

出國報告（出國類別：開會）

參加材料分析調查員會議 AI-M meeting
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

派赴國家／地區：法國巴黎市

出國期間：民國 111 年 10 月 22 日至 10 月 29 日

報告日期：民國 112 年 1 月 18 日

公務出國報告提要 系統識別號*****

出國報告名稱：參加材料分析調查員會議 AI-M meeting 出國報告

頁數：19 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：莊禮彰

服務機關：國家運輸安全調查委員會

單位：運輸工程組

職稱：正研究員

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 111 年 10 月 22 日至 10 月 29 日

出國地區：法國巴黎市

報告日期：民國 112 年 1 月 18 日

分類號/目

關鍵詞：航空事故調查、材料分析、AI-M meeting

內容摘要：

自民國 102 年起，各國事故調查機關每年輪流舉辦材料分析調查員會議（**Accident Investigator Materials, AI-M meeting**），參與會議者多數來自歐美地區的資深材料分析調查員，彼此分享各國材料分析的調查實務經驗，並研討最新的材料分析調查技術。原訂 109 年由法國 BEA 舉辦，因疫情因素而延期迄今。111 年中疫情稍緩，法國 BEA 決定舉辦第八屆材料分析調查員會議，本會參與旨接會議，與各國調查員技術交流，以精進本會材料破壞分析調查能量，介紹本會工程技術能量規劃與發展，並發表兩篇技術報告，包括發動機破壞分析、南方澳大橋斷裂事故調查等。

目次

一、目的.....	1
二、過程.....	3
2.1 行程.....	3
2.2 參與人員.....	3
2.3 議程.....	4
三、會議重點摘要與心得.....	6
3.1 各國實驗室更新.....	6
3.2 法航 AF66 事故發動機證物搜尋.....	9
3.3 本會簡報內容.....	13
3.4 材料分析調查員之交流平台.....	16
四、建議.....	18

一、目的

西元 2013 年起，歐美地區的主要事故調查機關每年輪流舉辦材料分析調查員會議（Accident Investigator Materials meeting, 簡稱 AI-M），參與會議者多數來自歐美地區的資深材料分析調查員，彼此分享各國材料分析的調查實務經驗，並研討最新的材料分析調查技術。本會於 2016 年首度加入，且連續兩年均派員參加，按 2018 年由中國大陸舉辦而本會未參加，2019 年因故未參加，原訂 2020 年由法國航空事故調查局 BEA 舉辦，因疫情因素而延期迄今。

2022 年年中疫情稍緩，法國 BEA 決定舉辦第八屆材料分析調查員會議，會議日期為 10 月 25 日至 10 月 27 日，本會運輸工程組莊禮彰組長參與旨接會議，與各國調查員技術交流，以精進本會材料破壞分析調查能量，於會議中介紹本會工程技術能量規劃與發展，並發表兩篇技術報告，包括發動機破壞分析、南方澳大橋斷裂事故調查等。參加單位包括：美國國家運輸安全委員會 NTSB、法國航空事故調查局 BEA、英國航空事故調查局 AAIB、澳洲運輸安全局 ATSB、加拿大運輸安全委員會 TSB、荷蘭安全委員會 DSB、西班牙航空事故與事件調查委員會 CIAIAC、沙烏地阿拉伯航空調查局 SAAIB 以及主辦單位法國航空事故調查局 BEA，共 9 個單位，參與人員約二十多位。圖 1-1 為本屆材料分析調查員會議場地，圖 1-2 為參加會議所有人員合影。

法國 BEA 為國際材料調查員群組網站（International Material Investigator Group, IMIG）催生者，由本會負責建置與維護 IMIG 網站。本會於 110 年完成 IMIG 改版，提供全新介面與更友善的操作功能，協助世界各國政府運輸事故調查機關的材料調查員在平台進行技術交流與訊息分享，本會曾於國際材料調查員群組網站上分享南方澳事故調查影片。上次會議決議由法國 BEA 與本會擬於本屆會議召開前商討 IMIG 網站功能需求，本會於 10 月 24 日至法國 BEA 就 IMIG 網站改版與未來規劃。



圖 1-1 本屆材料分析調查員會議場地一隅



圖 1-2 參加會議人員於 BEA 新棚廠外合影

二、過程

2.1 行程

日期		起訖地點	詳細任務
月	日		
10	22	台北~巴黎	起程
10	23		
10	24	巴黎	會議
10	25	巴黎	會議
10	26	巴黎	會議
10	27	巴黎	會議
10	28	巴黎~台北	返程
10	29		

