

NOR1 多音束測深儀 EM304 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.....	13
八、結論與建議.....	14

一、摘要

本研究以新海研 1 號 (NOR1) 搭載之 Kongsberg EM304 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 = 0.45°、Pitch = 0.2°、Yaw = 0°，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中深水測繪能力，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 Sea Acceptance Test has been performed:

SAT area:	Offshore Kaohsiung
SAT position:	21°57'41.74"N, 120°19'40.35" E
SAT depth:	≈ 1200m

圖 1、2020 年海試結果 EM304 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 6 節航速下之背景噪音約介於 40–47 dB，整體表現大致穩定 (0 節為 34.8 dB；2 節為 36.7 dB；4 節為 38.7 dB；6 節為 46 dB；8 節為 60 dB；10 節為 56.8 dB；12 節為 57.1 dB)。然而，測試結果亦顯示，船體相關結構 (如推進器罩) 對噪音表現具有明顯影響；當設備受損或狀況不佳時，背景噪音將升高，進而影響多音束測深資料之品質與測線覆蓋率。

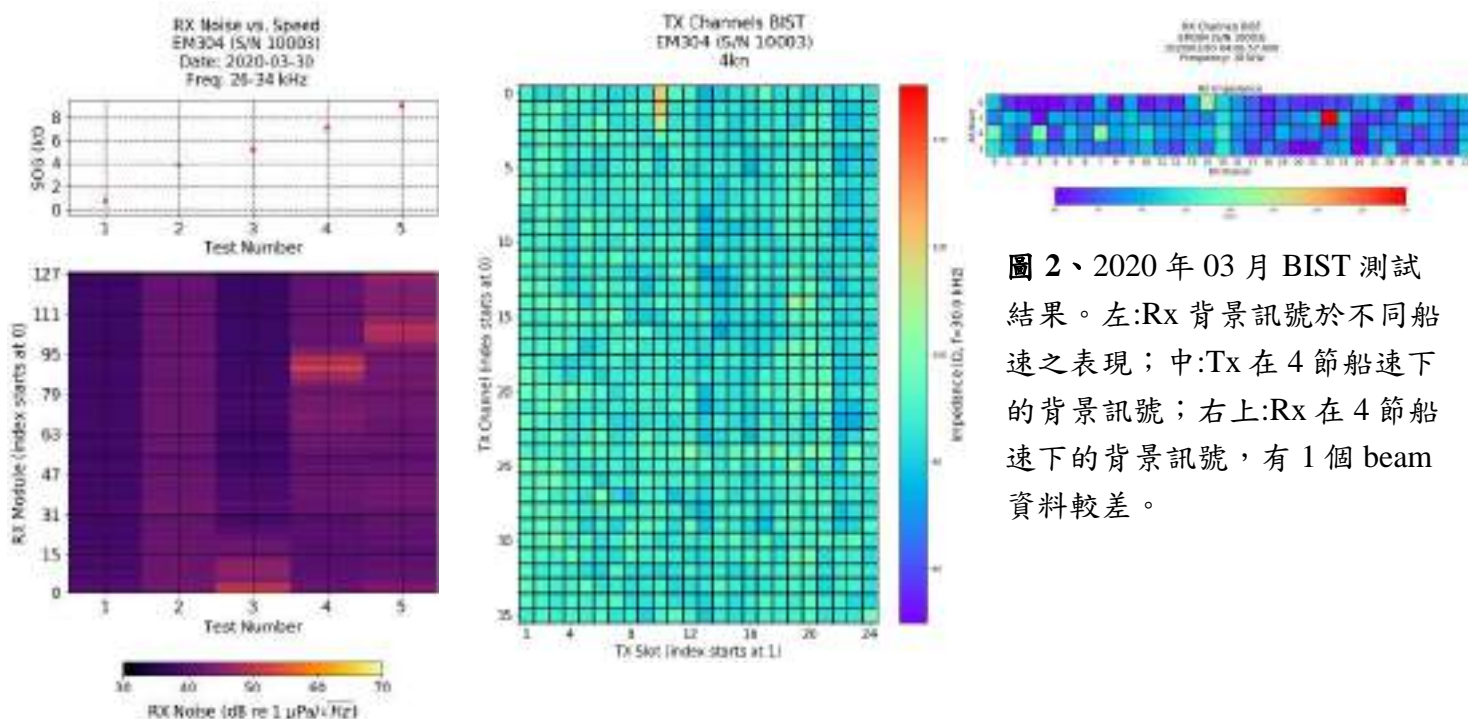


圖 2、2020 年 03 月 BIST 測試結果。左:Rx 背景訊號於不同船速之表現；中:Tx 在 4 節船速下的背景訊號；右上:Rx 在 4 節船速下的背景訊號，有 1 個 beam 資料較差。

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**= +0.35°、**Pitch** = +0.2°、**Yaw** = 0°、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 304TX transducer	20.058	-2.234	8.5
EM 304RX transducer	17.725	-2.235	8.499
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 304TX transducer	-0.13	0.02	0.03
EM 304RX transducer	0.01	-0.11	0.16
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 1–6 倍水深範圍內。於淺水至中水深區 (約 1000–2000 m)，覆蓋倍率可達約 4–6 倍水深；隨水深增加至約 3000–5000 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。

