

出國報告(出國類別：進修)

參加飛航資料分析訓練出國報告

服務機關：國家運輸安全調查委員會

姓名職務：助理研究員／鄒家平

派赴國家／地區：美國加州洛杉磯

出國期間：民國 112 年 11 月 5 日至 11 月 12 日

報告日期：民國 113 年 2 月 2 日

公務出國報告提要 系統識別號*****

出國報告名稱：參加飛航資料分析訓練出國報告

頁數：33 頁 含附件：否

出國計畫主辦機關：國家運輸安全調查委員會

聯絡人：郭芷桢

電話：(02)8912-7388

出國人員姓名：鄒家平

服務機關：國家運輸安全調查委員會

單位：運輸工程組

職稱：助理研究員

電話：(02)8912-7388

出國類別：考察 進修 研究 實習 視察 訪問 開會 談判 其他 _____

出國期間：民國 112 年 11 月 5 日至 11 月 12 日

出國地區：美國加州洛杉磯

報告日期：民國 113 年 2 月 2 日

分類號/目

關鍵詞：運輸安全、飛航資料紀錄器、座艙語音紀錄器

內容摘要：

南加州安全學院(Southern California Safety Institute, SCSI)於美國加州洛杉磯成立已逾 25 年，主要為航空及其他相關產業提供專業及各方面的安全訓練與諮詢服務。本次課程由 SCSI 專業講師講授飛航資料處理之面向及流程，Dr. Bill Tuccio 從紀錄器的歷史背景、紀錄器之種類、記錄之格式與內容、到下載解讀最後是飛航資料之模擬與分

析，課程深入淺出，使授課學員得以了解飛航資料分析之架構與細節。學員結訓後回到工作崗位上可以實際應用於工作中，提升飛航資料處理之能力。

本頁空白

目次

一、前言.....	7
二、授課方式&課程概述	9
三、課程摘要.....	11
四、受訓心得與建議.....	30

本頁空白

一、前言

本會調查各重大飛航事故中飛航紀錄器扮演至關重要之角色，紀錄器中的資料幫助調查人員第一時間客觀且全面的了解事故發生的過程，所以在針對飛航資料的處理更是本會工程組成員應該學習並精進的調查基本能力。

南加州安全學院(Southern California Safety Institute, SCSI)於美國加州洛杉磯成立已逾 25 年，主要為航空及其他相關產業提供專業及各方面的安全訓練與諮詢服務。其中飛航事故調查亦受各國相關調查單位肯定。本次課程由其專任講師 **Dr. Bill Tuccio** 進行授課，針對飛航資料分析從架構、流程、內容及須注意事項，皆深入淺出的講解，並提供多項支援來源，使授課學員得以了解飛航資料分析之架構與細節。學員結訓後回到工作崗位上可以實際應用於工作中，提升飛航資料處理之能力。

本頁空白

二、授課方式&課程概述

硬體設備

訓練課程於 SCSI 會議室進行，其可容納約 8 名學員。本次訓練講師以簡報方式授課，將其桌面顯示之內容投影至教室前方大螢幕；並於每一個主題提供教材重點講義及筆記文件，供學員學習過程中記錄重點摘要提升學員之專注度，另於課堂上撥放相關影片當成例子，對學員了解課程內容有相當之幫助。每個主題結束後講師與學員交互提問確認大家對於課程之瞭解程度，並掌握訓練進度，以有限之時程內將知識授予學員，以達訓練成效。

行程/課程概述

	課程綱要
DAY 1	<ul style="list-style-type: none">- Introduction- History: ICAO, Regulations- Hardware: CVR, FDR, etc.- Information: CVR、FDR/QAR(Raw Data)
DAY 2	<ul style="list-style-type: none">- Information: Telemetry(Hardware)、Other Data(Raw Data)- Information-Knowledge: Combining Sources- Information-Wisdom: Simulation & Animation- Wisdom: FQQA(Hardware)
DAY 3	<ul style="list-style-type: none">- Wisdom: FQQA(Hardware)- Summary

講師及學員介紹

本次訓練課程由 Dr. Bill Tuccio 擔任講師，他在美國國家運輸安全委員會(National Transportation safety Board, NTSB)工作了 8 年，主要負責紀錄器解讀分析調查員，從超

過 800 個紀錄相關設備中下載並解讀相關資料，參與過 400 多起調查案，其中多數是航空相關，另亦參與了海事、公路及鐵路的調查案。除此之外 Bill 自己也累積超過 8,000 小時的飛行經驗，2,000 小時的飛行教學經驗，擔任 141 所學校的首席飛行教練，並擁有自己的飛機。

參與本次訓練課程學員共計 6 人，其中 4 位來自美國聯合航空，1 位來自瑞士私人軍用飛機製造商，其中美國聯合航空有 3 位來自洛杉磯當地分公司，1 位來自總公司企業安全相關部門，該學員專門處理各項飛航資料分析進行大數據分析，供公司各部門參考。

三、課程摘要

本次課程主要為所有航空相關的從業人員，講述飛航資料處理之架構及相關流程及內容，首先從航空相關紀錄裝置的硬體法規緣由、硬體記錄之原始資料到下載完之數據資料，接著講述如何從數據中獲得所需的資訊，這當中該如何用知識及智慧來分析飛航相關的數據，來幫忙航空公司進行機隊管理控制營運成本，或是協助調查員進行事故之調查分析。圖 1 為整個飛航資料處理訓練課程架構。

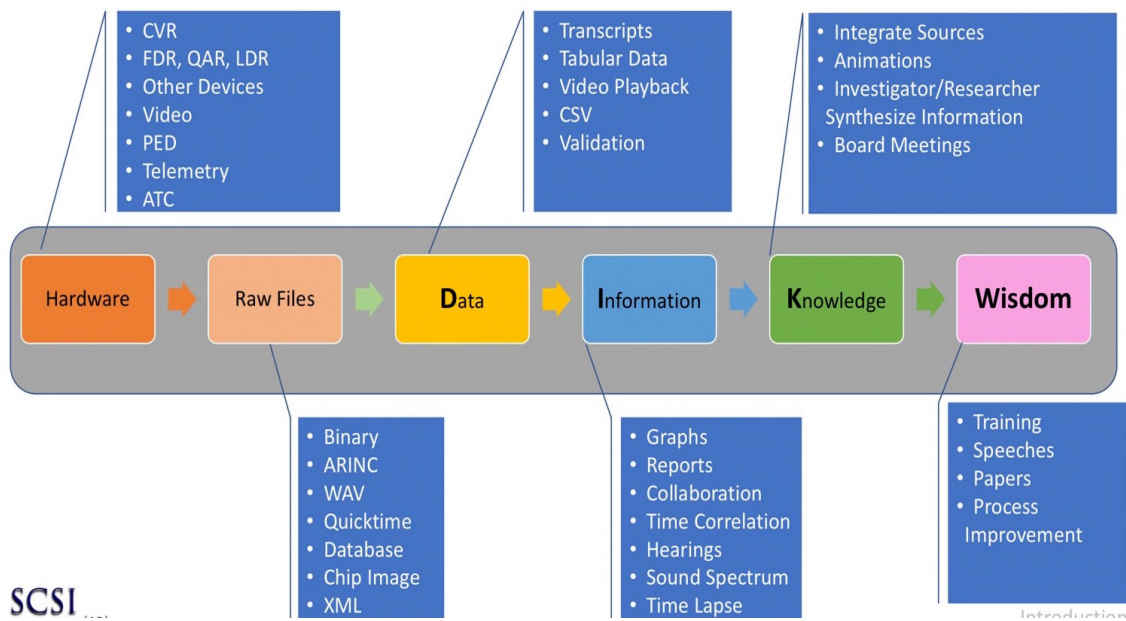


圖 1 飛航資料處理訓練課程架構

3.1 紀錄器硬體之歷史及法規

20 世紀初至今，飛航紀錄器的演進代表著航空安全的重大發展。從最初的箔式、磁帶式紀錄器到現在的固態紀錄器，這些紀錄器在飛行事故調查中發揮了至關重要的作用。美國聯邦航空總署(FAA)從 1953 至今發生各國的航空事故中，選出對提升安全有重要資訊的事故教訓整理成資料庫公布在網路上，其中包含螺旋槳飛機、小型飛機與大型航空運輸飛機。圖 2 為講師於上課時演示如何拆解磁帶式座艙語音紀錄器。

