

出國報告（出國類別：開會）

參加事故調查員紀錄器會議 出國報告

服務機關：國家運輸安全調查委員會

姓名職務：正研究員／莊禮彰

研究員／郭嘉偉

副研究員／劉姿杏

派赴國家／地區：冰島 雷克雅維克

出國期間：民國 113 年 11 月 15 日至 11 月 23 日

報告日期：民國 114 年 2 月 14 日

本頁空白

目次

一、前言.....	4
二、行程.....	6
三、會議摘要與心得.....	7
3.1 各國調查實驗室最新狀態簡介.....	7
3.2 AI 運用於事故調查.....	10
3.3 極寒天氣-挑戰 50 米海域資料救援	11
3.4 座艙語音紀錄器-25 小時錄音文字自動識別成果	12
3.5 自由氣球事故調查.....	13
3.6 HCR 25 紀錄器資料下載技術	15
3.7 新一代簡式紀錄器.....	17
四、建議.....	18

本頁空白

一、前言

事故調查員紀錄器會議，自 2004 年由美國（National Transportation Safety Board, NTSB）、法國（Bureau d'Enquêtes et d'Analyses, BEA）、加拿大（Transportation Safety Board of Canada, TSB）及澳洲（Australian Transport Safety Bureau, ATSB）共同創立。會議針對飛航紀錄器處理技術、資料分析之技術交流與討論；其在航空調查事故扮演舉足輕重的角色。隨著航空產業的多元發展，航空器不僅限大型商業航空器，還包括直升機、自由氣球及無人機等。這些不同類型的航空器所安裝的飛航紀錄器也不再是僅限於典型所見抗撞毀殘存之飛航紀錄器，而是逐漸擴展至可記錄飛航資料紀錄設備，像是電子飛行儀表系統、手持或機載 GPS 接收機等。藉由這樣的會議，各國紀錄器專家分享在資料處理和救援過程中遇到的問題和挑戰，學習彼此成功的案例及解決方式，進而得到更多實際可行的做法。

本次會議於 113 年 11 月 18 至 11 月 20 日於冰島雷克雅維克舉行，由冰島安全事故調查機構（Safety Investigation Authority SIA-Iceland）主辦。本會由運輸工程組莊組長禮彰、郭研究員嘉偉、劉副研究員姿杏等 3 員代表參加。來自各國約 30 位事故調查單位紀錄器專家參加；其中包括來自 TTSB（我國）、SIA-Iceland（冰島）、NTSB（美國）、ACRC（美國）、TSB（加拿大）、NRC（加拿大）、AAIB（英國）、AAIU（愛爾蘭）、BEA（法國）、BFU（德國）、SHK（瑞典）、DSB（荷蘭）、JTSB（日本）、JAXA（日本）、NTSC（沙烏地阿拉伯）等。圖 1-1 及圖 1-2 為本屆會議開會情況及合照。



圖 1-1 本屆會議開會情況



圖 1-2 本屆與會人員合影留念

二、行程

日期	起訖地點	記要
11/15-16	台北 – 冰島雷克雅維克	啟程及轉機
11/17	冰島雷克雅維克	準備會議資料
11/18-20		紀錄器相關議題討論會議 冰島事故調查實驗室能量介紹及參訪
11/21		當天無返國班機於當地停留
11/22-23	冰島雷克雅維克-台北	返國及轉機

詳細會議討論議題安排，如下段會議摘要與心得。

三、會議摘要與心得

隨著科技日新月異，可記錄飛航資料的裝備，不再是只有傳統的飛航紀錄器。隨著航空產業多樣化的發展、型態及經營模式的不同，各型航空器不僅包括大型商業航空器；還包括直升機、自由氣球及無人機等。不同類型的航空器所裝載的飛航資料紀錄設備也更多樣化。在此背景下，各國事故調查實驗室在處理不同型別及類型之飛行紀錄裝備時，專業技術上面臨了一大挑戰。

透過事故調查員紀錄器會議，來自世界各國的紀錄器專家分享他們在處理各式紀錄設備之過程、經驗及挑戰。除此之外，也將現階段正面臨之難題，帶至會議中進行深入的討論，探討最合適之處理方式。會議開始時，循往例由各國提報調查實驗室能量及現況、人力配置及未來規劃後進行專題式之提報，討論議題涵蓋了許多，如：