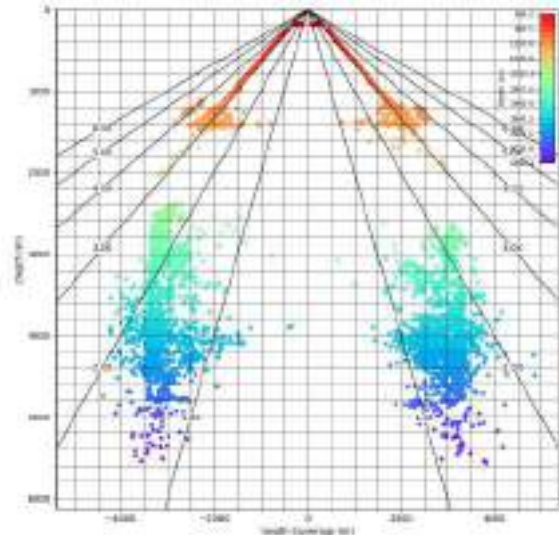


圖 3、多音束測深覆蓋寬度與水深關係。

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。資料品質檢查顯示，異常點主要集中於 phase detection 與 amplitude detection (A/P) 切換區域，顯示底部偵測模式轉換帶可能導致局部不連續與誤判。此外，整體資料亦呈現較高雜訊，其中 intensity 低於 -25 dB 之回波多屬非海床反射訊號，可視為雜訊資料。

在資料處理流程中，首先利用本區域水深 500 至 1200 公尺的特性，建立 50 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 15 m 之離群資料，以進一步提升資料一致性與可靠性。

經上述品質控制後，始進行 patch test 校正分析。初始 roll 校正值為 0.35° ，經比較不同測線 (Line 33 深綠色、Line 35 紫色；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 0.45° 。Pitch 校正結果維持為 0.2° ，依據 Line 31 (淺綠色) 與 Line 33 (深綠色) 於目標區之比較結果判定；而 yaw 校正則維持為 0° ，經 Line 31 (淺綠色) 與 Line 35 (紫色) 於目標區之交會分析確認。

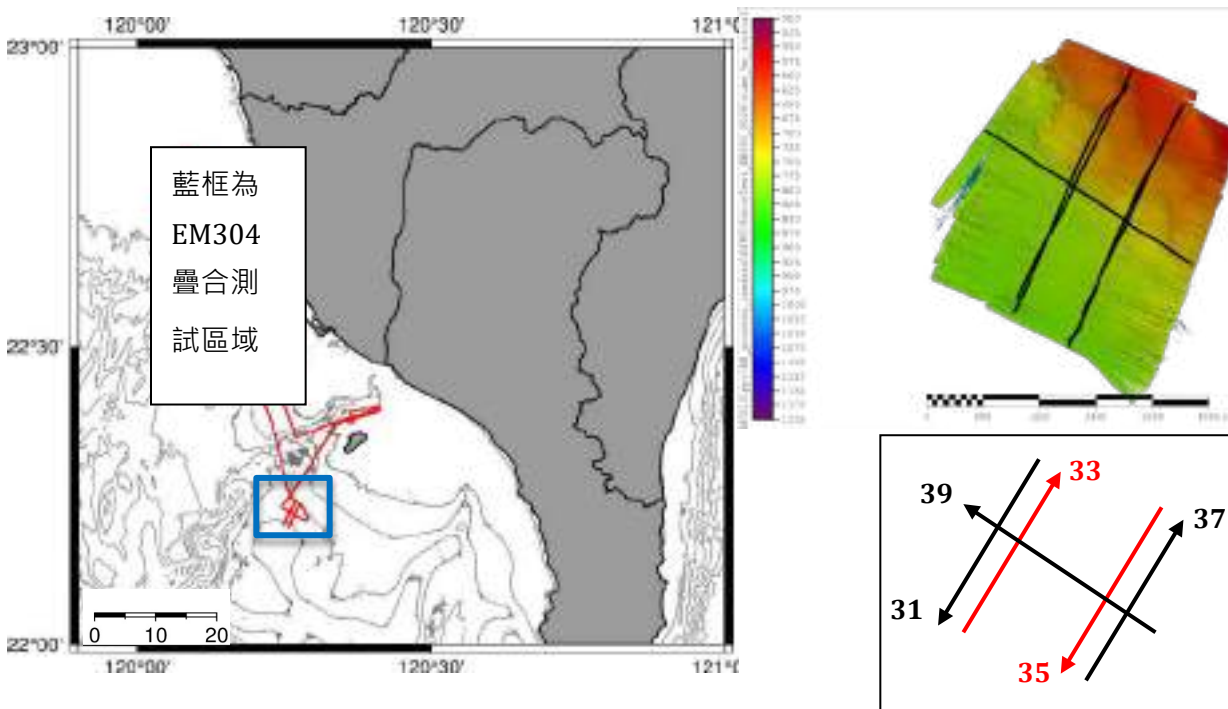


圖 4、疊合測試位置與測線分布圖。

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_EM304_2026	0039_20260303_165628_NOR1	302.8	2.41	V
PatchTest_EM304_2026	0031_20260303_140326_NOR1	206.52	2.5	W
PatchTest_EM304_2026	0033_20260303_143926_NOR1	26.62	2.35	W
PatchTest_EM304_2026	0035_20260303_151720_NOR1	205.2	2.4	E
PatchTest_EM304_2026	0037_20260303_155231_NOR1	25.96	2.36	E

