

出國報告（出國類別：國際會議）

# 參加飛航事故紀錄器調查員會議 出國報告

服務機關：飛航安全調查委員會

姓名職務：副工程師／郭嘉偉

出國地區：美國

出國期間：民國 104 年 9 月 12 日至 9 月 19 日

報告日期：民國 104 年 11 月 17 日

# 目次

一、目的 .....	2
二、行程與會議議程 .....	3
三、心得 .....	4
3.1 國際民航組織飛航紀錄器專家工作小組動態 .....	4
3.2 國際法規動態 .....	6
3.3 馬航 MH 370 航班調查進度 .....	7
3.4 損壞航電裝置與紀錄器解讀 .....	12
四、建議 .....	19
附錄 損壞記憶體讀取工具 MTK II 簡介 .....	20

## 一、目的

本屆飛航紀錄器調查員年會（Accident Investigator Recorder meeting, AIR）於 9 月 14 至 17 日在美國國家運輸安全委員會（National Transportation Safety Board, 以下簡稱 NTSB）舉行，會議行程圓滿且收獲豐富，約 40 位各國政府事故調查機構之飛航紀錄器調查員出席。相關議題討論熱絡，主要重點包括：各國調查機構概況更新、馬航 370 航班搜尋、過去一年間的重大航空事故調查、行動穿戴裝置資料在普通航空業事故調查的應用、以及損壞飛航紀錄器解讀相關議題等。美國 NTSB 也藉著這次會議在華盛頓特區召開的機會，安排與會各國代表參觀了重新裝潢後的 NTSB 實驗室並展示各種調查相關設備與儀器，讓各國代表們對於 NTSB 調查能量能有更進一步認識並留下深刻印象。

本年度 AIR 會議也首次在會議開始前一天下午舉辦了自由報名參加的損壞式裝置解讀工作坊與飛航資料解讀論壇，其中損壞式裝置解讀工作坊讓與會各國代表除了解 NTSB 實驗室對於損壞紀錄器/航電裝置解讀的程序與設備之外，並且也有機會進行實際操作練習，增進了對所需技術與設備規格的認識。

我國飛安會本年度派 1 名調查員出席會議，並提報 1 篇論文—由飛航紀錄器解讀觀點探討過去一年本會實驗室調查兩件 ATR72 重大飛航事故之經驗與挑戰。

## 二、行程與會議議程

日期 / 時間	行程 / 議程	說明
9/12 - 9/13	台北→美國華盛頓特區	啟程
9/14	損壞紀錄器解讀工作坊 / 飛航資料紀錄器解讀論壇	
9/15	各國事故調查機構實驗室動態	
9/16	國際法規、飛航紀錄器工作小組動態與簡式紀錄器	法國 BEA
	損壞航電設備解讀	法國 BEA
	過去一年的飛航紀錄器解讀與技術問題探討	法國 BEA
	EMB145 型機感應器議題探討	美國 NTSB
	參觀史密斯航太博物館	
9/17	解讀 GPS Raw binary 資料	俄羅斯 IAC
	馬航 MH370 航班調查進度	澳洲 ATSB
	空中巴士電子飛行包、CVR 議題與鋰電池議題	英國 AAIB
	FDR 資料解壓縮與機上備用紀錄器議題	加拿大 NRC
	兩起 ATR72 重大飛航事故調查	我國 ASC
	偏遠地區航機事故調查	愛爾蘭 AAIU
	FA2300 MADRAS CVDR 解讀	加拿大 TSB
	協助軌道太空船之事故調查	美國 NTSB
	開放討論	
9/18 - 9/19	美國華盛頓特區→台北	返國

### 三、心得

本出國報告的心得區分為四項：飛航紀錄器專家工作小組動態、國際法規動態、馬航 MH 370 偵搜、損壞航電裝備/飛航紀錄器解讀等議題。

#### 3.1 國際民航組織飛航紀錄器專家工作小組動態

本屆 AIR 會議中，首先由法國 BEA 針對國際民航組織內的飛航紀錄器供專家工作小組動態與歐盟航空安全總署過去一年的動態提供簡報。

國際民航組織（ICAO）的航行委員會（ANC）於 1993 年同意成立飛航紀錄器專家工作小組（Flight Recorders Panel, FLIRECP），平均 2 年召開一次會議。目前，會員國包括：美國 NTSB、澳洲 ATSB、加拿大 TSB、法國 BEA、德國 BFU、中國 CAAC、伊朗 CAA、義大利 ANSV。目前主要推動的工作是在 ICAO Annex 6 Part I/II/III 內增加有關裝置飛航紀錄器的內容修訂，重點如下：

- Extend CVR Recording duration

擬將座艙語音紀錄器的錄音時間由 2 小時延長為 25 小時，目前研議自 2021 年 1 月 1 日實施；增加有關資料鏈結（data link）紀錄的規範。

- Automatic Deployable Flight Recorders（ADFRs）

需要針對在緊急狀況可以自動可拋式的飛航紀錄器進行定義，並且制定相關法規，惟此構想目前尚未完全獲得飛機製造商如波音、空中巴士，及紀錄器製造商如 L-3 的支持。

- 因應法航 447 與馬航 370 航班搜尋時程曠日廢時，增訂航機遭遇緊急狀況時之定位與追蹤。

在今年 1 月的時候，國際民航組織轄下的航行委員會已經初步審查了有關延長 CVR 錄音長度至 25 小時的相關條文，並擬於明年 3 月追認採納條文並實行。此項修訂將明定在 2021 年 1 月 1 日後取得認證的航機需要裝置具備 25 小時錄音長度的座艙語

音紀錄器。

在自動可拋式飛航紀錄器的規範上，目前 ICAO ANC 的標準與建議作為 (Standard and Recommended Practices, SARPs) 計畫是規定在預計超過 27,000 公斤以上、搭載超過 19 位乘客，並將在 2021 年 1 月 1 日後申請機種適航認證 (type certificate) 的航空器上，強制在機首近駕駛艙處裝置座艙語音資料紀錄器 (CVDR / combined recorder)，並在機尾處加裝一可拋棄式的飛航紀錄器；並建議在 2019 年 11 月 7 日後取得個別適航許可的航機先行使用。此項新措施也將納入有關紀錄器作動機制的一些相關規範。

對於航機發生緊急狀況時的定位追蹤，目前 ICAO ANC 的標準與建議作為是在不限定特定技術上能夠做到精確地追蹤航機位置至 6 海哩的誤差；而作動的機制除了可由機上組員或地面人員啟動之外，航機出現不正常軌跡或姿態時也會啟動這項緊急追蹤機制。跟延長 CVR 錄音長度的提案相同，本項 SARP 也在今年 1 月時通過了航行委員會初步審查，擬於明年 3 月追認採納條文並實行，屆時這項規定將應用在 2021 年後出廠、最大起飛重量超過 27,000 公斤以上的民航機，應 (shall) 在發生定義下的緊急狀況時，能夠自動傳送至少每分鐘一次的資訊，使航空公司得以判斷航機位置；另外，在 2021 年後出廠、最大起飛重量超過 5,700 公斤以上的航機，必須 (should) 在發生緊急狀況時，能夠自動傳送至少每分鐘一次的資訊，以供判斷航機位置。而自動發送位置的訊號應該在定義下的航機功能、姿態或軌跡出現異常時，於 5 秒內啟動並第一次發送訊號。在訊號作動上可藉由發報識別器、ADS-B 或 ADS-C 訊號，或緊急定位傳送裝置送出。在歐洲的 EUROCAE 第 98 號工作小組，也利用 ED-237 規範針對航機出現系統運作異常：如不正常高度、速度、發動機全失效或近地警告系統作動時，對緊急定位裝置開始作動的機制提出建議。