- 嚴苛環境之飛航紀錄器打撈
- 特殊型別紀錄器資料同步
- 損壞紀錄器資料救援
- 飛航資料紀錄設備於自由氣球事故調查以及
- 新一代紀錄器水下偵蒐技術等

各項議題深淺的討論成果豐碩，亦提升了各國紀錄器專家處理類似情況的能力。會議討論主題甚多，以下是會議中討論的部分議題摘錄。

3.1 各國調查實驗室最新狀態簡介

各國介紹實驗室最新狀況以及未來規劃，本報告說明幾個重要國家的簡報。

美國國家運輸安全委員會 NTSB

美國 NTSB 工程技術部門為「Office of Research and Engineering」，提供科學上和技術上的專業技術與知識，同時進行安全研究，定期對航空事故進行統計，並提供醫學和毒理學專業知識。該部門包括紀錄器組、載具性能組、材料實驗室、安全研究組等四個子部門。涵蓋技術範圍相當廣泛，可作為本會運輸工程組發展的借鏡。

法國飛航事故調查局 BEA

法國 BEA 有五大部門，分別為調查部門、工程部門、資訊與通訊部門、內閣部門，BEA 目前員工共 90 位，包含 58 位調查員；主要辦公室位於巴黎 Le Bourget 機場，4 個地區辦公室分別位於 Rennes、Toulouse、Lyon、Marseille 等地。BEA 工程部門分為兩個分組：「結構與發動機」、「飛航紀錄器與航電系統」，參加此次會議為「飛航紀錄器與航電系統」分組。法國 BEA 於 2023 興建新的實驗室，如圖 3.1-1 所示。法國 BEA 另蓋一個新的棚廠，以置放重要殘骸及關鍵證物。此外，BEA 介紹 Honeywell EGPWS 下載裝置、Leica BLK360-G2 3D 掃描儀器。



圖 3.1-1 BEA 新完工實驗室

英國飛航事故調查局 AAIB

英國 AAIB 成員無變動。AAIB 本年度建置手持式鑑識採集與影像處理裝置，具備 SIM 卡數據提取、鑑識影像處理、手機數據擷取、文件拷貝與鑑識、無人機數據提取等功能，可迅速下載無人機資料，如圖 3.1-2。此外，建置 Riegl VZ-600i 地面光達，將大幅提昇 AAIB 現場資料測繪能量。

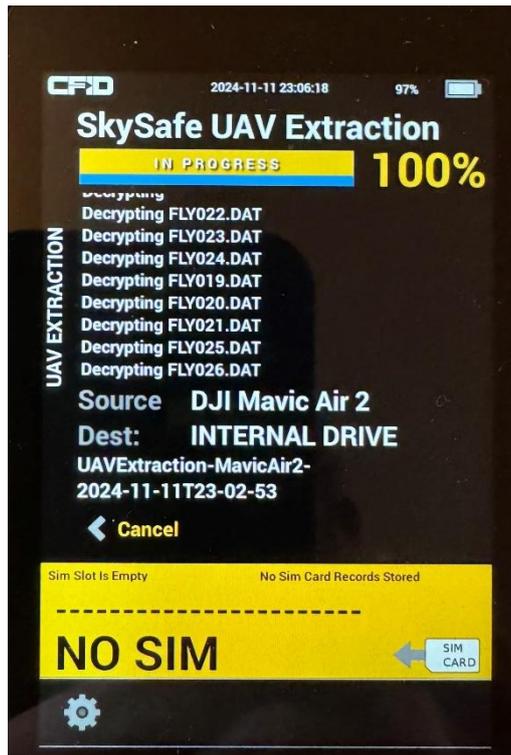


圖 3.1-2 下載無人機資料

沙烏地阿拉伯國家運輸安全中心 NTSC

原 SAAIB 成立於 2013 年，負責飛航事故調查，4 大部門分別為調查部門、工程部門、安全分析部門、財務與行政部門，工程部門處理一般飛航紀錄器之下載與解讀、動畫製作、紀錄器水下偵蒐、無人機空拍、光達掃描測量、殘骸處理等。2022 年起，SA AIB 逐步規劃擴充調查範圍及技術能量至多模組運具，包含水路、鐵道及公路，並更名為沙烏地阿拉伯國家運輸安全中心（National Transport Safety Center, NTSC），並改建實驗室，如圖 3.1-3。



