

海上智慧載具海氣象觀測系統開發之研究

陳盈智¹、林演斌¹、董東璟^{1,2}、盧鴻源³、李旭成⁴、許家誠⁵

¹國立成功大學近海水文中心

²國立成功大學水利及海洋工程學系

³財團法人船舶暨海洋產業研發中心






⁴梭易科海洋應用方案股份有限公司

⁵交通部中央氣象署

研究背景

海上無人載具海氣象觀測

- 具有機動性 → 可進行時間空間上海氣象資料蒐集
- 自動航行與資料蒐集 → 可全天候24小時作業
- 無人 → 可在極端海氣象下執行觀測任務

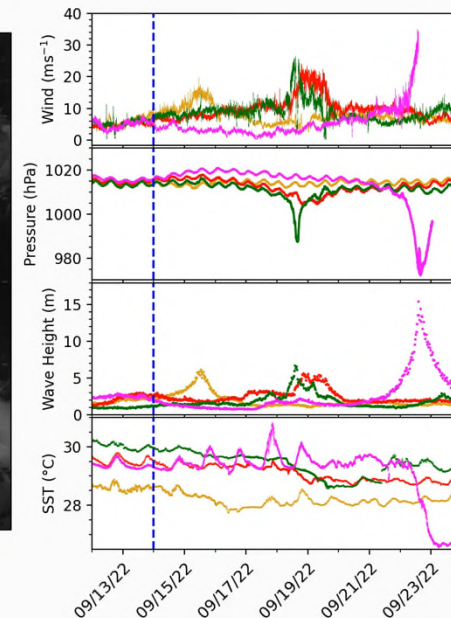
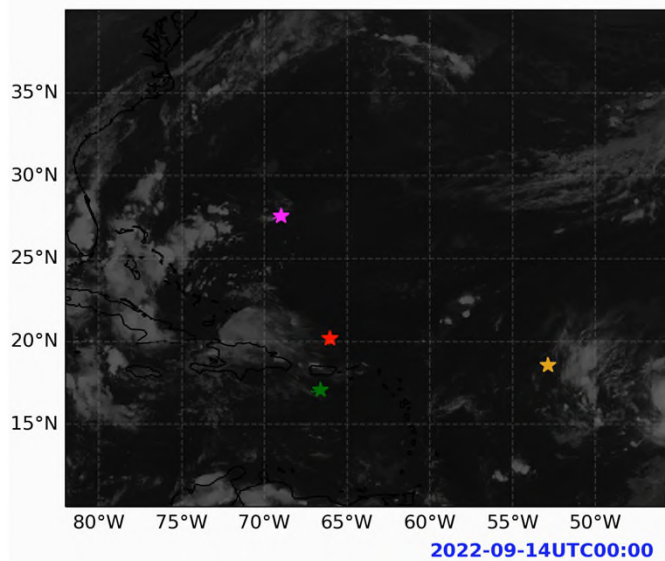
船名	Saildrone	Drix	Sounder	Manta T12	Maxlimer
照片					
承造廠商	Saildrone	iXblue	Kongsberg	Maritime Tactical Systems	SEA-KIT
尺寸長/寬	長:7M	長:7.7M 寬:0.82M	長:8M 寬:2.2M	長:3.6M 寬:0.92M	長:11.75M 寬:2.2M
輕船排水量	750 公斤	1.38 公噸	4.2 公噸	118kg	12 公噸
船型	單體船	單體船	單體船	雙體船型	單體船型
材質	碳纖維	碳纖維	玻璃纖維	加固碳纖維	鋁合金
功能	海洋觀測船	海洋觀測船	海洋觀測船	海洋觀測船	海洋觀測船
海象觀測及調研項目	海洋資料監測、海底地形測繪、海底魚類生態系統調查	海圖海底測繪、航道和港口調查、海床棲息地分類	海底地形調查、溫度、鹽度、魚群偵測	氣象儀、波高計、流速計、導電、溫度、深度	海底地形探勘、溫度、鹽度、海上水流流速

(調查海上智慧載具觀測之可行性，中央氣象署，2023)

Saildrone — 美國太平洋海洋環境實驗室(PMEL)