ICAO 本項工作小組下一次會議已在本屆 AIR 會議後於 9 月底於新加坡召開，建議本會應積極尋求參加會議或取得相關資料的管道。

## 3.2 國際法規動態

在歐洲航空安全總署 EASA 內另組有一歐洲飛航紀錄器夥伴小組 (European Flight Recorder Partnership Group, EFRPG)，成員包含歐洲各國事故調查機關、航空器製造商與民航業者：英國 AIB、空中巴士公司、義大利航空、義大利 ANSV、法國 BEA、德國 BFU、波音、龐德海岸直昇機公司、英國民航局 CAA、法國民航局 DGAC、歐洲直升機 Eurocopter 公司、歐洲機師協會、美國聯邦航空總署 FAA、聯邦快遞、德航航太與 Pilatus 等。來自上述機構的紀錄器專家們每年定期針對來自 EASA 發出的飛安改善建議與 ICAO Annex 6 的更動產生的飛航紀錄器議題，如紀錄器規範、水下定位裝置、與航機追蹤裝置等，進行討論與產生初步的評估。

在工作成果上，EFRPG 跟隨 ICAO 的腳步，在民航機飛航紀錄器方面完成以下數項里程碑：

- 現有航空器要求須裝置至少記錄 2 小時聲音長度的 CVR
- 對於 2021 年 1 月後出廠的 27,000 公斤以上的航空器則要求裝置 25 小時記錄能力的 CVR
- 在 2019 年 1 月 1 日前淘汰所有非固態式紀錄器 (如磁帶式紀錄器)
- 加強保護 CVR 語音紀錄與飛航組員隱私權
- 要求所有航空器與旋翼機之紀錄器水下定位發報器需要改裝至 90 天有效版本
- 要求執行越洋航班的大型航空器需要加裝長距水下定位發報器
- 要求在役的大型民航機與新生產的大型民航機需要有航機追蹤裝置
- 要求在長期內發展準確的自動回報系統，以便航機嚴重損毀時，得以追蹤航機的最後位置

目前這個小組正在進行修定 EASA CS-25 條文，主要的課題為：

- 飛航紀錄器的額外 10 分鐘獨立電源供應 (RIPS)
- 資料鏈結的記錄規範

- 在航機發生飛航事故後紀錄器自動停止記錄的方式，並防止因為撞擊而意外造成紀錄器資料遭覆寫
- 確保紀錄器記錄功能正常運作的規範
- CVR 錄音品質的規範制定
- 座艙語音資料紀錄器與自動可拋式飛航紀錄器的規範

另外，EASA 對簡式紀錄器或紀錄裝置的推動上也著力甚深，對此成立的工作小組已經對 EASA 提出八項有關在普通航空業的航機上加裝簡式紀錄器的改善建議，並且希望簡式紀錄器中可以清楚還原並重建航機飛航過程的相關資料，以供事故調查所需。這是由於以往進行飛航事故調查時，多數能夠搜集到的資料，如目擊者證詞、航管錄音、或是現場勘驗資料等，往往不是不夠精確，不然就是不足以就事故肇因做出正確判斷，因此推廣簡式紀錄器/裝置實屬需要。簡式紀錄器/記錄裝置的裝置對象是針對起飛重量在 5,700 公斤以下的定翼機或 3,175 公斤以下的旋翼機（ICAO Annex 6 Part III 規範未來起飛重量在 2,250 公斤以上使用輕式渦輪發動機的旋翼機與普通航空業航空器亦需要資料紀錄裝置）；熱氣球也將在規範行列之中。EASA 簡式紀錄器工作小組的成員有：EASA、民航局（英、法、義）、事故調查機關（德、荷、英、法）、普通航空器製造商協會、空中巴士直升機部門、歐洲直升機協會、國際航空器所有人與駕駛協會、歐洲空中運動協會等，每年除了舉行 2 到 3 次會議之外，也有不固定的 3 到 4 次電話會議，預計在 2016 年底前做出正式規範建議。

### 3.3 馬航 MH 370 航班調查進度

2014 年 3 月 8 日台北時間 0043 時，馬來西亞航空公司一架波音 777-200ER 型機（國籍標誌及登記號碼 9M-MRO），執行馬來西亞吉隆坡至中國北京之定期載客任務，班機號碼 MH370。約 0122 時，該機準備脫離馬來西亞航管中心並向越南胡志明航管中心聯絡時失去聯絡。機上共有 12 名機組人員及 227 名乘客。乘客包含 14 個國家，且以中國籍乘客為主。迄今，本案航機仍屬於失蹤狀態。