圖 3.1-3 NTSC 實驗室改建

3.2 AI 運用於事故調查

近期，人工智慧（AI）引領一波科技創新的風潮，甚至有將人工智慧帶起的智慧數位技術視為第四次工業革命（工業 4.0）的重要關鍵，而運輸事故調查技術的運用自然也無法迴避 AI 帶來的這股風潮：能否適當的運用 AI 技術於事故調查，以提升調查作業效率，也自然的成為本屆會議上討論的其中一個議題。

本屆會議由荷蘭安全委員會 DSB 提報專題「人工智慧於事故調查的應用」，引用了歐盟人工智慧法對於人工智慧的定義：軟體得以依據人類事先設定好的目標，產出例如數位內容、預測、建議或影響與它們互動環境的決定。以目前民航機有關的事故調查來說，多數是基於「規則」，也就是根據人類事先設定好的一套標準來檢視是否發生偏離的行為，如航空器應該具備的性能表現、飛行員或航管員在各自任務的規範遵循等等，AI 雖然可以運用於此類調查作業的效率提升上，但缺乏機器自我學習的彈性與空間、或是一旦出現不是屬於規則所定義框架內的內容時就難以應對；而目前所流行的機器學習、乃至於更進一步的深度學習，都是依賴（大量）資料的提供做為訓練教材，能否產出比人類調查更有效率或質量的成果也端看這些資料的正確性及數量，還有 AI 引擎的設計而定。

但考量到事故調查機關的公正性與調查資料的機敏度，調查有關資料即便須用於 AI 的訓練，亦不可儲存於第三方之雲端，以避免資料外流之風險。

在使用 AI 的過程中，常常出現的一個疏漏就是 AI 的不當表現，例如誤用資料導致 AI 誤判（張冠李戴），此處可以分為錯誤的訓練資料，或是在進行實際應用時誤用不對的資訊（如假訊息）等。因此在事故調查的嚴謹需求下，AI 的應用目前僅停留在滿足較基礎的大量語音轉文字此類的需求，如訪談紀錄的製作。在此類的應用目前多基於美國 OpenAI 公司的 WhisperX，並運用微調訓練模型如 LoRA（low-rank adaptation）等，進行更為精確的辨識。語音資料進入 WhisperX 前，也可以先進行減噪，可取得較好的辨識效果。

此外，調查機關可以應用大型語言模型（large language model, LLM）將語音轉文字後的成果做更進一步的優化，但須使用可以安裝於本地端的 LLM。

最後，DSB 簡介了利用 Google LLM Gemini 將一個範例調查報告轉為一段可以馬

上對外公開的 podcast（或稱播客、有聲書，為蘋果公司 iPod 與 broadcast 的組合字），目的可使一般大眾對於一本事故調查報告內容可以更快且有效率的獲取重點內容，亦可作為本會未來對外發布調查報告時可以一併使用之管道參考。

3.3 極寒天氣-挑戰 50 米海域資料救援

西元 2022 年 2 月 3 日，冰島一架塞斯納 172N 型飛機於雷克雅維克國內機場（Reykjavík Airport）起飛，一小時後該飛機在部分結冰 Þingvallavatn 湖墜毀，事故發生後，冰島展開了超過 40 年來規模最大的搜救行動。搜救過程動用 Gavia 自主水下載具（AUV），並規劃偵蒐路徑（圖 3.3-1）。在 33 小時後發現飛機殘骸，在殘骸附近約 300 公尺處發現機上四名罹難者的遺體。受限於冰島寒冷氣候（圖 3.3-2），殘骸打撈計畫延至 2.5 個月後。

於 2024 年發布最終調查報告，提出以下安全建議：

- ✓ 實施廣播式自動回報監視（ADS-B），透過機載發射器週期性廣播飛機資訊
- ✓ 制定搜救行動的應變計劃
- ✓ 改善數據的協調和處理
- ✓ 加強 112 緊急電話的後續作為