大西洋颶風監測任務



研究目的

建置一套海上智慧載具觀測系統整合與技術研究，並初步測試其可以並透過實測作業進行初步驗證，期望研究為未來建置智慧載具海氣象觀測任務的基礎。

觀測項目：

- 波浪 (波高、週期、波向、波譜)
- 流速、流向 (剖面)
- 水溫
- 風速、風向、氣壓、氣溫

海氣象觀測儀器整合控制系統開發

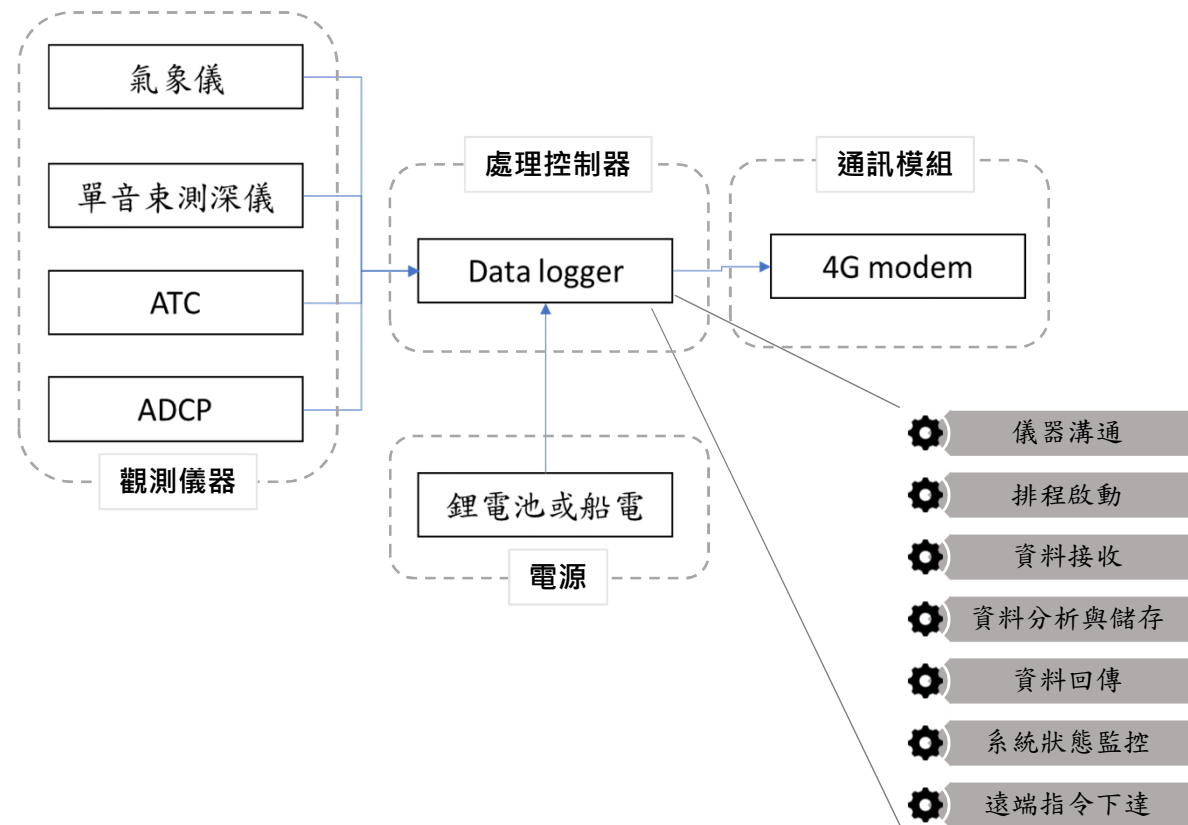
□ 控制系統開發

- 整合適用於智慧載具上之海氣象觀測儀器
- 具備與儀器溝通、資料接收、資料分析、資料回傳、系統狀態監控和遠端下指令等功能。

□ 資料分析方法建立

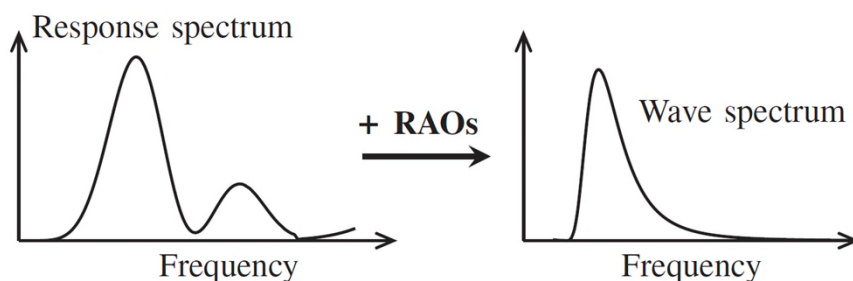
- 波浪分析方法
- 海流和風修正方法

系統設計圖



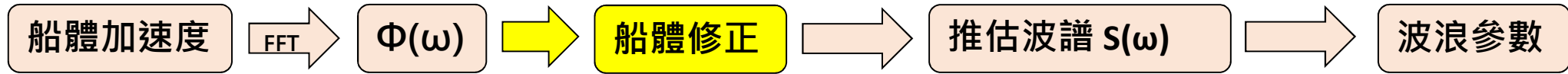
從加速度資料推算波浪

No	方法	概念	相關文獻
1	概估法	從船姿與加速度之變化量，對照實驗結果進行海況推估	Bjerregard (2014)
2	參數化法 (RAO-頻率域修正)	從船姿與加速度分析計算頻譜，並以RAO進行修正產出波譜	Tannuri et al., (2003)、 Montazeri et al., (2016)、 Neilsen et al., (2016)
3	時序列法 (RAO-時間域修正)	從船姿與加速度搭配RAO進行分析，產出水位時序列	Mogser (2019)、Pascoal and Soares (2009)



本計畫採用最常使用的**參數化法**建立智慧載具波浪分析模組的理論基礎

波浪分析流程



$$\phi_{mn}(\omega) = \int RAO_m(\omega, \theta) RAO_n^*(\omega, \theta) S(\omega, \theta) d\theta$$

船體交錯譜 轉換函數 波譜

Tannuri et al. (2003) 提出用參數譜進行近似

$$S(\omega, \theta) = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^2 \left[\frac{5}{4} \omega_{pi}^4 \frac{Hs_i^2}{\omega^5} A(s_i) \cos^{2s_i} \left(\frac{\theta - \theta_{mi}}{2} \right) \exp \left[-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega_{pi}}{\omega} \right)^4 \right] \right]$$

以最小平方求解船體反應估算譜和波浪波譜

$$E(x) = \sqrt{\sum_{m,n} \sum_{j=0}^{j-1} [\phi_{mn}(\omega_j) - \hat{\phi}_{mn}(\omega_j)]^2}$$

