

主軸5-1

水下無人載具人工智慧系統關鍵技術研發

計畫主持人：王朝欽 教授 計畫共同主持人：王兆璋、李宗璘、李博明、周佑誠、陳信宏、邱永盛、陳坤志、葉家宏、彭昭暉、沈聖智、王舜民
 執行單位：國立中山大學、國立成功大學、國立台灣師範大學、南臺科技大學

全期計畫介紹

台灣目前推動中的多項與能源相關經濟建設與學術發展都需要在不同海洋環境與深度條件下施工運作，而執行這些工作，自主式無人載具 (Autonomous Underwater Vehicle, AUV) 為重要性的技術之一。本整合型計畫「水下無人載具人工智慧系統關鍵技術研發」將依目前國內能掌握的技術強項，建置在現有之AUV 雛型系統上，更重要的是藉由加入人工智慧 (AI) 與深度學習 (deep learning) 之技術，將通訊技術、半導體、嵌入式系統等導入海洋與水下科技工程利基市場，讓台灣在海洋科技產業有獨立自主之技術根基。

全期計畫總體目標

本計畫的總體目標為在計畫時間內完成一個具有人工智慧之自主式無人載具(AUV)，並以此載具作為各子計畫系統之測試平台，測試的系統包含：應用於物件偵測之低功耗高效能神經網路硬體加速器、3D建模之水下資料庫建立、電池電源監控技術與無線電力傳輸、水下無人載具避障、導航及跟蹤控制技術、水下定位、人工智慧聲納海底底質分析技術、水下物件偵測網路、陸上影像除霧網路、水下影像除霧網路、水下影像色彩還原網路、水下物種細部分類網路、水下光學特徵演算法以及LED智慧光色補償照明技術。將以上系統掛載至AUV上，進行實際海洋環境驗證整合系統穩定性能。

全期計畫成果亮點

本計畫的全期成果亮點關鍵技術包含：應用於物件偵測之低功耗高效能神經網路硬體加速器、基於模擬器模仿學習之AUV多代理控制系統導航技術、低複雜度頻率域人工智慧聲納海底底質分析系統晶片、水下人工智慧影像辨識與重建網路，以及LED智能光色補償照明系統。本計畫於2021年10/20~10/23以及11/23~11/26將以上系統掛載至AUV上，運送至小琉球外海處進行各系統的實海域性能測試，經驗證後確認各子計畫系統的性能良好，以及運作功能皆正常。



總計畫與子計畫一：水下無人載具人工智慧系統關鍵技術研發 (2/2)

子計畫四：水下人工智慧影像辨識與重建 (2/2)

總計畫暨子計畫一之研究內容包含AI硬體平台架構、開發水下物種資料庫，並藉由FPGA開發版的功能實現，利用其來開發水下AI辨識晶片。AI晶片的部分，使用ZCU102 FPGA開發板及其套件做為AI加速器的核心，在ZCU102 FPGA開發板內加入硬體加速電路，並且開發配套的嵌入式軟/硬體，進而架構一個邊緣運算之AI系統。開發水下物種資料庫的部分，目前已完成20種物種的水下資料庫建置，包括：魚、海龜、水母、潛水員、魷魚、獅子魚、鯊魚、石頭、漁網、海草、海參、玻璃瓶、寶特瓶、輪胎、珊瑚、章魚、烏賊、蝦子、海馬、海星。

子計畫四以水下無人載具之技術需求，開發多種具有前瞻性之水下影像AI演算法，透過AI混合式物件偵測網路、水下影像除霧與非監督式學習之水下影像強化等前導架構進行整合優化，達成水下快速物種細部分類與水下影像強化與霧氣消除效果，以發展出適用於各種水下環境之水下人工智慧影像強化與辨識系統，可因應未來水下無人載具之需求。

應用於物件偵測之低功耗高效能神經網路硬體加速器

ADVANTEST V3300 PS1600 自動測試系統

晶片封裝圖

晶片量測變形

應用於物件偵測之低功耗高效能神經網路硬體加速器

AI水下物種辨識系統架構

水下圖像失真校正與國際論文比較

Original Image UW-HL [1] WGAN [2] UGAN [3] UW-WCT [4] FUnE-GAN [5] Proposed

量化數據

	UW-HL [1]	WGAN [2]	UGAN [3]	UW-WCT [4]	FUnE-GAN [5]	Proposed
PCQI	0.9076	0.8345	0.9412	0.8813	0.8769	0.9721
UCIQE	0.5925	0.5473	0.5869	0.5625	0.5132	0.8012
UIQM	3.4781	3.5265	4.3988	4.3232	4.1235	4.5433

