

出國報告（出國類別：其他）

赴新加坡參加「第3屆飛航紀錄器水下技術研討會」出國報告

服務機關：飛航安全調查委員會

姓名職務：副資深飛安調查官／蘇水灶

工程師／莊禮彰

副工程師／日智揖

副工程師／郭嘉偉

派赴國家：新加坡

出國期間：民國 106 年 2 月 27 日至 3 月 2 日

報告日期：民國 106 年 3 月 24 日

目次

壹、目的.....	2
貳、過程.....	4
參、心得.....	7
肆、建議.....	22

壹、目的

最近十年來，國際間曾發生數起重大海上空難，包括韓亞航 991、法航 447、馬航 370 以及印尼亞航 8501 等，近一年則是埃及航空 804 在地中海墜毀。海上飛航事故調查作業牽連甚廣，以法航 AF447 為例，空難發生後，飛機殘骸與紀錄器所在之水深約 3,900 至 4,000 公尺，殘骸偵搜及黑盒子定位作業非常困難。因此飛航事故調查單位平時應作好應變計畫，若不幸發生海上空難時，可隨時因應處理；此外亦可透過海上演練以及國際合作，以增進本會的海上調查經驗與水下偵搜能量。本會申請 105 年度之「行政院國家科學技術發展基金管理會補助計畫」時，計畫內已有規劃與執行亞太地區事故調查演練的項目。

近幾年來，由新加坡航空事故調查局（AAIB）改制而成的新加坡運輸安全調查局（Transport Safety Investigation Bureau，以下簡稱 TSIB）持續關注海上空難演練的議題，陸續主辦兩次的飛航紀錄器水下技術研討會，本年度（106 年）第 3 屆飛航紀錄器水下技術研討會於民國 106 年 2 月 28 日及 3 月 1 日舉行，演練區域為新加坡海峽，邀請周邊國家之飛航事故調查機構共同參與，以促進亞太地區航空調查機構之經驗分享與技術交流。本會派 4 位調查人員參與本次演練，藉以增進本會之海上調查經驗，並促進亞太區事故調查圈之資源共享及技術交流。

行程表如下：

日期		起訖地點	任務
月	日		
2	27	台北~新加坡	起程
2	28	新加坡	會議
3	1	新加坡	會議與演練
3	2	新加坡~台北	返程

貳、過程

第 3 屆飛航紀錄器水下技術研討會原訂於民國 105 年 7 月舉辦，因故延期 4 次後，終於在民國 106 年 2 月 28 日及 3 月 1 日順利舉辦完成，議程及演練整理如下：

日期	議程及演練
2 月 28 日上午	<ul style="list-style-type: none">✓ 07:45 至指定地點集合✓ 09:20 抵達 Jurong Port 碼頭✓ 09:40 登上 PACIFIC HARRIER 工作船✓ 10:00 船長安全提示及內部空間指引✓ 11:00 會議室討論
2 月 28 日下午	<ul style="list-style-type: none">✓ 13:30~16:20 各國代表專題演講及分享海上調查經驗✓ 16:30~17:40 紀錄器水下偵搜設備展示與討論
3 月 1 日上午	<ul style="list-style-type: none">✓ 08:00 甲板上集合✓ 08:10 任務安全提示✓ 08:30 第 1 批演練人員穿著救生裝備✓ 08:40 將兩艘小艇及紀錄器水下偵搜設備吊掛至海面✓ 08:50~10:00 第 1 批演練✓ 10:20~11:30 第 2 批演練
3 月 1 日下午	<ul style="list-style-type: none">✓ 12:00~13:10 第 3 批演練✓ 13:20~14:30 第 4 批演練✓ 15:00~16:00 演練成果討論、頒發證書✓ 18:00 返回 Jurong Port 碼頭✓ 19:00 過海關✓ 20:10 抵達旅館

2.1 參與機構與人員

本次飛航紀錄器水下技術演練除本會及新加坡 TSIB 外，其它參加的單位包括澳洲運輸安全委員會（ATSB）、香港民航處（CAD）、澳門民航局、印尼運輸安全委員會（NTSC）、柬埔寨民航秘書處、緬甸航空器失事調查局（AAIB）、沙烏地阿拉伯飛航調查局（AIB）、菲律賓（AAIIB-CAAP），除亞太地區國家外北歐芬蘭安全調查局（SIA）、芬蘭空軍、新加坡警察局也派員參加，總計來自 11 個

國家，13 個機構的 30 位調查員共同參與，合影照片如圖 2-1。



圖 2-1 出海前各國調查員合影

2.2 演練船隻

本次演練使用一艘補給工作船（Platform Supply Vessel），船名為 PACIFIC HARRIER，隸屬於印尼，船齡 4 年多，總噸位 4,059 噸，載重噸位 4,699 噸，船身尺寸為 88.1 公尺 × 19 公尺，最大航速 11.4 節，補給工作船照片如圖 2-2 及圖 2-3。