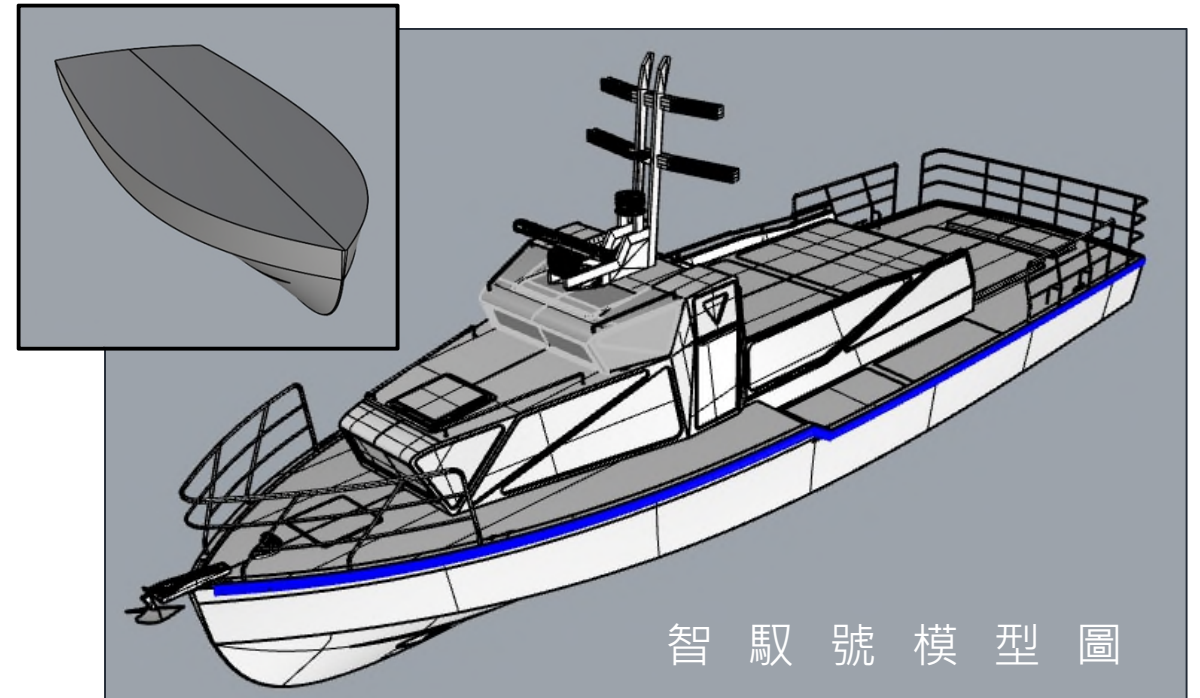
智馭號RAOs產出

- RAOs(Response Amplitude Operators) 代表**浮體的運動響應振幅**與**入射規則波的振幅**之比，RAOs用來描述波浪與船體運動的反應量。
- 通常由Navier-Stokes方程式建構的CFD模式進行估算。
- 本研究採用流體力學套裝軟體ANSYS/AQWA進行分析
- 考量方法解算的效率與準度，初步規畫產出RAOs包含3種船速，並考慮8個入射波的波向；而波浪頻率考量的範圍從0.05到0.4Hz，總共計算40個規則波頻率。

$$RAO = \frac{Z_a}{\zeta_a}$$

Z_a : 浮體運動振幅

ζ_a : 波浪振幅



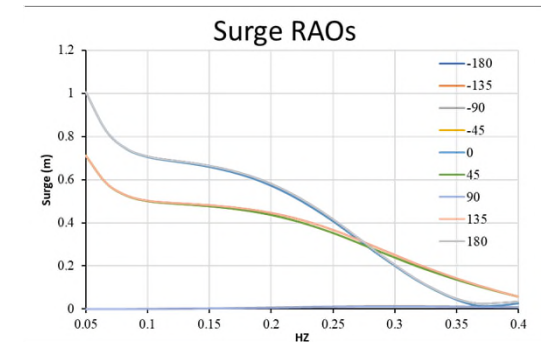
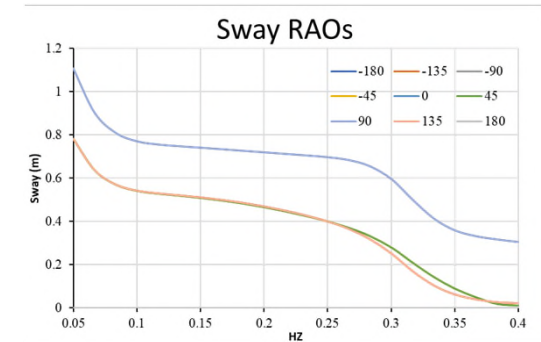
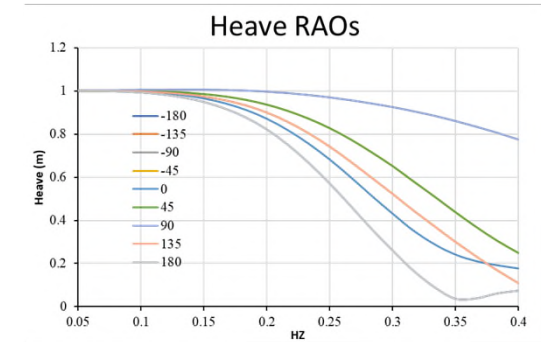
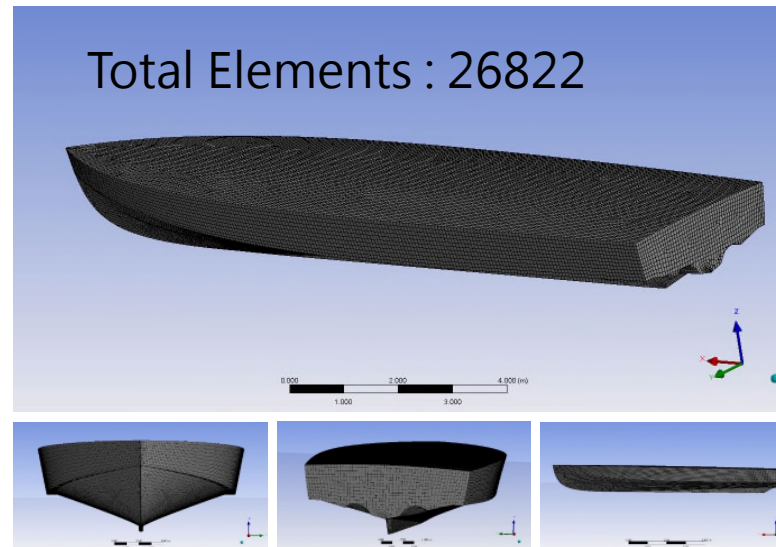
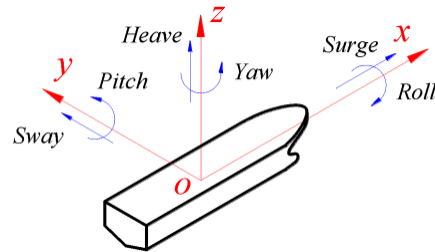
智馭號RAOs產出