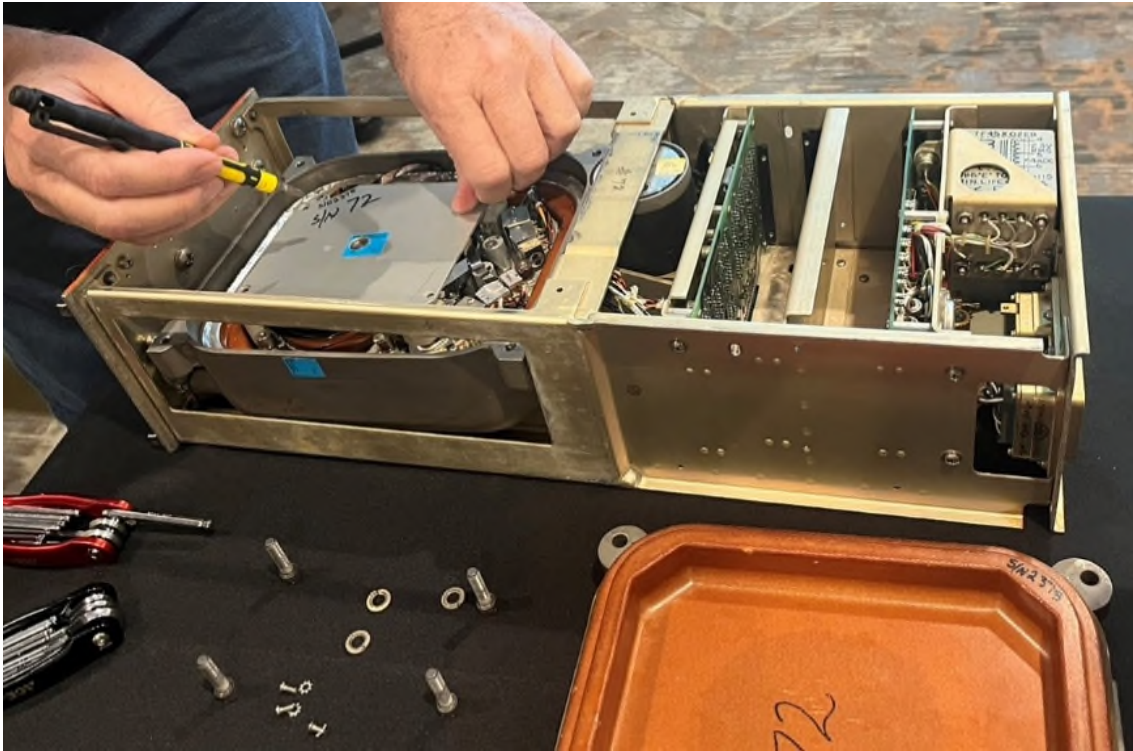


圖 2 講師於上課中演示如何拆解磁帶式座艙語音紀錄器

從時間軸來看 1958 年美國建立第一個 FDR 相關的技術標準 TSO C-51。1960 年美國聯合航空 United Air Line 826 號班機(DC-8)及國際航空 Trans World Airliney 266 號班機(Lockheed L1049 Super Constellation)相撞，TWA 航班墜毀在史泰登島的米勒機場，而 UA 的航班則向東北方飛行了數英里後在布魯克林撞地後墜毀，該事故造成兩架飛機上共 134 人死亡。當時使用箔式紀錄器重建了兩架飛機的高度、航向及碰撞當下之空速。從 DC-8 在碰撞前的最後一分鐘內，飛機的速度從 350 節減速至 301 節。DC-8 的高速是這次事故的主要因素，過快的速度減少了與其他飛行器之間的緩衝區。由於這次事故，FAA 制定了一項規定，飛機在 10,000 英尺以下的高度，速度不能超過 250 節，在 6000 英尺至 14,000 英尺之間的高度不能超過 230 節，在 6000 英尺以下的高度不能超過 200 節。

1964 年美國針對 CVR 進行了立法案的公告 Notice of Proposed Rulemaking(NPRM)，經過與產業界往復溝通後達成最終法案，其重要內容包括：禁止將駕駛艙語音記錄用於除事故調查以外的任何目的、可一次性全部消磁、放置位置位於機尾(事故調查人員發現，在飛機墜毀時，機尾部分通常比前部分遭受的損壞要小。)1966 年 7 月 1 日開始重量超過 12,500 磅，所有渦輪式航空器都要安裝 CVR；1967 年 7 月 1 日開始重量超過 12,500 磅的所有 4 引擎、活塞引擎及機艙需加壓的航空器，都要安裝 CVR。且 CVR 需

要記錄所有無線電通訊；駕駛艙內所有的語音通訊(即包含駕駛艙區域麥克風)；在飛機廣播系統上所有飛行組員的廣播；所有被導入航機之識別導航或輔助設備的語音或音頻信號，並至少需要記錄 30 分鐘(含)以上。而其頻道需記錄 1.機長位的麥克風聲音 2.副機長位的麥克風聲音 3. 座艙區域麥克風聲音 4.其他聲音來源包括第二座艙區域麥克風、第三位飛行組員、其他與廣播系統有關之聲音。

1969 年磁帶式座艙語音與飛航紀錄器出現，至目前為止仍有少部分航空器使用(減少的主要因素是磁帶已經很難取得)，但仍然有可能在大型飛機上看到這些設備。例如，NTSB 2015 年的調查中使用了磁帶式 FDR 進行調查，相關資料可以在編號 DCA16FA013 的報告中看到。需要注意的是，雖然飛航資料紀錄器最初是以箔式開始，但駕駛艙語音紀錄器最初則是以磁帶形式開始的。

另外國際民航組織(ICAO)在航空史上則扮演了關鍵角色，從 1919 年的巴黎會議到 1944 年通過的國際民用航空公約(Convention of International Civil Aviation)又稱芝加哥公約，並於 1947 年 4 月 4 日國際民航組織 ICAO 成立同日生效，至今已擁有 193 個會員國。該公約隨著全球航空產業營運複雜度與日俱增的情況下，後續亦針對不同主題延伸增加了 19 個附件。其附件 6 為 Operation of Aircraft 為主之相關建議規範或標準，其中寫到飛航資料紀錄器 Flight Data Recorder(FDR)及座艙語音紀錄器 Cockpit Voice Recorder(CVR)，須具備一定抗撞耐燃之殘存能力並配有水下定位發報器，並漆成橘色以便更容易被發現，且 CVR 應在事故發生後以獨立電源繼續記錄 10 分鐘。而附件 13 主要針對飛航事故和事件調查，包括認證代表和技術顧問等角色。