圖 2-2 補給工作船 PACIFIC HARRIER



圖 2-3 補給工作船之甲板載重空間

2.3 辦理海上演練的困難性

本次演練原預計於民國 105 年 7 月舉辦，但新加坡 TSIB 遭遇許多困難，包括演練區域、演練時程安排、船隻選擇、合約擬定、招標、流標以及邀請各國參與演練等，因種種因素而延宕，共延期 4 次之多。此外 TSIB 動員其所有人力參與演練，補給工作船之合約金額為新幣 8 萬元（新台幣約 176 萬），但本年度 TSIB 可動用的演練預算高達新幣 20 萬元（新台幣約 440 萬），且新加坡高層相當重視海上調查，此次運輸部副部長還親自蒞臨視察演練情形，這樣的預算規模與國家重點投入，都顯示出新加坡的國力以及與企圖心，相較之下，雖然台灣號稱海洋國家，但投入於海上調查能量之資源與預算卻相對少很多。

參、心得

3.1 本會國際水下演練及調查作業經驗

有鑒於台灣四面環海，由我國境內出發之所有國際航線及部分國內航線均有跨海飛行，加上其他飛越臺北飛航情報區的飛機，因此發生海上飛航事故的可能性極高，加上民國 91 年 5 月華航澎湖空難與同年 12 月復興澎湖空難，皆屬海上飛航事故，本會調查人員也藉此累積了不少海上飛航事故調查經驗。而後我國在飛安紀錄上逐漸進步，但本會仍不敢大意，持續在海上飛航事故調查這一領域進行演練與技術研究。除辦理海上調查演練外，也會不定期派員參與東亞地區各國舉辦之海上飛航事故調查相關活動，以期推動亞太地區區域飛航安全調查能量互相支援網路，提升我國海上飛航事故調查技術。

本會 2 名調查員曾於民國 100 年奉派參加當時新加坡航空事故調查局(AAIB)舉辦的飛航紀錄器水下演練研討會。在該次會議中，與會各國提供了如何強化海上空難偵搜打撈之協調、資源整合及人員訓練方面之經驗分享，以新加坡為例，調查團隊轄有偵搜及打撈組 (Survey and Recovery Team, SRT) 及調查支援組 (Investigation Support Team, IST)，負責以下任務：

- 偵搜及打撈組:
 - ✓ 計劃和執行偵搜作業，審查偵搜結果，及修訂偵搜區域
 - ✓ 水下殘骸現場之監測、測繪及評估
 - ✓ 取得商用打撈公司之協助，以打撈水下殘骸
 - ✓ 評估偵搜行動，並建議主任調查官停止偵搜行動時機
 - ✓ 成員應包含：調查員、國內外水下專家、國際調查機構水下偵搜顧問、海軍／空軍／機場消防人員、航空公司技術代表、飛機製造商之結構及發動機工程師等
- 調查支援組:

- ✓ 後勤支援偵搜及打撈組
- ✓ 協調其他政府機構（包括國家搜救隊）
- ✓ 協調罹難人員之 DNA 檢定和識別事宜
- ✓ 負責媒體公關事宜
- ✓ 殘骸儲存、識別與重建

該次活動也包含法國航空事故調查局 BEA 之經驗分享，並有半天的時間進行了實際飛航紀錄器偵搜演練，我國 2 位調查員攜帶本會裝備參與演練，藉此獲得不少寶貴經驗。



圖 3-1 民國 100 年新加坡水下演練

同年（民國 100 年）一架韓亞航 747-400F 貨機在濟州島附近的東海海域發生墜海空難，當時負責主導調查作業的韓國航空與鐵道失事調查局（KARAIB）有鑒於事故初期之海上打撈作業嚴峻，請求本會提供飛航紀錄器搜尋工作的支援，據此，本會派 2 名調查員至事故海域協助韓方的偵搜作業共 11 天。該次作業參與

之國際調查團隊除本會外，另有美國運輸安全委員會組成之授權代表小組（含美國聯邦航空總署 FAA、發動機製造商通用電氣公司 GE 以及飛機製造商波音公司 Boeing）及新加坡航空失事調查局。該次偵搜作業仍未尋獲該機之飛航紀錄器，但該次實際飛航紀錄器的偵搜作業中，本會調查員展現了高度的專業，並協助韓方建立以地理資訊系統來規劃偵搜區域的概念與應用方法，取代了耗時耗力的人工手繪方式，大幅提高調查作業的資料整合效率。該次支援偵搜作業除讓本會人員再次獲得海上空難調查的經驗，也提升本會與新加坡 AAIB/韓國 KARAIB 之同僚情感，並且獲得可貴之海上調查經驗，強化本會水下偵搜與打撈之技術。我方 2 名調查員結束支援偵搜作業後，更提出更新本會水下偵搜裝備的需求及必要性，也間接促成了調查實驗室所建置之第三代飛航紀錄器水下定位系統（Flight Recorder Underwater Locating System, FRULS）的誕生。

3.2 參與演練各國之心得分享

與會各國在本次飛航紀錄器水下技術研討會中提出水下偵搜作業經驗分享，其中新加坡、澳洲、芬蘭及我國提出專題簡報，以下是新加坡、澳洲、芬蘭的提報內容摘要。

首先由新加坡運輸安全調查局提出過去幾年來 TSIB 參與數件飛航紀錄器水下偵搜演練的經驗分享。相較於其他國家，新加坡運輸安全調查局建立海上飛航事故調查能量的時間較晚，自 2007 年才開始初步建置，並挾著充沛的訓練經費與資源，已建立起相當不錯的調查能量，此外在東亞地區發生海上空難時就主動派出調查員協助飛航紀錄器的偵搜作業。迄今，除了前段提到的民國 100 年韓亞航濟州島海域空難之外，另外也參加了民國 103 年年底的印尼亞洲航空空難（爪哇島海域）與民國 101 年寮國湄公河空難的飛航紀錄器偵搜作業。在這幾次飛航紀錄器偵搜作業中，除了湄公河空難地點離人口密集區域較近（車程 15 分鐘左右），參與人員得以居住在飯店之外，另兩次的偵搜作業均位於茫茫大海中央，光是自