模擬使用參數設置

依照智馭號實際規格1:1進行參數設置

總長LOA (m)	15.60	
垂線間長 L_{pp} (m)	15.00	
型寬 B_{mld} (m)	4.15	
型深 D_{mld} (m)	1.50	
平均吃水(m)	0.705	
總排水量(噸) Displacement Δ (t)	12.917	
轉動慣量 Inertia ($kg \cdot m^2$)	I_{xx}	2.73E+04
	I_{yy}	1.82E+05
	I_{zz}	1.82E+05

Ship motion



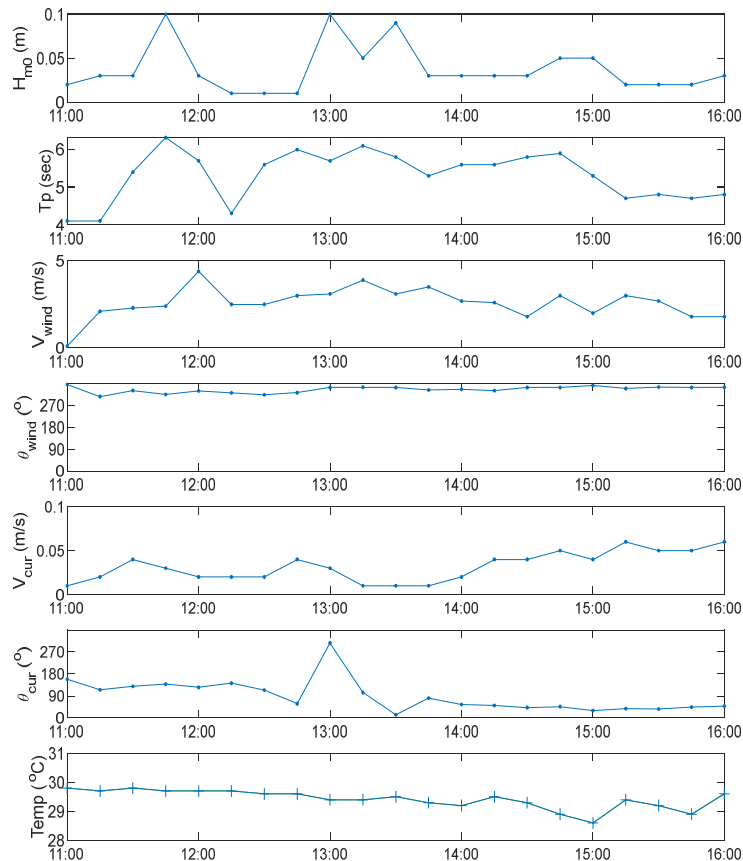
系統測試

- 完成系統建置後，於高雄港區內進行系統運作測試
- 測試期間啟用港內循跡自航功能，並測試系統運作穩定性。

