

NOR1 多音束測深儀 EM2040 疊合測試與系統性能評估 報告

航次編號：NOR1-T048

施測日期：2026年03月03日

報告人：張軒誠

(國立臺灣大學理學院貴重儀器中心海洋探勘組)

參與人員：廖音瑄

諮詢教授：陳姿婷

報告日期：2026年04月10日

目錄

| | |
|--------------------|----|
| 一、摘要..... | 1 |
| 二、測試目的..... | 1 |
| 三、作業方法..... | 1 |
| 四、歷年測試回顧..... | 3 |
| 五、本次疊合測試結果..... | 6 |
| 六、本次背景噪音測試結果..... | 11 |
| 七、本次多音束覆蓋測試結果..... | 14 |
| 八、結論與建議..... | 15 |

一、摘要

本研究以新海研 1 號 (NOR1) 搭載之 Kongsberg EM2040 多音束測深系統為對象，於 2026 年 3 月實施疊合測試 (Patch Test)、噪音測試 (BIST) 及覆蓋能力測試 (Coverage Test)，以評估系統性能與資料品質。

測試結果顯示，經資料品質控制與疊合分析後，系統姿態修正值為 Roll = 0.5° 、Pitch = 0.35° 、Yaw = -0.2° ，顯示些微的幾何誤差。BIST 分析指出系統整體運作穩定，僅少數接收通道存在局部異常，未影響整體性能。覆蓋測試結果顯示系統於不同水深下具穩定掃描能力，覆蓋寬度隨水深增加呈合理變化。

綜合評估，本系統已具備穩定且可靠之淺水高解析測繪能力，可支援後續高精度水深測量作業。

二、測試目的

多音束測深技術為海洋地形測繪之核心工具，其資料品質直接影響海床解析、工程應用與航行安全。然而，系統在實際作業中仍可能受到幾何誤差、船體噪音與環境條件影響，因此需透過測試與校正確保資料精度。

本研究之主要目的如下：

- 透過疊合測試 (Patch Test) 評估並修正系統姿態誤差
- 進行噪音測試 (BIST)，檢視系統運作狀態與通道健康度
- 分析多音束覆蓋能力，評估系統掃幅與作業效率
- 比較歷年測試結果，評估系統長期穩定性與改善情形

三、作業方法

測試流程

1. 前置作業：

系統檢查 (POS/MRU、GNSS、音鼓) 是否有異常值與警示

2. 聲速量測：

載入最新之聲速剖面

- 聲速收集將利用船上的 MIDAS SVP 進行量測，以降低聲波折射對水深計算之影響，本研究於測區進行聲速剖面 (SVP) 量測，並套用於多音束資

料處理流程中。如作業時間足夠，將於測前與測後都進行聲速剖面量測，以了解環境變化。

3. 疊合測試之測線收集：

控制船速（小於 6 節，4 節佳）與航向穩定，掃幅角度不要太大（小於 60 度），測線覆改率至少 25%。疊合測試之各項姿態角修正值，包括 Roll、Pitch、Yaw 與 SVP 聲速檢查。Latency（延遲）原廠建議如 GNSS 訊號穩定可跳過。

- Roll（橫搖）：兩條分開的平行測線，船速接近，方向相反；Corridor：垂直測線且在地形平坦區。
- Pitch（縱搖）：兩條平行測線，船速接近，方向相反；Corridor：平行測線穿過斜坡或觀察目標。
- Yaw（艏向）：兩條分開的平行線，船速接近，方向相同；Corridor：平行且位於兩側線中，並穿過斜坡或觀察目標。
- SVP 聲速檢查：兩條交叉測線，船速接近；Corridor：平行其中一條測線。
- Latency（延遲）：兩條平行測線，船速不同，方向一樣；Corridor：平行測線穿過斜坡或觀察目標。

4. 噪音測試（BIST）：

不同船速與航向條件下測試系統噪音（BIST 測試）。

5. 資料處理與分析：

資料處理流程包含多波束測深資料之基本編輯、聲速改正、潮位改正，以及疊合（overlap）分析等，並依據內政部水深測量作業規範執行。在資料品質評估方面，透過疊合測線之比對分析，計算不同測線間之深度差異，進而估算系統性誤差（如 Roll、Pitch、Yaw 等）之修正值，並評估測量成果是否符合 IHO S-44 精度標準，以確保測深資料之可靠性與一致性。

- 潮位資料可選擇套用海洋學門資料庫 Hidy2 所提供之估計潮高資料，其時間基準為資料收集當時之 UTC+0。該潮位資料係基於全球潮汐模式 TPXO9-atlas-v5 計算而得，可提供研究區域之連續潮位變化估計。
- 亦可採用衛星定位系統（GNSS）所取得之 GPS tide，直接以參考橢球面為基準進行水深改正（ellipsoid-referenced survey, ERS），以減少對傳統潮位站之依賴。
- 本次（2026 年）疊合測試分析，主要採用 TPXO9 潮位模式進行潮位改正，以確保各測線間之基準一致性。
- 各項參數透過資料疊合與最佳化比對求得修正值，並更新至系統設定中。

四、歷年測試回顧

為評估本船 R/V NOR1 多音束測深系統之長期穩定性與環境影響，本研究彙整 2020 年海試結果，2020 年海試報告指出，為改善船體噪音等問題，經歷八次航次測試，主要影響資料品質之環境因素包括：海況與流速影響測線穩定性、航速變化影響噪音與訊號品質、深水區可能出現電子訊號干擾現象。本章簡要說明當時之系統性能、噪音表現與校正成果：

| 航次 | 時間 | 出港位置 | 主要任務 | 航次間困難 |
|------|-------------------------|------|-------------------|--|
| 第一航次 | 2019 12/14- 12/16 | 基隆 | EK、EA、 EM、ADCP | 1.極大雜訊(資料差) 2.無法跑直線(流速太強) 3.EK 校正花費時間，EM 測試時間少 |
| 第二航次 | 12/17- 12/18 | 基隆 | EM 校正 | 時間不夠/流太強/雜訊太強 原廠建議減少噪音後，再次作校正。 |
| 第三航次 | 2020 1/13-1/15 | 高雄 | EM 校正 | 推進器蓋子修好 1 st ，但在航行中損壞，具有極大雜訊。 勉強完成 EM 校正 |
| 第四航次 | 1/16-1/18 | 高雄 | EK、ADCP 為主 | 時間有限、流強、EK 校正不易 |
| 第五航次 | 1/30-2/1 | 高雄 | 動態訓練 | |
| 第六航次 | 2/19-2/21 | 基隆 | EM | 推進器蓋子修好 2 ^{ed} ，但在航行中損壞，產生雜訊。 完成淺水與深水測繪 |
| 第七航次 | 2/24-2/25 | 基隆 | EM | 推進器蓋子修好 3 rd ，會晃動未完全密合。 完成中深水測繪 |
| 第八航次 | 3/30 | 基隆 | EM | 推進器蓋子修好 4 th BIST 測試結果合格 |