20種水下物件偵測

	mAP	FPS	MACs	Parameter
Proposed	82.2%	20~23	0.73 G	3.19 M
HardNet-39DS	81.3%	13~15	4.49 G	9.62 M

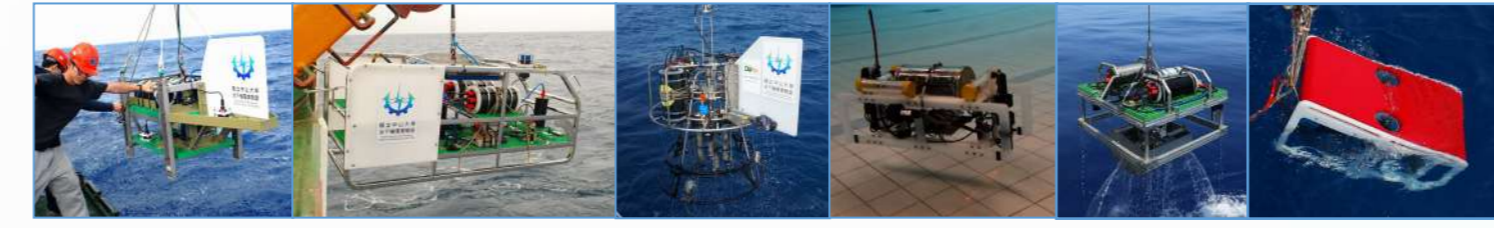
偵測物種種類20種，測試平台Jetson NX, CPU: Quad-core ARM A57, RAM: 4GB, GPU: NVIDIA Maxwell

Glass bottle, PET bottle, Coral, Diver, Jellyfish, Tire

子計畫二：基於模擬器模仿學習之AUV多代理控制系統導航技術開發 (2/2)