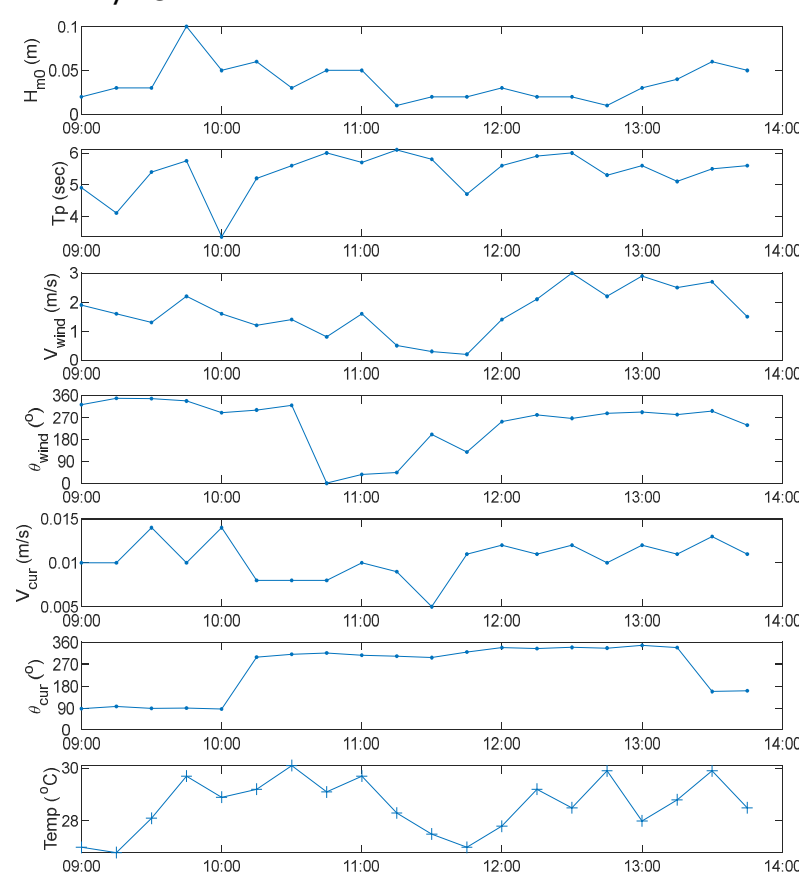
高雄港內測試資料蒐集位置



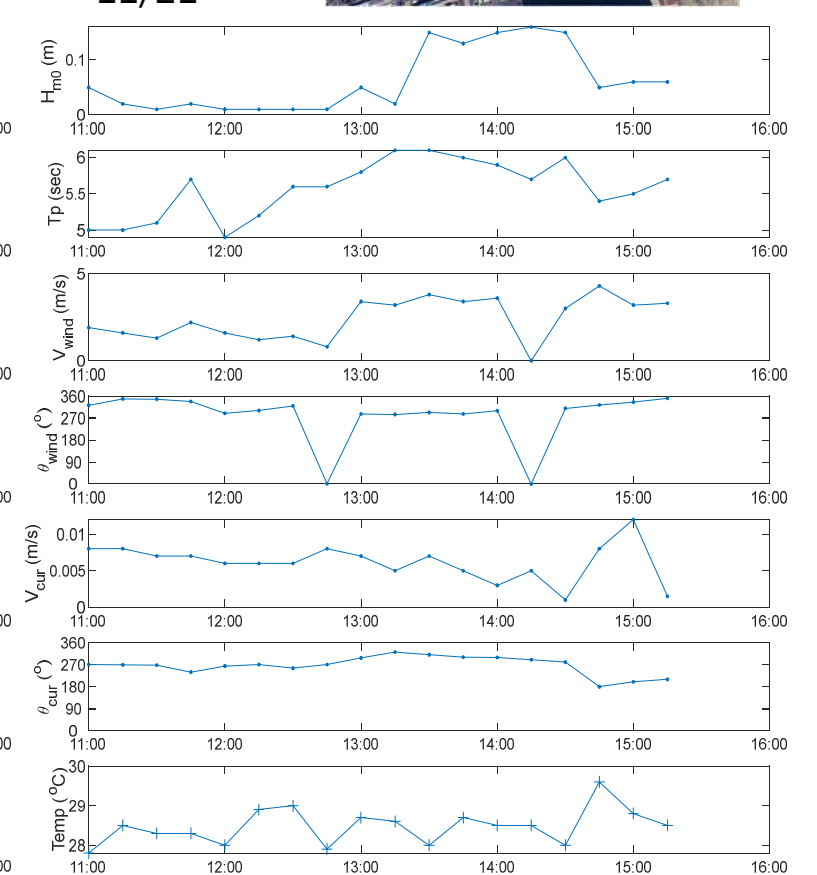
11/18



11/19



11/21



高雄港內系統測試

智馭號海氣象自駕觀測@高雄港內測試結果統計

測試作業	第一次	第二次	第三次
作業日期	11/18 11:00-16:00	11/19 9:00-14:00	11/21 11:00-15:30
測試時間	5小時	5小時	4.25小時
接收資料筆數	20	20	17
觀測觀測率	100%	100%	100%
平均波高	0.03m	0.04m	0.06m
平均風速	2.2m/s	1.8m/s	3.7m/s
平均水溫	29.4 °C	28.6 °C	28.4 °C
平均流速	0.04 m/s	0.01m/s	0.01m/s

