Ducted Thruster	Ducted Thruster	導管推進器	外部具有圓環導管保護槳葉，能增加低速推力的推進系統。
Encoder	Encoder	編碼器	安裝於馬達內部，負責即時提供精確的轉速與位置回饋數據。
Environmental Sensing	Environmental Sensing	環境感知	配置於艙部，依賴聲納與光學設備建構周遭水下環境的感測區塊。
Error Compensation	Error Compensation	誤差補償	針對感測器誤差進行即時修正，以確保計算準確性的步驟。
External Navigation Correction	External Navigation Correction	外部導航修正	透過應答器等外部資訊，修正慣性導航系統隨時間產生之累積誤差。
External Thrusters	External Thrusters	外掛式側向推進器	安裝於載具外部框架，維修較方便但會增加流體阻力。
Fairing	Fairing	整流罩	載具最外層的流線型外殼，主要功用為降低水下航行時的流體阻力。

FOV	Field of View	視野	前視聲納 (FLS) 向前方扇形區域掃描時的特定探測範圍。
Filtering	Filtering	濾波	在數據預處理階段，用以消除雜訊並淨化訊號的過程。
FPP	Fixed Pitch Propeller	定距螺旋槳	槳葉角度固定的傳統螺旋槳設計。
Flow Plate	Flow Plate	導流板	燃料電池堆內部負責引導流體進行反應的組件。
FLS	Forward Looking Sonar	前視聲納	向前方扇形區域掃描，用於前方目標探測與即時避障。
Frequency Shift	Frequency Shift	頻移	發射與接收聲波之間的頻率差異，DVL 依此計算對地速度。
Fuel Cell Stack	Fuel Cell Stack	燃料電池堆	氫燃料電池的核心解剖構造，內部進行化學反應以產生電力。
Fuzzy Logic Controller	Fuzzy Logic Controller	模糊控制器	採用非線性導控演算法，精確計算出適當舵角與推進功率的控制單元。
Ground Speed	Ground Speed	對地速度	載具相對於海底的實際移動速度。
Gyroscopes	Gyroscopes	陀螺儀	慣性測量單元中，專門用於測量角速度的關鍵感測器。
Heave	Heave	起伏	載具沿著上下軸 (Z 軸) 進行的上下垂直位移。
HPR	Hydroacoustic Positioning Reference	水聲定位系統	整合超短基線與長基線等技術，提供外部導航修正的聲學系統。
Hydrogen Fuel Cell	Hydrogen Fuel Cell	氫燃料電池	一種動力來源，氫氣經由膜電極組等組件進行化學反應後產生電力輸出。
Hydrological Perception	Hydrological Perception	水文感知	蒐集大範圍水文資料並分析海水物理特性的過程。
Hydrostatic	Hydrostatic Pressure	靜水壓力	水中隨深度增加而改變的壓

Pressure			力值，是推算載具深度的物理依據。
IPC	Industrial Personal Computer	工業電腦	整合於機載電腦內，負責處理龐大感測數據與高階決策的硬體。
IMU	Inertial Measurement Unit	慣性測量單元	慣性導航系統的核心感測層，內部包含陀螺儀與加速度計。
INS	Inertial Navigation System	慣性導航系統	整合陀螺儀與加速度計，透過積分運算與誤差補償來輸出位置、速度與姿態。
Integration	Integration	積分	導航算法中，用於處理加速度等感測數據以推算狀態的數學運算。
Inverter	Inverter	逆變器	將電池直流電轉換成交流輸出，用以驅動需要交流電的馬達。
Jet Thrusters	Jet Thrusters	噴射式側向推進器	從船底吸入水流再由側邊噴出，適用於精密姿態控制。
Landmarks	Landmarks	地標	載具在未知環境中進行同步定位與地圖建構時所依賴的觀測參考點。
Lateral Thruster	Lateral Thruster	側向推進器	負責提供橫向推力，輔助多軸移動的推進模組。
Li-ion Battery	Li-ion Battery	鋰電池	密封電池中最常見的高能量密度電池方案。
Linear Acceleration	Linear Acceleration	線加速度	由加速度計所測量，描述載具直線加速狀態的物理數據。
LBL	Long Baseline	長基線系統	於海底佈署應答器陣列，透過三邊測量原理讓水下航行器獲得高精度絕對位置。
Magnesium-seawater Battery	Magnesium-seawater Battery	鎂海水電池	利用海水作為電解液來進行化學反應並產生電能的特殊電池。
Main Thruster	Main Thruster	主推進器	配置於尾部，主要負責提供載具前進動力的推進種