2.2 參與人員

本次會議共計二十多人參與，除台灣運安會 TTSB 參加外，包括美國國家運輸安全委員會（National Transportation Safety Board, NTSB）、英國航空事故調查局（Air Accidents Investigation Branch, AAIB）、加拿大運輸安全委員會（Transportation Safety Board, TSB）、澳洲運輸安全局（Australian Transportation Safety Bureau, ATSB）、荷蘭安全委員會（Dutch Safety Board, DSB）、西班牙民航事故與事件調查委員會（Civil Aviation Accident and Incident Investigation Commission, CIAIAC）、沙烏地阿拉伯航空調查局（Aviation Investigation Bureau of Kingdom of Saudi Arabia, SAAIB）以及主辦單位法國航空事故調查局（Bureau d'enquêtes et d'analyses, BEA），共 9 個單位。

2.3 議程

AIM Meeting Agenda	
Tuesday, 25th	Wednesday, 26th
<p>09:00 - 09:30 Welcome</p> <p>09:30 - 09:50 Opening speech</p> <p>Practical information</p> <p>09:50 - 12:25 Laboratories updates (30 min each)</p> <ul style="list-style-type: none"> - BEA - AAIB - ATSB - TSB-BST - DSB - TTSB - SA AIB <p>12:25 - 14:00 Lunch at Musée de l'Air</p> <p>14:00 - 15:30 Laboratories updates (20 min each)</p> <ul style="list-style-type: none"> - CIAIAC - NTSB (50th anniversary) - BEA facility visit (old & future lab, hangar) <p>15:45 - 16:45 Means and methods for failure analysis</p> <ul style="list-style-type: none"> - NTSB (30 min) Raytheon WX-7000 and 3D scanner - ATSB (30 min) Partnering with universities 	<p>09:00 - 12:00 Case studies</p> <ul style="list-style-type: none"> - TSB-BST (30 min) Composite structure failure analysis - Case studies from air occurrences - BEA (45 min) Rollon engine icing - Myth or reality? - TTBB (30 min) Engine failure investigation - AAIB (30 min) Engine failure of G-WVV & G-RMMF Hawker Sea Fury - DSB (30 min) Investigation of an undetected engine failure (GE CF6-80) at EHAM <p>12:00 - 13:30 Lunch at BEA</p> <p>13:30 - 16:45 Case studies</p> <ul style="list-style-type: none"> - NTSB (30 min) Aircraft turbine engine fan blade UAL Flight 328, Brookfield, Colorado - ATSB (30 min) PT6 engine failure involving repaired vane ring - DSB (30 min) Investigation of a GA aircraft fatal accident - TSB-BST (30 min) T-T 33rap retaining pin from a Bell 212 helicopter - NTSB (30 min) Collapse of a pedestrian bridge over a highway in Miami, Florida - TTBB (30 min) Bridge collapse investigation <p>19:00 Social event (River cruise and dinner on the banks of the Seine)</p>

AIM Meeting Agenda	BEA
<p>Thursday, 27th</p> <p>09:00 - 12:00 Into the future</p> <ul style="list-style-type: none"> - ONERA (60 min) Overview of hybridization for the different aircraft applications - ONERA (60 min) Selected safety topics - BEA (45 min) Failure analysis of an engine rotor part after 2 year-long searches in Greenland <p>12:00 - 13:00 Lunch at Musée de l'Air</p> <p>13:00 - 14:30 Musée de l'Air, guided tour</p> <p>14:30 - 15:00 Into the future</p> <ul style="list-style-type: none"> - AAIB/BGA (15 min) Wooden structural problems - BEA (15 min) Analysis of reparability forms & discussion <p>15:00 - 15:30 Closing remarks - Debriefing - Next AIM</p>	 <p>8th ACCIDENT INVESTIGATOR MATERIALS MEETING</p> <p>October 25-27, 2022</p>
<p>www.bea.aero</p>	<p>BEA - Aéroport du Bourget - 10 rue de Paris 93350 Le Bourget - France www.bea.aero - @bea_aero</p>

三天會議，除了各國更新實驗室最新狀況外，各國也針對這段時間的調查案及材料破壞分析做專題報告，另外亦安排參觀法國航空博物館（圖 2.3-1）。



圖 2.3-1 參觀法國航空博物館

三、會議重點摘要與心得

AIM 會議因疫情因素而延期兩年後再次舉辦，為運安會改制後第一次參加，在此謹將對本會具參考價值之主題與內容摘要如下：

3.1 各國實驗室更新

按往例，各國先介紹實驗室最新狀況以及未來規劃，這裡著重於介紹主辦國以及以往從未參加的國家，包含西班牙民航事故與事件調查委員會 CIAIAC 以及沙烏地阿拉伯航空調查局 SAAIB。