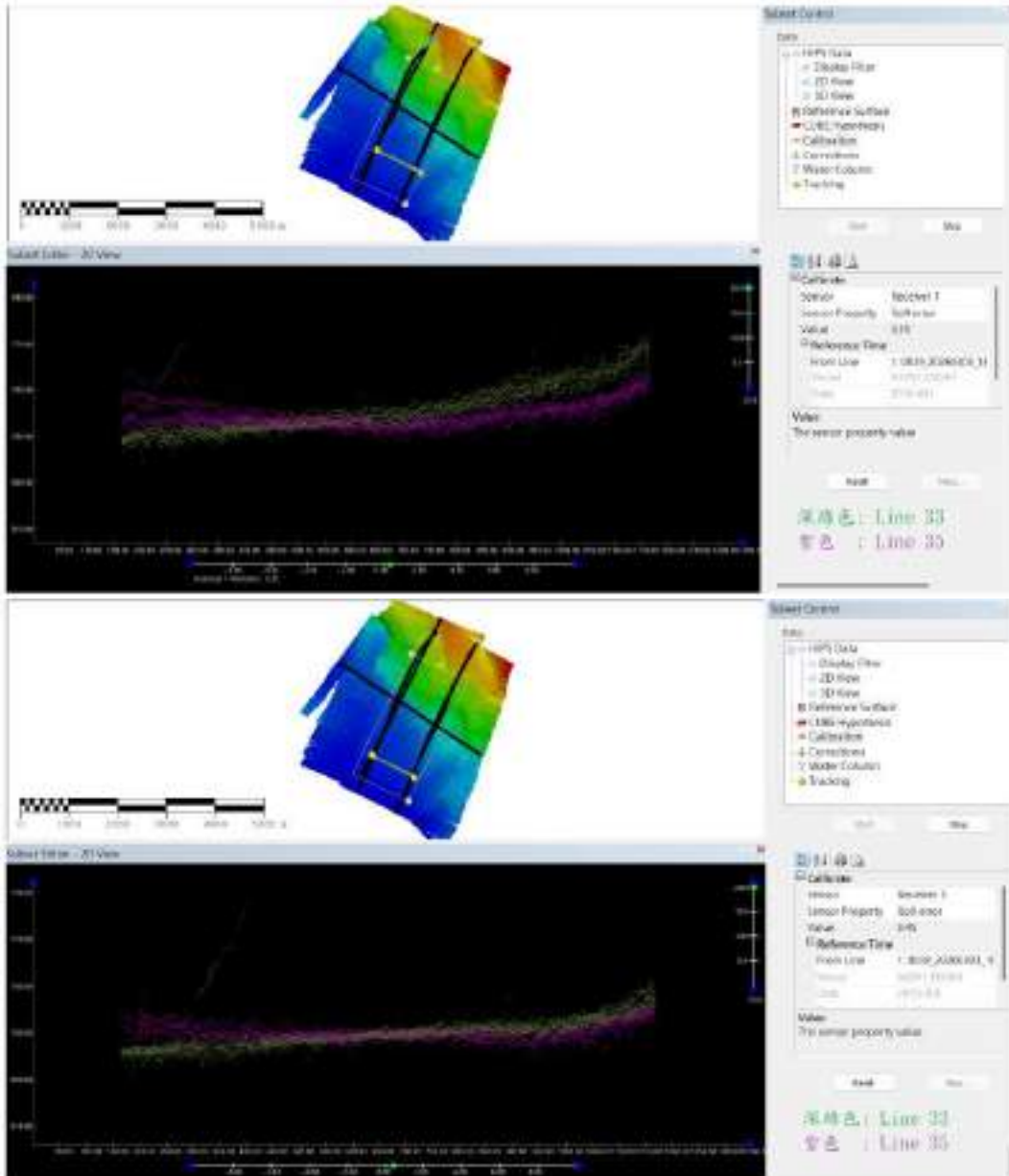


圖 5、Roll 測試深度趨勢比較圖，修改 0.1。上圖 Roll 角度為 0.35、下圖為 0.45。

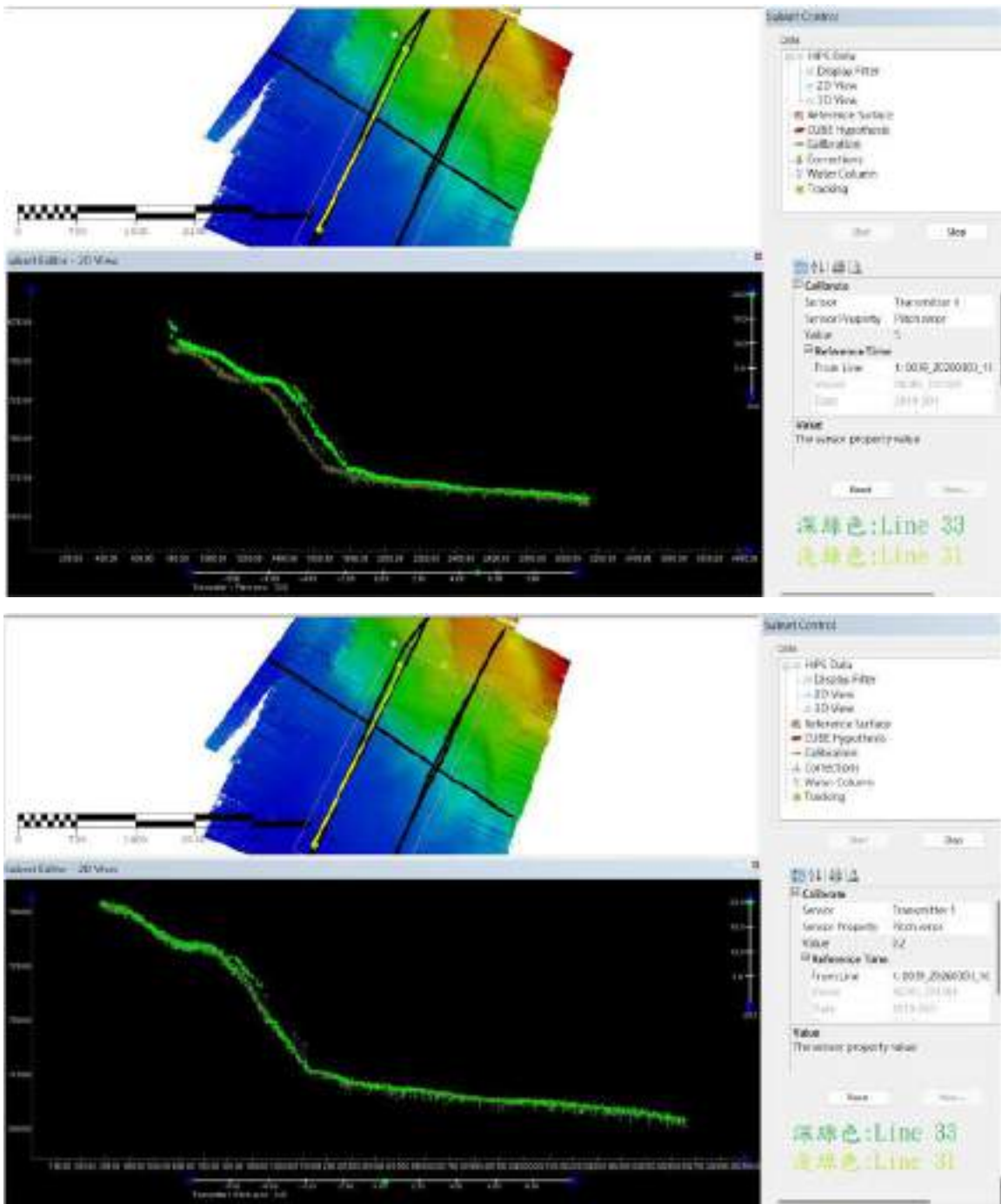


圖 6、Pitch 測試深度趨勢比較圖，不變。上圖 Pitch 角度為 5、下圖為 0.2。

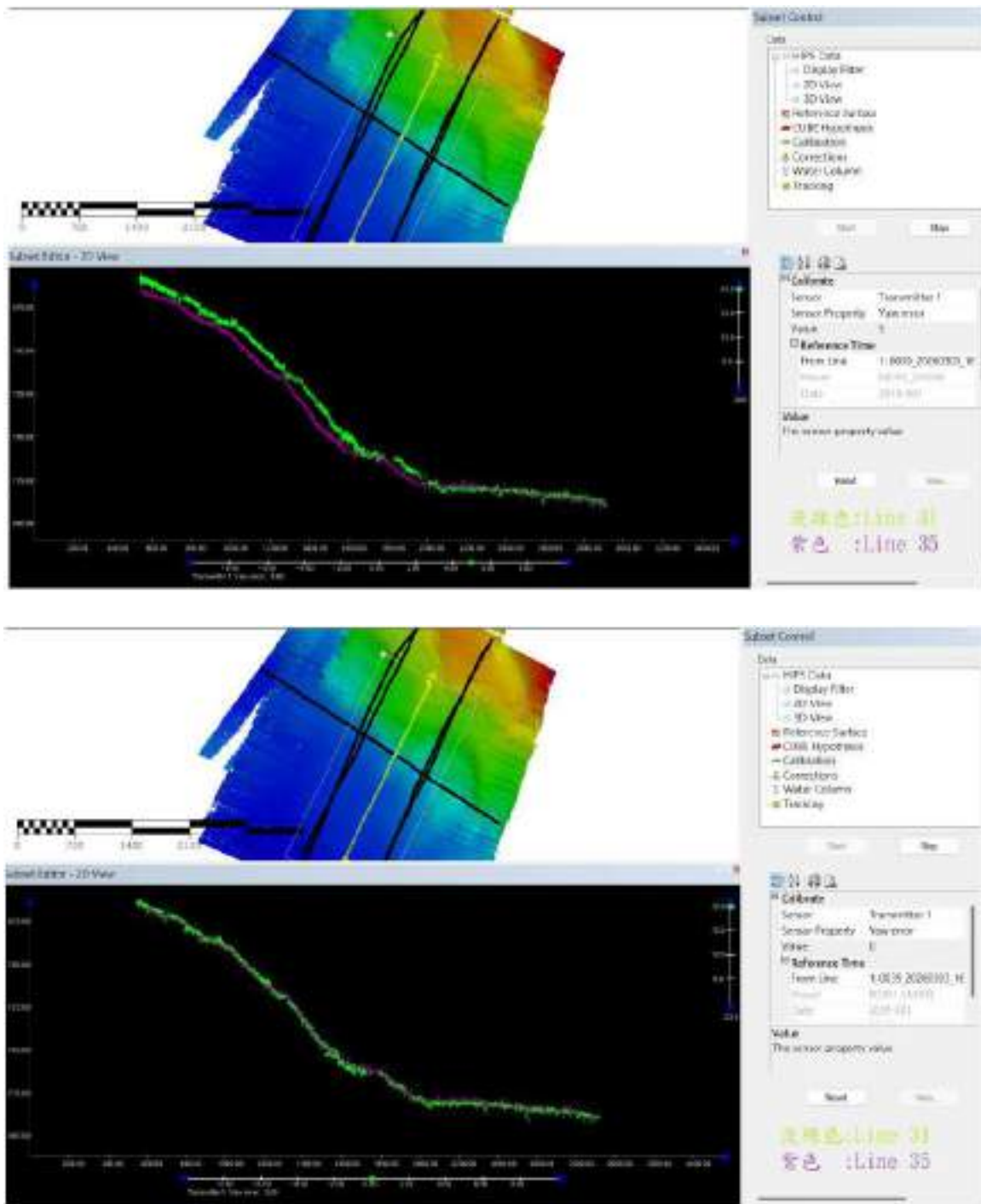


圖 7、Yaw 測試深度趨勢比較圖，不變。上圖 Yaw 角度為 5、下圖為 0。

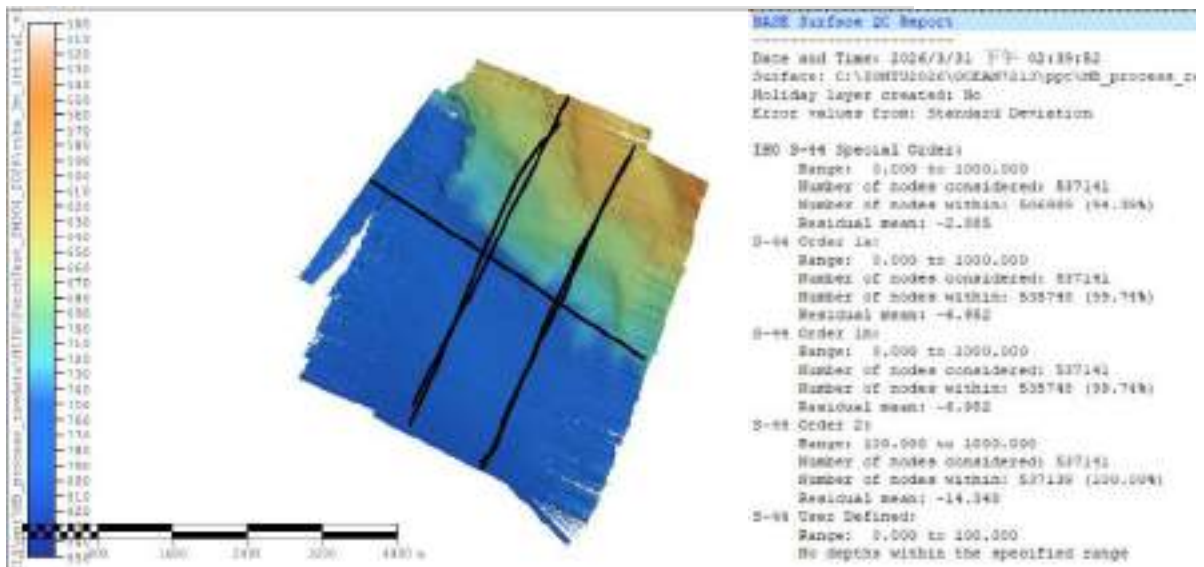
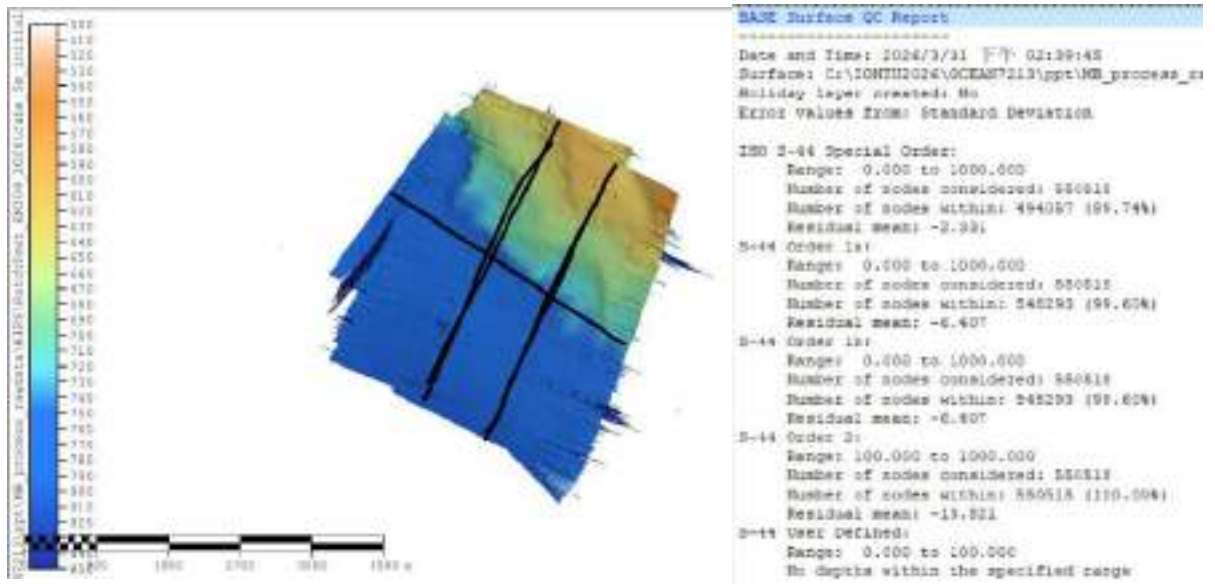