附件 6 為 Operation of Aircraft 為主，其分為三個部分包括國際商用航空運輸、國際普同航空業及國際商用直升機，而關於紀錄器的規範也是類似的分類方式。而當談到飛航數據分析時，首先講授飛航資料開始資料來源，也就是設備。大型商用航空器設備大略分為座艙語音紀錄器、資料鏈結紀錄器(data link recorders, DLRs，通常是 CVR 的一部分)、飛航資料紀錄器、機載影像紀錄器，在小型航空器中的簡式飛航紀錄器分類大概相同。另有一種同時具備飛航資料與座艙語音功能的複合型紀錄器。文件中亦明訂 FDR 必要紀錄參數及其紀錄之範圍、紀錄頻率、可接受之誤差、紀錄的間隔，及紀錄器之一般規範，如在航空器運作時紀錄器是一定要開啟的；自 2023 之後 CVR 必需可紀錄至少 25 小時；CVR 需要有獨立且與 FDR 分開的供電系統，而製造商需要提供資料解讀之必要文件；在 CVR 及 FDR 上都需要配有水下定位發報器。

另於文件中提及商用大型航空器之 CVR/FDR/DLR/AIR 等紀錄器之抗撞毀殘存能力及最低運作性能標準(Mimimum Operational Performance Specification, MOPS)可參照歐洲民用航空設備組織(European Organization for Civil Aviation Equipment, EUROCAE)之文件 ED-112。目前紀錄器之抗撞毀殘存能力標準如表 1。

表 1 現今紀錄器必須達到之抗撞毀殘存能力

Fire(high intensity)	1100 °C flame over 100% of recorder 30 min (60 min if ED56 test protocol is used)
Fire(low intensity)	260 °C oventest for 10 hours
Impact shock	3400 g's for 6.5 ms
Static crush	5000 lbs
Fluid	Immersion(fuel, oil, etc)24 hours
Sea Water	Immersion for 30 days
Penetration	500 lbs dropped 10 ft, 1/4 inch point
Hydrostatic	Pressure equal to depth of 20,000 ft

在 ED-112 中亦指出過往設計當，航空器降落之 G 值大於 5 時，自動切斷紀錄器記錄的電力是不可靠的，建議改成斷電後 CVR 仍需繼續記錄 10 分鐘。另安裝水下定位系統在紀錄器上，主要也是為了找到紀錄器，以利調查時得以還原事故的原貌，以找出事故真正肇因，避免事故未來再一次發生。

附件 13 Aircraft accident & incident investigation 主要內容是針對事故調查，當航空事故或事件發生時，調查的目的是預防；對事故或事件的調查唯一目的應該是預防事故和事件再一次發生。且調查之目的並不在於歸咎或追究責任。事故或事件發生的所屬國家將主責調查，但也可以將全部或部分調查委託給另一個國家。如果發生事件的地點在任何國家的領土之外，航空器之登記國有責任進行調查。登記國、業者和製造商的代表有權參與調查。調查過程旨在確定事故或事件的原因，並發布最終報告，其中包括飛航安全改善建議，以防止類似事件的發生。另 CVR 或相關之圖像記錄非必要不公開，但美國運安會 National Transportation Safety Board, NTSB 較為特別是會發布事故 CVR 完整的抄件，其中僅有部分經過簡單的處理。

其中關於官方指派的授權代表(Accredited representatives, AR)或是技術顧問

(Technical advisers)，講師以美國 NTSB 為例，根據國際民航組織(ICAO)的芝加哥公約附件 13 中提供的標準和建議做法(Standards and Recommended Practices, SARPS)的規定，參與對美國以外的航空事故和嚴重事件的調查。根據 ICAO 附件 13 SARPS 的規定，一旦接獲可能涉及重大問題的事故或嚴重事件的正式通知，NTSB 會指定一名美國指派之授權代表並任命顧問，並參與或是委託事故發生國調查並接受調查報告中提出之安全改善建議。如果一起事故發生在一個不受附件 13 條款約束的其他國家，應該與該國通過互相同意，將調查的全部或部分交給 NTSB，又或者該事故或嚴重事件涉及公共事務，該調查的進行應符合美國與該國之間達成的協議。

講師舉了 2022 年 3 月 21 日，在中國發生的東方航空墜毀事故為例，NTSB 正在協助中國調查人員檢視波音 737-800 型飛機的飛航資料紀錄器，並在華盛頓的美國實驗室下載座艙語音紀錄器，這部分就是所謂官方指派之授權代表 AR。其中也有從波音、奇異公司及美國聯邦航空總署過去的技术顧問。但調查仍以中國民航局為調查之主導單位。

總結來說從箔式紀錄器到磁帶式再到固態紀錄器，不同類型有不同的數據恢復方式。這些技術的適當處理對於保證數據的完整性和準確性至關重要，例如在哈德遜河的事故中，紀錄器保存在瓶裝水中保護了數據。在極端損壞的情況下，需要對晶片進行細致的處理，包括移除和轉接，以確保數據的正確讀取和解釋。以上這些是在處理數據紀錄器時需要考慮到的一些重要因素，並且將這些經驗和處理過程進行詳細的記錄，能夠為未來的調查工作提供幫助。

3.2 紀錄器硬體

一般來說航空器上最常見的抗撞耐燃之紀錄器，有飛航資料紀錄器 FDR 與座艙語音紀錄器 CVR。而這些兩種紀錄器裡面，都具備有抗撞耐燃之殘存能力記憶體單元 (crash survivable memory unit, CSMU)。圖 3 為紀錄器之基本結構。另外有一種輕型的資料紀錄器(lightweight data recorders, LDR)，為有抗撞擊殘存能力的資料儲存系統，通常也有音訊、飛航資料、影像紀錄及數據連結等之紀錄功能，其相關規範之細節可以參考 TSO1 C-197 或 ED-1552，基本上是與 CVR 跟 FDR 有一樣的原則。當紀錄器在進行解讀時會遭遇不同的狀況。舊式磁帶式紀錄器之解讀方式，僅有讀取磁帶資料一種，

¹ 為美國 FAA 出版之技術標準認定 Technical Standard Order

² ED-155 是 EUROCAE Documents 關於 MOPS of Lightweight Flight Recording System

而固態硬碟之解讀方式需依照不同情況進行解讀：未受損的、普通損壞的、極端損壞的情況需要採取不同的處理方法。圖 4 為講師指導學員拆解紀錄器。



圖 3 紀錄器之基本結構



圖 4 講師指導學員拆解磁帶式紀錄器

未受損之紀錄器可依照製造商提供之文件進行標準下載解讀程序：首先準備解讀排線，從紀錄器連接至解讀設備，有時排線有特殊功能，可以防止紀錄器通電進行資料下載時將資料洗去。次之就是解讀設備之介面，其包括專用解讀軟體、讀取站及內建紀錄器之網路服務器。接著便可以通過上述設備來下載紀錄器之原始檔案，進行後處理之工作。