此外，報告還提出了以下建議：

- ✓ 遵守最低飛行高度規定
- ✓ 確保著陸場地的安全條件
- ✓ 遵循歐洲航空安全局（EASA）的操作手冊
- ✓ 限制對飛行數據的權限

這事故發生後，在進行觀光飛行時，對天氣條件、湖面狀況以及飛行操作採取更嚴格要求。另外，冰島航空界亦加強對觀光飛行的監管和安全措施，以防止類似事件的發生。

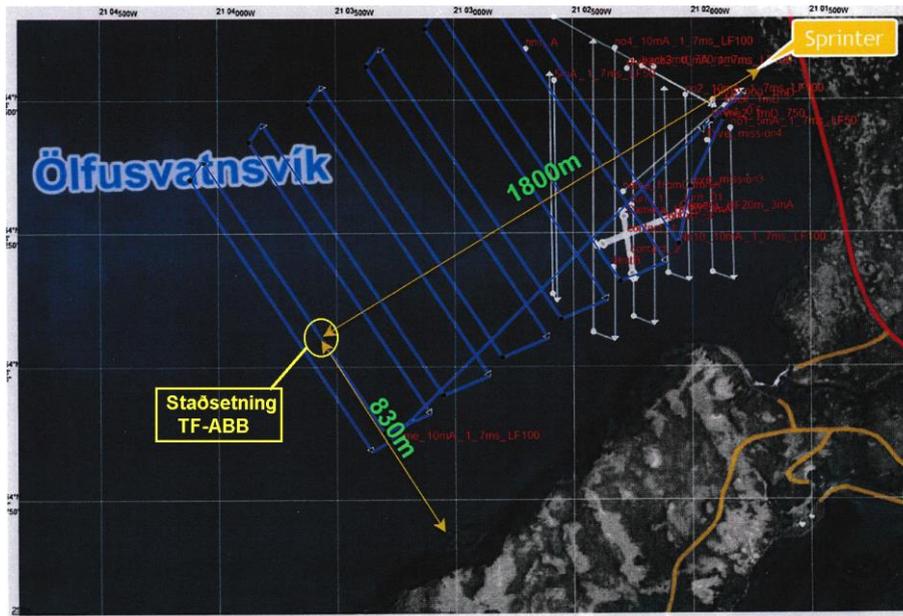


圖 3.3-1 使用自主水下載具 AUV 偵蒐飛機殘骸



圖 3.3-2 惡劣的調查作業環境

3.4 座艙語音紀錄器-25 小時錄音文字自動識別成果

本次會議當中有關人工智慧運用於運輸事故調查的專題報告，除了荷蘭 DSB 之外，美國 NTSB 亦針對目前正在研究當中的 25 小時座艙語音紀錄器（CVR）錄音文字自動辨識研究，提出了期中的一份進度概況說明。

有鑑於先前 CVR 紀錄時間僅有兩小時，超過兩小時的部分就會被覆寫，在許多事故調查案件中，會遇到事故發生前後關鍵語音無法取得的困擾，因此國際民航組織 ICAO 在 2010 年代中期便透過編修第六號附件的機會，將 CVR 紀錄時間由先前的兩小

時延長至 25 小時，並適用自 2022 年 1 月 1 日起新取得適航證明的航空器。而 CVR 語音紀錄延長為 25 小時所衍伸出的需求即為大量的語音資料需要轉為文字抄件，以支援事故調查作業。以 NTSB 為例，在 2023 年一共解讀了 40 具 CVR，由 7 位技術人員負責解讀、撰寫時間長短不一的抄件；至 2024 年 11 月中為止，已解讀 40 具 CVR，當中已包括 4 具 25 小時 CVR，因此發展一個具一定可靠度的語音轉文字工具，實有需求。

但 CVR 語音資料轉文字與目前較常運用的訪談語音轉文字比較起來難度更高許多，除了當中牽涉到許多民航專業術語及縮語之外，另外駕駛艙環境較為吵雜，並伴隨航管語音，更增添了語音辨識的難度。

NTSB 目前利用由美國空軍所開發的工具 RAPT-R (Rome Audio Processing Tool-Release) 進行語音資料、影像資料的整合同步播放，以及文字轉錄，並非經由機械學習訓練過，適合於大量語音轉文字的工具。因此後續透過與空軍研究實驗室的合作，首先嘗試運用一個開源的語音識別與訊號處理工具 Kaldi 進行訓練及測試，訓練資料是以 NTSB 目前擁有的 CVR 語音錄音以及網路開源的航管錄音進行訓練 (NTSB 並未透露訓練資料的數量或時間長度)，後續再以總共 6.5 小時的文字抄件錄音進行微調，最後發現以 Kaldi 這個工具所取得的文字正確率僅有 38%。因此後續再改以 WhisperX 作為工具，配以總共 68 萬小時的語音資料進行訓練，10 小時的 NTSB 自有 CVR 語音與抄件進行微調，近 1 小時的 CVR 語音作為驗證後，將語音轉文字的正确率提升至 70 以上；惟目前 NTSB 仍在研究將這些大量文字標記正確的時間註記的方式。