最近的港口前往事故地點附近的母船，就需要 12 小時左右的船程，另外加上出發港口附近可能沒有民用機場，需要協調軍機支援，可見前往事故現場的艱難度。偵搜作業開始進行後，隨時出現的惡劣海象及身體不適（暈船）、船上之設備相對簡陋克難、船上生活、調查作業陷入膠著等，這些因素對於調查員的身心狀態都是一大考驗。

澳洲運輸安全委員會（ATSB）則針對日前宣布停止搜尋的馬航 MH 370 航班提出了專題報告。MH 370 自民國 103 年 3 月失蹤以來，耗費的人力、物力及資金規模在飛航事故調查史上可說是空前，搜尋區域廣達數十萬平方公里，耗費資金近 1.6 億美金，但除了曾在東非海岸意外尋獲數件殘骸之外，其他機體零件或殘骸仍彷彿石沉大海般音訊全無。在考量搜尋成本及近來已無更進一步有關航機位置的有力證據之下，由 ATSB 主導的搜尋活動遂宣布暫時中止。

本次簡報重點主要聚焦於這三年來搜尋活動所使用到的世界頂尖水下偵搜工具，如美國海軍的水下偵搜無人載具，美商 Phoenix 公司的 Bluefin 自主式水下載具（autonomous underwater vehicle, AUV）以及荷蘭 Fugro 公司使用的 Kongsberg Hugin 4500 AUV 等；另外也簡報了三年來進行的五個搜尋階段。

在搜尋的第一階段主要採取測深（bathymetry）的作業，由荷蘭 Fugro 公司以配備多波束測深探測儀（multi beam echo sounder, MBES）之工具船赤道號進行預想事故海域的深度探勘，為未來之深海拖曳載具（deep tow fish）作業進行初步的海底地貌探勘，於此階段完成約 27.8 萬平方公里的海底探勘作業。之後開始的第二階段，利用深海拖曳載具進行約 12 萬平方公里的深海偵搜，期間曾遇到數次資料「缺口」，即載具或因海底地形、儀器失效、地貌陰影等影響而缺乏片段的探勘資料。

第三階段則仰賴自主式水下載具，並配備多波束測深探測儀 MBES、側掃聲納（side scan sonar）、超短基線定位系統（ultra short baseline）及高解析度攝影機以進行興趣點（contact of interest）的細部探勘，成果並用於第四階段的成像拼接用途上。澳方參與本次活動的人員也與大家分享了海上作業的甘苦談，他提到由

於作業地點離陸地極為偏遠（離附近最大城市澳洲伯斯約近 2,700 公里），光單程前往目的地就要 5 至 6 天，因此出海一次除非罹患重病，不然一去就是三個月不能回家。

除此之外，作業時常會遇到的惡劣氣候，以及冬天會有的暴風雨等，再再的增加了作業的困難度，如 Fugro 公司的無人載具曾與流刺網相撞造成損壞，而產生美金三百萬元的維修費用。儘管 MH 370 搜尋工作目前在航機殘骸的搜尋仍徒勞無功，但是在海底科學方面仍有一定貢獻，偵搜行動對科學家瞭解此間海域的海底地貌有絕對不可抹滅的貢獻。