法國飛航事故調查局 BEA

法國 BEA 組織架構如圖 3.1-1 所示，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 92 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，如圖 3.1-2 所示。BEA 工程部門主管為 Christophe Menez（圖 3.1-3），BEA 工程部門又分為兩個分組：「結構與發動機」、「飛航紀錄器與航電系統」，此次會議由「結構與發動機」分組統籌。法國 BEA，於 2023 開始規劃興建新的材料分析實驗室，並汰換原有舊型 X 射線檢測設備，導入 EasyTom XL Ultra 新機台，解析度可達 300 nm，可承載重量 80 公斤重的試件。另蓋一個新的棚場，以置放重要殘骸及關鍵證物。

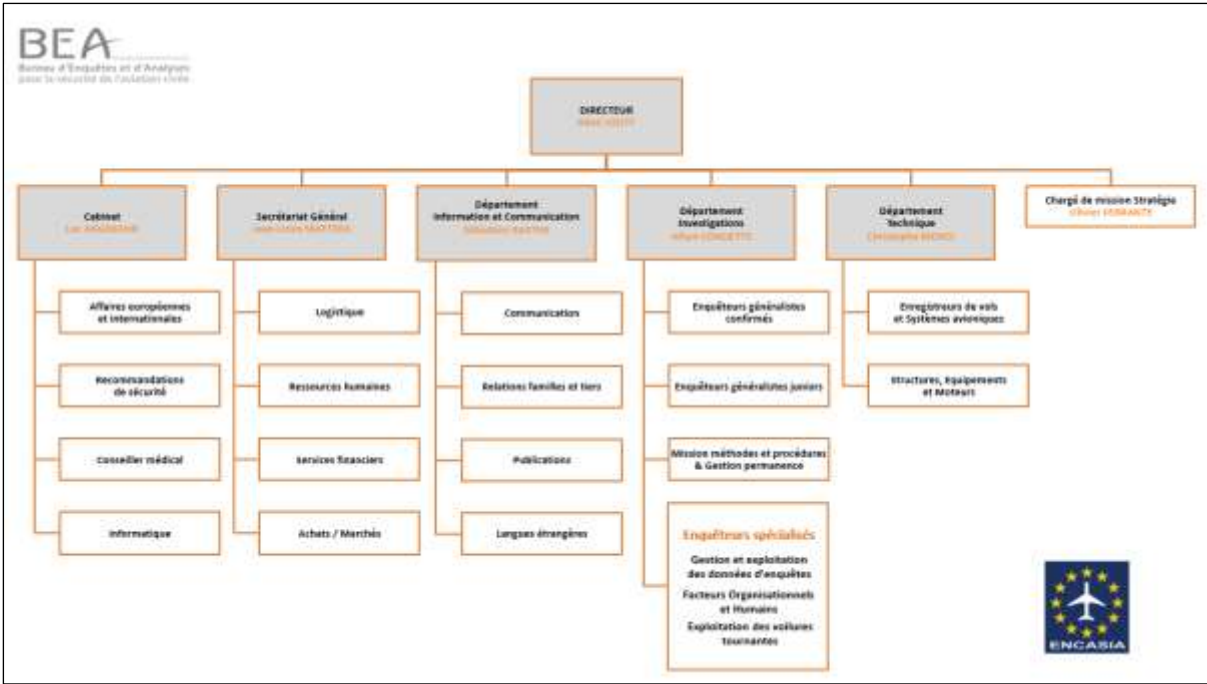


圖 3.1-1 法國 BEA 組織架構圖

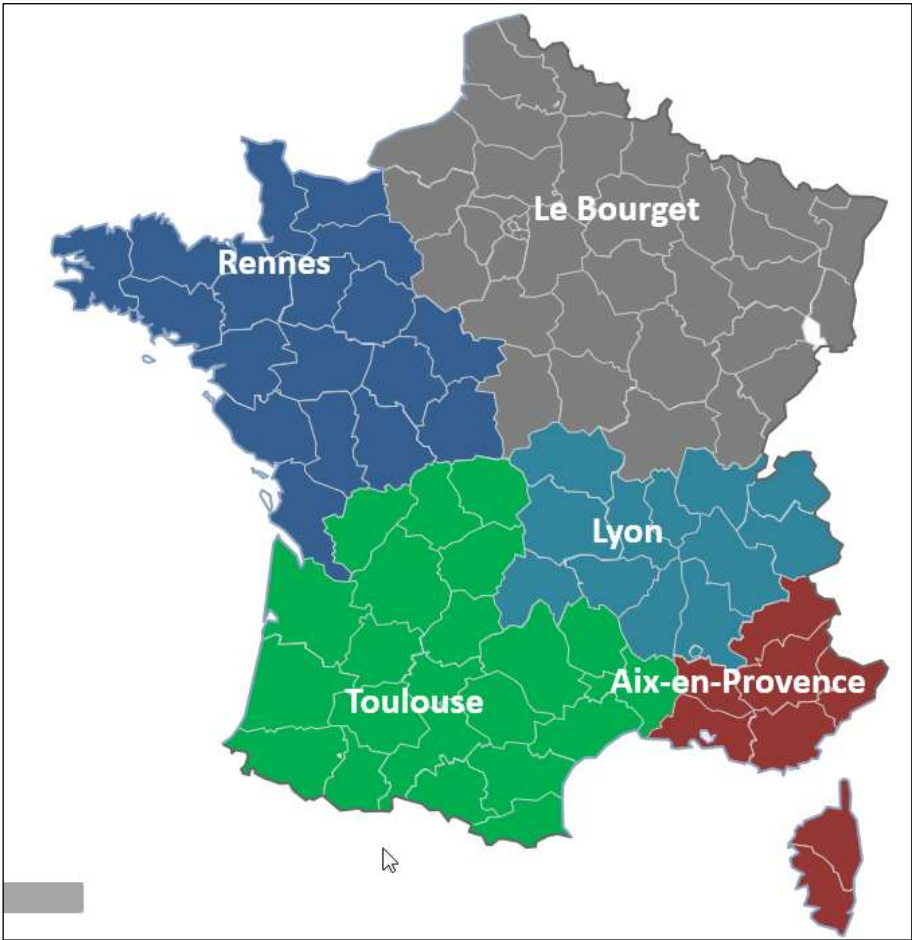


圖 3.1-2 法國 BEA 所屬 4 個地區辦公室



圖 3.1-3 BEA 工程部門主管致詞

西班牙民航事故與事件調查委員會 CIAIAC

本次係為西班牙 CIAIAC 第一次參加 AIM 會議，CIAIAC 成立於 1974 年，於 1998 改組成目前的組織架構，擁有一個可處理殘骸的棚廠（圖 3.1-4），每年調查大約十至二十件飛航事故，委員會有 7 名委員，調查組有 20 名調查員、預防組與研究組 8 名、實驗室 3 名，與一般調查單位一樣，可處理一般飛航紀錄器之下載與解讀，包含 9 種型號之飛航資料紀錄器 FDR、6 種型號之座艙語音紀錄器 CVR，亦使用 Insight/FAS 進行飛航資料處理分析與動畫製作。