圖 1 馬航 MH 370 航班失蹤前已知航跡

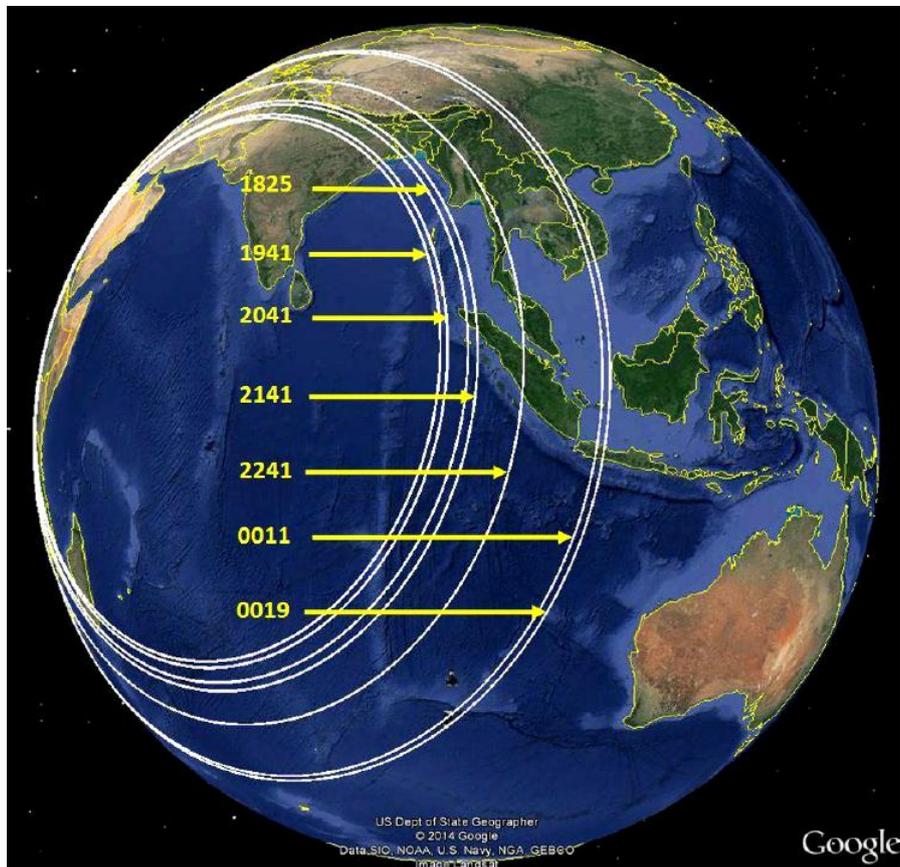


圖 2 Inmarsat 衛星及 MH37 航班 7 次的「握手」訊號及涵蓋航道

根據馬來西亞發布的 5 頁初步調查報告，該機之機載通訊定址與回報系統（Aircraft Communication Addressing and Reporting System，ACARS）於約 0107 時停止高度 35,000 呎；民用次級雷達最後偵測到 MH370 約為 0122 時高度 35,000 呎（位於航點 IGARI 附近）。馬國軍用初級雷達持續偵測到 MH370 向西南轉彎降低高度再往西北移動，最後偵測到 MH370 約為 0222 時（如圖 1）。此期間，馬來西亞航空地面管制中心曾於 0239 時至 0240 時，及 0714 時至 0715 時嘗試使用衛星電話與 MH370 通聯，機上衛星電話無人回應。0530 時，在失聯超過 4 小時後，馬來西亞當局才啟動搜尋。

3 月 10 日，英國 Inmarsat 衛星通信公司提供一份 MH370 因發動機狀態即時監控而與印度洋上空一顆 Inmarsat 3F1 衛星產生的「握手」訊號紀錄（handshaking ping），共有 7 次握手訊號，分別為台北時間 0228 時、0341 時、0441 時、0541 時、0641 時、0811 時、0819 時。其中沒有 0741 時的握手訊號是因地面撥打衛星電話時未接通，致機載衛星電話系統重置握手訊號的發射時間至每小時的 11 分，而產生 0811 時的紀錄。0819 時的握手訊號紀錄被稱為第 7 條南航道（7th arc of south track），係因來自 2 號發動機的電力中斷才發射的訊號，詳圖 2。

在澳洲國防理工組織（Australian Defense Science and Technology Organization, DSTO 相當於我國中科院）的協助下，MH 370 失聯後的可能航跡是基於機率演算的粒子濾波追蹤法（particle filtering tracking）來求得。在考慮航班性能、衛星資料、大氣環境等條件下，利用粒子濾波法來產生成千上百條 MH 370 航班可能路線，並以機率方式與已知條件判斷最可能的路徑。在產出了上兆條粒子與近百萬條可能路徑後，分析得到航機最終位置的機率分布（如圖 3）。儘管如此，得到的結果仍舊是一片沿著第 7 條南航道範圍極大的區域，長達 700 公里的熱區。相較於 2009 年法航 AF 447 空難搜尋打撈的區域，又更擴大許多。

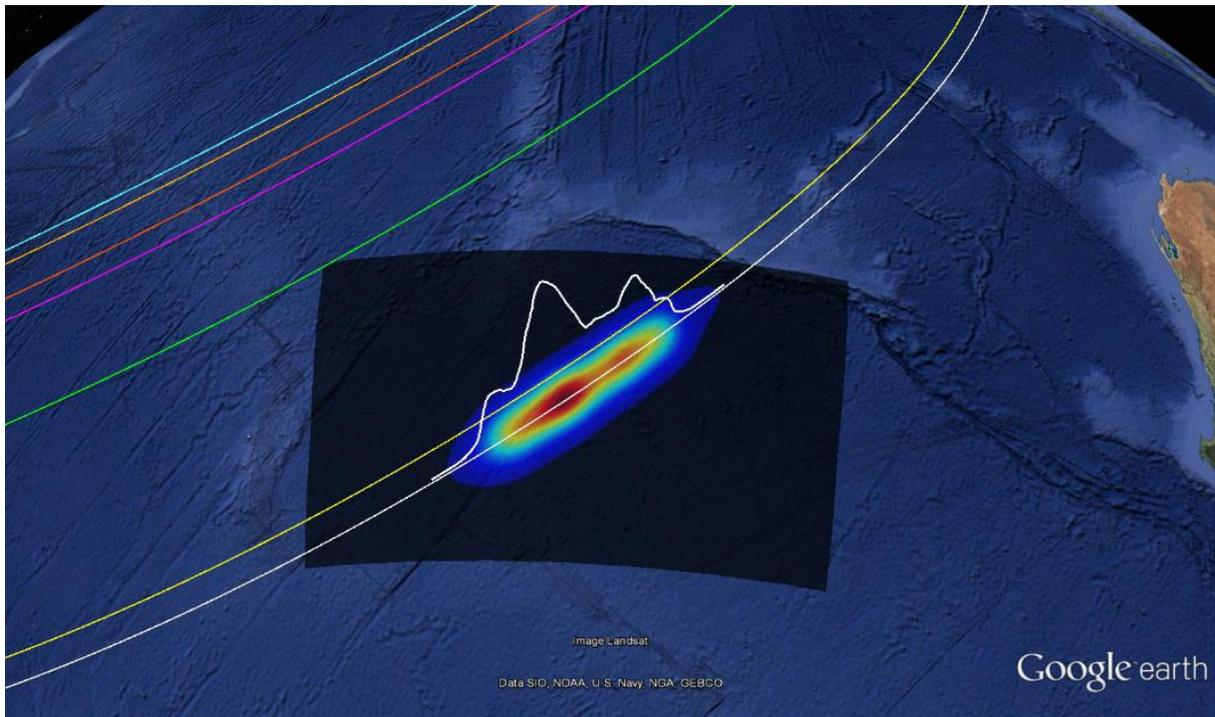


圖 3 機率演算得到的 MH 370 可能位置

在水下搜尋工作方面，馬航 MH 370 第一階段水面搜尋及救援任務係由澳洲海事安全局（Australian Maritime Safety Authority, AMSA）主導，於 2014 年 3 月 18 日至 4 月 28 日執行。搜尋作業是用英國 Inmarsat 衛星通信公司的分析報告為主要參考資訊，沿著 Inmarsat 追蹤出的 7 條南航道以船艦及飛機進行搜索作業。此期間澳洲運輸安全委員會 ATSB 亦派員登艦使用水下聽音裝備標定黑盒子訊號，惟此階段作業一無所獲。MH 370 第一階段水面搜尋及救援任務共有 26 國家參與動用 345 艘船艦及飛機，總搜索面積 4,600,000 平方公里。

第二階段水下搜尋任務主要依賴澳洲海盾號，執行期限為 2014 年 4 月 5 日至 5 月 28 日。澳洲政府向美國海軍商借一套深海拖曳聲納（TPL-25）及自主式深海探測儀（AUV Bluefin-21），TPL-25 最大水深 6,000 公尺；AUV Bluefin-21 最大水深 4,500 公尺，電池耐力 25 小時。此階段 TPL-25 分別於 4 月 5 日及 4 月 8 日探測到 4 次疑似黑盒子 37.5KHZ 訊號，作業水深 2,500 公尺至 2,800 公尺。4 月 11 日至 5 月 28 日期