而面對損毀的紀錄器最重要的目標就是：保護記憶體。電子元件容易受到靜電損壞以致短路，所以在紀錄器斷電前不要使用任何皮製手套處理電子元件。另外一般來說記憶體可以分為揮發性(volatile)或是非揮發性(non volatile)，揮發性記憶體說的是資料一旦沒電就會消失，而非揮發性之記憶體即使沒有電也可以保存資料，又稱快閃記憶體。在進行資料下載前需要確認記憶體的特性，如為揮發性記憶體記得維持上電。如果原本記憶體是乾燥的，則繼續維持乾燥。但如遇已經碰水之記憶體，或遇到記憶體已經碰到泥漿或其他物質，則可以把記憶體保存在去離子水，或是逆滲透 RO 瓶裝水中，送回實驗室進行解讀。基本上保持發現時之”原樣”送回實驗室進行處理。特別注意上述的瓶裝水不能使用礦泉水、自來水或是醫療用的去離子水。如果現場沒有任何可使用之離子水或是逆滲透水，請直接使用紀錄器發現當下浸泡的水，簡單清潔後以現場之水浸泡運送(淡水或是鹽水都可以)。例如大家都聽說過的，2009 年全美航空 1549 號班機事故，別稱哈德遜河奇蹟之飛航事故，該航空器因為鳥擊而迫降在哈德遜河中，圖 5 中座艙紀錄器便是保存在哈德遜河水中運送回 NTSB 的。



圖 5 哈德遜奇蹟事故之座艙語音紀錄器

該紀錄器後來經過拆解後發現，記憶體在 CSMU 當中是乾燥的，所以只要與原廠損壞紀錄器之黃金機台接起來後，便可依照正常程序進行資料之下載。

處理過程中謹記，不要用任何化學品如漂白水來清潔電子元件。在處理過程中調查員自己要小心生物汙染，講師提到有時 NTSB 會讓送回去的東西，先靜置 2 周，以確保調查員不會被傳染血媒性病毒。而在將紀錄器取回拆卸放入烤箱中烘乾的時候，需要注意烤箱的溫度，但這些技術性的資訊並沒有被放進原廠手冊中，僅能靠各國調查員的經驗傳承，當然各調查單位會很樂於分享，所以講師也鼓勵大家將這些處理的流程，詳實的記錄進調查報告中。另外從 CSMU 連接出來的線路，在熱傳導到記憶體之前就會被熔斷，所以當紀錄器因航空器撞擊起火的狀況下，通常不用擔心會毀損記

憶體。

當偶而發生極端損毀的情況(如圖 6)，這就需要將紀錄器拆解至儲存資料之電路板，並將把晶片從主機電路板上取下，這種情況下要非常小心，非不得已才會這樣處理，且需要詳細記錄所有的處理步驟，再放到另個主機板上(或是 chip reader)，每一個步驟都有相當的風險，這會需要正確的轉接版、正確的轉接軟體及正確的晶片規格，才能讓資料下順利進行。如遇無法解讀有可能是根本沒有紀錄、也可能是處理過程錯誤又或是沒有正確接頭，所以每一步都需要詳實記錄下來，方能知道真正原因可能為何。以圖 6 的例子來說，經過一系列小心的處理以後，仍舊沒有解讀出任何有效的資料，這在對其他調查團隊解釋的時候，如果沒有詳實的記錄處理的過程，大家都會懷疑這是紀錄器在事故發生時沒有正常工作，或是這是處理人員的問題。



圖 6 極端高熱損毀之紀錄器

而飛機上有一些非官方之紀錄器，最常見的例如 quick access recorder, QAR(圖 7)，該設備之資料主要是航空公司進行飛航資料分析，以增進公司營運效率。或是影像紀錄器，例如小型的攝影機或是 GoPro 等等。美國對於影像紀錄器並沒有法規的規範，但過去 10 年中 NTSB 一直倡導座艙安裝相關設備，他們認為這對事故當時，機組人員處理的流程及面對的環境狀況，可以還原得更加完整。

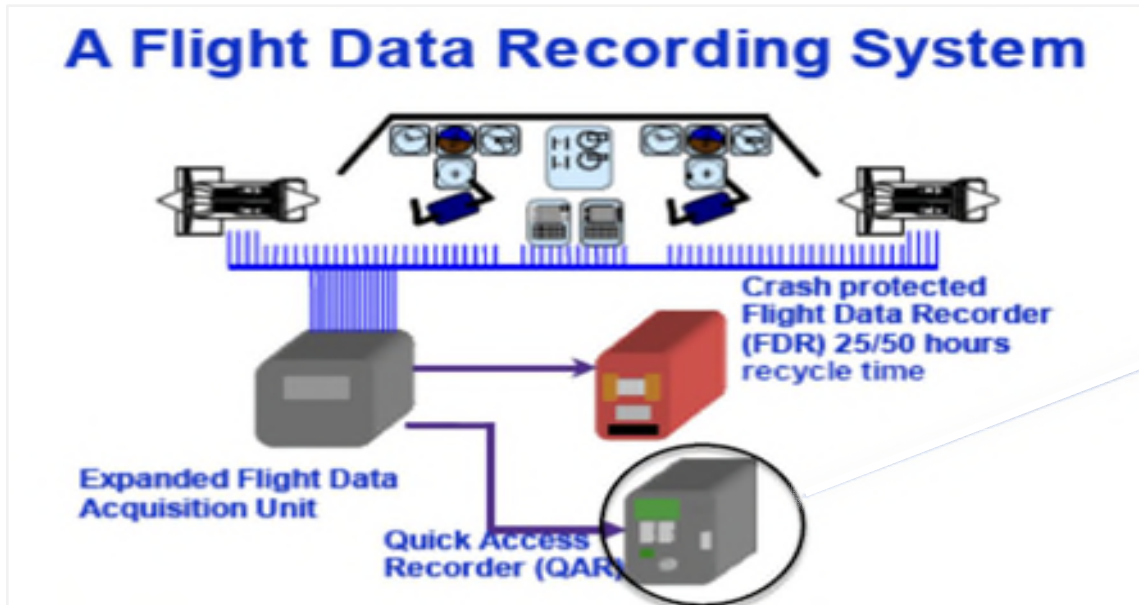


圖 7 航空器上 FDR 與 QAR

3.3 原始資料到數據資料

座艙語音紀錄器一般來說會記錄四個頻道，包含正、副機長、駕駛艙環境音及第三組員或對乘客之廣播系統的音訊，其中亦會包含同步所需之時間參考資訊。依照美國 FAA 的 14 CFR 25.1457 適航性規定，航空器必需記錄包含無線電通信、駕駛艙內的聲音(環境音、對講機)、在耳機上聽到的導航信號的語音/音頻、乘客廣播系統 (Passenger Address system, PA)、數據鏈結資料，而這些資訊通常來自機長、副機長、駕駛艙區域麥克風(CAM)、觀察席/PA 的頻道，並於斷電後需至少要再多錄製 10 分鐘的音訊。另在 14 CFR 121.359 的法規中規定：在 18,000 英尺以下的高度需使用耳機、且必須配備通過 TSO C-123a³(技術標準認定)認證的耳機。

大多數的座艙語音紀錄器，可以透過製造商的設備及軟體，進行下載與解讀。原始檔案通常是二進位制格式，可以下載後透過軟體轉成.wav 檔案，供調查人員解讀與分析。某些座艙語音紀錄器，則需要透過解讀設備撥放後轉錄成.wav 檔案。較新的座艙語音紀錄器可以記錄 4 個頻道 2 個小時，但某些可能是 2 頻道(座艙環境及綜合音檔)2 小時，僅最後 30 分鐘有分開記錄的 4 個頻道。示意圖如圖 8。