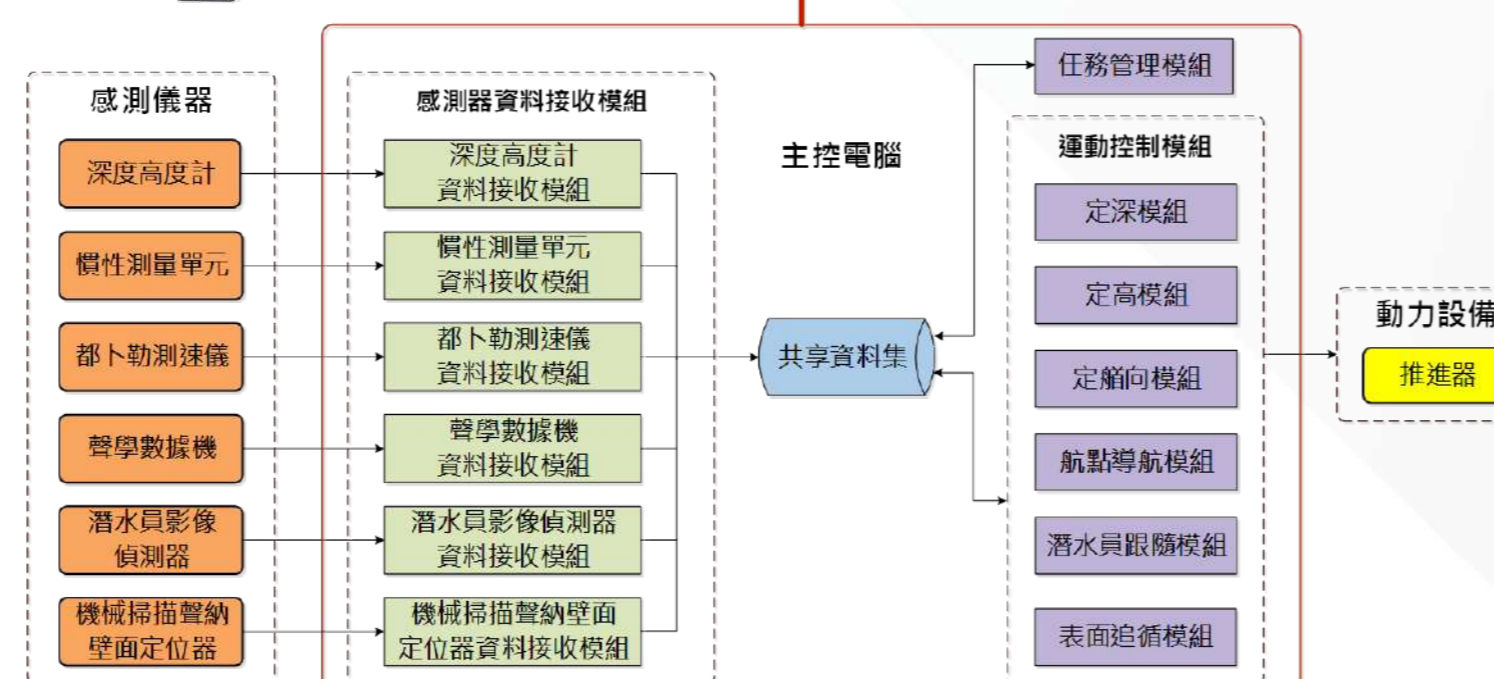
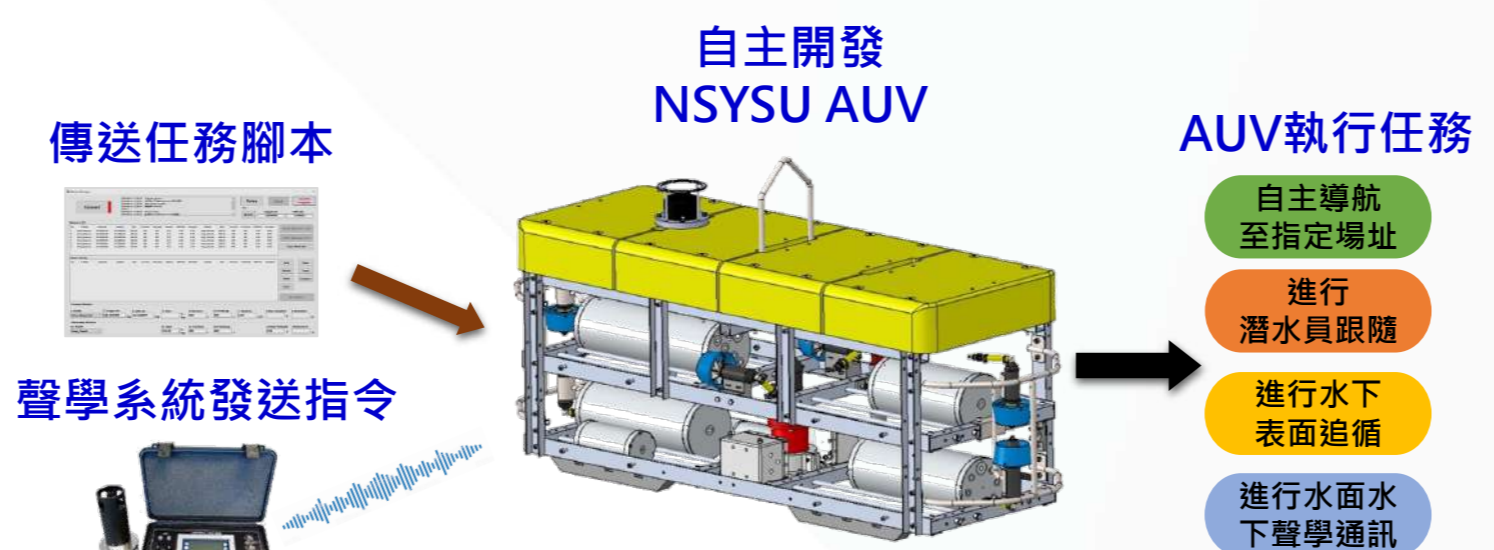
子計畫三：AUV定位系統整合與定位資料融合技術研發 (2/2)

中山大學具備豐富水下載具開發經驗，並累積實地海洋作業經驗。在射月計畫支持下，進一步開發具AI能力的自主式水下載具 (Autonomous Underwater Vehicle, AUV)。