測試作業期間港內風平浪靜且無顯著天氣系統影響，整體運作情況穩定，資料觀測率達100%。

彌陀浮標海域系統測試

現場測試

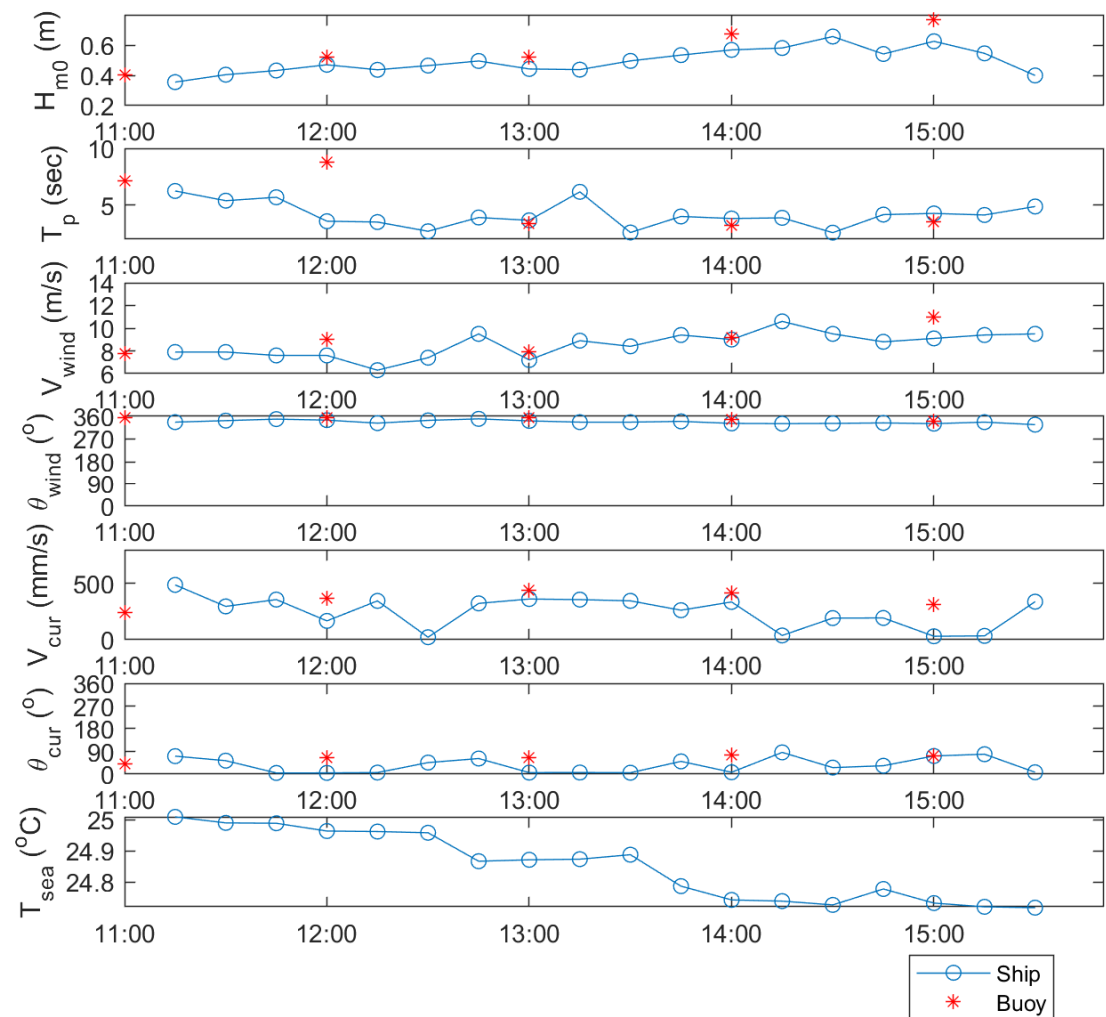
- 目前已完8個趟次的測試作業

趟次	日期	作業時數	測試當天浪況
1	2/27	5	0.5 m - 0.8 m
2	3/12	5	0.4 m - 0.6 m
3	5/8	5	0.4 m - 0.6 m
4	5/21	4.5	0.4 m - 0.6 m
5	5/27	4.5	0.5 m - 0.7 m
6	5/28	4.5	0.4 m - 0.6 m
7	6/3	5	1.2 m - 1.5 m
8	6/16	5	1.2 m - 1.5 m