³ 有許多例外的情況，例如 Part 135、Part 91、Part 91K 等。有關特定情況的例外，可以參考 AC 20-186 的附錄 A。

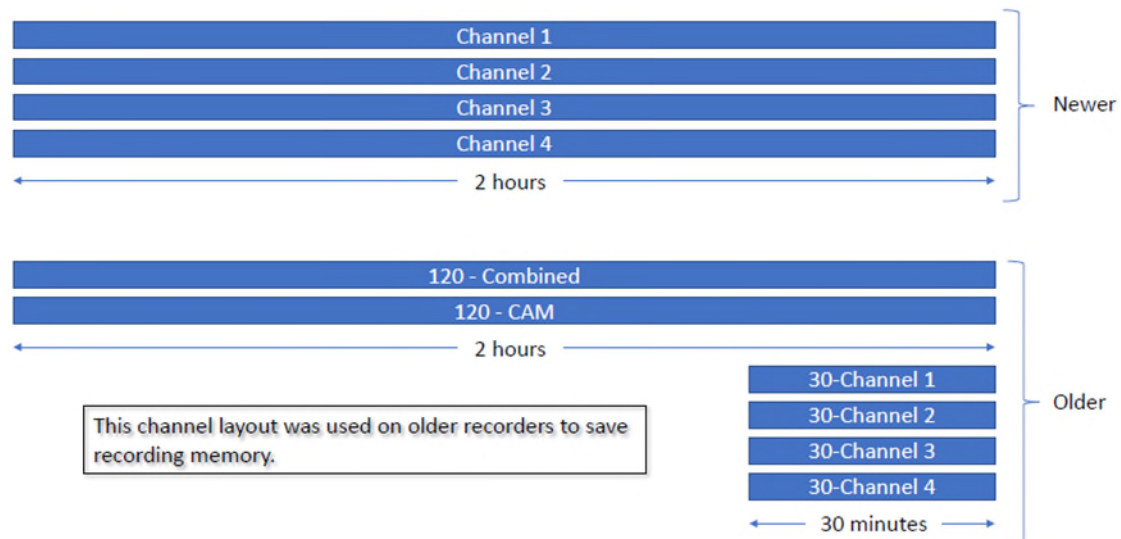


圖 8 座艙語音紀錄器紀錄資料

CVR 紀錄之時間是經過的時間而非世界標準時間 UTC(Universal Time Coordinated) ，雖然 CVR 可存有時間資訊但調查員們通常不使用，主要是因為精確度有問題。一般來說要轉換成 UTC 時間或是當地時間，會跟 FDR 進行時間的同步。最常見的方式是，使用麥克風對航管進行通話時，按下發話按鍵的聲音與 FDR 的紀錄進行比對。

由於 CVR 資料較為敏感，在資料處理的時候，必須遵守一定的行政流程及規範。參與調查的人員將由主任調查官(investigator in charge, IIC)決定，可能像之前說的是政府監管機構、營運商的代表，或是航空器製造商及維修商之代表或技術顧問...等等，但律師、保險公司、媒體及事故直接關係人及其家人是在法規上明訂須特別排除在外的。另如有違反相關保密條款者，亦會被取消其參與調查之資格。以 UPS 航空公司 1354 號飛航事故為例，NTSB 於 2014 年 8 月 25 日取消獨立飛行員協會(Independent Pilots Association, IPA)及 UPS 航空公司參與調查之資格。NTSB 這樣做主要是因為 IPA 和 UPS 違反了參與調查時簽署的保密協定。NTSB 在給調查團隊的信中寫道，IPA 和 UPS 在 NTSB 確定事故的可能肇因之前，公開討論和提供了與該調查案有關的分析。

CVR 的聲音資料在法規的規範下受到保護，一般來說會以抄件的方式提供調查團隊參考。抄件的格式與內容通常會有一定的規範，主要是因為人們在講話的時候不一定是合乎語法的句子，多數我們都使用正式文字的方法轉抄件，有時會針對語氣或聲音進行標示，通常用〔 〕來表示聲音，聽 CVR 無法辨認的字句則打上*，抄件完成以後會進行整理，例如髒話的部分會用#來取代，亦會將對話中不相關之人名及話語以@來代替。

ICAO 規定抄件需要以英文呈現，如遇其他語言則須進行翻譯，通常會用三行式翻譯來表達，第一行為對話者說的語言，第二行是針對說的字詞進行翻譯，第三行則是經過順過詞句後對話者真的想說的意思。

一般來說 2 個小時的 CVR 通常要花一周才能將抄件完成，因為會一直重複地聽；20 個單字的句子通常要聽 5~10 遍才能全對。有些聲音可以靠 CVR 辨認出來，有些則不能。以 2014 年 7 月 17 日，馬來西亞航空 MH17(波音 777-200ER 型客機)，在烏克蘭東部空域 33,000 英尺(10,000 公尺)高度巡航時，被俄軍發射飛彈擊毀，機上 283 名乘客和 15 名機組成員悉數罹難。該事故是由荷蘭安全委員會(Dutch Safety Board, DSB)和荷蘭領導的聯合調查組(Joint Investigation Team, JIT)⁴進行調查，從 CVR 的通訊中沒有任何顯示飛航異常的跡象，而座艙語音紀錄器在中歐時間(UTC+2)15:20.03 突然中斷，經過反覆回放個頻道之紀錄並未發現任何警告及故障提示音響起。四個頻道中僅有區域麥克風之音訊品質較差。

使用專業的音訊紀錄分析軟體，可以建立聲音隨時間變化的圖形也就是波形。一連串的波形會形成波譜，波形分析有助於確定信號的特徵，例如持續時間和能量，頻譜分析就是針對一連串的聲音訊號進行分析。在 MH17 CVR 紀錄音軌結束前的 20 毫秒，分別發現兩個聲音的峰值。圖 9 顯示了四個座艙語音紀錄器麥克風的峰值。每個圖片顯示的時間段為 4 毫秒，Peak 1 的聲音峰值僅在駕區域麥克風(CAM)上發現。