間，共派遣 30 次 AUV Bluefin-21 至海底執行側掃聲納作業，水下偵搜面積達 850 平方公里，此階段作業仍一無所獲。

依澳洲運輸安全委員會 ATSB 的說法，MH 370 第三階段的水下偵搜是由澳洲運輸安全委員會主導，邀請英國 AAIB、美國 NTSB、波音公司、Inmarsat 通信衛星公司、澳洲 DSTO、馬來西亞民航局、澳洲 Thales 航電公司組成工作小組，訂定水下偵搜策略及研擬招標技術規格文件等。MH 370 第三階段偵搜區域由 Inmarsat 通信衛星的脈衝訊號、高空風場、航機速度及四次疑似黑盒子水下信標所劃定，共區分為三個區域，該地位於南印度洋參考水深介於 3,500 公尺至 7,000 公尺。第一區橘區約 650 公里 x 90 公里（圓弧範圍 60,000 平方公里）；第二區藍區約 1,400 公里 x 150 公里（圓弧範圍 252,000 平方公里）；第三區灰區約 3,000 公里 x 380 公里（圓弧範圍 1,175,000 平方公里），詳圖 4。

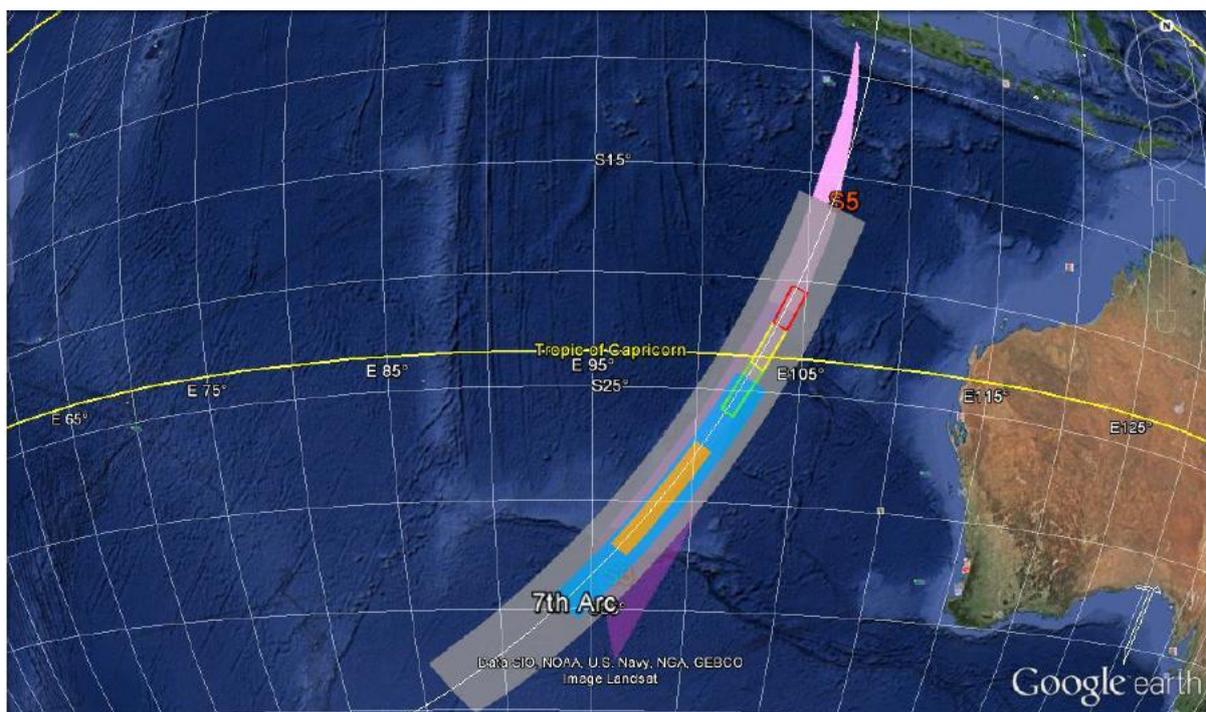


圖 4 MH 370 水下搜尋區域圖

對於今年 7 月底在南印度洋法屬留尼旺島發現的殘骸（flaperon），目前僅確定是屬於 MH 370 之波音 777-200ER 所有，漂流路徑也符合模擬預測，但是除此之外在殘骸打撈方面目前仍一無所獲。

另外針對 MH 370 航班在黑盒子尋獲後可能牽涉到的損壞紀錄器解讀作業，ATSB 也已經開始著手進行規畫的作業。以 AF 447 事故調查來比較，該事故兩具飛航紀錄器是在事故後約兩年尋獲，但是法國 BEA 早在紀錄器尋獲前就已經預想各種可能情況與紀錄器原廠進行解讀計畫，而最終在正式解讀 AF 447 紀錄器的時候也使用到在紀錄器記憶體電路板層級的「移植」工作，亦即取下記憶體晶片上的元件再移植到新的晶片及電路板上再解讀。由於以往紀錄器原廠對於事故調查機關處理損壞紀錄器的態度都是建議僅處理到基礎的拆解記憶體模組層級，如同 AF 447 紀錄器解讀時所牽涉到的技巧則是前所未見的複雜。

經美國 NTSB 與法國 BEA 目前兩個執行損壞紀錄器晶片解讀最有經驗的機構提供建議後，ATSB 引進了高效能的紅外線返修台（IR rework station），可以在良好的溫控環境下進行晶片層級的修復工作。另外在晶片讀取方面，則是引進了荷蘭鑑識學院（Netherlands Forensic Institute, NSI）的第二代記憶體套件（Memory Toolkit II, MTK II），在刑事鑑識上此項設備已經被使用來做快閃記憶體資料的讀取。MTK II 的優點是不需購買對應不同構型的晶片接座（adapter），並且針對不同晶片彼此的構型資料庫皆由 NFI 管理並且分享給使用者。因此儘管引進此項設備的代價甚高，但是 ATSB 仍舊認為以 MH 370 事故調查引起的關注與未來實驗室在損壞紀錄器能量上的躍升，這項投資仍舊是必要且值得的。MTK II 相關資料詳附錄。

### 3.4 損壞航電裝置與紀錄器解讀

本次會議除了國際法規動態之外的另外一個重點就是損壞裝置、損壞紀錄器解讀能量的相關議題，其中美國 NTSB、法國 BEA、俄國 IAC、英國 AAIB UK 與澳洲 ATSB 都針對相關議題提出報告及經驗分享；美國 NTSB 也藉這次會議在華盛頓特區舉辦的機會，在周二會議開始前一天下午在 NTSB 實驗室舉行了損壞式裝置解讀的工作坊。活動採自由報名方式，由 NTSB 實驗室的工程師將參加人員分組進行損壞紀錄器解讀裝備的介紹與實際操作練習，操作過程涵蓋取下晶片、讀取資料、晶片返修等三項步驟。讓

與會人員除了了解 NTSB 實驗室在進行損壞裝置解讀的處理過程外，也對需求技術與裝備規格也有更貼近的了解。

在美國由於普通航空業盛行，每年的事故數量也相當可觀，根據 NTSB 在會中提出的數據指出，實驗室每年需要經手的航電裝置解讀高達 700 多件，幾乎是平均每天 2 件的數量。再加上這幾年來美國民航業事故率不斷下降，越來越少的飛航紀錄器需要解讀之下，實驗室人員的人力配置重點也逐漸轉到航電裝置解讀。當然，許多技術是需要經驗不斷累積才能熟練的，如晶片返修時候的植球，因此藉由平均每天兩件的航電裝置解讀，NTSB 實驗室在解讀損壞航電裝置上成果已經相當地斐然。這次會議 NTSB 提報了數件損壞航電裝置的案例，事故中的航電裝置都受到了不同情況的損毀，如海水浸蝕、高速撞擊等，因此裝置中的記憶卡（SD 卡）需要經過特別處理後才能解讀，NTSB 舉列了遇到損壞記憶體時的解讀程序：