			類。
Manipulator	Manipulator	機械手臂	模擬人類手臂功能，用以執行海底物質採樣與水下設施維修等物理作業的設備。
Map Construction	Map Construction	地圖建構	SLAM 技術中，載具透過觀測地標來建立周遭環境地圖的過程。
MEA	Membrane Electrode Assembly	膜電極組	燃料電池堆內部，氫氣輸入後進行化學反應的關鍵零組件。
MCU	Microcontroller Unit	微控制器單元	負責底層控制，接收數據並確實執行由機載電腦下達的各項具體硬體動作。
Mission Equipment	Mission Equipment	任務設備	如機械手臂、攝影機或繫纜等，賦予載具執行專業作業能力的配備。
MBES	Multibeam Echosounder	多波束探深儀	發射多個扇形聲波束，精確測量水深並產出大範圍的三維地形高度模型。
Navigation & Positioning	Navigation & Positioning	導航與定位	配置於中後段的感測區塊，是維持航向與精確座標的關鍵。
Navigation Algorithms	Navigation Algorithms	導航算法	對數據進行積分與座標轉換的核心計算程序。
Nuclear Power Plant	Nuclear Power Plant	核動力裝置	能提供極高能量與超長續航力的能源裝置。
Obstacle Avoidance	Obstacle Avoidance	避障機制	系統計算目標點吸引力與障礙物排斥力，從而規劃出安全航行路徑的機制。
Onboard Computer	Onboard Computer	機載電腦	系統的「大腦」，負責處理傳感器數據並進行高階任務決策。
Optical Imaging System	Optical Imaging System	光學影像系統	在深海光線稀缺時，達成近距精準目標判別的視覺網路。
Parallel Middle Body	Parallel Middle Body	平行中段	載具核心艙間，負責容納電池、控制器及電子設備。
Periodic	Periodic	週期性指令	自主式水下滑翔機 (AUG)

			在長時程監測任務中依賴的控制運作模式。
Permanent Magnets	Permanent Magnets	永久磁鐵	構成無刷馬達轉子的材質，負責與定子產生磁力交互作用。
Phase Difference	Phase Difference	相位差	超短基線系統中，透過測量聲波到達探頭間的差異來計算目標距離。
Pitch	Pitch	俯仰角 / 縱搖	繞著左右軸 (Y 軸) 旋轉，描述載具車頭或機首抬高與下壓的動作。
Power Output	Power Output	電力輸出	氫氣在燃料電池堆經過一連串反應後最終產生的電能。
Pressure Hull	Pressure Hull	耐壓殼體	具備「絕對水密」特性的內部圓筒艙體，用以抵禦深海高壓並保護電子儀器。
Propeller	Propeller	螺旋槳	由推進馬達驅動，負責將旋轉動能轉化為前進推力的組件。
Propulsion Motor	Propulsion Motor	推進馬達	載具尾部動力系統的核心組件，通常採用無刷直流設計。
Raw Data	Raw Data	原始數據	由各項感測器初步輸出，尚未經過處理的訊號。
Received Frequency	Received Frequency	接收頻率	多普勒測速儀接收到從海底回傳的聲波頻率。
ROV	Remotely Operated Vehicle	遙控式水下無人載具	依賴繫纜供電並由人工即時遙控的載具，適合定點精細維修與作業。
Research Vessel	Research Vessel	工作母船	與遙控式水下載具 (ROV) 透過繫纜相連，提供電力與數據交換的水面船隻。
Rim-driven / Hubless Thruster	Rim-driven / Hubless Thruster	無軸環形推進器	馬達整合於導管且無中心軸，具備低噪音與低纏繞風險。
Roll	Roll	橫滾角 / 翻滾	繞著前後軸 (X 軸) 旋轉，描述載具左右傾斜的狀