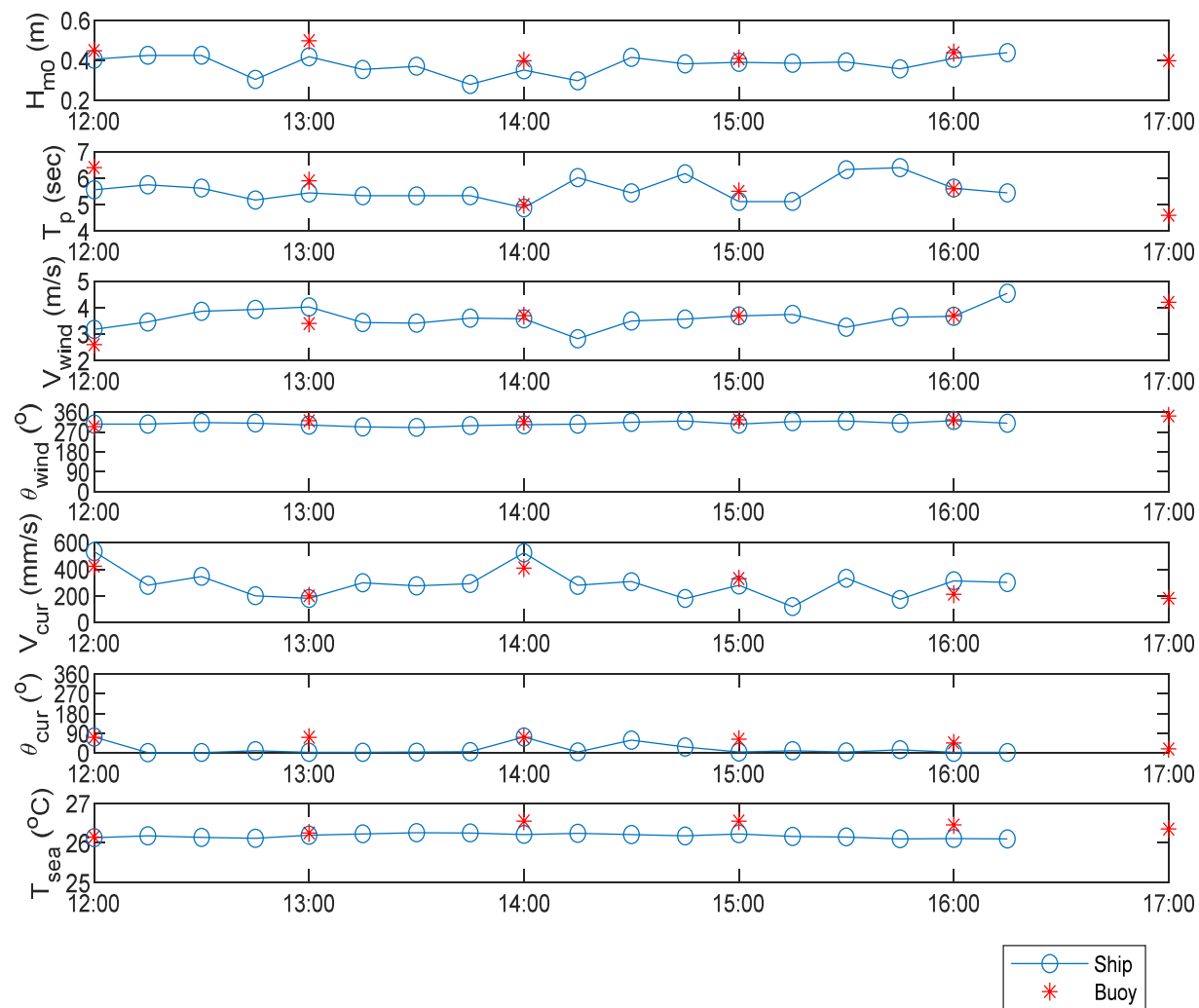
資料蒐集位置



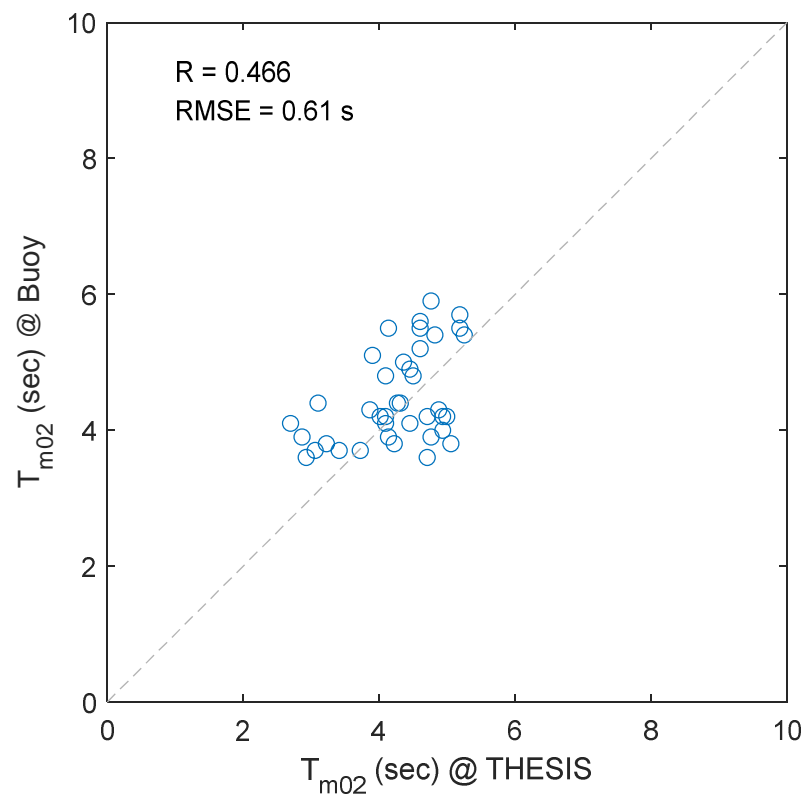
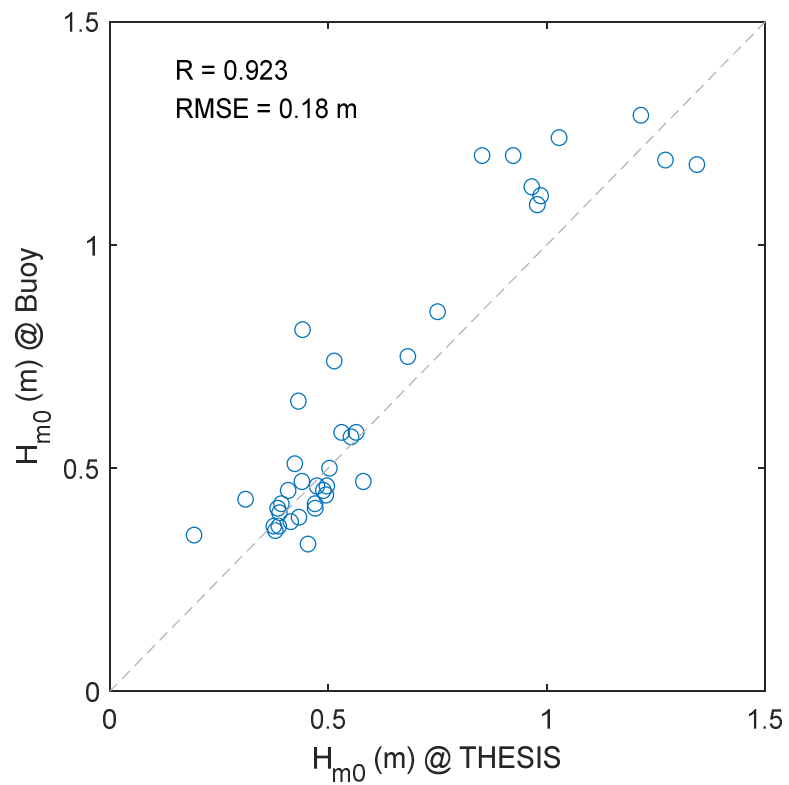
第一次測試作業觀測結果