- 如裝置曾浸於水中，運送的過程裝置也需浸在乾淨的清水/海水
- 以去離子水浸泡、清洗後再以超音波方式清潔
- 去除任何殘留物
- 使用乙醇作最後一次清潔
- 使用顯微鏡檢查是否有殘留物
- 使用真空烤箱烘乾
- 再用顯微鏡檢查記憶體

在一般快閃記憶體的資料讀取上，刑事鑑識界已經發展出了不少應用的工具，因此清潔後的記憶卡在利用防寫入裝置製作映像之後就可以準備讀取；但在 NTSB 報告的案例中，由於記憶卡內檔案配置表毀損的關係，因此必須另外使用檔案復原技術（data carving）來補救。其道理就是在磁碟的未配置空間內自動或手動尋找嵌附在這些硬碟空間內的文件、圖片檔檔頭，使得可疑的內容得以呈現。而這類鑑識科學使用的技術也已經有商業化的工具可以使用，如 FTK/Encase（貴）、X-Ways（稍貴）、R-Studio（較便宜）等等，儘管定義圖形中繼檔（metafile）多數時候沒辦法復原，有些檔案也可能遺失，不過這些工具仍舊能夠提供良好的檔案資料效果。因此經過這些

程序後，案例中的 SD 卡成功復原，並且提供了航機飛行時錄製的影像直到接近撞地為止，並且讓調查員判斷駕駛當時出現空間迷向的狀況。

NTSB 分享的另外一個案例是因航機墜毀撞擊而損毀的發動機參數顯示航電裝置，由於非揮發性記憶體（Non-Volatile Memory, NVM）內的晶片也毀損，因此實驗室的工程師們需要先將晶片取下解封（decapsulation），亦即解除 IC 包裝封膠。技巧為利用紅外光雷射蝕刻（etching）移去 IC 封裝樹脂材料，使產生凹槽但又不傷害到 IC 晶片，之後再用滴酸方式去除 IC 表面讓矽晶露出，進而完成解封流程。

解封後的晶片經過 X 光機掃描後，發現仍有少許碎片殘留，因此 NTSB 工程師使用了常應用於考古學或古生物學界的微型高壓噴槍，利用 100 psi 的壓縮空氣清潔微小區域的碎片；這部分的操作當然也是需要相當經驗的累積才能夠執行。完成這些程序之後，晶片內部的導線架（lead frame）就會完全露出，此時就可以進行損壞程度的觀察並進行導線修補，最後再進行記憶體晶片資料的讀取。在 NTSB 提供的這個案例中，記憶體四個晶片中修復了三個，在經由 Xeltek 6100 晶片讀取機下載資料後，發現最後一段事故航班的資料就剛好儲存在未能修復的晶片中，只能說運氣不好。

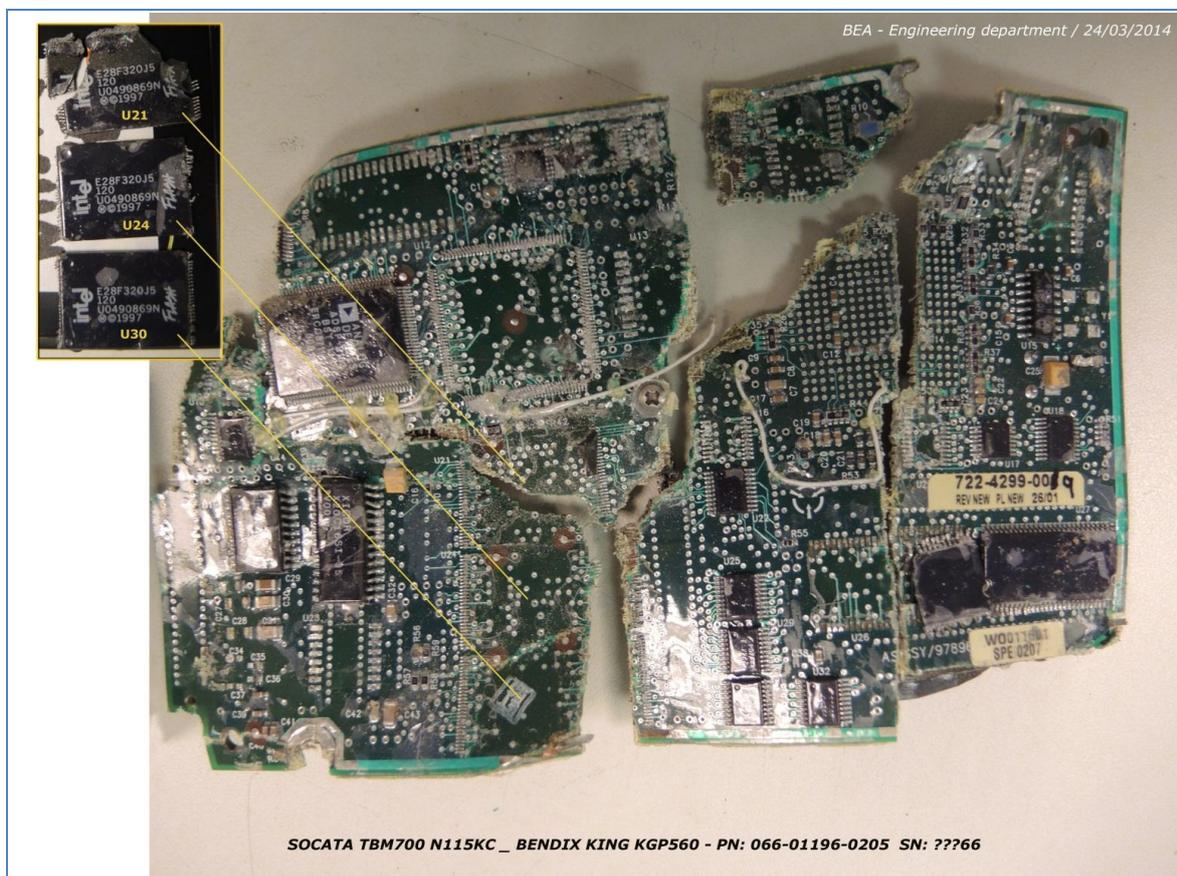


圖 5 損壞 EGPWS 電路板

BEA 也是在處理損壞航電裝置上的領先者之一，這次會議也提報了過去一年間處理損壞裝置的一些心得分享。其中的案例是損壞 EGPWS（Enhanced Ground Proximity Warning System，增強型近地警告系統）的電路板處理（如上圖 5）。

取出記憶體晶片的程序與 NTSB 先前介紹的大致相同，唯獨其中的 U30 晶片（圖 5 左側最下面箭頭所指）由於晶片內部組件碎裂的關係因此即使外部接線等經過 X 光檢視後仍舊完好，資料仍舊無法讀取；另外圖 5 左側中間箭頭所指的 U24 晶片，雖然外部接線都已斷裂，但是經由修補重新封裝後，資料完成下載。