目前西班牙 CIAIAC 亦規劃改制為多模組事故調查單位，聽完台灣運安會改制介紹後，班牙 CIAIAC 也向本會詢問改制的經驗，希望本會提供相關訊息。



圖 3.1-4 西班牙 CIAIAC 處理殘骸的棚廠

沙烏地阿拉伯航空調查局 SA AIB

本次亦為沙烏地阿拉伯 SA AIB 第一次參加 AIM 會議，先前曾參加 AIR 會議（飛航事故調查員紀錄器會議）。SA AIB 成立於 2013 年。SA AIB 組織架構如圖 3.1-5 所示，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，目前正要建置材料破壞分析實驗室。

本會於 109 年 11 月首次舉辦東亞地區事故調查工程技術論壇，受疫情影響採視訊方式進行，在取得三國共識之情況下，研擬邀請其他適合之亞太地區國家參與，以深化技術交流，本次藉 AIM 會議之便，亦邀請 SA AIB 評估加入 112 年的東亞地區事故調查工程技術論壇的可能性。



圖 3.1-5 沙烏地阿拉伯 SA AIB 組織架構圖

3.2 法航 AF66 事故發動機證物搜尋

2017 年 9 月 30 日，一架法航 AF66 空中巴士 A380-800 型客機，由法國巴黎飛往美國洛杉磯，經過格陵蘭空層 FL370 時，飛機右側 4 號發動機突然爆裂，駕駛員緊急轉降至加拿大鵝灣（Goose Bay）空軍基地迫降，飛行軌跡如圖 3.2-1，機上共 497 名乘客和 24 組員。這是空中巴士 A380 型客機第二起非包容性發動機故障，法航 66 號