1. 系統性能與測深能力總結

2020 年 3 月測試顯示，R/V NOR1 搭載之多音束測深系統整體運作正常，測深能力符合原廠規格。淺水系統（如 EM2040）可涵蓋約 10 至 330 公尺水深，其中以 40 至 200 公尺為最佳作業範圍；深水系統（如 EM304）測深能力可達約 4800 公尺，最佳作業範圍約為 300 至 4000 公尺，主要測試範圍如圖 1。整體資料品質依作業區域及後處理程度，可符合不同等級之 IHO 水深測量標準。

Note the area with positions and depths where the Customer Acceptance Test has been performed:

SAT area: Offshore Kaohsiung
SAT position: 22°15'52.78"N, 120°27'17.93"E
SAT depth: +150m

圖 1、2020 年海試結果 EM2040 主要測試範圍。

2. 背景噪音特性

多音束系統 BIST (Built-In Self Test) 分析係參考 Multibeam Advisory Committee (MAC) 所提供之評估工具與建議方法。MAC 為一社群導向之技術平台 (<https://mac.unols.org/resources/assessment-tools/>)，旨在確保美國學術研究船隊多音束測深系統之資料品質一致性與可靠性，並提供相關技術指引與最佳實務 (best practices)。本研究依據其所提出之 BIST 分析架構與判讀原則，針對接收通道阻抗 (RX impedance) 及其長期趨勢進行評估，以檢視系統運作狀態與潛在異常，並作為後續資料品質控制與設備狀況判讀之依據。2020 年噪音測試結果 (圖 2) 顯示，本船於 12 節航速下之背景噪音約介於 45–46 dB，整體表現大致穩定 (200kHz 為例: 0 節為 45.3 dB；2 節為 45.2 dB；4 節為 45.2 dB；6 節為 45.3 dB；8 節為 45.2 dB；10 節為 46.2 dB；12 節為 45.2 dB)。

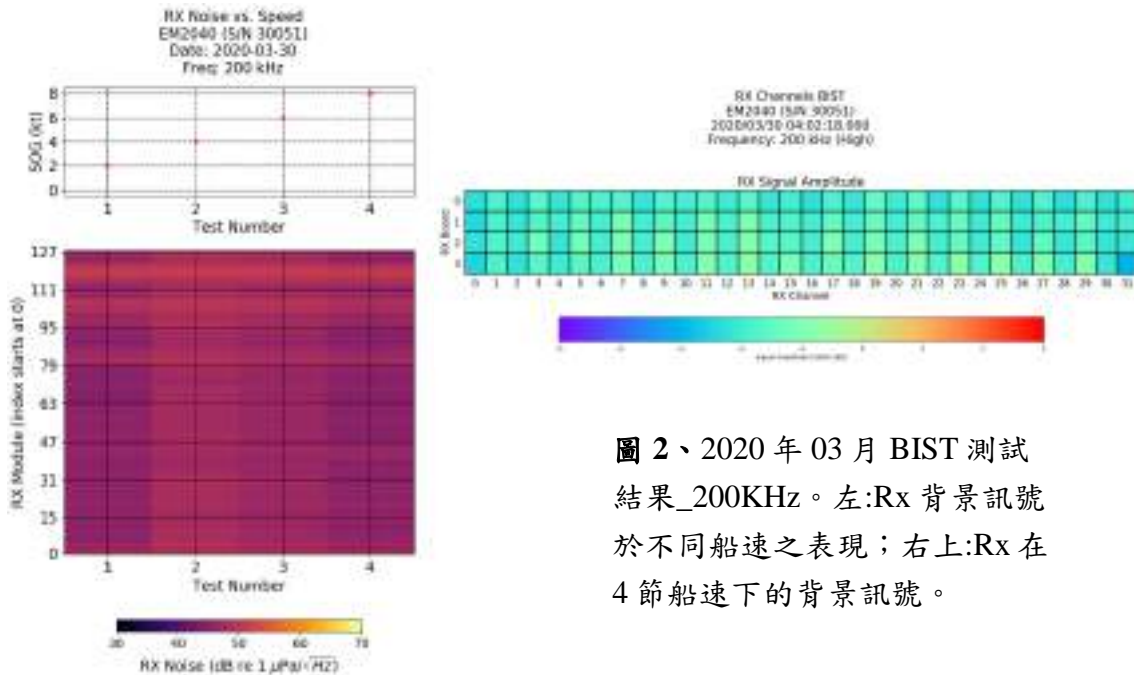


圖 2、2020 年 03 月 BIST 測試結果_200KHz。左:Rx 背景訊號於不同船速之表現；右上:Rx 在 4 節船速下的背景訊號。

3. 系統校正成果 (Patch Test)

音鼓確實安裝的角度與位置參考 2019/02/12-15 請 Anko Maritime AS 物理量測之報告，細節如表 1。當時 2020 年疊合測試的成果顯示 **Roll**= **+0.42°**、**Pitch** = **+0.35°**、**Yaw** = **-0.2°**、time delay= 0 s，具有合理範圍內的微小偏移。

表 1、Anko 音鼓安裝物理量測數值，誤差±2mm

| Offset survey | X (forward pos) | Y (starboard pos) | Z (downwards) |
|----------------------|-----------------|-------------------|---------------|
| EM 2040TX transducer | 19.039 | -3.183 | 8.515 |
| EM 2040RX transducer | 18.935 | -3.487 | 8.504 |
| MRU5+ | 0 | 0 | 0 |
| SEAPATH 380 PORT | 7.141 | -3.657 | -20.515 |
| SEAPATH 380 STB | 7.152 | -0.676 | -20.494 |
| Installation angles | Roll (deg) | Pitch (deg) | Yaw (deg) |
| EM 2040TX transducer | -0.33 | -0.07 | -0.05 |
| EM 2040RX transducer | -0.01 | -0.25 | -0.04 |
| MRU5+ | -1.74 | -0.7 | 0.66 |
| SEAPATH 380 | X | X | -0.2 |

4. 覆蓋寬度 (Coverage) 測試

由 2020 年多音束覆蓋寬度與水深關係圖可見(圖 3)，系統之橫向覆蓋範圍隨水深增加而擴展，整體分布介於約 1-4 倍水深範圍內。於淺水至中水深區 (約 50-150 m)，覆蓋倍率可達約 4 倍水深；隨水深增加至約 200 m，覆蓋倍率逐漸下降至約 2-3 倍水深，反映聲波傳播損失與外側波束訊號衰減之影響。此外，左右舷資料分布大致對稱且連續，顯示系統波束幾何與姿態補償運作正常，未見明顯側向偏差或遮蔽現象。