圖 8、疊合測試前(上)後(下)變化。

六、本次背景噪音測試結果

綜合 2020 年 (圖 2) 與 2026 年 (圖 9) 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 40-50 dB, 整體表現穩定且具一致性。然而, 當船速提升至約 7-8 節以上時, 背景噪音明顯上升, 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。在發射端 (TX channel impedance) 方面(圖 9 中與圖 10), 多數通道阻抗穩定分布於約 80-95 Ω , 符合系統規範, 且空間分布均勻, 未見明顯群聚或區塊性異常。僅少數通道呈現較高 (約 110-120 Ω) 或較低 (約 70 Ω) 之數值, 但屬零星分布。由 2020 至 2026 年之長期趨勢分析顯示, 各通道阻抗變化幅度小, 未觀察到明顯漂移或退化現象, 顯示發射系統整體運作穩定。在接收端 (RX channel impedance) 方面(圖 9 右與圖 11), 多數通道阻抗穩定分布於 85-95 Ω , 亦符合 Kongsberg 系統規範。然而, 在 2026 年測試中, 於 Board 1 的 Channel 22-23 可觀察到局部阻抗偏高 (約 115-120 Ω), 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, 特別是在 Amplitude 與 Phase 偵測切換區域, 可能增加雜訊與偵測誤差。