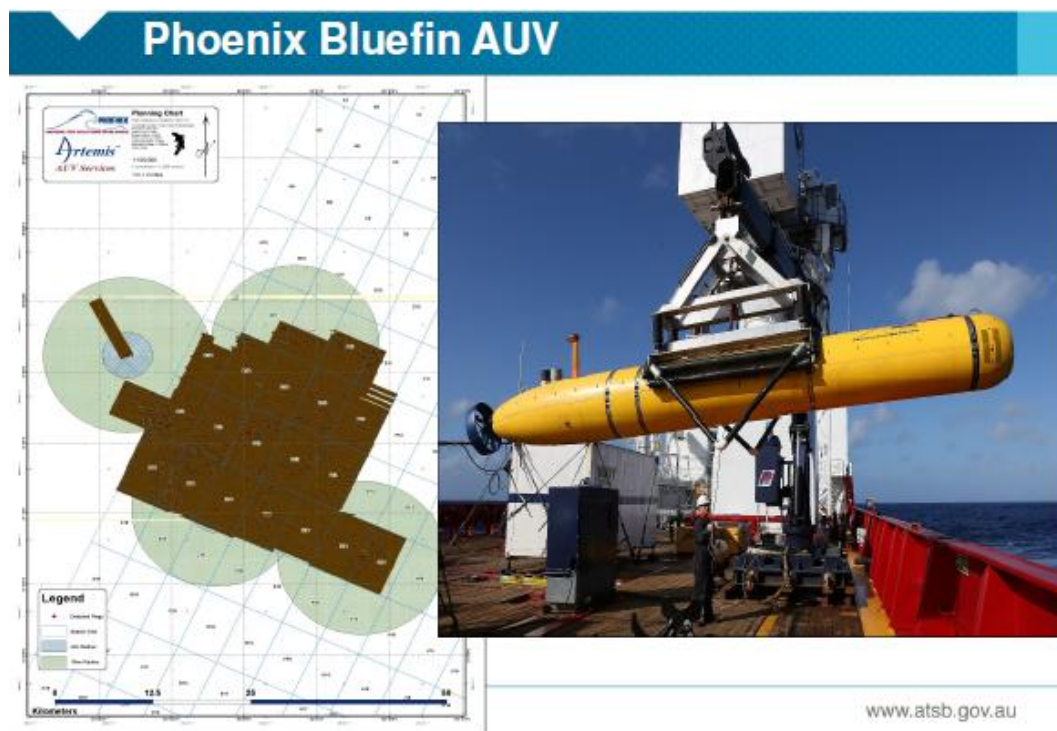


圖 3-2 美國 Phoenix 公司的 Bluefin 自主式水下載具（取自 ATSB 簡報資料）



圖 3-3 Kongsberg Hugin 4500 自主式水下載具作業（取自 ATSB 簡報資料）

接著由芬蘭安全調查機構 SIA (Safety Investigation Authority) 進行簡報，芬蘭 SIA 為一個多模組運輸事故調查機構，編制與我國不同，與荷蘭安全委員會 (Dutch Safety Board, DSB) 的組成較為類似。除機構內有 16 位專職人員外，SIA 在航空領域有約 30 位的兼職事故調查員，由 ATC 人員、飛行員、航太工程師、醫療背景人員、安全管理系統專家所組成，橫跨各模組 SIA 則約有近 130 位兼職調查員。依照歐盟與國家法規規定，其他歐盟成員國必須在必要時提供芬蘭事故調查上的協助，因此 SIA 並未建有專門飛航紀錄器解讀能量，發生飛航事故需要紀錄器解讀時，通常委託德、法、英三國之事故調查機構代勞。

此外，北歐各國也有組成共享資源之事故調查群組 (Accident Investigation Group, AIG)，並被國際民航組織所認可。由於芬蘭飛安紀錄良好，SIA 成立 60 年來並未發生重大飛安意外，因此該國在大型事故調查、亦或水下偵搜打撈這部分都是較為陌生的。芬蘭國土中湖泊廣佈，因此曾有出現旋翼機或小型定翼機墜湖事故，打撈工作除可委託軍方之外，也會透過北歐各國或歐盟各國之間的相互合作及支援來完成任務。

3.3 本會之心得分享

本會人員攜帶實驗室整合開發之飛航紀錄器水下定位系統 (Flight Recorder Underwater Locating System, FRULS) 參與此次演練，本系統可整合全球衛星定位系統、水下聽音器、地理資訊系統及水下偵搜工具軟體等，進行飛航紀錄器位置之估算。在本次會議中，本會發表專題演講一篇，題目為「飛安會飛航紀錄器水下定位系統之更新 (The update of ASC's FRULS)」，與會各國代表對本會所開發的飛航紀錄器水下定位系統都相當有興趣，對系統有相當多的討論，如圖 3-4 所示。

系統主要由以下 4 個組件組成，系統架構圖如圖 3-5 所示：

- (1) 資料收集器 (平板電腦)
- (2) 智慧型穿戴式裝置 (智慧型手錶)

- (3) 水下偵搜工具軟體 (Underwater Survey Program)
- (4) 水下聽音器 (RJE Underwater Locator)