儘管目前 NTSB 與空軍研究實驗室在 CVR 語音轉文字取得了一定成果，但 NTSB 也表示應該要留意此類工具在文字製作的過程中，因為調查員減少了聆聽這些語音的機會、或文字無法第一時間呈現語氣的缺點，而造成調查員在調查作業上的偏見。

3.5 自由氣球事故調查

航空事故調查中，飛航資料的來源變得越來越多元，各型航空器記錄飛航資料設備不再僅限於抗撞毀殘存之飛航紀錄器。隨著科技的進步，任何可記錄飛航數據 (如：航空器位置、高度、速度等參數) 之紀錄裝置，亦廣泛被使用。英國事故調查局 (AAIB) 於本次會議分享了一起自由氣球事故調查案例，探討如何運用來自不同紀錄裝置之新型飛航數據資料來進行事故調查。

事件發生於 2023 年 6 月，當時自由氣球正進行一項飛行競賽，參賽者於競賽過程中需釋放標的物至目標區域；標的物越靠近目標區域得分越高。事故發生前，參賽者完成上述任務並快速爬升遠離目標區。在爬升過程中，球皮破裂，藤籃從空中掉落並墜落至地面，機載飛航組員嚴重受傷（圖 3.5-1）。



圖 3.5-1 事故自由氣球飄揚降落至地面

為進行事故飛航資料分析，釐清事故發生經過。英國事故調查局（AAIB）取回以下資料紀錄裝置及：

- **Balloon Live Sensor (BLS)**：自由氣球資料即時接收器無明顯損傷，裝載於連接加熱系統與籐籃間之連桿（圖 3.5-2）。數據資料透過藍芽連接至用戶端手機 **Balloon Live** 應用程式；除此之外，不同介面（例如：筆記型電腦）也可以連接獲取與 **Balloon Live** 相同數據資料。資料輸出格視為 .IGC 檔之文字格式，接收器亦裝置內建 SD 卡插槽，事故調查員亦可以透過 SD 卡下載資料。



圖 5.3-2 Balloon Live Sensor (BLS)

- **FlyTec Vario (6005 model)**：記錄高度、時間、環境溫度、速度及飛航日誌等重要數據。此裝備因事故導致輕微受損，但仍然能正常開機，再進一步檢視發現無記憶體儲存槽或 USB 介面，因此無法透過正常方式進行數據下載。於是，請求製造商支援進行液晶顯示器修復，成功修復 40 筆飛航資料。
- **HotAir App**：是一款專為自由氣球飛行員設計，用於記錄及追蹤飛行紀錄的 iOS 應用程式。透過應用程式，可取得 KML 飛航軌跡；但其高度參數的精確度較其他紀錄裝置來的低。
- **Garmin GPS60**：電子導航輔助儀器，為一款掌上型衛星導航儀，結合 GPS 定位；內建電子羅盤、氣壓式高度計、路線規劃等。備有 microSD 卡槽，可存放多種資料。此裝備因事故導致輕微受損，調查員透過拆解紀錄裝置進行資料救援，成功取得事故資料。

藉由此分享得到，BLS 存取自 SD 卡的飛航日誌及數據遠多過 WatchMeFly（自由氣球競賽追蹤網頁），且非所有飛行員會將 BLS 資料連結至手機應用程式。當進行飛航資料處理時，應持續不斷嘗試。也因如此，此事故調查在 FlyTec Vario 6005 發現了關鍵數據資料。自由氣球飛行運用大量技術，為事故調查人員提供豐富的數據資料。藉由數據分析，判斷可能導致失速原因，於最終調查報告提出推廣防失速設計之建議予自由氣球製造商，以防止類似事故再發生。

3.6 HCR 25 紀錄器資料下載技術

法國 BEA 提報 Honeywell 公司新款 HCR 25 飛航紀錄器下載及解讀心得。一架波音 737MAX 降落時，主起落架所有輪胎在接觸跑道後發生爆裂，該架飛機裝置 HCR 25 飛航紀錄器，BEA 分別使用「Read out with web server」、「Read out with Playback 32」兩種方式下載及解讀。之後介紹紀錄器資料解壓縮方式：