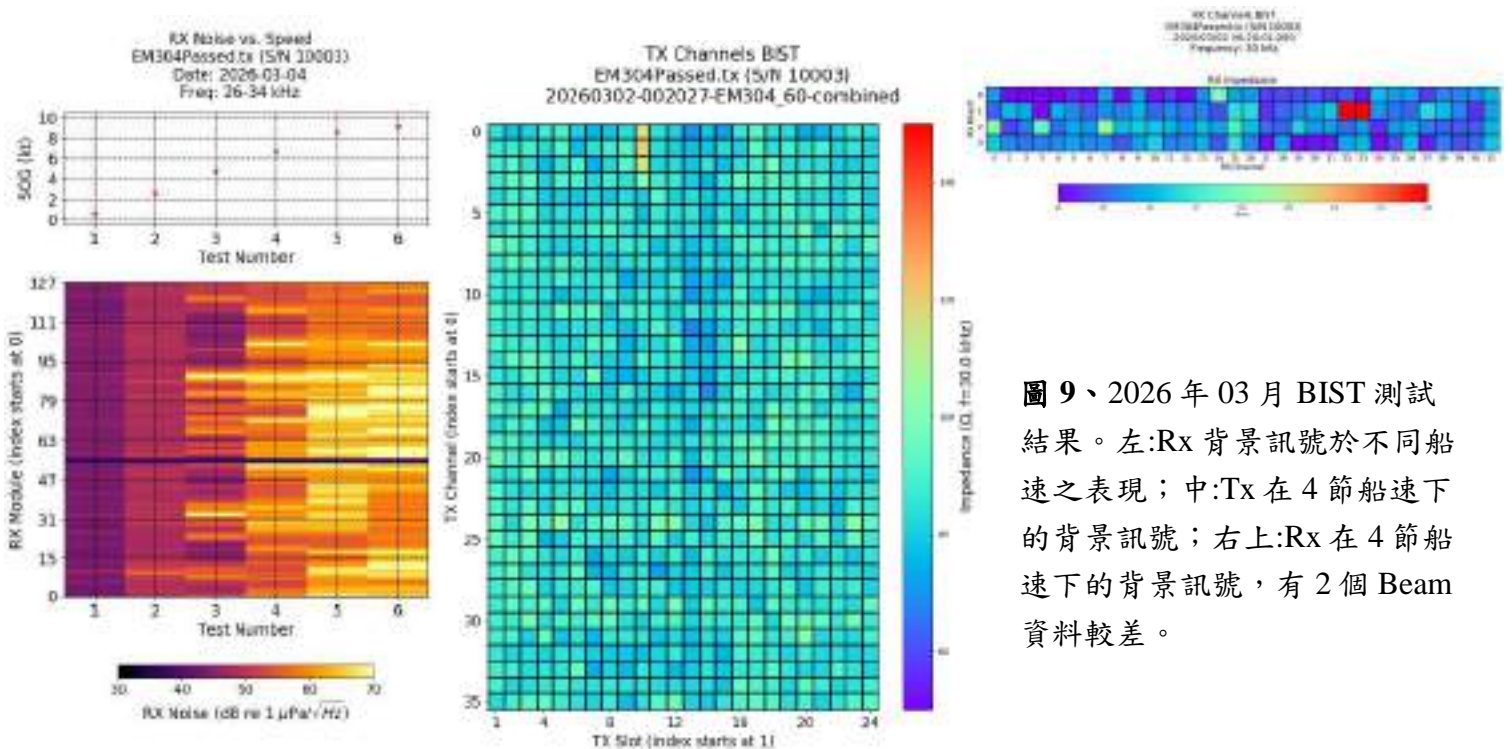


圖 9、2026 年 03 月 BIST 測試結果。左:Rx 背景訊號於不同船速之表現; 中:Tx 在 4 節船速下的背景訊號; 右上:Rx 在 4 節船速下的背景訊號, 有 2 個 Beam 資料較差。