			態 。
Rotor	Rotor	轉子	馬達中心由永久磁鐵構成，受磁力交互作用而旋轉的部件 。
RPM Feedback	Revolutions Per Minute Feedback	轉速回饋	編碼器所提供的精準數據，用於實現高精度系統控制 。
Rudder	Rudder	舵	常採十字配置於尾部，配合推進器控制航向與轉向 。
Scouting	Scouting	快速巡航偵察	AUV 藉由內建電池與 AI 控制，專精執行的大範圍探測任務 。
Seabed Mapping	Seabed Mapping	海床地形描繪	側掃聲納 (SSS) 向兩側發射聲波，產生高解析影像的主要用途 。
Seabed Transponder	Seabed Transponder	海底應答器	佈署於海底以組成陣列，為載具提供固定座標的聲波通訊設備 。
Sealed Batteries	Sealed Batteries	密封電池	目前最普遍且技術成熟的儲能方式，如鋰電池 。
Sensors/Electronics	Sensors/Electronics	感測器/電子設備	仰賴轉換器提供精確直流輸出來維持運作的精密設備 。
Shell	Shell	外殼	馬達的最外層結構，提供內部精密元件物理防護 。
SSS	Side-Scan Sonar	側掃聲納	向兩側發射聲波，產生類似照片的高解析度影像，用於海床地形描繪與目標辨識 。
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping	同步定位與地圖建構	載具在未知環境中觀測地標以建構地圖，並同時推算自身軌跡來達成自我定位。
6DoF	Six Degrees of Freedom	六自由度	描述載具在三維空間中包含旋轉與直線運動的完整姿態狀態 。
Skeletal Frame	Skeletal Frame	骨架	採用輕量抗腐鋁合金製成的內部環狀支撐結構，負責承載模組並維持剛性 。

Stator	Stator	定子	無刷馬達內部靜止的部件，佈滿線圈以產生電磁場。
Stern	Stern	艉部	載具後方，主要配置推進動力與轉向機構以提供動能。
Strategic Application	Strategic Application	戰略級應用	核動力裝置專門針對的軍事或國家級特殊任務需求。
Surge	Surge	縱移	載具沿著前後軸 (X 軸) 進行的前後直線移動。
Sway	Sway	橫移	載具沿著左右軸 (Y 軸) 進行的左右直線移動。
Target Detection	Target Detection	目標探測	前視聲納用於發現前方障礙物以確保航行安全的功能。
Target Identification	Target Identification	目標辨識	利用聲納影像識別沉船、管線或特殊水下結構的過程。
Temperature Sensor	Temperature Sensor	溫度感測器	溫鹽深儀 (CTD) 的元件之一，用於精確測量海水溫度。
Tether / Umbilical Cable	Tether / Umbilical Cable	繫纜	連結 ROV 與水面船隻的纜線，負責提供穩定的電力供應與高頻寬數據傳輸。
Thruster	Thruster	推進器	安裝於載具尾部或側邊，負責產生前進推力與輔助多軸移動的動力來源。
Torpedo-shaped	Torpedo-shaped	流線型魚雷狀	自主式水下無人載具 (AUV) 的外觀設計，有效降低流體阻力。
Transmitted Frequency	Transmitted Frequency	發射頻率	多普勒測速儀向海底發射出去的初始聲波頻率。
Tunnel Thrusters	Tunnel Thrusters	貫穿式隧道推進器	隱藏於殼體內部的橫向隧道設計，可大幅減少水阻。
USBL	Ultrashort Baseline	超短基線系統	安裝於水面船隻，透過測量水下目標發出的聲波到達探頭間的相位差來定位。
UUV	Unmanned Underwater Vehicle	無人水下載具	泛指不需搭載操作人員，能在水下環境執行任務的自動

			化載具。
Vectored Thruster	Vectored Thruster	向量推進器	角度可調整，能同時控制前進、後退與轉向的靈活推進器。
Voltage Conversion Module	Voltage Conversion Module	電壓轉換模組	接收電池能源，進行集中調配與管理的核心電力模組。
Water Jet	Water Jet	噴水推進器	透過內部泵浦噴水產生推力，適合淺水且能防止異物纏繞。
Wide-area Bathymetry	Wide-area Bathymetry	大範圍海底測繪	多波束探深儀 (MBES) 發射多個扇形聲波束執行的主要任務。
Yaw / Heading	Yaw / Heading	航向角 / 偏行	繞著上下軸 (Z 軸) 旋轉，決定載具行進的方位。