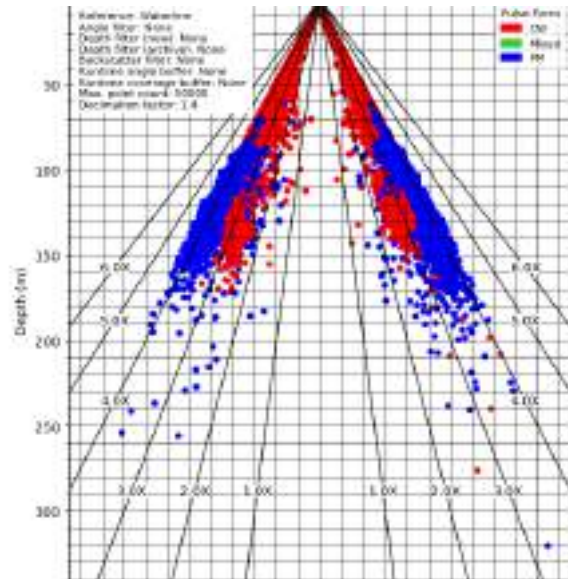


圖 3、多音束測深覆蓋寬度與水深關係。

五、本次疊合測試結果

此次測試係配合地質組學生實習航次 NOR1-T0048 進行(如圖 4)，總作業時間為三天。包含 Roll、Pitch、Yaw 疊合測試與背景噪音、覆蓋率之多音束音鼓性能評估。

在資料處理流程中，首先利用本區域水深 50 至 240 公尺的特性，建立 1 m 解析度之 CUBE surface，隨後透過 swath filter 移除低強度與異常波束，以有效降低雜訊影響；並套用 surface-based filter，剔除與周圍網格高差超過 2 m 之離群資料，以進一步提升資料一致性與可靠性。唯外側音束的海床辨識品質較差，故需要剔除強度(intensity)小於-50dB 的點雲後，可大幅減少疊合處不好的部分(如圖 5)。

經上述品質控制後，始進行 patch test 校正分析。初始 roll 校正值為 0.42° ，經比較不同測線 (Line006 淺綠色、Line019 紅色；如圖 4 與表 2) 於平坦區之交會狀況後，調整至最終 Roll 校正值為 0.5° 。Pitch 校正結果維持為 0.35° ，依據 Line006 (淺綠色) 與 Line008 (紫色) 於目標區之比較結果判定；而 Yaw 校正則維持為 -0.2° ，經 Line 008 (紫色) 與 Line 019 (紅色) 於目標區之交會分析確認。

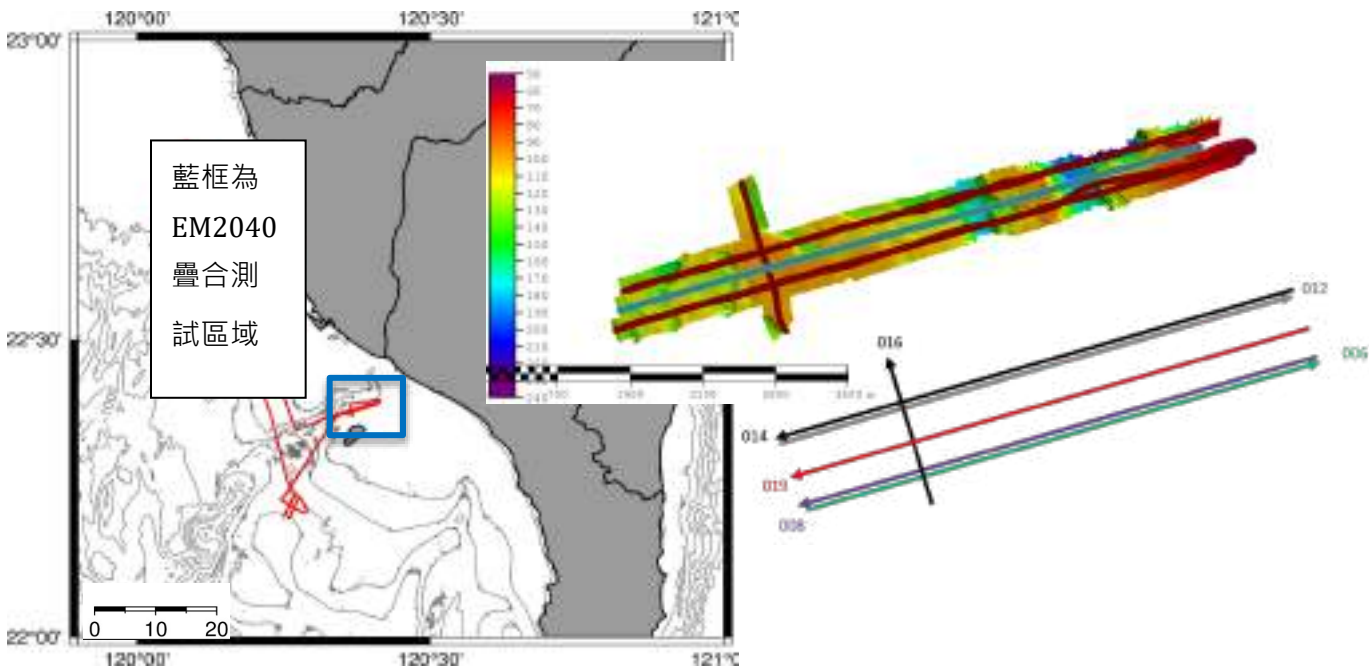


圖 4、疊合測試位置與測線分布圖。

表 2、疊合測試使用之測線名稱、走向與船速

| HIPS File | Line Name | Heading | Speed | Note |
|-----------------------|---------------------------|---------|-------|------|
| PatchTest_EM2040_2026 | 0006_20260303_195032_NOR1 | 73.89 | 2.48 | E |
| PatchTest_EM2040_2026 | 0007_20260303_203059_NOR1 | 209.28 | 1.2 | W |
| PatchTest_EM2040_2026 | 0008_20260303_203826_NOR1 | 254.19 | 2.46 | W |
| PatchTest_EM2040_2026 | 0010_20260303_212759_NOR1 | 74.45 | 2.52 | E |
| PatchTest_EM2040_2026 | 0011_20260303_214013_NOR1 | 74.05 | 2.48 | E |
| PatchTest_EM2040_2026 | 0012_20260303_214932_NOR1 | 74.82 | 2.46 | E |
| PatchTest_EM2040_2026 | 0014_20260303_221535_NOR1 | 254.37 | 2.4 | W |
| PatchTest_EM2040_2026 | 0016_20260303_231303_NOR1 | 343.41 | 2.43 | V |
| PatchTest_EM2040_2026 | 0019_20260303_235758_NOR1 | 254.34 | 2.37 | W |