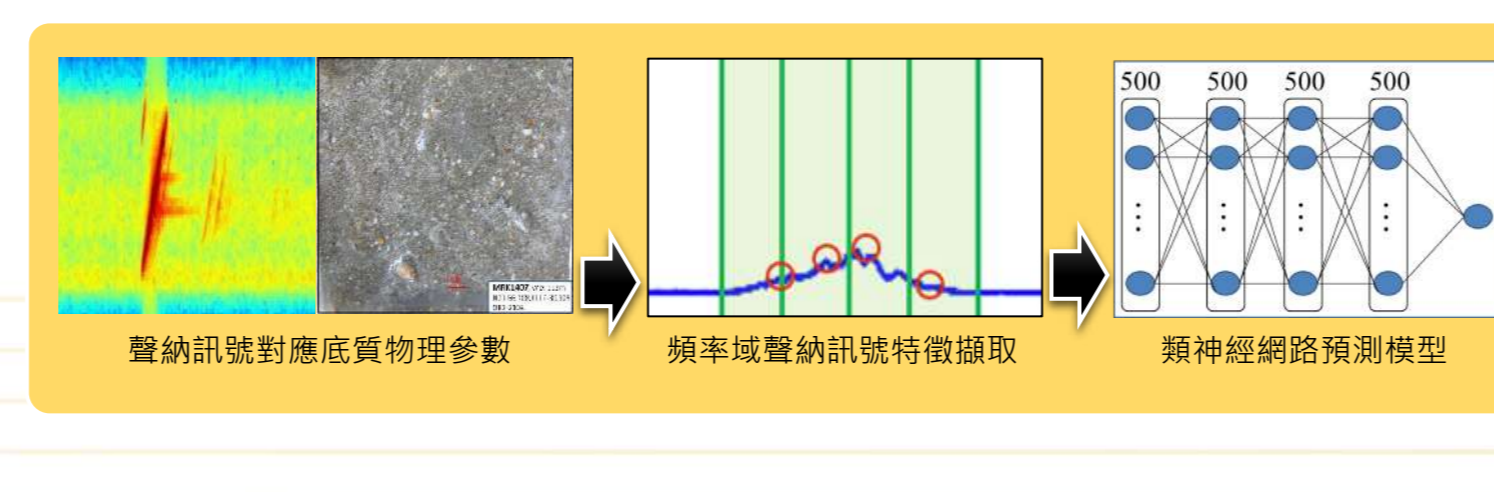
子計畫二全期 (107年/5月-111年/4月) 成果包括：(1)開發AUV硬體迴路模擬平台；(2)整合聲學數據機與AUV以及制訂水面水下通訊協定；(3)於封閉水域驗證AUV基本任務執行功能；(4)於封閉水域驗證基於光學影像與人工神經網路之AUV潛水員追隨功能；(5)於封閉水域驗證基於兩側向單點測距儀之AUV避障導航功能；(6)於封閉水域驗證基於兩側向單點測距儀之AUV池壁追隨功能；(7)於封閉水域驗證基於機械掃描影像聲納之AUV池壁追隨功能；(8)於安平港港灣進行AUV近水面航點導航功能之驗證評估；(9)於小琉球開放海域進行AUV定深與定向航行功能之驗證評估。

子計畫三全期 (107年/5月-111年/4月) 成果包括：(1)完成AUV載具系統設計加工組裝及水下功能測試；(2)AUV定位資料融合演算開發；(3)小型陣列式海底探測系統與人工智慧聲納地質分析；(4)整合水下定位資料融合演算於AUV主控程式，並於封閉水域進行定位性能測試與驗證評估；(5)發展低複雜度頻率域人工智慧聲納地質分析系統，減少水中聲訊號於地質分析中所需使用之特徵，以降低儲存空間及運算時間，並進行AI晶片之實作與下線；(6)建構具備4通道陣列式接收聲納之自主式主動聲納硬體，建立海底地質聲學模式與精進海底底質參數反算模式，並開發被動聲納聽音辨位偵測技術。



建立平價感測器之可靠且高精度的水下定位資料融合技術，性能指標將相較於原本使用單一-DVL的定位精度性能提升50%。

完成我國第一套人工智慧聲納地質分析系統晶片之硬體設計，達成低耗能及運算完整處理功能，透過聲納、晶片神經網路技術，以及類神經網路處理器，實現海底地質AI分析系統。



AUV水下實驗：台南安平港、成大拖船池

【安平港港灣海域AUV航點導航實驗】

【封閉水域AUV潛水員跟蹤實驗】

	航點距離	平均距離	跟蹤距離
Detected	663	559	547
TP	663	555	507
FP	10	24	40
Precision	98.49%	95.71%	92.69%