另外 BEA 報告的另外一個案例是復原目前極限或休閒運動極為熱門的 Go-Pro 攝影機資料。案例是在一個比利時發生的輕航機事故，由比利時調查機構委託法國 BEA 實驗室進行機上 Go-Pro SD 記憶卡（如圖 6）的解讀工作。

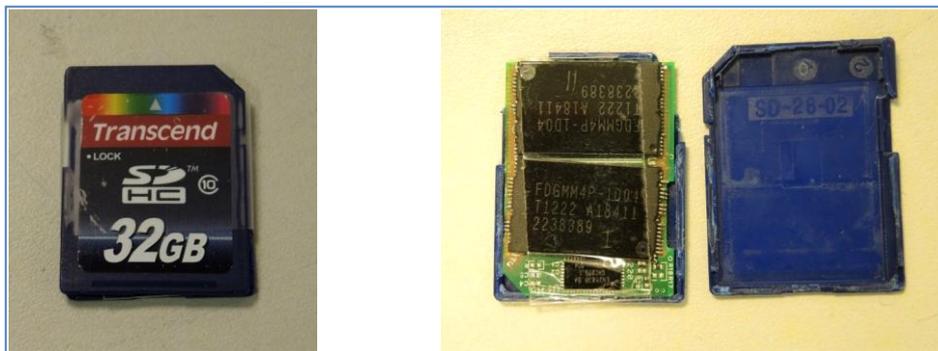


圖 6 損壞 SD 卡

Go-Pro 使用的是一般 3C 產品使用的 SD 卡，事故中的 SD 卡容量為 32GB，內含兩片 16GB 的記憶晶片與一個控制晶片，如上圖，上述這些組件都因為事故撞擊的原因出現了位移。在取下記憶體晶片進行 X 光細部觀察後，發現接腳跟封裝都有嚴重受損（圖 7）。

在 Thales 公司與法國刑事鑑定單位的協助下，BEA 嘗試復原每片記憶體內各兩個容量為 8GB 矽晶內的資料，並成功完成其中三個矽晶資料復原，記錄的資料為 5 個 MP4 影片檔，但是檔案皆有毀損。最後由家屬提供先前使用同一台 Go-Pro 錄製的影片協助修復檔頭下，毀損的 MP4 檔案有部分得以修復。

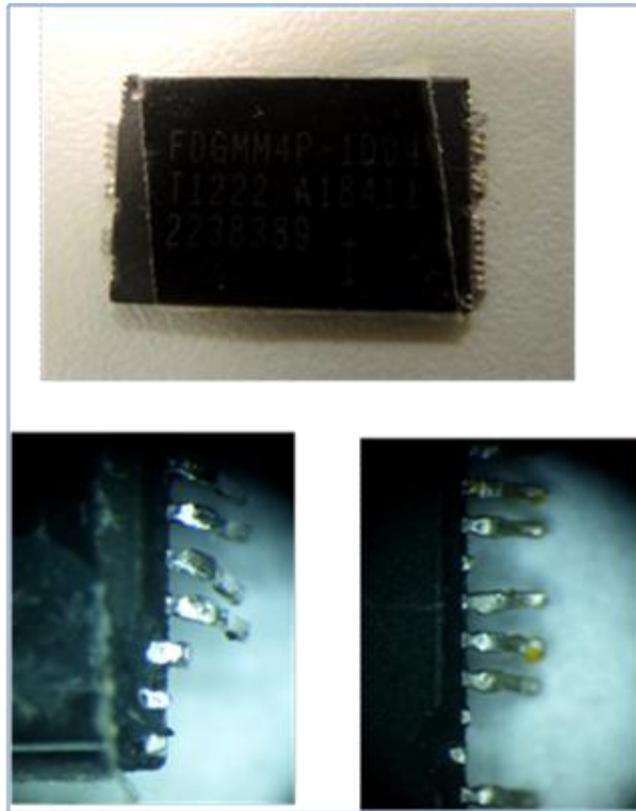


圖 7 X 光檢查晶片受損情形

BEA 也在報告中提到之前調查的一件事情調查中，發現航機的配平控制器內有感應器組件出現焊錫不足產生的焊接瑕疵，造成控制器產生間歇性的故障（圖 8）。利用 X 光檢查後，發現接腳槽內 90%原本應該充滿焊錫的的空間，因為瑕疵的關係而都是空的（如圖 9）。