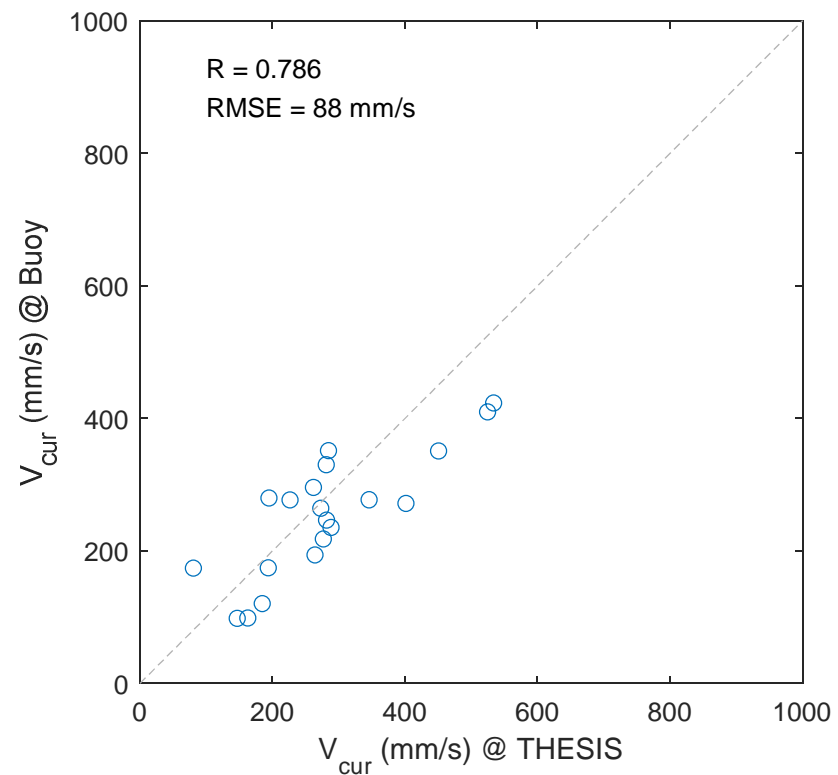
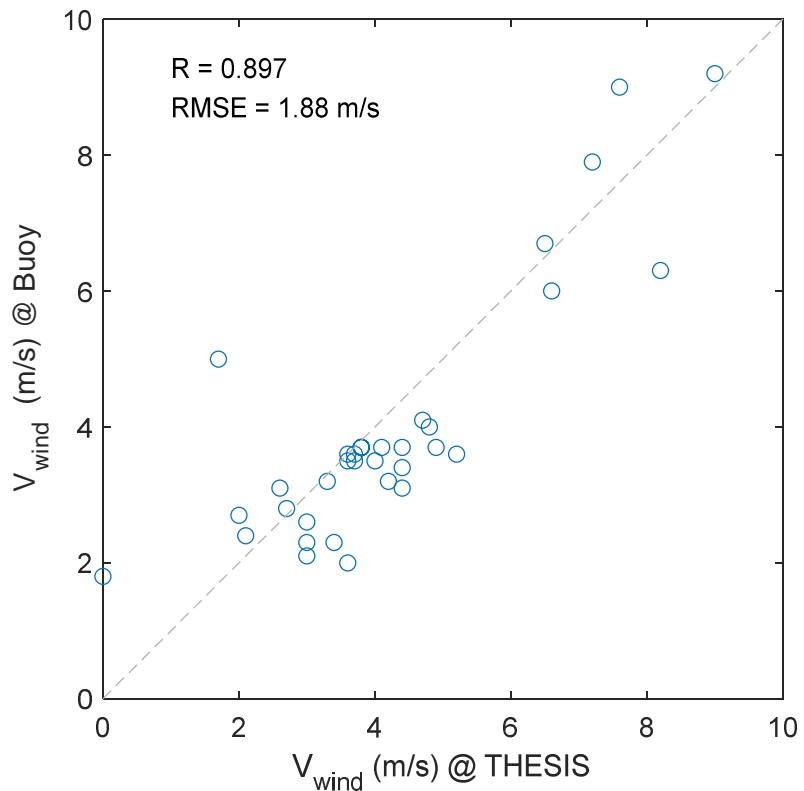
第二次測試作業觀測結果



彌陀浮標海域系統測試



彌陀浮標海域系統測試



小結與未來展望

- 本研究建置了一套海氣象觀測系統，整合了海氣象儀器並且建立了一套波浪分析方法與風、流資料之修正方法
- 初步驗證顯示系統運作穩定，現場與浮標資料進行驗證結果也顯示觀測結果相當接近。
- 未來需要持續進行更多的現場測試與驗證，以確保此套系統在不同海況下，皆可提供可靠的海氣象資料。
- 本研究測試的經驗與成果，可做為未來開發海上智慧載具之基礎。