班機則採用發動機聯盟公司之 GP7270 引擎，發動機聯盟公司為通用電氣公司與 Pratt & Whitney 合資。發動機渦轉段部分零組件斷裂，並擊穿發動機外殼。這起事故牽扯到 4 個國家調查單位，法國 BEA（飛機製造商）、美國 NTSB（發動機製造商）、丹麥 AIBD（事故發生地）、加拿大 TSB（飛機轉降地）。

以往發生在海上之空難，在大海中找飛機殘骸就像在撈針一樣，僅能依靠水下麥克風去偵測紀錄器的水下發報器的訊號。這次事故班機 4 號發動機發生爆裂，當飛機落地後，檢視 4 號發動機，發現重達 253.6 公斤重的鈦合金零組件消失（圖 3.2-2），整流罩及扇葉等掉落於格陵蘭冰天雪地，調查單位首要之務是在茫茫雪堆裡找到關鍵證物，但是在雪地裡找發動機的鈦合金零組件，更是難上加難（圖 3.2-3）。2017 年 10 月丹麥事故調查單位 AIB-DK 將事故調查權移轉給法國 BEA，但也提供直昇機供 BEA 調查使用。

一開始法國 BEA 與美國 NTSB、空中巴士共同擬定搜尋區域，如圖 3.2-4 所示，首先使用衛星影像，但是衛星光學照片只看到白色雪地，衛星雷達影像又太粗糙，解析度高於 3 公尺；也試過電磁計，但是效果不佳；使用機載透地雷達 GPR，但是解析度大約 1 公尺，盲區約地表至 3-5 公尺深，可作業風速需小於時速 30 公里；其中透地雷達原理是發出高頻電磁波，穿透被測物體，在兩個不同介質的界面產生反射訊號，再由接收天線接收反射訊號而分析處理。後續亦採用多種方法後，經過 21 個月搜尋，終於找到關鍵鈦合金零組件，如圖 3.2-5 所示。