圖 3-4 本會展示飛航紀錄器水下定位系統

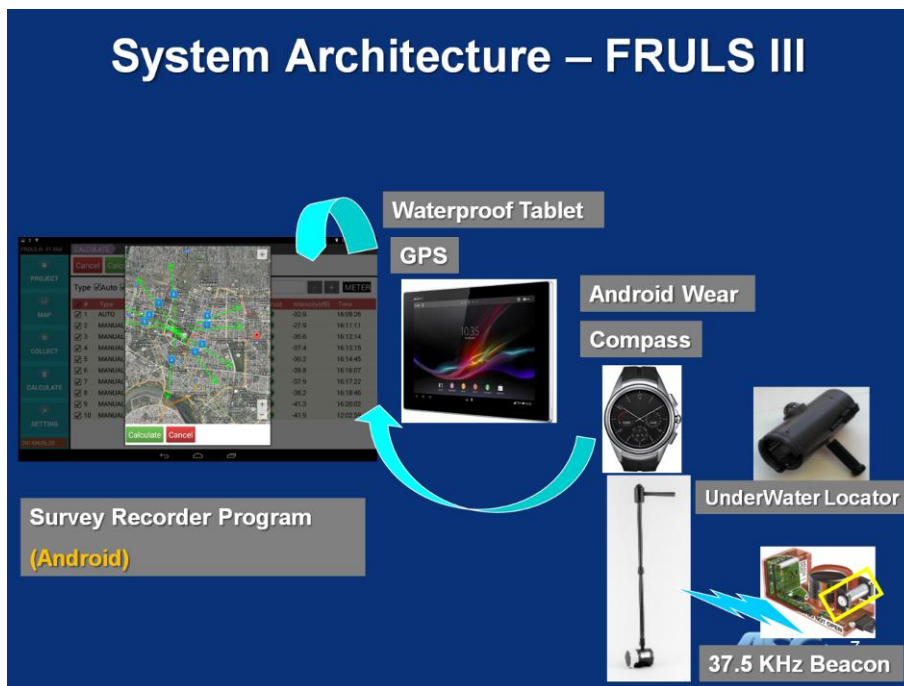


圖 3-5 系統架構圖

資料收集器上安裝水下偵搜工具程式，可透過藍芽傳輸接收來自於智慧型穿戴式裝置上之電子羅盤方位資訊，記錄資料收集器之 GPS 定位資訊，處理來自

於水下聽音器之音頻訊號，解算飛航紀錄器最可能的位置，並於地理資訊系統（Google Earth）呈現作業船艇移動之歷史軌跡、飛航紀錄器定位定向結果、飛航紀錄器解算結果等。智慧型穿戴式裝置固定於特製的水下聽音器標竿基座上，固定後其指向即與水下聽音器音鼓一致，當操作水下聽音器時，可藉此得知飛航紀錄器可能的方位，此電子羅盤方位可透過藍芽即時傳輸至資料收集器中。

操作人員可使用水下聽音器進行聽音作業，水下聽音器具有調整接收頻率、音量及增益（Gain）之功能，可接收的頻率範圍為 5kHz 至 80kHz，可接收的頻寬為 2kHz，聽音器可接收角度在 3dB 以內至少 30 度，標竿上有羅經指示，另可由潛水人員手持水下聽音器配合水下聽音器音骨傳導助聽器（bone conduction earphone）於水下使用，可操作水深度至少 180 公尺。

另，水下聽音器之音源訊號可透過音源線將音源訊號傳輸至資料收集器中，系統中之音頻訊號處理模組接收水下聽音器之聲音訊號後，運用快速傅立葉轉換法（Fast Fourier Transform）即時處理音源訊號，經由音頻訊號處理顯示訊號強度，藉此輔助操作人員判斷紀錄器可能的方向，消弭因人耳判斷而產生之誤差。

水下偵搜工具程式的計算核心是以最小平方方法（Least Square Method）估測飛航紀錄器之位置坐標，求解方程式如下：

$$\begin{bmatrix} \text{slope}(1)-1 \\ \text{slope}(2)-1 \\ \vdots \\ \text{slope}(n)-1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{slope}(1) \times E(1) - N(1) \\ \text{slope}(2) \times E(2) - N(2) \\ \vdots \\ \text{slope}(n) \times E(n) - N(n) \end{bmatrix}$$

其中 E、N 為 GPS 所定出之坐標，並轉換成平面位置坐標，slope 為依據水下聽音器所定出之方位角，轉換成平面座標之斜率，n 為取樣點，n 至少須等於或大於 2，x、y 為估測結果，亦即飛航紀錄器之位置坐標。

3.4 演練作業

主辦單位所規劃的作業區域位於新加坡南方之新加坡海峽，距離新加坡南方 Jurong 碼頭外海約 8 海哩處，會議第一天所有參與演練人員於 Jurong 碼頭集結，

完成注意事項及安全提示後上船，登船情形如圖 3-6 至圖 3-7 所示，補給工作船 PACIFIC HARRIER 約於 10:30 時出發前往演練區域。12:00 時工作船行駛至規劃位置後停止，定錨位置 (Anchor site) 如圖 3-8 所示，演練區域為圖中紅框處，演練區域長寬各約 2,500 公尺與 500 公尺。

第 2 天為海上演練，使用補給工作船 PACIFIC HARRIER 的 2 艘小艇，每艘小艇都配有兩位主辦單位 TSIB 的人員隨同，各國調查員則依序分組參與演練，當日 2 艘小艇共執行 8 個船次的實作演練，本會人員被安排在第 2 艘小艇的第 1 及第 2 個船次，第 1 次任務主要目的為使用本會所攜帶之裝備進行演練，第 2 次任務主要目的為協助其他國家之參與人員，熟悉及操作水下聽音器設備，圖 3-9 至圖 3-10 為本會人員參與演練的照片，其中兩位參與 1 次演練，另兩位參與 2 次演練。



圖 3-6 登艇情形 (一)



圖 3-7 登艇情形 (二)