【封閉水域AUV定深距離池壁追隨實驗】

【封閉水域AUV避障導航實驗】

【小琉球開放海域AUV定深與定向航行實驗】

水下定位資料融合(EKF)與DVL性能比較

	Average	Max	σ
Position Error	333.1 m	717.8 m	270.3 m
DVL	3.41%	7.81%	2.94%
EKF	17.0 m	70.4 m	12.0 m
	0.18%	0.77%	0.13%

* Travelled distance 9,189 m

低複雜度頻率域人工智慧聲納海底底質分析系統

建置完整水下接收聲納系統，並用以取得聲學資料，透過低複雜度頻率域人工智慧聲納地質分析系統反推海底材質，包含孔隙率、滲水率、統體密度與平均粒徑等參數。

小型陣列式海底探測系統整合

南海收集聲納與地質資料

小型海底材質探測系統測試

側掃聲納於實海域實現水下建圖(鼓山漁港)

將側掃聲納掛置於ASV上收集聲納影像資料

側掃聲納影像建圖結果與地圖結合

側掃聲納影像建圖結果

Process	T40G
Area	1.265mm ²
Gate Count	155010
Power	25.262 mW
Frequency	100 MHz
Pin Count	68

子計畫五：基於深度學習感知融合之水下SLAM與AUV設備監診系統 (2/2)

子計畫六：AUV LED智能光色補償照明系統之研發 (2/2)

子計畫五之研究為水下推進器之故障診斷，當載具長時間航行時，推進器之傳葉將因長時間旋轉而逐漸產生疲勞損壞、表面破損或是水中生物附著等問題，皆會對載台本身造成危害，增加航行阻力。霍爾元件可收集推進器電流訊號，水聽器可收集水中聲音，當故障出現時，電流以及聲音訊號將會出現一些特徵，透過收集大量健康及異常狀態下之資料建立資料庫，並用以訓練神經網路模型，可實現基於AI之水下推進器故障診斷模型。

子計畫六整合多色LED光源、水下光衰模型及光色補償方法建構水下LED色彩補償照明燈具，其僅需光源與目標物的水平距離即可補償光色損失之能量。本研究也透過Color Checker色卡檢視LED色彩補償照明對於水下目標物色彩的還原能力。由水下實驗證實，在距離目標物5公尺處，LED光色補償燈具與傳統潛水燈具(LED白光)相較，對紅色識別能力提升41.2%；對黃色識別能力提升43.3%；對綠色識別能力提升20.7%；對藍色識別能力提升37.9%。LED光色補償照明系統可提供AUV基礎白光探照光源外，也能即時給予影像色彩補償的功能，使自主巡航無人載具具備優秀的彩色視覺功能，提高其在水下物件的識別、探測與觀測之能力。

推進器傳葉故障診斷神經網路模型及正確率

Current (12800,6400,1)

Sound (12800,6400,1)

Accuracy: 99.88%

Legend: CNN+Maxpooling, Global Average Pooling, Batch Normalization, Dropout, Dense, Result

推進器傳葉故障診斷資料收集(高雄蓮池潭)

Raw data (LD signal)

Image (2D signal)