1. Fortress Decode：解壓縮 CVR 語音資料。
2. Playback 32：解壓縮 CVR 語音資料及數據鏈（Datalink）資料。
3. PGS Vision：解壓縮 FDR 飛航資料及 CVR 語音資料。
4. ADRAS32：解壓縮 FDR 飛航資料。

解壓縮後的資料量極大，CVR 單軌語音資料量達 5.5 GB，下載需 25 分鐘，解壓縮需 25 分鐘，音頻取樣率 24 kHz；數據鏈（Datalink）資料量達 3.3 GB。整體總數據超過 45 GB（包括 CVR、FDR、Datalink），傳輸至 USB 需要時間，並需格式化為 NTFS。



圖 3.6-1 波音 737MAX 輪胎在接觸跑道後發生爆裂



圖 3.6-2 網路連結下載紀錄器資料

3.7 新一代簡式紀錄器

德國事故調查實驗室分享一款新型德國製輕型飛航紀錄器 SferiRec LCR 100，未來可能廣泛裝載於小型航空器或直升機。尺寸小及重量約 1 公斤，結合 DAU（數據採集單元）、CSMU（抗撞毀殘存記憶單元）及維護紀錄，並備有 SD 卡插槽。可裝載於駕駛艙儀表板介面之紀錄器（座艙語音紀錄器系統記錄至少 2 小時、飛航資料紀錄器系統記錄至少 25 小時、影像資料紀錄器系統及數據資料鏈路紀錄器系統記錄至少 2 小時），資料寫入採 ARINC717 格式。（圖 3.7-1）。紀錄器符合歐洲民用航空設備組織（EUROCAE）ED-155 簡式飛航紀錄器標準文件，及 EASA ETSO-2C197 歐洲技術標準文件。



圖 3.7-1 SferiRec LCR 100 紀錄器

紀錄器原廠亦生產專屬此款紀錄器使用之基礎讀取套件（Hensoldt Basic Read-Out Kit）；此套件可連接主控端（例如：筆記型電腦）及透過連接器（乙太網路端口）置於紀錄器背面讀取紀錄器資料，連接前，需確認電源已供應至連接器。紀錄器讀取套件分為三種不同型別；基本版、進階版及授權版，依照不同型別可讀取之資料不同；基本款僅支援讀取及分析飛航資料及數據資料鏈路紀錄；進階版可讀取及分析飛航資料及數據資料鏈路紀錄、非大量刪除之資料以及語音數據及影音數據；授權版與進階版不同於可讀取及分析大量刪除之資料。藉由上述資訊分享，得以提供調查員單位籌建飛航紀錄器解讀能量參考依據，以利未來面對此紀錄器下載能即早因應。

四、建議

本次會議共十二國運輸事故調查單位參與，會中廣泛交換意見，提升技術層面知識外，亦強化各單位之間的聯繫互助管道，在各項議題討論上均達到深入且有效益之成果。以下提出建議：

- ✓ 本會應積極參與國際事故調查技術交流，於調查技術會議中分享本會事故調查能量以及實際案例，與其他國家調查員實質技術交流。
- ✓ 未來派兩員以上參加此類調查技術會議，吸取經驗並與國際調查員技術交流。

參加事故調查員紀錄器會議出國報告

服務機關：國家運輸安全調查委員會

出國人職稱：正研究員

姓名：莊禮彰等 3 人

出國地區：冰島 雷克雅維克

出國期間：民國 113 年 11 月 15 日至 11 月 23 日

報告日期：民國 114 年 2 月 14 日

建議事項：

	建議項目	處理
1	本會應積極參與國際事故調查技術交流，於調查技術會議中分享本會事故調查能量以及實際案例，與其他國家調查員實質技術交流。	<input checked="" type="checkbox"/> 已採行 <input type="checkbox"/> 研議中 <input type="checkbox"/> 未採行
2	未來派兩員以上參加此類調查技術會議，吸取經驗並與國際調查員技術交流。	<input checked="" type="checkbox"/> 已採行 <input type="checkbox"/> 研議中 <input type="checkbox"/> 未採行

本頁空白