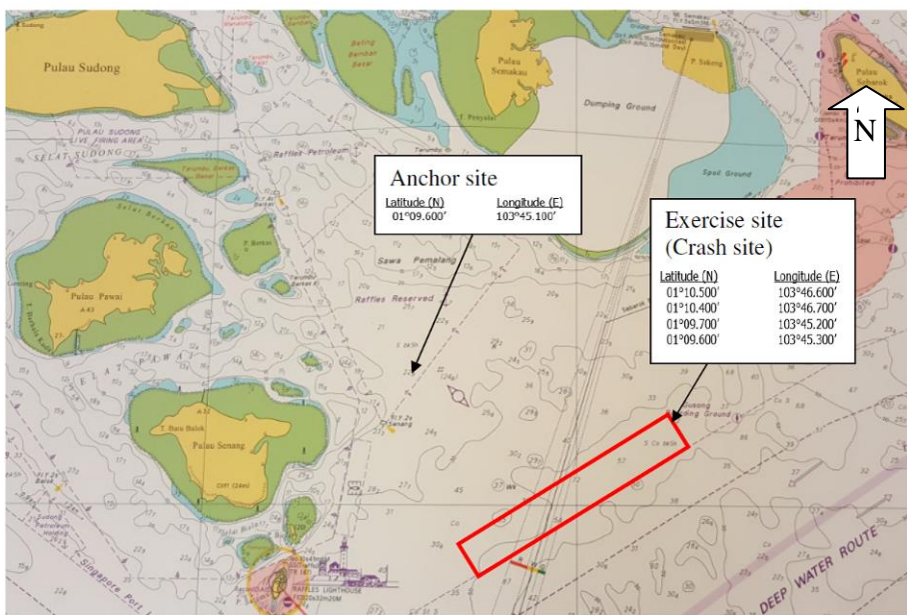


圖 3-8 海上演練作業區域




圖 3-9 演練作業情形



圖 3-10 演練作業情形

3.5 演練成果與討論

主辦單位 TSIB 於演練前一日將飛航紀錄器上之水下發報器佈置於演練區域，演練當日主辦單位僅說明水下發報器放置已放置完成，未告知放置地點，由參與演練活動之人員使用水下聽音器裝備搜尋所佈置之水下發報器，計劃於演練後匯整各組所標定之結果。經過上午及下午的操演，主辦單位收集各個船次所搜尋之水下發報器定位點，並與實際水下發報器佈置點進行比較，結果顯示本會之定位結果最佳，綜合使用「人耳判定決定方位」及「音頻分析決定方位」兩種方式之計算結果，本會之定位結果距離實際水下發報器佈置點約 64 公尺，如圖 3-11 及圖 3-12 所示，其中 ULB 位置以  表示，圓形區域之半徑為 50 公尺。人耳判定決定方位及音頻分析決定方位兩種方式之各別計算結果說明如下。

人耳判定決定方位：

使用 FRULS 收集定位及定向資料，其中定向資料由人耳判斷，以人工的方式決定水下發報器的方向。在此次演練中以人耳判定決定方位所計算之定位結果與實際水下發報器佈置點約 184 公尺，結果如圖 3-13。

音頻分析決定方位：

使用 FRULS 收集定位及定向資料，其中定向資料由音頻分析判斷，以自動的方式決定水下發報器的方向。在此次演練中以音頻分析決定方位所計算之定位結果與實際水下發報器佈置點約 39 公尺，結果如圖 3-14 及圖 3-15。