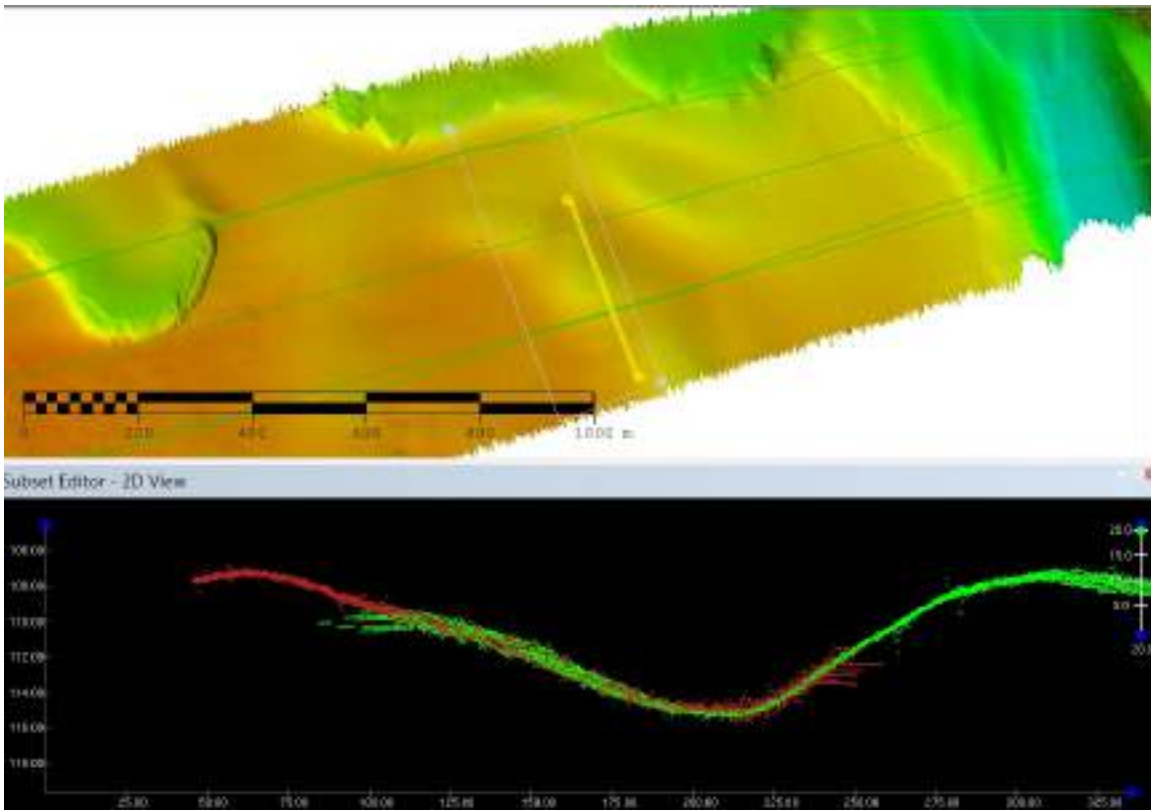


圖 5、疊合處不好的部分。如綠色線左側與紅色線右測。

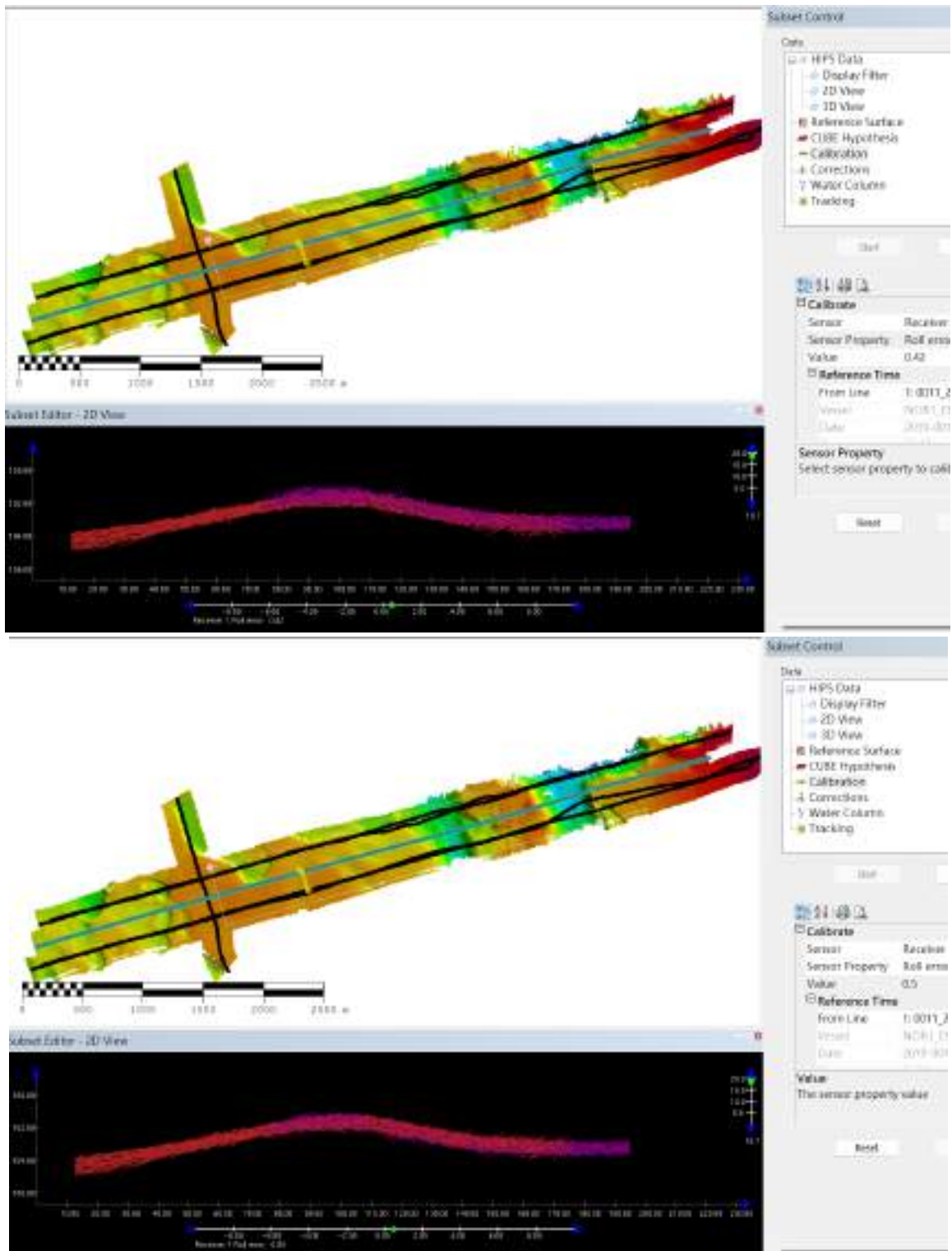


圖 6、Roll 測試深度趨勢比較圖，修改 0.08。上圖 Roll 角度為 0.42、下圖為 0.5。

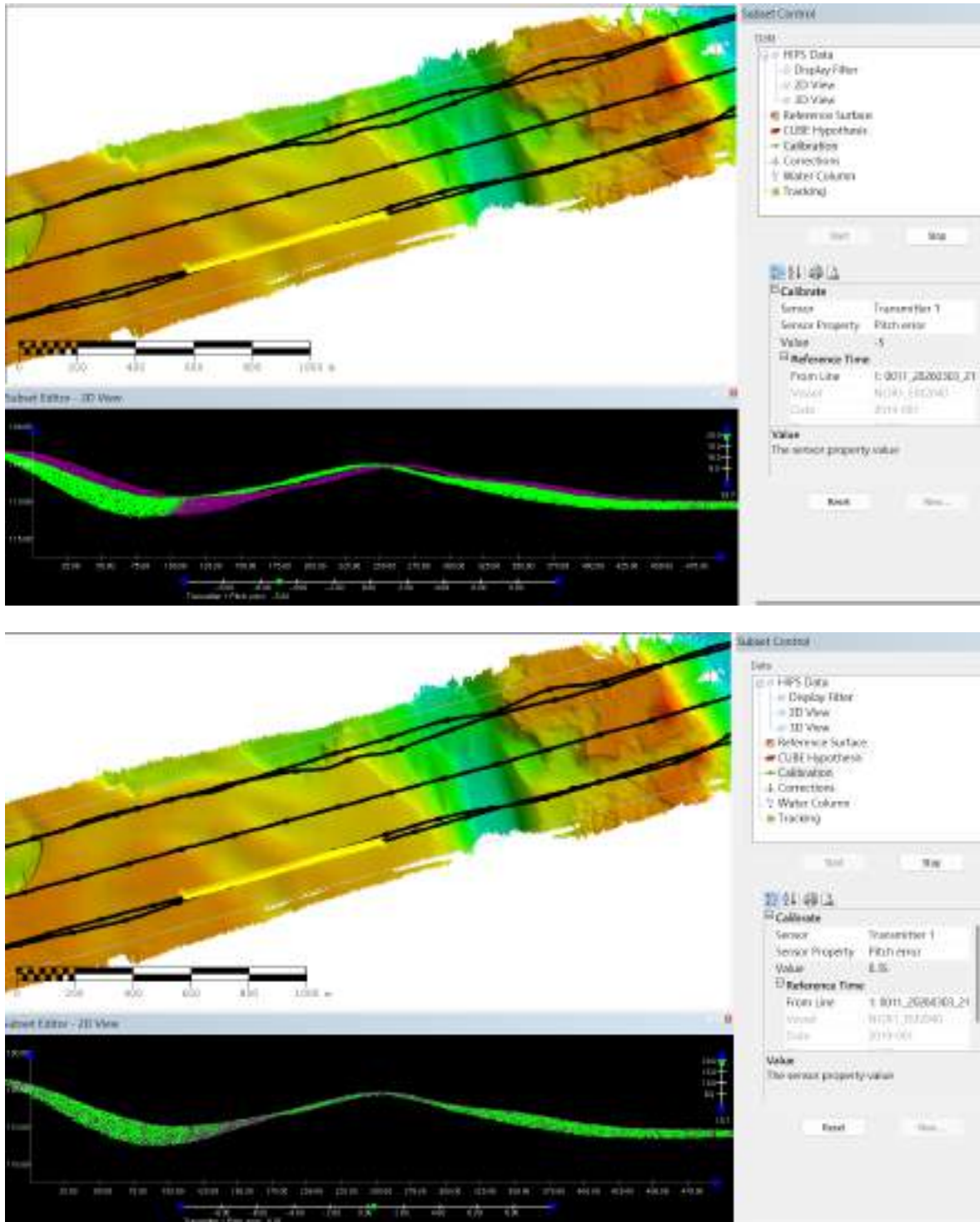


圖 7、Pitch 測試深度趨勢比較圖，不變。上圖 Pitch 角度為-5、下圖為 0.35。