圖 3.2-1 法航 AF66 飛行軌跡

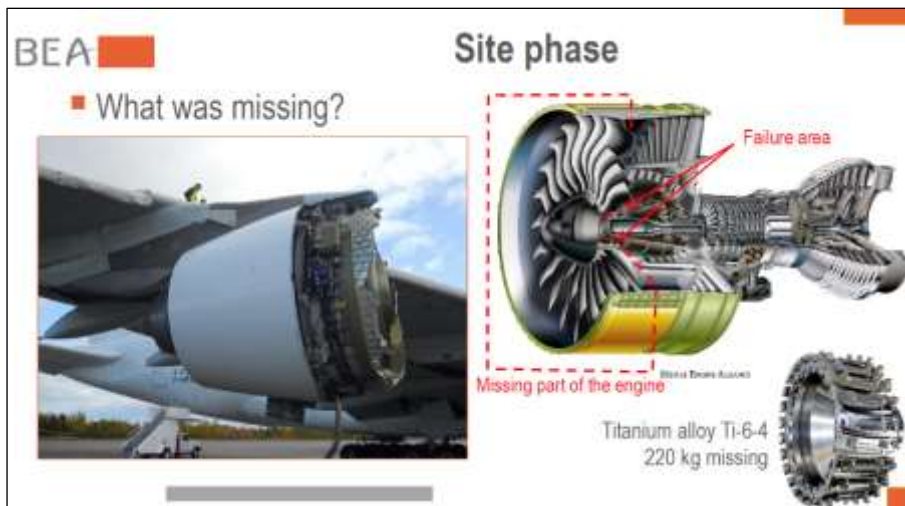


圖 3.2-2 掉落 220 公斤重的鈦合金零組件



圖 3.2-3 發動機關鍵證物可能掉落區域

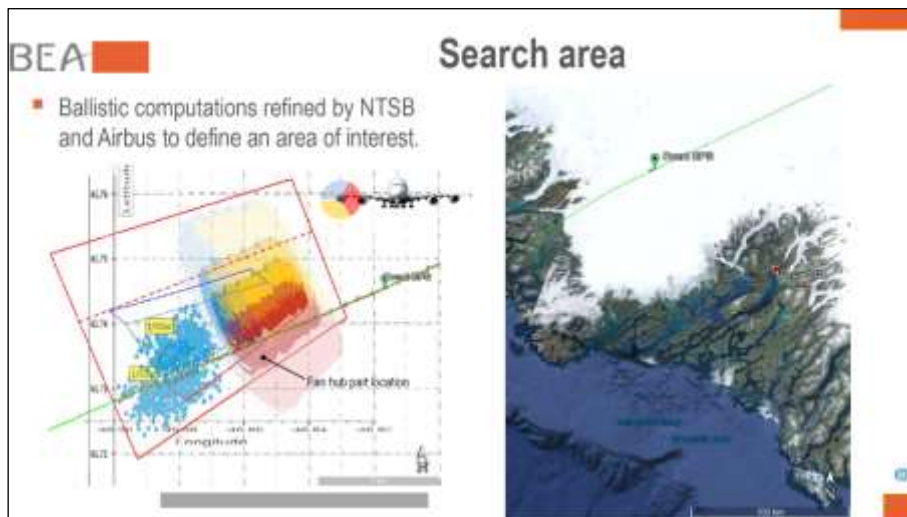


圖 3.2-4 擬定關鍵證物搜尋區域



圖 3.2-5 挖掘出發動機關鍵證物

3.3 本會簡報內容

以往出國參加調查技術論壇，受限於時間準備，通常會選擇簡報一個案例或是一個議題，但是因為這次是本會改制後第一次參加 AIM 會議，有必要讓大家更瞭解運安會的改變與本會工程技術能量，職特別要求簡報兩個重要案例，而這兩個案例實驗室均有製作說明影片，分別是發動機破壞分析、南方澳大橋斷裂事故調查。簡報兩個案例之後，各國調查員都表達欽佩之意，也希望本會提供影片電子檔供參考，私底下亦陸續向我詢問更多細節，希望與本會做更密切的合作。

南方澳大橋斷裂事故

運輸工程組參與南方澳大橋斷裂重大公路事故，除參加事故現場先遣任務外，後續亦執行事故現場無人機測繪、事故現場三維點雲處理、大橋斷裂影片動態影像分析、建立端錨系統實體模型，在事故現場執行瀝青混凝土鑽心取樣、鋼索套管勘查、拱架錨頭承壓板勘查，後續安排新製上端錨拉伸試驗、事故 10 號上端錨拉伸試驗、以及端錨系統之錨頭強度分析等。

此次簡報說明事故背景、橋梁損害勘查及破壞模式、主橋吊索系統失效分析、端錨防銹防水設計、最後推論出主橋失效順序。各國調查員對於本會改制初期，在人員尚未到位的情形下，在眾多斷裂橋樑殘骸中抽絲剝繭找出關鍵點，以及用各種實際測試以及軟體模擬，發現與驗證大橋斷裂原因，讚嘆不已。最後播出本會製作的大橋斷裂簡介影片（圖 3.3-1 及圖 3.3-2）