⁴ 該聯合調查組包含了荷蘭、烏克蘭、馬來西亞、美國、英國、澳洲及俄羅斯各國之調查員組成。

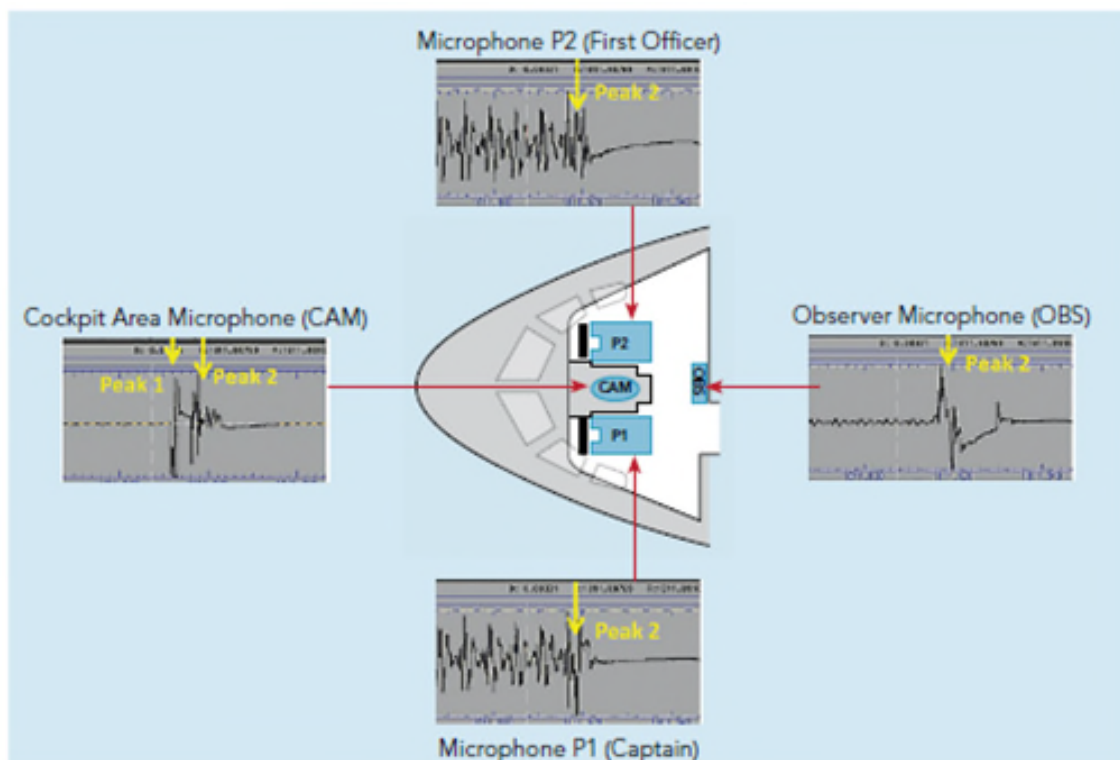


圖 9 MH17 調查報告 CVR 之頻譜分析

第一個和第二個聲音峰值之間的時間差確定為 2.3 毫秒。而第二個峰值持續了 2.3 毫秒，且四個頻道都有記錄。然而，第二個峰值在不同頻道上並非同時的。頻道之間的時間差顯示，聲音首先由區域麥克風(CAM)和駕駛員機長麥克風 P1 記錄，然後是副駕駛員 P2 麥克風，最後才被觀察員 OBS 的麥克風記錄到。這種時間上的差異表明，聲波起源於飛機外部，從駕駛艙左側上方開始，從前往後傳播詳圖 10。

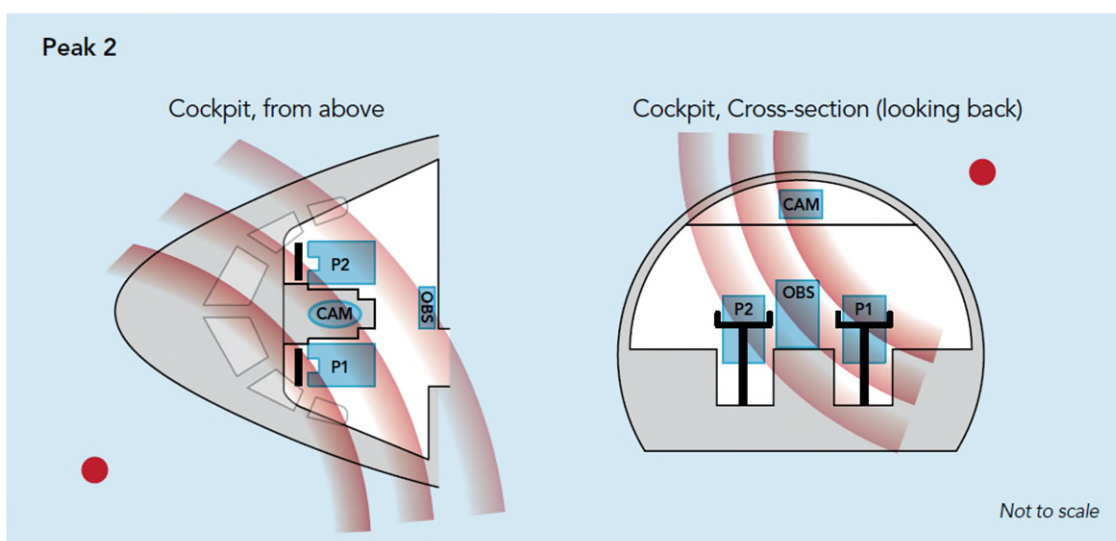


圖 10 MH17 調查報告 CVR 頻譜時間差分析

雖然許多專業人士和研究都認為：僅憑一個駕駛艙語音紀錄器無法確定飛機是否

發生爆炸。但就 MH17 該案中，除了 CVR 聲音之頻譜分析之外，散落各處的碎片也證實了事情發生的事實。另還要思考的是這些資訊中哪一些是事實資料，那一些是經過分析得到的結論。

接下來談到飛航資料紀錄器(Flight Data Recorder, FDR)，首先電腦記錄的原理是以一串 0 或 1 來表示一個字母，許多串來進而表示一個文字。最小的一個單位就 bit，而 1 個 Byte=8bit，也就是我們常聽到的 8 位元，目前電腦可以同時(每秒)計算 64 位元的資料。在航空器系統中通常是 ARINC 429(19bits)，經過紀錄器記錄下載成功的檔案通常是 ARINC 717(12bits)，也有 ARINC 767 的格式(新一代的或是限於 787)，檔案封包除了.zip 之外也有可能是.fdr 或是.dlu 的壓縮檔。在 FDR 中就包括一堆的 0 或 1，飛航數據分析就包括將其解碼成對調查有幫助之訊息。



圖 11 二進位記錄原理圖解

參考圖 11 來說明，在紀錄器系統中記憶體不同的大小，可以同時記錄的位元數亦不相同。以 Honeywell 的固態飛航資料紀錄器(Solid State Flight Data Recorder, SSFDR)來說，該紀錄器以數字格式使用固態快閃記憶體，作為記錄飛機飛航資料的媒介。SSFDR 可以接收 ARINC 573/717/747 配置的資料，每秒記錄 256 個 12 位元之數位資訊，並能記錄至少 25 小時的飛航資料。每組 256 個字(每秒)稱為一個子幀。每個子幀都有一個唯一的 12 位同步字，將其標識為子幀 1、2、3 或 4。同步字是每個子幀中的第一個字。當同步字以正確的 256 字間隔出現時，資料處於“同步”狀態，如圖 12。每個參數(例如高度、航向、空速)在子幀內都有一個特定分配的位置。