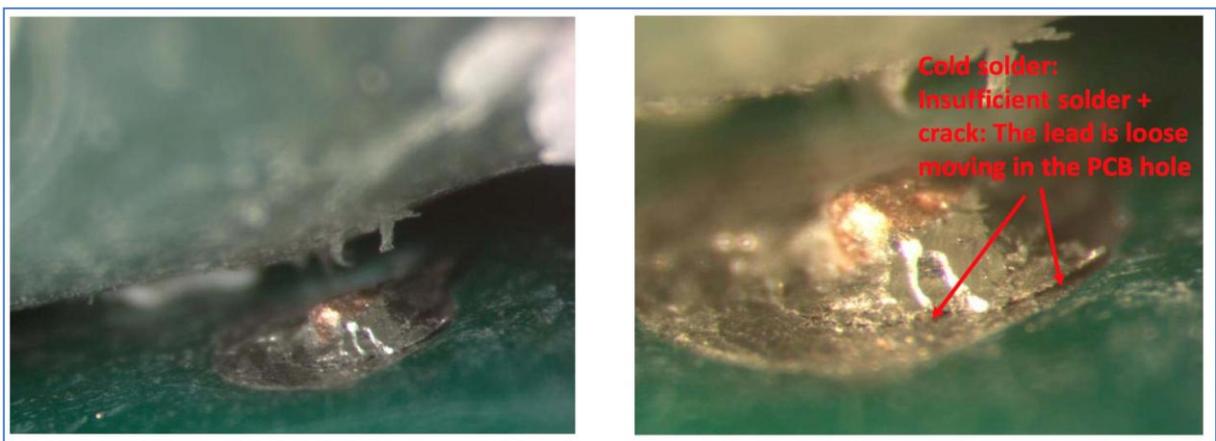


圖 8 控制器接腳焊接瑕疵

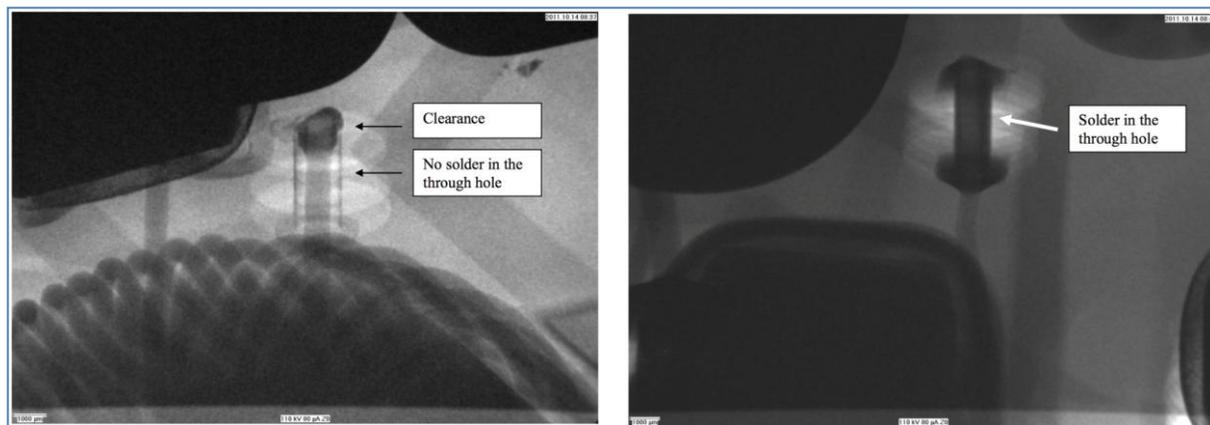


圖 9 X 光掃描比較焊接正常與有瑕疵的接腳

這類細微的瑕疵有可能造成組件產生間歇性的故障進而影響航機性能，如再加上機組員未能依標準操作程序正確處理，此類間歇性系統故障有可能演變造成災難性的飛航事故。本會目前調查的飛航事故中亦曾有類似發現。

最後 BEA 也報告過去一年處理的損壞飛航紀錄器成果，其中比較令人矚目的是空中巴士的 A400M 軍事運輸機事故，紀錄器使用的是 L-3 公司生產的 FA2100 紀錄器。該件號的紀錄器已被廣泛的使用在民航機上，不過 FA2100 系列紀錄器自 2013 年底起開始將內部記憶晶片自原有的 NOR 記憶體換成存取資料速度較快的 NAND 快閃記憶體。對於事故調查機關來說，此項升級影響到的是現有解讀裝備韌體與軟體的升級需求。除解讀軟體需要更新外，現有的調查員調查套件 (Accident Investigator Kit, AIK) 內容也有不同：為了解讀 NAND 晶片，事故調查機關需要購買新的專用排線與跟黃金紀錄器機台連接的轉換晶片。由於在 A400M 事故發生時，該更新的 AIK 套件尚未問世，因此僅有紀錄器原廠美國 L-3 公司具有解讀損壞 FA2100 NAND 紀錄器的能力。雖然該套件自 9 月 1 日起已經開始供貨，但是在事故發生需要解讀紀錄器時，除了將記憶體模組送回原廠外別無他法。對此，BEA 呼籲歐盟國家應該針對飛航紀錄器出現重要升級時，損壞紀錄器解讀套件也應在貨源供應上一併到位的規定。



圖 10 (左) 損壞 L-3 FA2100 NAND 紀錄器取出的記憶體模組 (右) 左側的 FA2100 NOR 與右側的 FA 2100 NAND 記憶體模組外觀明顯不同

本會目前也尚未購買升級後的 FA2100 NAND AIK 解讀套件，由於 FA2100 NAND 紀錄器會隨著新出廠航機數目增加，數目亦迅速增加（一架航機同時會有兩個新的 NAND 紀錄器），應尋求在年度預算內儘速引進該升級後的解讀套件。

## 四、建議

本次會議行程圓滿且收穫豐富，據此提出以下 4 項建議：

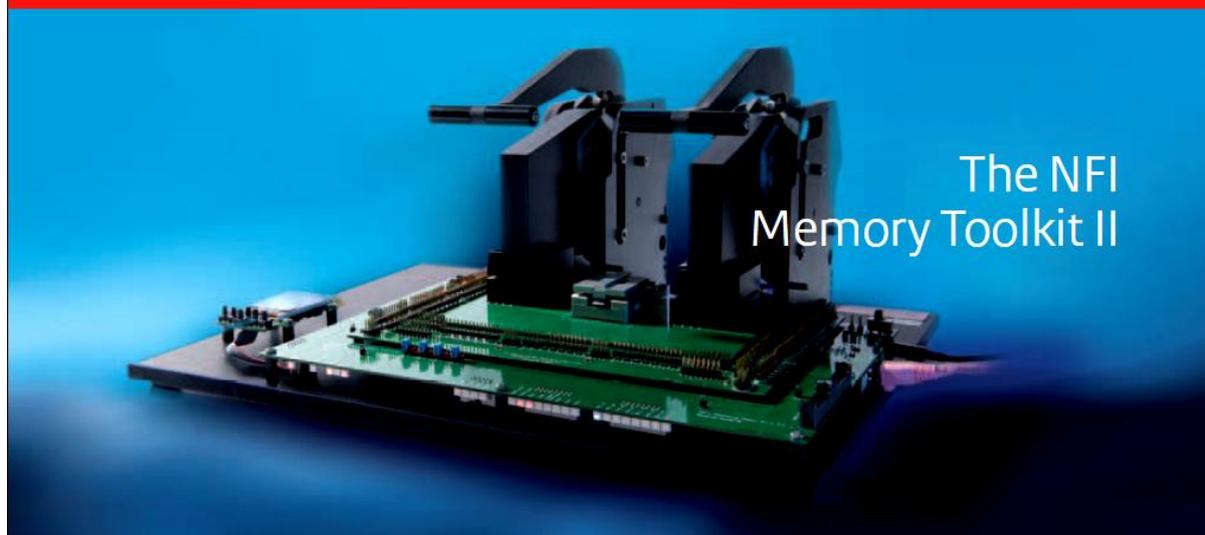
1. 持續尋求參與 ICAO 飛航紀錄器專家工作小組活動或取得相關資料的管道。
2. 編列預算引進 L-3 FA2100 NAND 紀錄器之調查員專用套件 AIK 。
3. 評估 3-5 年內於台北舉辦 AIR 會議的可能性。
4. 評估發展損壞之穿戴式錄影裝置或手持式 GPS 裝置資料復原的能量需求。

## 附錄 損壞記憶體讀取工具 MTK II 簡介



Netherlands Forensic Institute  
*Ministry of Security and Justice*

A universal forensic solution to read memory chips  
developed by the **Netherlands Forensic Institute**



The NFI  
Memory Toolkit II

## Reading memory chips

The NFI Memory Toolkit II can extract all data from a memory chip (1-on-1 copy), including information from spare area, bad blocks et cetera. The toolkit is intended for memory chips which are desoldered from the target device. Its exact possibilities depend on the target device's type, version and manufacturer.

The system can handle various types of chip families, for example:

- Micro BGA (Ball Grid Array) without the replacement of BGA balls (reballing),
- Thin Small-Outline Packages (TSOP),
- Small-Outline Integrated Circuit (SOIC),
- Nor, Nand, I2C, OneNand et cetera.

Reading desoldered memory chips has the advantage over other acquisition methods that no data is changed and even memory chips from non-functional target devices (for instance those damaged by heat, water or force) can be read, if the memory chip itself is still intact. Memory chips from password-protected devices can also be read.

The toolkit is a combination of hardware and software. The hardware makes a physical connection, generates signals and supplies power to a memory chip. The software takes care of the command sets to access data in the various types of memory chips.