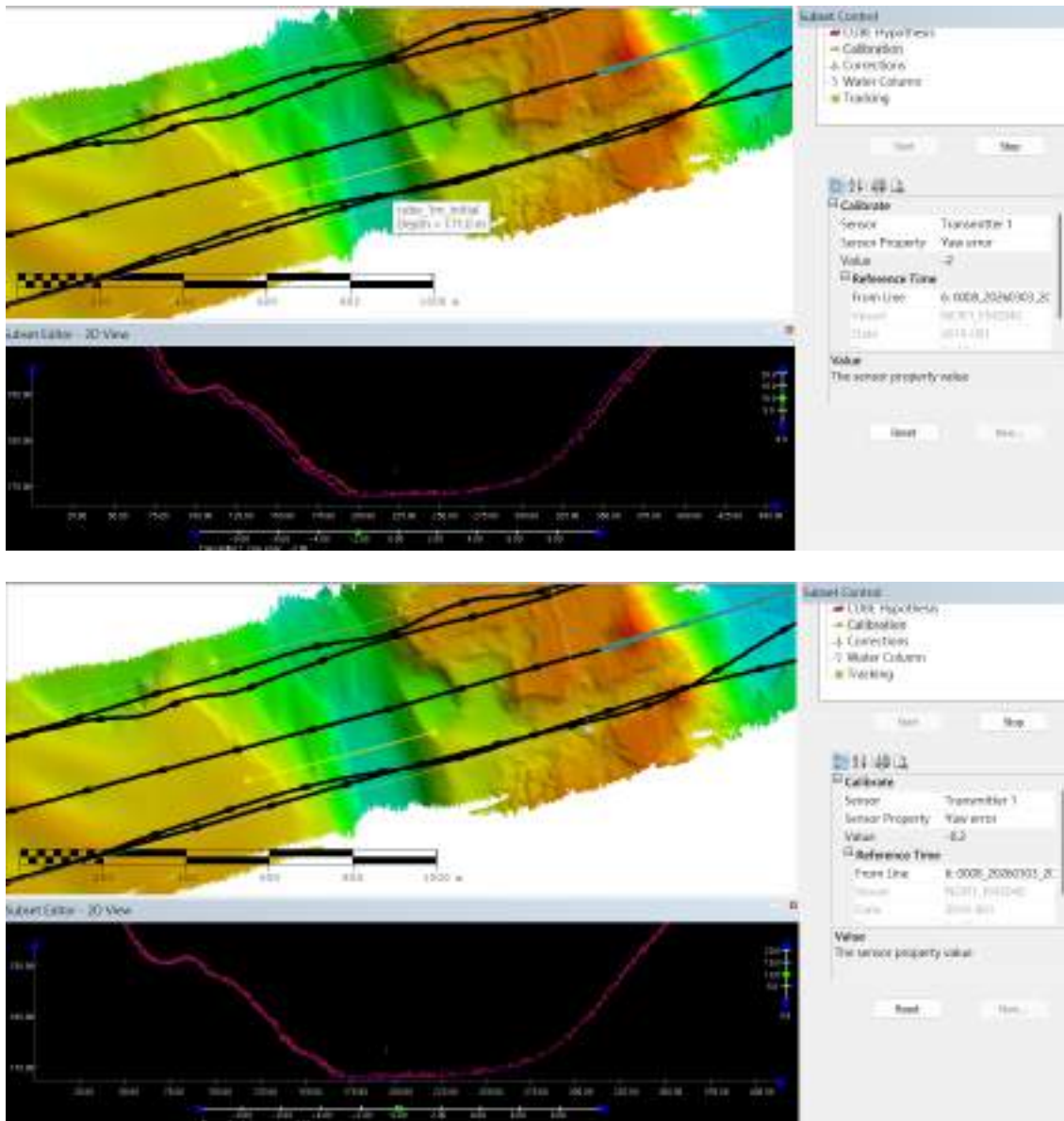


圖 8、Yaw 測試深度趨勢比較圖，不變。上圖 Yaw 角度為-2、下圖為-0.2。

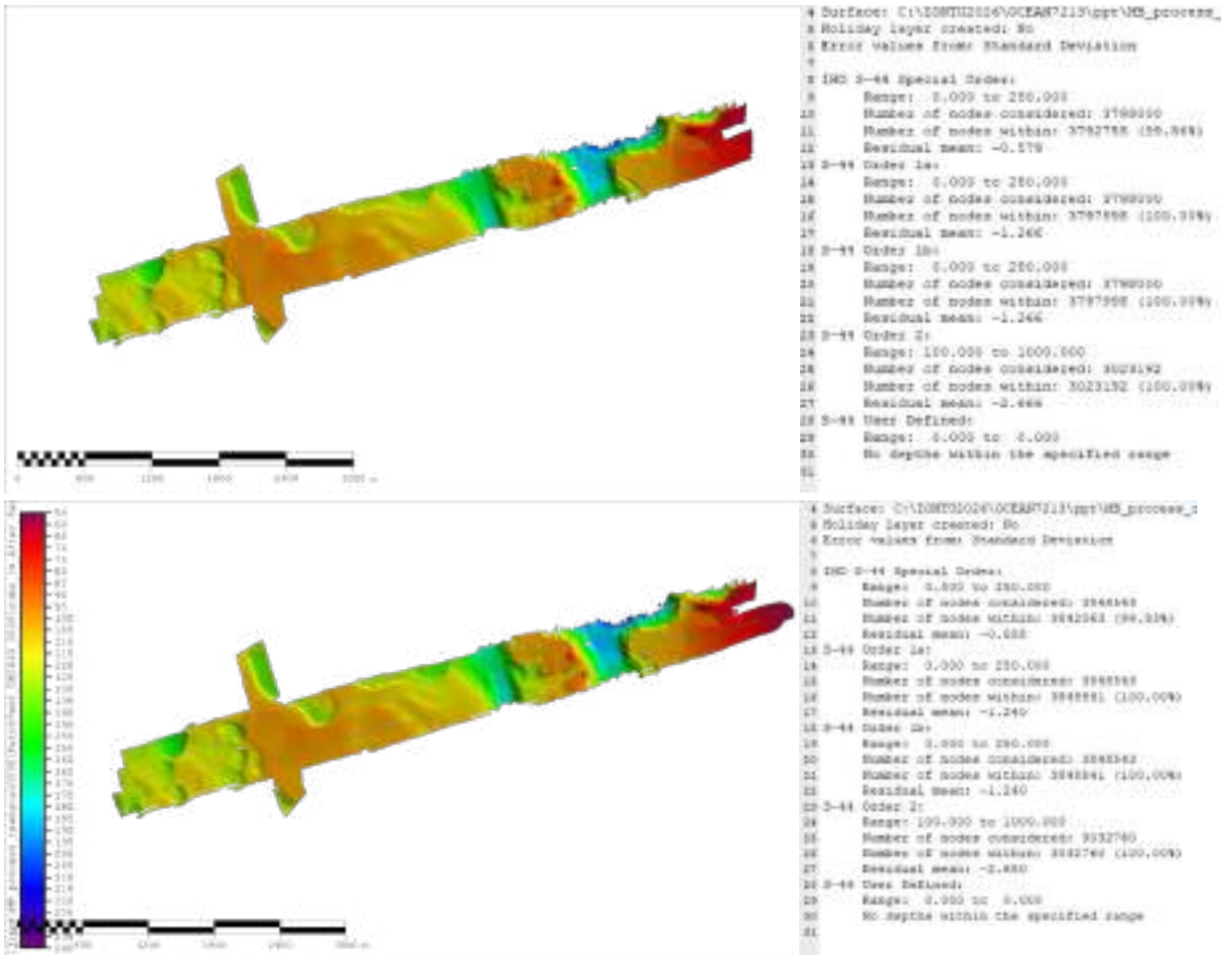


圖 9、疊合測試前(上)後(下)變化。

六、本次背景噪音測試結果

綜合 2020 年（圖 2）與 2026 年（圖 10）之噪音測試結果顯示，本船於低速（約 4 - 6 節）操作時背景噪音約介於 45 - 50 dB，整體表現穩定且具一致性。然而，當船速提升至約 6 - 9 節以上時，背景噪音些微上升，顯示航速為影響聲納表現環境之主要控制因子。因此，在多音束聲納作業時，適當降低船速可有效改善資料品質與覆蓋率。在接收端（RX channel impedance）方面（圖 10 右、圖 11 與圖 12），大多數通道訊號強度分布均勻且穩定，未見明顯異常；惟於約 Channel 23 可觀察到局部偏低之訊號強度，顯示該通道接收性能略有下降。相較 2020 年結果顯示為新增之局部異常。該異常可能與元件老化、接觸不良或接收模組狀態有關。雖然此現象未呈現系統性擴散，但可能導致局部接收訊號品質下降，再加上背景噪音的增加，進而影響底部偵測穩定性。