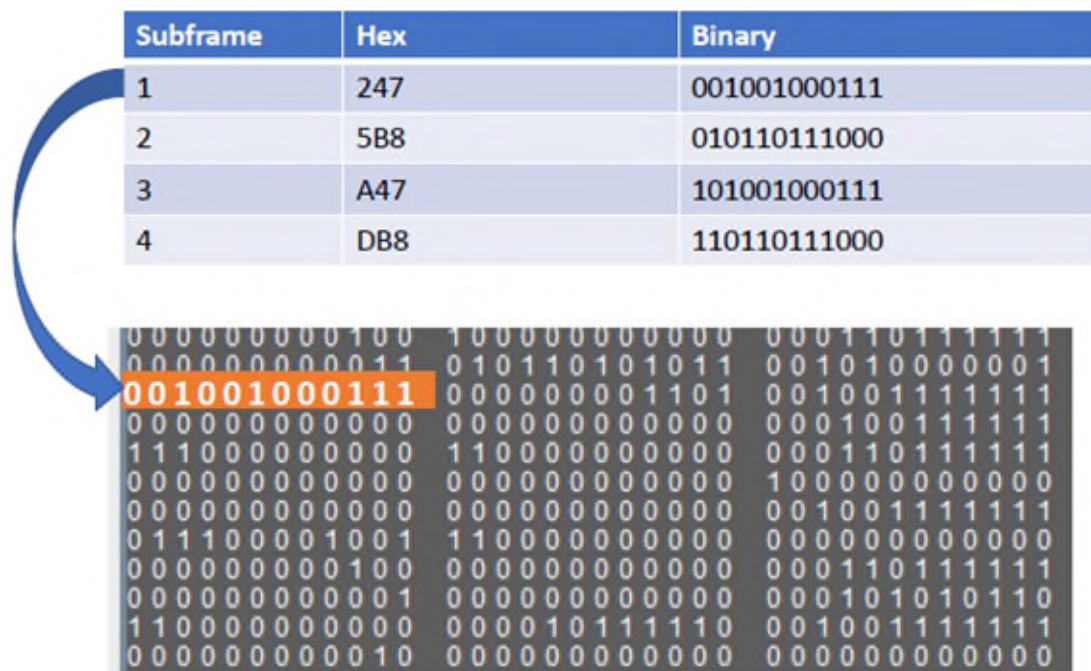


圖 12 每子幀都有一個同步字作為開頭

對於飛航紀錄器中記錄的資訊，飛航資料數據分析人員，會需要所謂的資料架構或是資料地圖，也就是所謂的解碼文件，或是航空紀錄器電子文件標準(Flight Recorder Electronic Documentation Standard, FRED)，針對不同參數在紀錄器中被記錄的位置及解算方式。一般來說資料架構應該是一致的，但對於調查員來說必須要更進一步地確認。因為有可能同一份文件中還會有不同版本的問題，例如波音 D226A101-3 的同一份文件中就有 6 個不同版本。

有了基本的了解之後，繼續探討關於數據資料轉換的一些細節。例如一般參數可分為幾種：正負向二進位參數(two complement)、常數(discrete)、特殊幀(superframe)用於記錄某些不用這麼多次的參數，例如日期與時間。而當數值超過 12bits 可以記錄時亦會用粗細參數轉換，舉例來說，壓力高度就會有粗細參數及正負號。

了解如何正確解碼參數之後，當事故發生調查員拿到紀錄器資料並解讀出數據後，就會開始找尋事故發生的資料。一般來說調查員會看高度、空速及正常加速度之參數，而針對引擎的事故則可能會看引擎相關的參數，接著在畫出圖表來看整個事故發生的過程中，是否有異常的資料出現。當然事故常會在資料結束之前，但也不是一定。

講師講到一個案例：加拿大航空 759 號班機在 2017 年 7 月 7 日的一起事件，加拿大航空 759 號班機(A320)獲准降落在舊金山國際機場(SFO)，但其差點降錯在平行於跑道右側的滑行道上，該滑行道上當時另有 4 架飛機。加航 759 號班機最終在飛過第一

架飛機後，機師及時注意到地面飛機的落地燈，並做出反應重飛，才避免與這 4 架等待起飛的客機相撞。如果事故有可能發生的原因已經很明白的知道是降錯跑道，那為什麼還要看 FDR 的資料呢？其實我們除了知道原因，也想知道為什麼沒有任何警示？除了人為因素之外，如果系統應該要有警示而沒有警示這也是系統問題，這也是需要被解決的。

以 NTSB 來說，FDR 的最終報告開頭會包含：事件摘要、紀錄器之型號等資訊、紀錄器應符合之法規、數據概述等。內容會有事實概述、可獲得表格及參數的地方並列出報告中所使用經過驗證的參數。

航空器營運商會需要維持航空器之適航性，其包括紀錄器須能正確記錄參數。而大多數利用飛航紀錄器來進行調查的，都需要從原始數據中取得有用的資訊，這個過程亦會產生很多的圖表或是與地形資料的套疊圖。然後再來就是你有可能看過的動畫模擬分析。

3.4 飛航數據資料整合

當成功的下載並完成解讀紀錄器資料之後，調查員必須將資料進行比對進行同步之後才能進一步將這些數字，轉換成資訊來進行分析作業。一般而言會需要先考慮資料的性質，例如資料是離散的或是連續的，兩個資料都是連續的，或是兩個資料一個離散一個連續，又或是兩個資料都是離散的。再來是內容的相似性，例如 ATC 與班機的通訊與 CVR 中的錄音是相同的。接著在同步的時候，要思考同步的方式並決定，以哪一個時間做為事故同步的時間表達，如當地時間或是世界標準時間 UTC。

通常 CVR 跟 FDR 同步，會利用麥克風按下去發出的那個時間來進行同步。因為這在 CVR 上面可利用頻譜分析，知道何時被按下去何時被放開，FDR 則會記錄麥克風何時被按下去。但會遭遇的問題，在於時間差的部分，FDR 每秒紀錄一次，但當麥克風被按下去的時間在兩秒之間發生，第一秒可能會沒有紀錄到資料，這是因為 FDR 是離散的資料，非連續的資料，但 CVR 是連續的資料。

舉例來說，我們先將 rFDR(Raw FDR)開始叫做 rFDRs，結束叫做 rFDRe，而因為 FDR 每秒紀錄一次，所以麥克風有可能在 rFDRs-0.999 到 rFDRs+0.999 之間被按下而記錄到，用 aFDRs 及 aFDRe 代表可能被按下及結束的時間。CVR 開始叫做 CVRs，結束叫做 CVRe。如圖 13，圓圈代表資料在 FDR 被記錄的狀況，圓圈在上表示有被記錄，圓圈在下表示沒有記錄。當對話開始麥克風被按下的位置 CVRs 開始的時候，FDR 紀錄的時間點剛過，