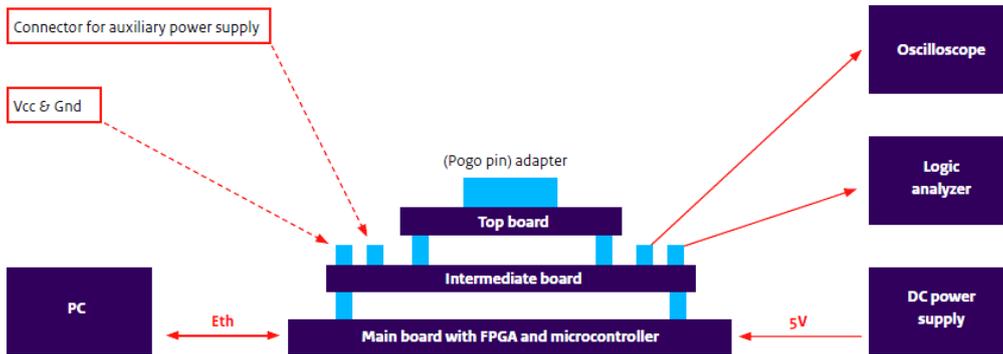


Figure 1: Schematic of the NFI Memory Toolkit II

## Hardware

A hardware schematic is drawn in Figure 1. The system has three layers of printed circuit boards: a top board, intermediate board and main board. The top and intermediate board can be swapped by the user to configure the system for different types of memory chip packages. The main board is fixed and has the main hardware components like a Field Programmable Gate Array (FPGA), microcontroller and programmable power supply.

A DC power supply and a PC are necessary for system operation (not included). A logic analyzer and an oscilloscope are recommended for debugging purposes (not included). The electrical connection between the three boards is made with connector arrays and two mechanical pressure units. Figure 2 shows a picture of the complete system including the two mechanical pressure units.

## Top boards

A desoldered memory chip is placed in an adapter which is mounted on a top board. The user can choose between five top boards (future expandable) with different types of adapters depending on memory chip package and pitch. Pogo pin adapters are used for micro BGA packages. These pogo pin adapters contain an array of small contacts in the same pitch as a memory chip package, to make an electrical contact.

Differences in height of the desoldered micro BGA balls are compensated with small springs in the contacts. The pogo pin adapters eliminate the need for reballing. A locator is used to place and hold a memory chip precisely located on the pogo pin array. The locator is a small plastic plate made from polyetheretherketone or 'peek' material, a high performance engineering thermo-plastic. Different locators can be milled for different package dimensions.



Figure 2: Picture of the NFI Memory Toolkit II

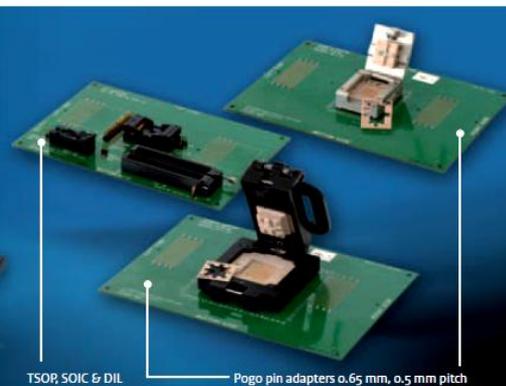


Figure 3: Examples of top boards

#### Currently available top boards:

- Top board for pogo pin adapter with 0.5 mm pitch (array of 15x15 pins)
- Top board for pogo pin adapter with 0.65 mm pitch (array of 24x24 pins)
- Top board for pogo pin adapter with 0.75 mm pitch (array of 15x15 pins)
- Top board for pogo pin adapter with 0.8 mm pitch (array of 15x15 pins)
- Top board with TSOP, SOIC and DIL zero insertion force adapters

### Intermediate boards

An intermediate board selects a subset of pins when the pogo pin array is too large for the main board. The intermediate board also brings all signals to a connector for measuring purposes (with an oscilloscope for example) or for supplying extra power to a memory chip.

#### Currently available intermediate boards (future expandable):

- Board for an array of 15x15 pins
- Board selecting an inner block of 19x19 out of an array of 24x24 pins
- Board selecting an outer ring of 7 rows out of an array of 24x24 pins

### Main board

#### The main board contains the key components of the system:

- FPGA with 384 user-programmable IO (input-output) pins. These IO pins are connected to the pogo pin array via the intermediate board. Because the IO pins are programmable, the system can easily be adapted for each memory chip signal layout. The FPGA is also used to execute a continuity test to detect if all pogo pins are connected to a memory chip.
- Microcontroller to control the power supply, power supply monitor, status LEDs and to communicate over Ethernet (100Mbit/sec) with a host PC.
- System power supply with over and reverse input protection.

- Two user-programmable power supplies for supplying power to a memory chip (can be programmed between 1.2 and 3.3 Volt).
- Power supply monitor for monitoring voltage level and current consumption (not yet supported by the software).
- Universal connectors for a logic analyzer.

### Software

#### The software consists of:

- FPGA configurations
- Embedded software running on the microcontroller
- Host PC software

FPGA configurations are written in Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language (VHDL). Different configurations are available for hardware protocols and can be expanded in the future for other protocols. The microcontroller is running uClinux, a version of Linux designed for microcontrollers. Communication software communicates with the FPGA. Written in C++, it is using a Linux TCP/IP stack for host PC communication and programs the power supply and power supply monitor, and status LEDs. A command-line program running on a host PC generates the command sets to access data in different types of memory chips. Each command set is implemented in a separate C++ class and can also be expanded in the future when new protocols are implemented.

#### Currently supported flash families:

- NorFlash
- NandFlash
- OneNand
- DiskOnChip (not all types)
- I2C and SPI EEPROM (work currently in progress)
- MoviNand

### Additional information

- To be able to use a NFI Memory Toolkit II a user must also have (access to):
  - A rework station with a collection of nozzles for desoldering micro BGA chips
  - An electronic temperature-controlled miniature soldering iron with multiple fine pitch tips
  - Tools for desoldering TSOP, SOIC chips et cetera (for example a Digital Programmable Hot Air Reflow System)
  - An inspection microscope
  - Cleaning tools
  - Flux remover
  - An ESD-safe working place
  - A precision milling machine to make locators
  - A DC power supply (5 to 6 Volt, 1 Amp) and a PC are necessary for system operation
  - A logic analyzer (at least 100M samples/sec, 2M samples wide, 64 channels) and a Digital Storage Oscilloscope (at least 1GHz bandwidth 4GS/s, 2-4 channels)\*
  - Storage equipment for a reference collection, printed circuit boards, locators et cetera
- It is also recommended to collect reference target devices and reference memory chips.
- Some memory technologies might not be supported due to the universal concept of the toolkit (for example, strong peak currents can cause problems due to the relatively long wires to the adapters).
- The user must gain experience in removing micro BGA chips from target devices. Desoldering memory chips from target devices is a critical step in the process. Especially underfilled micro BGA chips are more difficult to remove (underfilling is a method used to glue a chip to the printed circuit board to improve mechanical reliability). Inexperienced operators may damage the chip beyond repair.
- Removed micro BGA chips can not easily be mounted back on the target device.
- Chips added by the NFI are available as free updates. It is also possible to request support for specific memory chips for a fee.
- The user can also create new configuration XML files. For that the user will need to have access to the data sheets of the memory chips and it is necessary to understand the communication signals for these memory chips (like NandFlash, NorFlash et cetera).
- A toolkit operator needs to have professional electronics skills.

\* recommended for debugging purposes