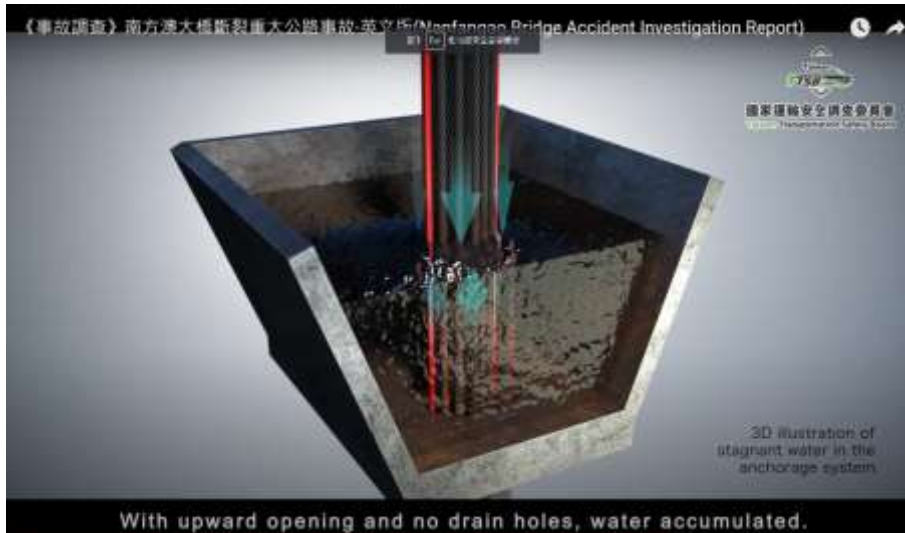


圖 3.3-1 南方澳大橋斷裂簡介影片之片段一

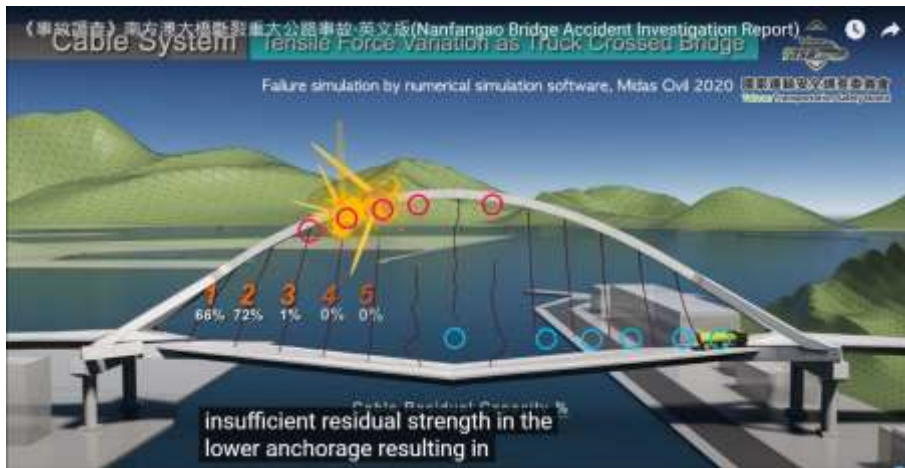


圖 3.3-2 南方澳大橋斷裂簡介影片之片段二

發動機破壞分析

民國 108 年某航空公司定期載客班機，機型空中巴士 A330-300，自香港赤鱗角國際機場起飛，飛往臺灣桃園國際機場，該機爬升過程中，1 號發動機發生火警，飛航組員依程序處置，向航管宣告緊急情況，並請求返回香港機場，最後安降道，人機均安。在這起事故調查，調查結論與可能肇因有關之調查發現共 2 項，分別是：

1. 事故機於爬升過程中 1 號發動機經歷高振動及火警，係因該發動機於前次進廠維修其 4R 定子氣/油封安裝失準，使定子氣/油封橢圓化變形，導致與 4R 轉子氣/油封之間隙過小；在操作過程中定子及轉子氣/油封發生深磨擦，並產

生高溫，溫度並超出設計承受範圍，4R 轉子氣/油封的材料強度受高溫而降低，且在高速旋轉之離心力作用下，4R 轉子的氣/油封齒條向外變形擴展，進一步增加轉子與定子的磨擦深度；嚴重磨擦及超溫導致的 4R 氣/油封轉子與定子嚴重受損，使滑油油室之密封失效。

2. 4R 定子及轉子氣/油封受損破裂碎片撞擊 4R 轉子排氣軸封，使排氣軸封嚴重受損，HPRC 的高溫/高壓氣體失去排氣軸封隔離後進入滑油室，造成滑油室失火燃燒，燃燒的高壓高溫油氣，進入並燒穿 LPRC 氣管及 B/C 油室管路，並從燒穿之破口處洩出造成發動機艙高溫及觸發火警。

因為發動機構型複雜，零組件多又雜，再加上專有名詞，若非專精於發動機領域，一般人很難理解發動機內部構造及運轉情形，甚至連哪些零組件轉動或是不動，都無法區分清楚。因此為有效說明發動機失效原因，以及讓大眾清楚發動機失效過程，本會製作 3D 動畫影片，清楚闡述失效過程，如圖 3.3-3 至圖 3.3-5。



圖 3.3-3 發動機定子及轉子氣/油封發生深磨擦



圖 3.3-4 4R 定子及轉子氣/油封受損破裂碎片撞擊 4R 轉子排氣軸封



圖 3.3-5 發動機發生失火燃燒

3.4 材料分析調查員之交流平台

美國 NTSB、法國 BEA、加拿大 TSB、澳洲 ATSB 及本會於西元 2004 年創立 AIR 會議（飛航事故調查員紀錄器會議），提供全球的紀錄器專家研討相關議題及解決方案。2005 年，本會因應初始會員請求，設立飛航事故調查員的紀錄器技術論壇網站（International Recorder Information Group, IRIG）。2016 年第四屆 AIM 會議召開時，法國 BEA 希望本會依照 IRIG 的模式，建構材料分析調查員專屬的技術論壇網站（International Material Information Group, IMIG），因此由本會建置與維護 IMIG 網

站，具備照片上傳模組、討論模組、新聞通知模組、會員管理模組等功能，在前幾屆 AIM 會議中，各國材料分析調查員討論 IMIG 網站的運作方式，期許網站扮演更吃重的角色。