Deep Convolution Neural Network

Classification Result

Feature Learned by DCNN

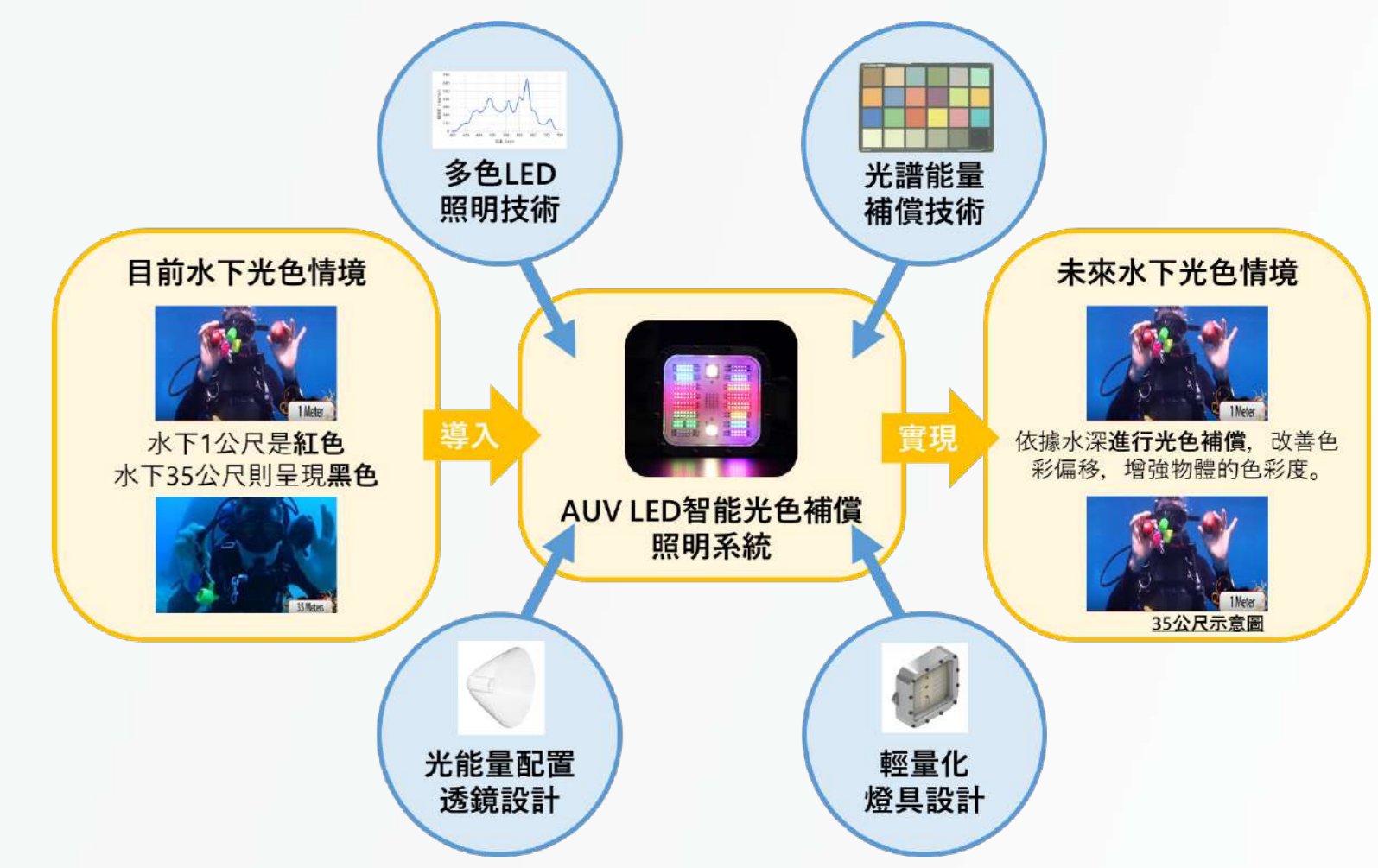
Propeller Condition	Swimming pool				Lake					
	Healthy	Half-broken	Fully broken	Silicon	Average	Healthy	Half-broken	Fully broken	Silicon	Average
Current signal	96.38%	93.88%	94.88%	95.38%	95.13%	99.38%	98.13%	97.50%	100%	98.75%
Sound signal	95.75%	96.38%	96.88%	99.25%	97.07%	84.38%	68.75%	64.38%	74.38%	72.97%
Merging of two signals	100%	100%	97.13%	100%	99.28%	100%	98.13%	100%	99.38%	99.38%

側掃聲納於實海域實現水下建圖(鼓山漁港)

將側掃聲納掛置於ASV上收集聲納影像資料

側掃聲納影像建圖結果與地圖結合

側掃聲納影像建圖結果



光源

燈色達16種，並提高黃、綠、藍光比例，補償範圍提供更接近全光譜的補償效果。

功率

COB太陽光譜的白光晶片具備50W的照明功率，大幅提升水下探照能力。

光譜圖表

色彩補償效果

紅色：5公尺處，還原率達41.2%

黃色：5公尺處，還原率達43.3%

綠色：5公尺處，還原率達20.7%

藍色：5公尺處，還原率達37.9%

拖航水槽測試

標準色彩比對

即時計算色差值

智慧補償燈具透過即時分析色卡色差值(ΔE)，計算補償差並回饋至補償演算法，調整燈具各光色LED的輸出功率，以提升色彩補償效果。