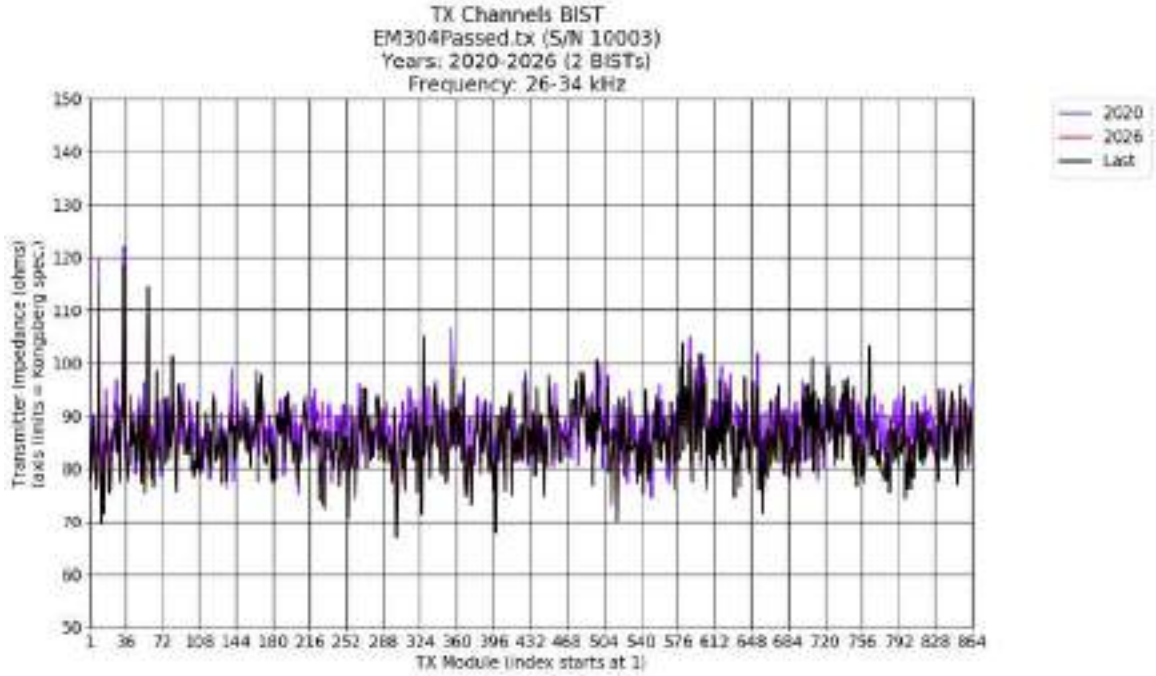


圖 10、2020 與 2026 年 TX 通道阻抗比較。整體分布一致且穩定。

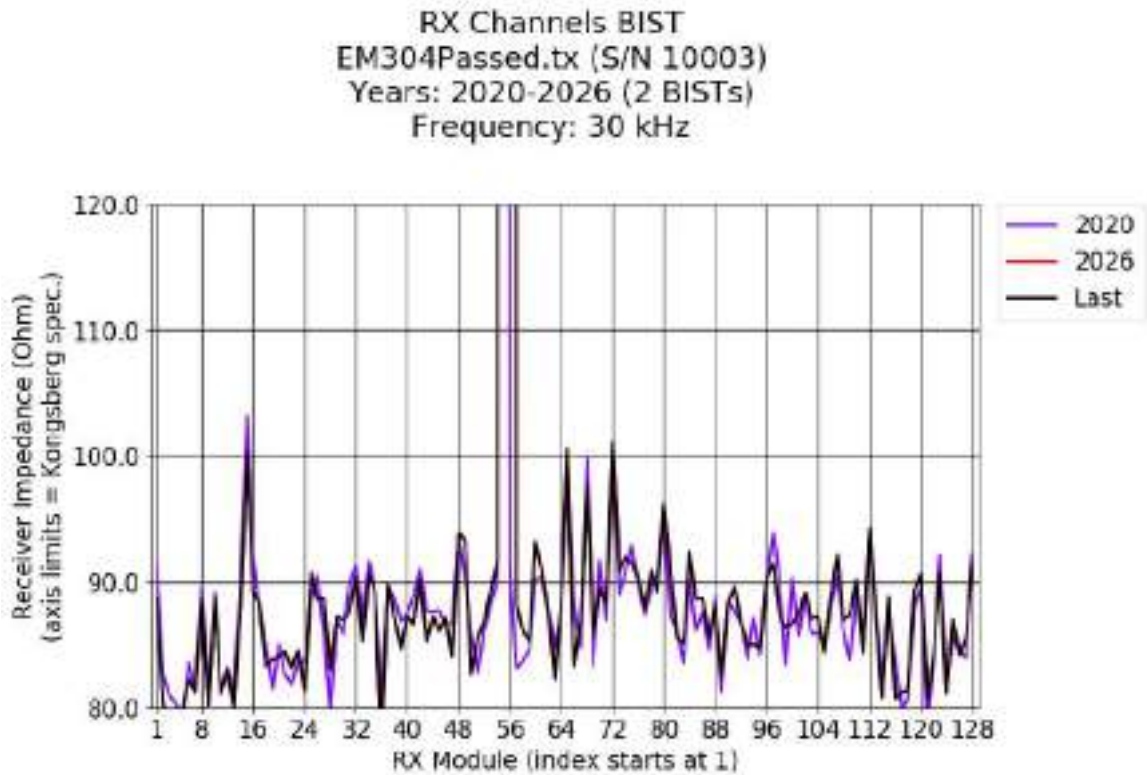


圖 11、2020 與 2026 年 RX 通道阻抗比較。整體分布一致且穩定，僅 RX 約 Channel 56 出現長期局部異常。

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 12)，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 3-6 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。