本會於 110 年完成 IMIG 改版，提供全新介面與更友善的操作功能，協助世界各國政府運輸事故調查機關的材料調查員在平台進行技術交流與訊息分享。上次會議結束後，法國 BEA 與本會擬於下一屆會議召開前商討 IMIG 網站功能需求，因此本會於 10 月 24 日至法國 BEA 就 IMIG 網站改版與未來規劃。於 10 月 24 日會議中，法國 BEA 與本會決定在本次 AIM 會議確認網站會員，刪除退休或離職的會員，並將這幾年的會議資料及照片全數上傳，供各國材料分析調查員下載。目前 IMIG 網站已由三十多名各國材料分析調查員增加至四十多名，可促進各調查機構間之交流與合作。

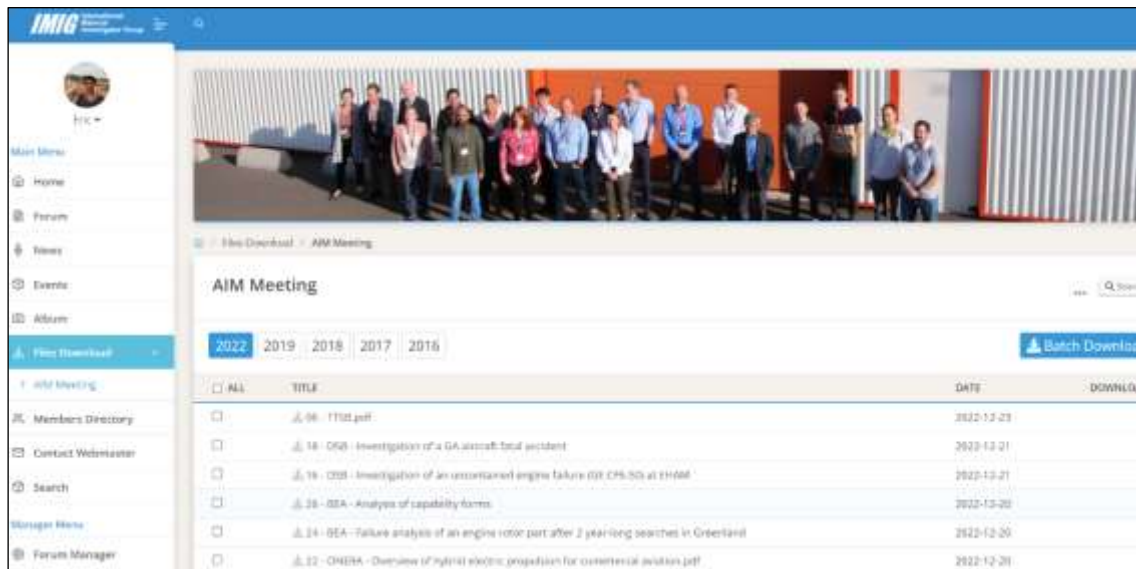


圖 3.4-1 材料分析的技術論壇網站

四、建議

1. 本會應積極參與國際事故調查技術交流，於調查技術論壇中分享本會事故調查案例以及工程技術能量，讓其他國家調查員看到台灣的能力，也促使其他國家調查員願意與我們分享他們的技術能量。
2. 目前各國派兩位以上參加調查技術論壇，然本會受限於經費，僅派一位調查員參加，既要簡報還要與其他國家調查員交流，相當辛苦，建議在經費許可下，多派員參加此類調查技術論壇，吸取經驗並與國際調查員技術交流。

參加材料分析調查員會議 AI-M meeting 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

出國地區：法國巴黎市

出國期間：民國 111 年 10 月 22 日至 10 月 29 日

報告日期：民國 112 年 1 月 18 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，於調查技術論壇中分享本會事故調查案例以及工程技術能量，讓其他國家調查員看到台灣的能力，也促使其他國家調查員願意與我們分享他們的技術能量。	<input checked="" type="checkbox"/> 已採行 <input type="checkbox"/> 研議中 <input type="checkbox"/> 未採行
2	目前各國派兩位以上參加調查技術論壇，然本會受限於經費，僅派一位調查員參加，既要簡報還要與其他國家調查員交流，相當辛苦，建議在經費許可下，多派員參加此類調查技術論壇，吸取經驗並與國際調查員技術交流。	<input type="checkbox"/> 已採行 <input checked="" type="checkbox"/> 研議中 <input type="checkbox"/> 未採行