所以在 aFDRs 是沒有被記錄到的，結束的時候亦只有在 rFDRe 被記錄到，真正 CVRs 的時間還沒到。而圖 14 是分析可能發生的誤差種類。

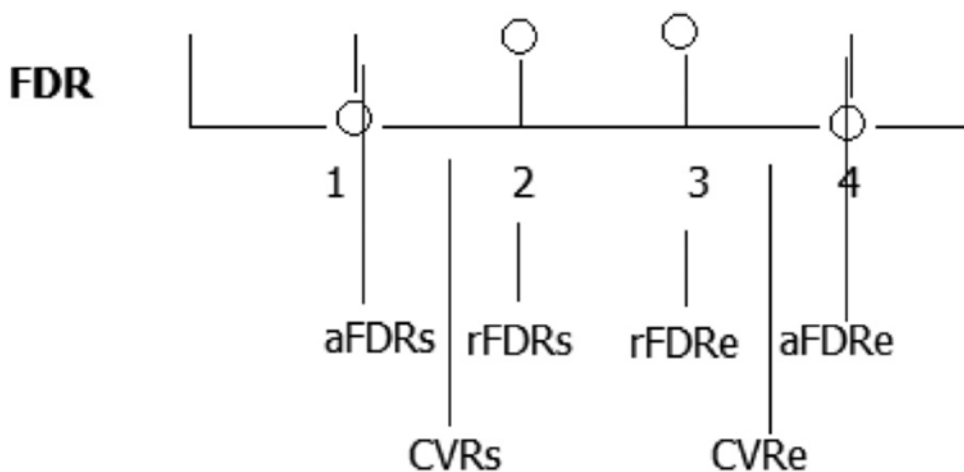


圖 13 同步可能面臨的誤差範例

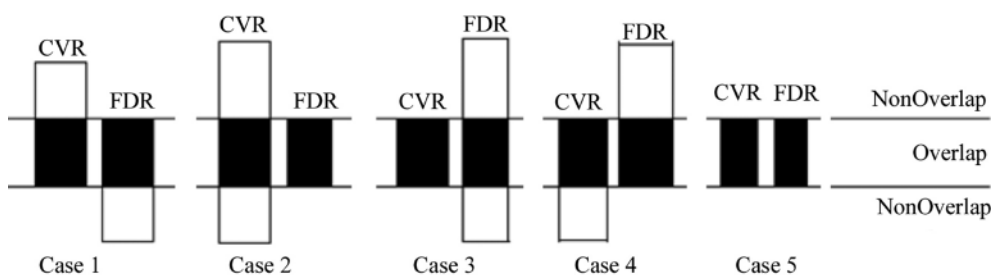


圖 14 同步可能面臨的誤差樣態種類

所以資料處理人員會將整個航程中，比較明顯的事件，在兩份資料中找出來，例如主警告 Master Warning，當主警告響起的時候 CVR 會記錄聲音，而 FDR 會有紀錄其發生的時間位置。又或者是開啟自動駕駛跟自動駕駛解除的時間點。當資料處理人員找出越多的事件點來進行同步的時候，資料的同步就會越精準，主要因為每一個事件都要相對對齊的話就會越來越精準。這兩個紀錄器一旦同步以後，可以加入其他的資訊整合起來供調查人員還原事故的樣態。

3.5 飛航資料分析

“模擬”指的是計算飛機對推力和控制輸入的回應的方法和設備，並在地面設施中，盡可能地再現操作該飛機的體驗。所有的資料整合完成以後，藉由模擬重建事故當時之狀況，並以其他可能的情境，帶入該事故來分析或許可能避免事故再次發生的方法。一般來說模擬可分成三種等級：

第一級：完整飛行模擬(物理數學模式、影像和飛行員)，飛行模擬機(Full Flight

Simulator)，模擬所有的主要元素(包含實體的駕駛艙內部陳設)，例子：能否讓薩利機長返回機場？第二級：“電腦”模擬(僅物理數學模式計算)。指的是以物理數學方程進行模擬，例子：使用雷達資料確定飛機的航向及角度。第三級：“回放”模擬和“動畫”。利用紀錄器資料，重建一次事故情況，動畫實際上不是模擬，僅是一個回放的觀念，通常用於顯示事件的時間序列。

以下舉些例子來說：美國航空 587 班機空難與全美航空 1549 號班機事故，針對這兩個事故 NTSB 都進行了第一級的完整飛行模擬與第三級的動畫重建，所謂第一級的飛行模擬如上述，最主要就是安排飛行員置身於事故的情境當中，進行全方面的模擬。而美國航空 587 班機另有進行第二級的電腦模擬。

美國航空 587 號班機在 2001 年 11 月 12 日從甘迺迪國際機場起飛後不久，就在紐約市附近的，貝爾港墜毀爆炸起火，並造成一共 265 人罹難，為美國境內傷亡第二大的空難，亦為 2000 年代全球傷亡最慘重的空難(不計入該空難前 2 個月的 911 事件)。NTSB 在 2004 年 10 月 26 日的報告指出，該航班是遭遇了機尾亂流影響，副機長過度使用方向舵造成飛機失控墜毀。所以在模擬飛行員被要求在 260 節的空速下滾轉，然後再進行不同操作情境的模擬。

全美航空 1549 號是一架空中巴士 A320 的班機，在 2009 年 1 月 15 日由紐約市拉瓜迪亞機場起飛，前往華盛頓州西塔科西雅圖－塔科馬國際機場的每日定期國內商業客運航班。在飛機起飛爬升過程中遭加拿大黑雁鳥擊，導致兩個引擎同時熄火，飛機完全失去動力，駕駛艙機組人員在確認無法到達任何附近機場後，決定於哈德遜河河面進行迫降。該航班於升空 6 分鐘後緊急迫降於曼哈頓中城西側的哈德遜河河面，結果機上共 155 人全數生還，也稱為「哈德遜奇蹟」(Miracle on the Hudson)。NTSB 請了 4 名合格飛行員針對雙引擎失效進行模擬，負責人模擬的人特別提到，這次的模擬不是為了針對飛行組員的決定去進行批判及究責，只是為了評估各種操作對飛機性能的影響。除了上述的模擬外，空中巴士亦針對“著陸的時候最小垂直速度的操作可行性”進行第一級之評估模擬，為了防止飛機落水時機身破裂，航空器必須以小於 -0.5° 進行降落(班機 1549 降落時角度為 -3.4°)，但經過 12 次模擬僅有一次成功以小於 -0.5° 進行降落，但也僅有一次超過 -3.4° 。

另美國航空 587 號班機亦進行了第二級的模擬，該模擬使用飛機模型獨立計算機尾亂流與控制輸入的影響分析。單獨針對模擬的結果來看，機尾亂流的外部風和力矩

只會產生約 10° 的機身偏差，並只會在航向上產生一些偏移導致側滑角小於 2.5° 。

最後講到第三級的模擬，其效果非常強大，可以在最短的時間中針對較不了解的外部人士，也就是社會大眾，快速解釋事故發生的來龍去脈。但其實這基本上只是將預先存取的資料，進行數據視覺圖像化的播放而以，要記得動畫製作的資料來源可能經過修正調校，且是被經過理解後製作而成的，所以需要格外的注意。

講師自己提出了第四級的模擬，基本上可以是第二級與第三級的結合，針對數據模擬不同的結果，通過動畫呈現以進行不同的直觀呈現。這有時候是針對某一個電子設備進行模擬而不是整個飛行的過程。

3.6 結語

回頭看飛航資料處理的目的，主要是為了正確的下載解讀與分析，以提供安全調查人員進行調查使用，安全調查不以追究責任為目的，而是為了避免事故的再一次發生，所以飛航資料整個處理的流程需要注意的細節非常的多，講師非常有邏輯的提供給學員們完整的架構後，深入淺出地給予很多的經驗分享，此次受訓實受益良多。

本頁空白

四、受訓心得與建議

本次訓練之講師經驗豐富，上課內容充實且與學員互動良好，且針對各種課堂的主題，舉很多的例子讓大家更能清楚明白課程的內容，對於飛航資料處理人員，對資料的處理方式有更深更廣泛的了解。建議本會工程組剛開始需要進行紀錄器資料處理的同仁皆可參訓。

本頁空白

參加航太事故調查資料處理訓練課程出國報告

服務機關：國家運輸安全調查委員會

出國人職稱：助理研究員

姓名：鄒家平

出國地區：美國加州洛杉磯

出國期間：民國 112 年 11 月 05 日至 11 月 12 日

報告日期：民國 113 年 02 月 02 日

建議事項：

	建議項目	處理
1	建議未來經費允許之情況下可派員赴訓，以提升本會飛航資料處理人員，提升對於紀錄器資料處理流程之加深加廣訓練。	<input type="checkbox"/> 已採行 <input checked="" type="checkbox"/> 研議中 <input type="checkbox"/> 未採行

本頁空白