資料率與水深關係顯示(圖 13)，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。

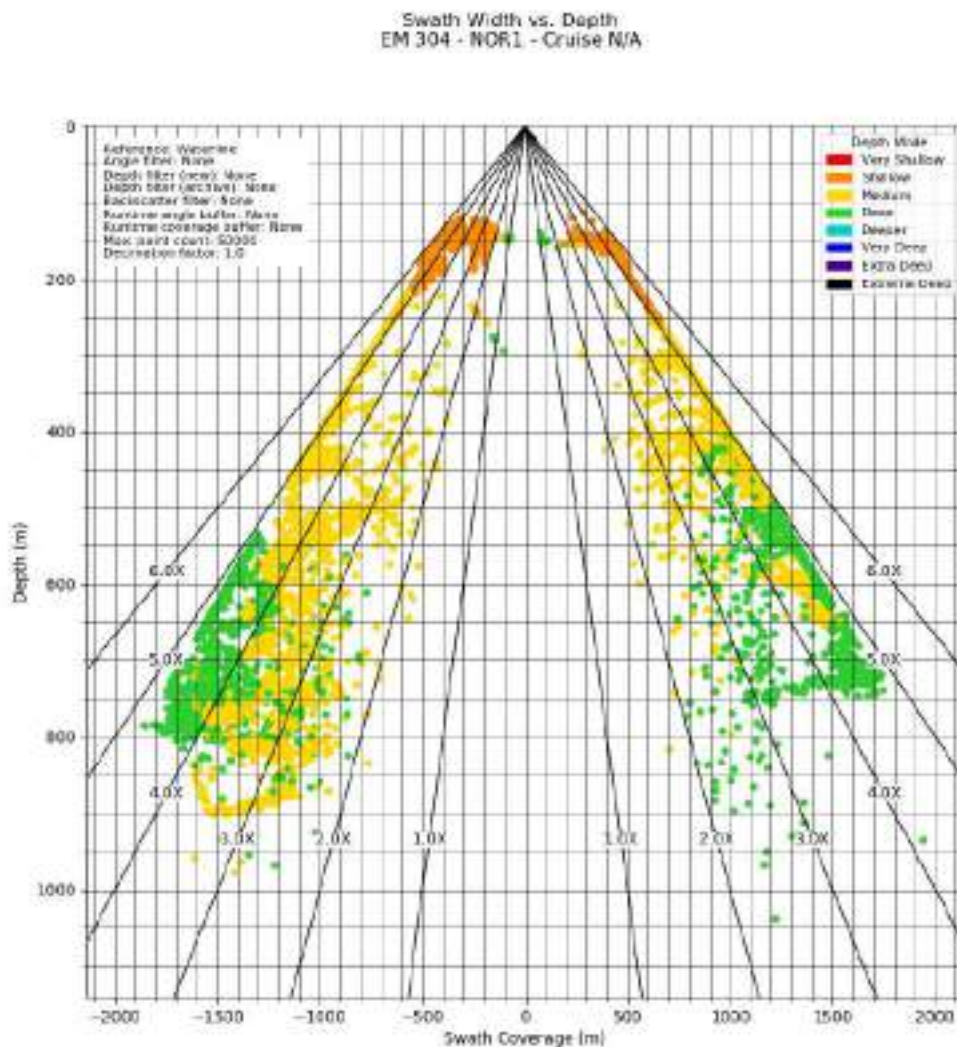


圖 12、覆蓋寬度與水深關係，主要分布於 3-6 倍水深範圍內，左右對稱且穩定。

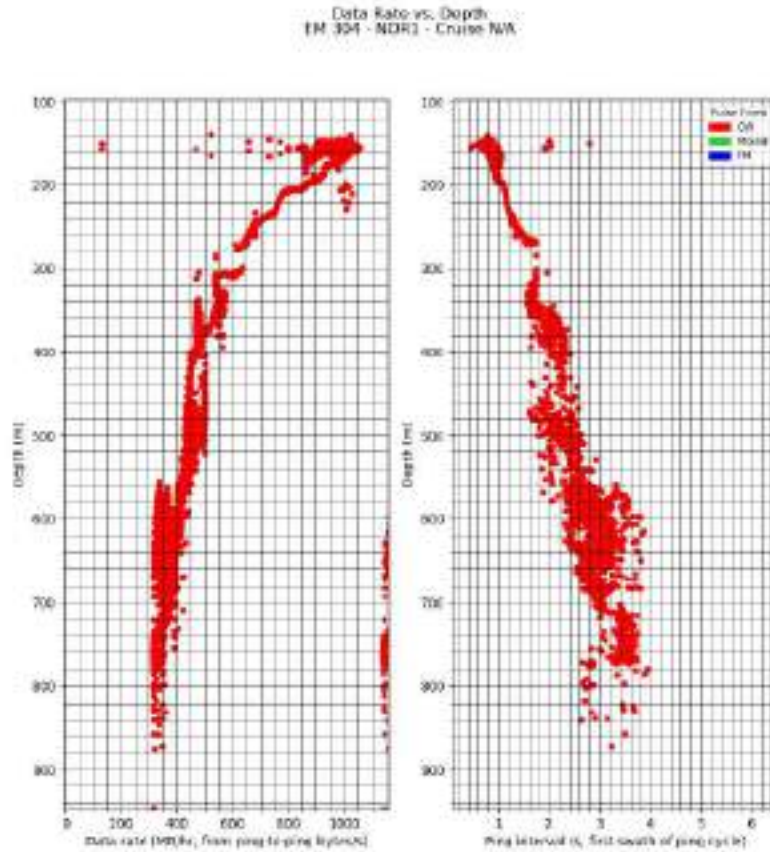


圖 13、資料率與 ping 間隔隨水深變化，呈現正常調整趨勢，系統運作穩定。

八、結論與建議

本報告針對新海研 1 號 (NOR1) 搭載之 Kongsberg EM304 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全面評估。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 = 0.45°、Pitch = 0.2°、Yaw = 0°，屬合理範圍內之微小偏移，經修正後測線間一致性良好，顯示系統幾何狀態穩定。

- 系統運作整體正常 (BIST)

TX 通道阻抗長期穩定分布於約 80 - 95 Ω，2020 - 2026 年未見明顯漂移或退化；RX 通道整體亦符合規範，但於部分通道 (如 Channel 22 - 23 或約 Channel

56) 出現局部高阻抗異常，屬非擴散性且長期存在之局部現象，未影響整體系統功能。

- 航速為影響噪音之主要因素

噪音測試顯示，於低速（約 4 - 6 節）時背景噪音約為 40 - 50 dB，表現穩定；當航速增加至約 7 - 8 節以上時，背景噪音明顯上升，顯示航速對聲納訊號品質具有顯著影響。

- 覆蓋能力符合系統設計

覆蓋測試顯示，多音束掃幅主要分布於約 3 - 6 倍水深範圍，左右分布對稱且穩定，未見明顯遮蔽或側向偏差，顯示系統掃描能力正常。

- 資料品質影響機制

資料異常主要集中於 Amplitude 與 Phase 偵測切換區域，顯示底部偵測機制為影響局部資料品質之重要因素。此外，環境噪音與局部接收通道特性亦會進一步放大此影響。

綜合而言，本系統於 2020 - 2026 年間維持良好穩定性，具備可靠之中深水測繪能力，未見系統性性能退化。

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。