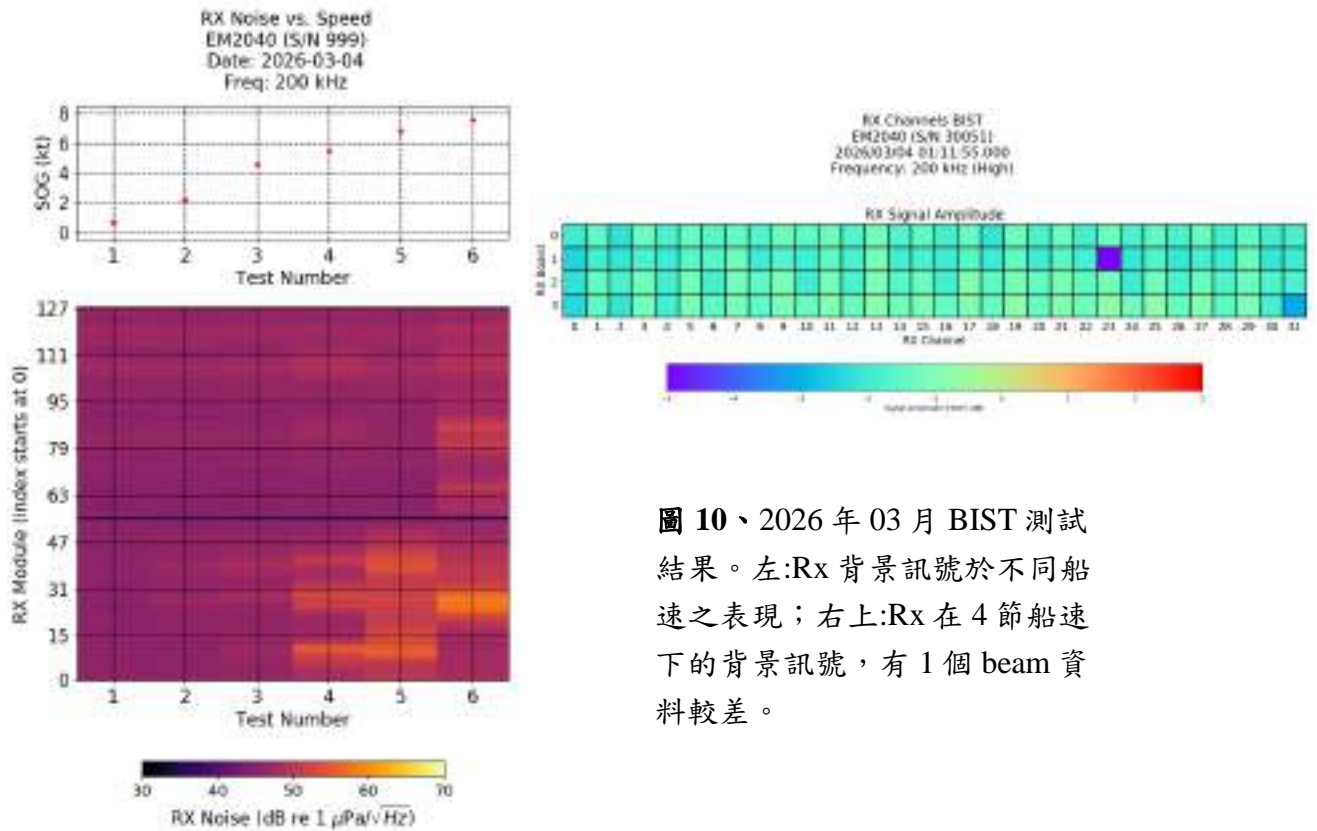


圖 10、2026 年 03 月 BIST 測試結果。左:Rx 背景訊號於不同船速之表現；右上:Rx 在 4 節船速下的背景訊號，有 1 個 beam 資料較差。

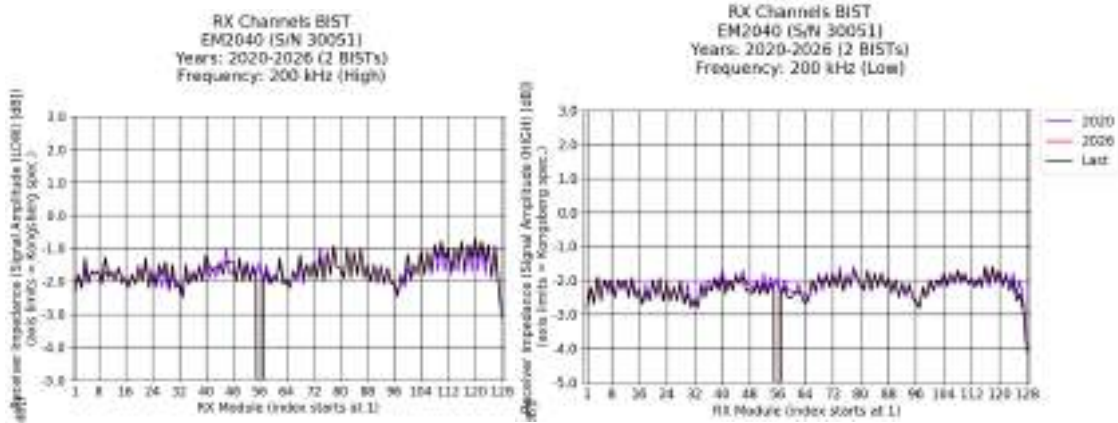


圖 11、EM2040 接收通道 BIST 結果（2020–2026）於 200 kHz 高頻（左）與低頻（右）之比較。多數通道訊號強度穩定分布於約 -2 至 -1 dB 範圍內，各年度趨勢一致，顯示系統整體運作穩定。於約 Channel 56 附近可觀察到新增存在之低訊號異常，顯示為局部老化。

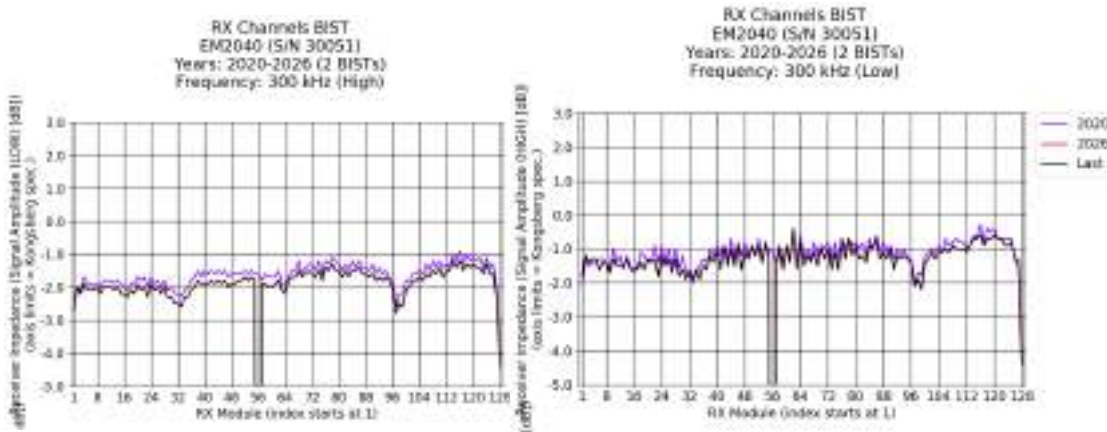


圖 12、EM2040 接收通道 BIST 結果（2020–2026）於 300 kHz 高頻（左）與低頻（右）之比較。多數通道訊號強度穩定分布於約 -2 至 -1 dB 範圍內，各年度趨勢一致，顯示系統整體運作穩定。於約 Channel 56 附近可觀察到新增存在之低訊號異常，顯示為局部老化。

七、本次多音束覆蓋測試結果

由測深覆蓋寬度與水深關係圖可見(圖 13)，多音束系統之橫向覆蓋範圍隨水深增加而擴展，整體主要分布於約 2-4 倍水深範圍內。資料點左右分布大致對稱，顯示系統在航行期間之姿態控制與波束幾何表現穩定，未見明顯側向偏差或覆蓋不均之情形。不同水深模式下之資料亦呈現連續且合理之分布，顯示系統可隨水深變化正常切換操作模式。唯本次測試沒有時間規畫是極淺水區(0-50m 水深)，故下年度如有機會建議可補充此區域的測試評估。

資料率與水深關係顯示(圖 14)，隨水深增加，單位時間內之資料量逐漸下降；相對地，Ping 間隔則隨水深增加而延長。此一趨勢反映多音束聲納系統依據聲波傳播時間自動調整發射頻率與取樣策略之運作機制。整體資料分布呈現平滑且連續之變化，未觀察到異常跳變或不穩定現象，顯示系統運作正常。