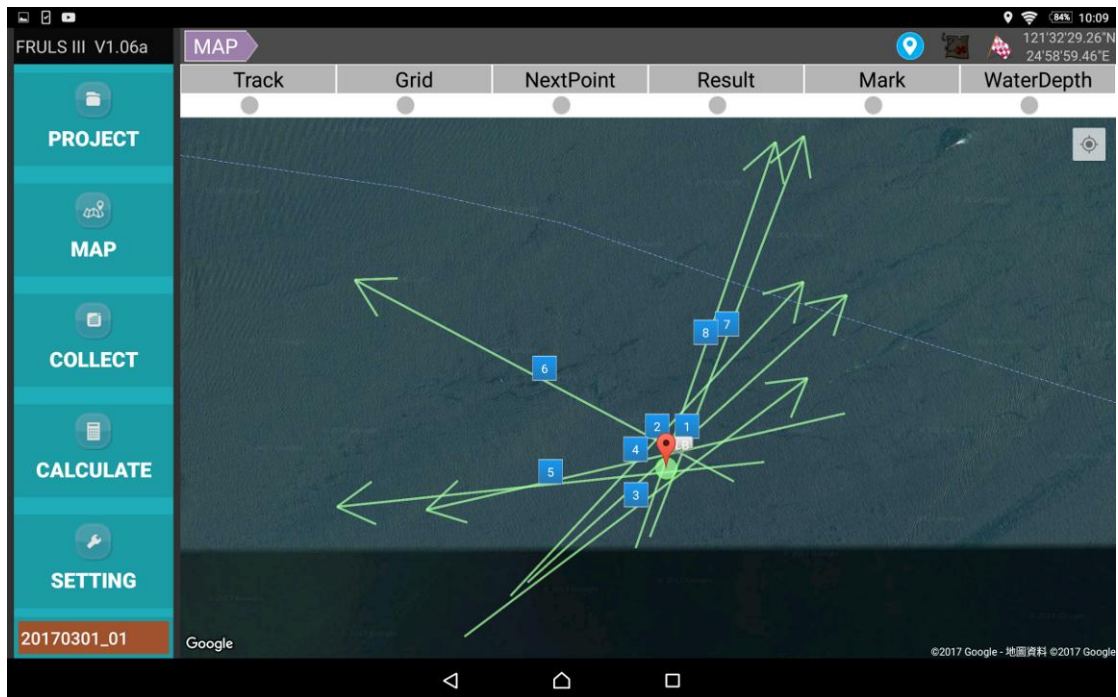


圖 3-11 演練結果圖

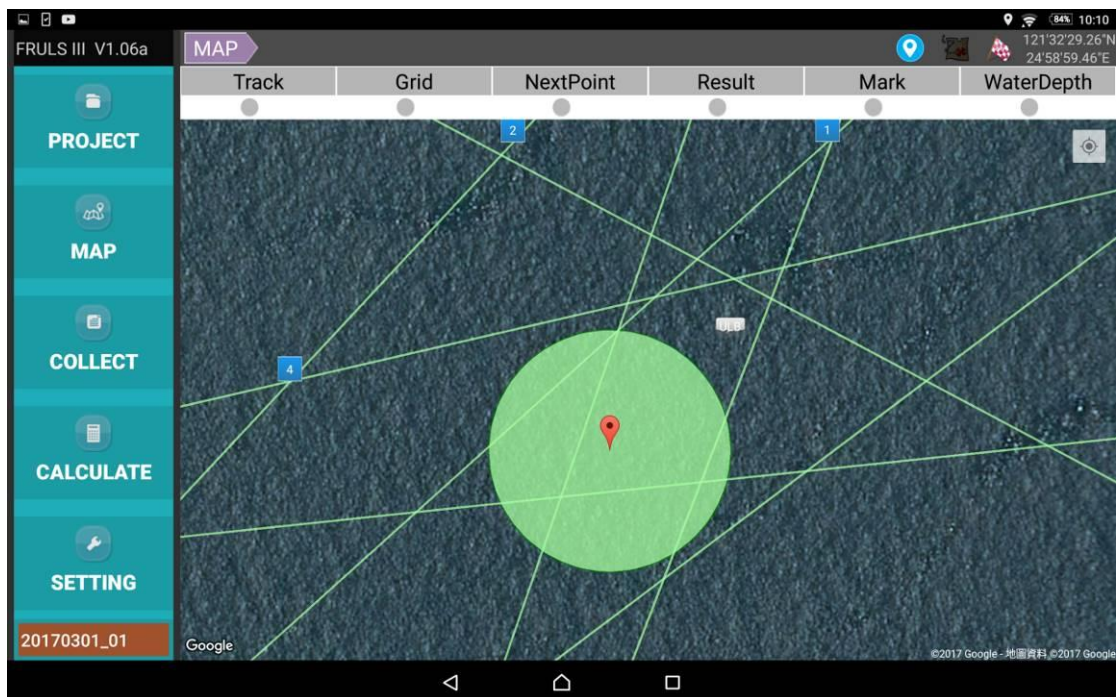


圖 3-12 演練結果近景圖

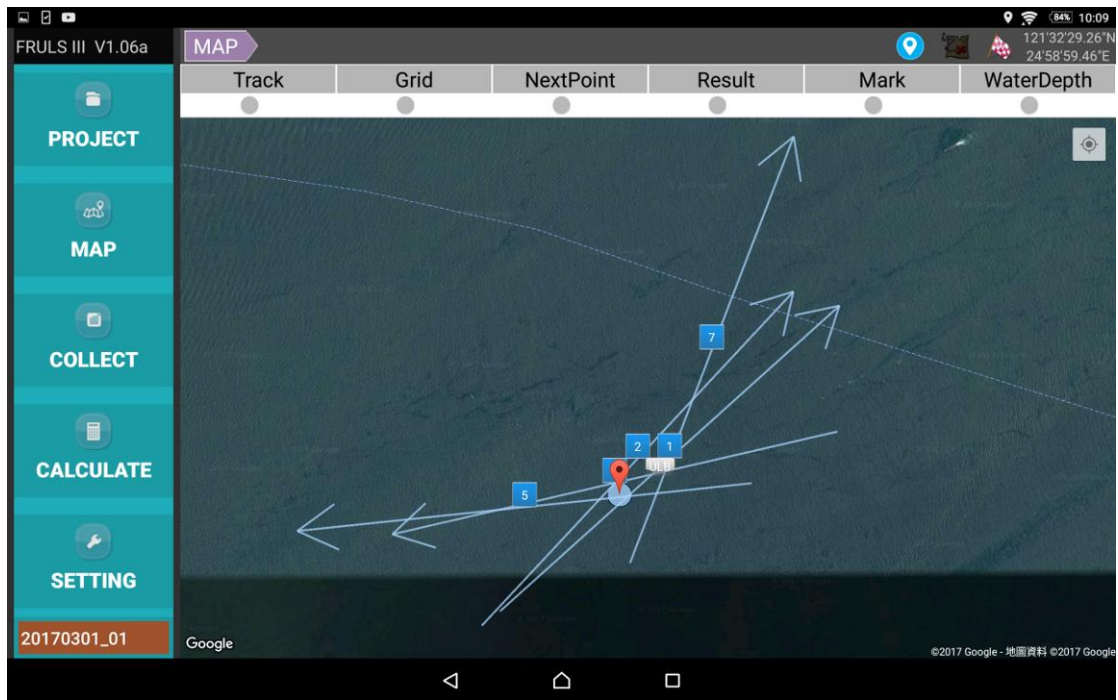


圖 3-13 人耳判定決定方位之結果圖

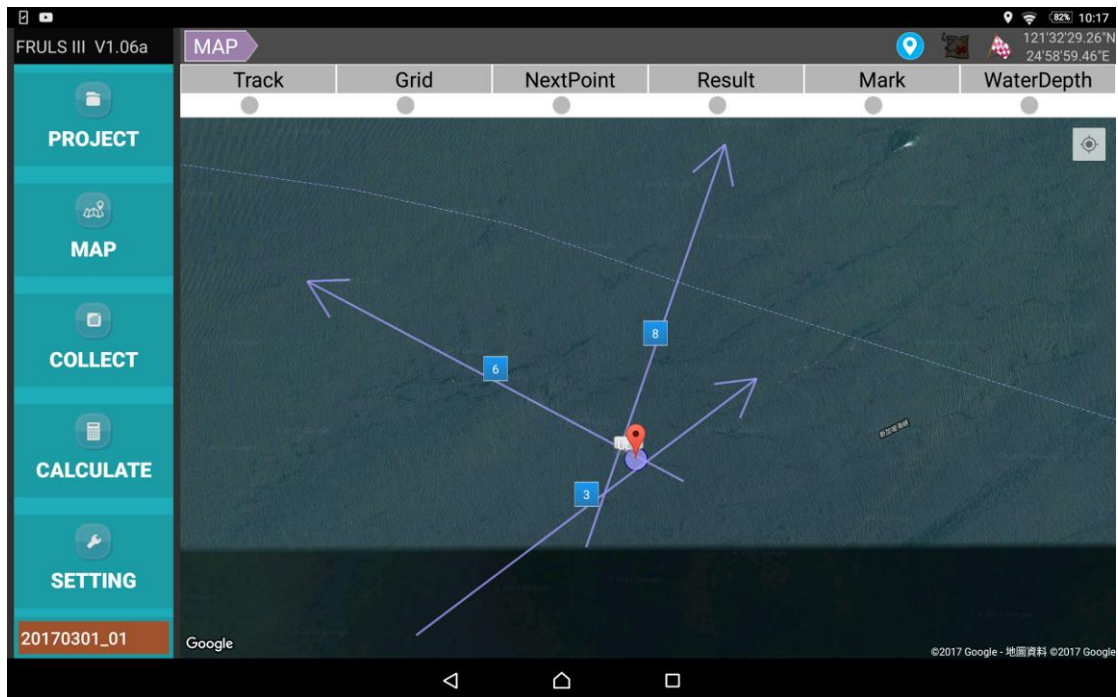


圖 3-14 音頻分析決定方位之結果圖

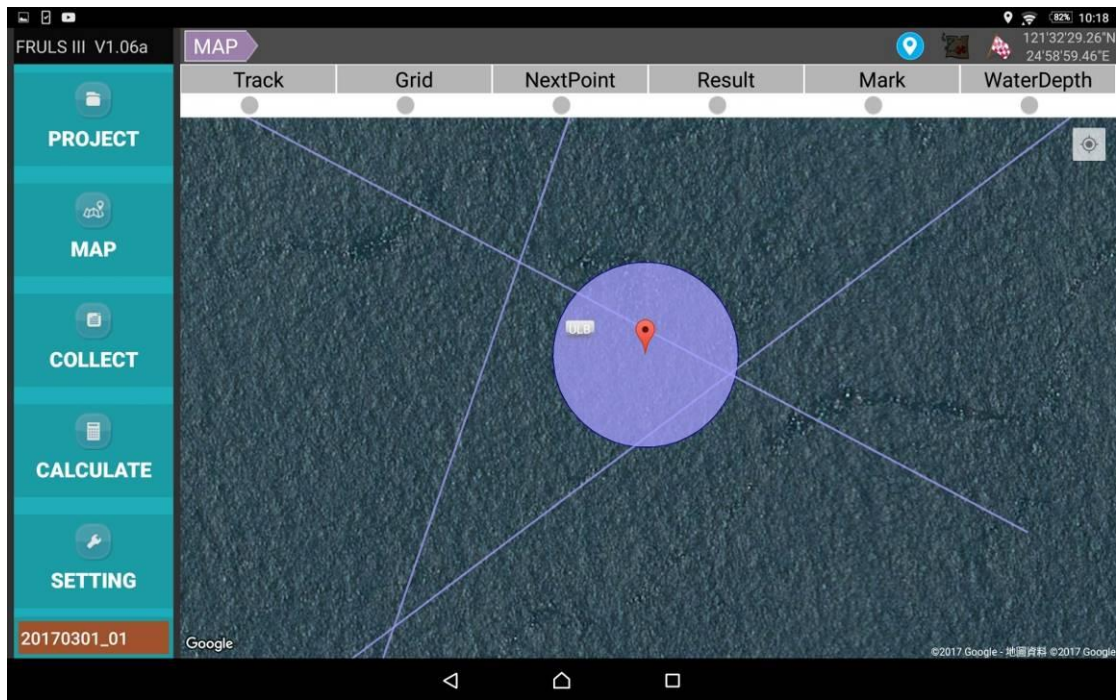


圖 3-15 音頻分析決定方位之結果近景圖

肆、建議

本會人員此次參加新加坡 TSIB 所舉辦之第 3 屆飛航紀錄器水下技術研討會及海上演練成果豐碩，除增加本會人員實地偵搜經驗外，亦驗證本會所開發系統於使用上之可靠度；透過與其他參與活動之各國代表交流，促進亞太區事故調查圈之資源及技術共享，職提出建議如下：

- 一、 持續提升本會海上調查經驗，於民國 107 年度規劃辦理飛航紀錄器水下演練。
- 二、 台灣雖非國際民航組織締約國，但當鄰近國家發生海上空難或辦理演練活動時，建議本會應派人支援或參與，以建立良好國際關係，亦可增加本會海上調查經驗。