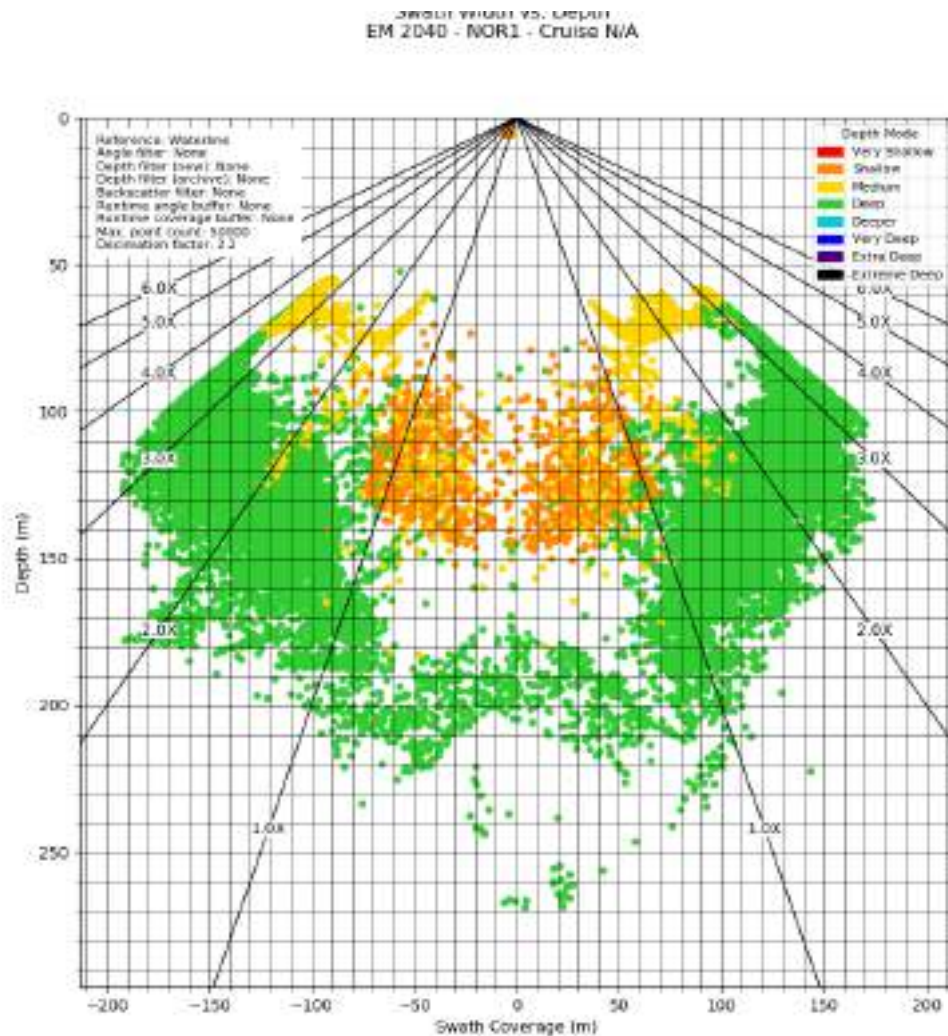


圖 13、覆蓋寬度與水深關係，主要分布於 2-4 倍水深範圍內，左右對稱且穩定。

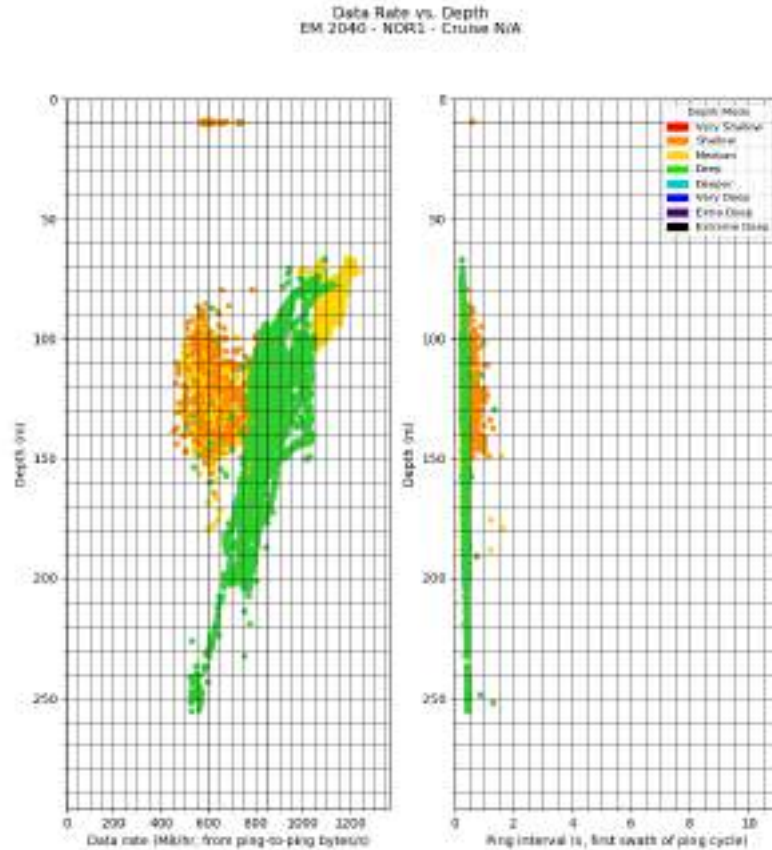


圖 14、資料率與 ping 間隔隨水深變化，呈現正常調整趨勢，系統運作穩定。

八、結論與建議

本研究針對新海研 1 號 (NOR1) 搭載之 Kongsberg EM2040 多音束測深系統，透過疊合測試 (Patch Test)、BIST 噪音測試及覆蓋能力分析，對系統性能與資料品質進行整體評估。綜合結果如下：

- 系統幾何校正穩定

疊合測試結果顯示，最終姿態修正值為 Roll = 0.5°、Pitch = 0.35°、Yaw = -0.2°，屬合理範圍內之微小偏移。經修正後，各測線間匹配良好，顯示系統幾何狀態穩定，具備可靠之測深精度。

- 系統長期運作穩定 (BIST)

接收通道 BIST 分析顯示，多數通道訊號強度穩定分布於約 -2 至 -1 dB，2020-2026 年間趨勢一致，未見明顯系統性漂移或退化。惟於部分通道 (如

Channel 23 及 Channel 56) 出現局部低訊號異常，推測與元件老化或接觸狀態有關，但屬局部且非擴散性現象，對整體系統影響有限。

- 航速對噪音影響有限但仍具影響性

噪音測試結果顯示，在 200 kHz 頻率下，本船背景噪音約維持於 45–50 dB 範圍內，各航速間差異不大，顯示 EM2040 系統受航速影響相對較小。然而，當航速提高至約 6–8 節以上時，仍可觀察到背景噪音略為上升，可能影響外側波束之訊號品質。此外，當同時操作其他聲學儀器（如 ADCP 或 EK80 之 200 kHz 頻段）進行資料收集時，可能產生顯著之聲學干擾。雖可透過 K-sync 同步機制降低干擾，但此方式亦會降低系統之採樣頻率（ping rate），進而影響資料密度與作業效率。因此，在多聲納系統同時運作時，需於干擾抑制與資料解析度之間進行適當取捨與配置。

- 覆蓋能力符合淺水系統特性

覆蓋測試顯示，多音束掃幅主要分布於約 2–4 倍水深範圍內，且左右舷分布對稱且連續，顯示系統波束幾何與姿態補償運作正常。覆蓋倍率隨水深增加略為下降，符合淺水高頻聲納之物理特性。

建議定期（如每年或重大維修後）進行疊合測試、BIST 與 Coverage Test，以掌握系統長期變化並及時修正。