

出國報告（出國類別：開會）

參加事故調查員材料會議 AIM 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

副研究員／林意程

派赴國家／地區：美國／華盛頓特區

出國期間：民國 113 年 5 月 4 日至 5 月 12 日

報告日期：民國 113 年 8 月 2 日

目次

一、目的.....	1
二、過程.....	3
2.1 行程.....	3
2.2 議程.....	4
三、會議重點摘要與心得.....	8
3.1 各國實驗室更新.....	8
3.2 法國分享調查案例- A350 雷達罩故障	10
3.3 法國分享調查案例-水上飛機金屬疲勞.....	12
3.4 德國分享調查案例-DHL 貨機艙門開啟.....	15
3.5 本會簡報內容.....	17
四、建議.....	23

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事故調查員材料會議（Accident Investigator Materials meeting, 簡稱 AIM），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，第八屆材料分析調查員會議由法國航空事故調查局 BEA 舉辦，因疫情因素而延期迄 2022 年。2024 年由美國國家運輸安全委員會 NTSB 舉辦第九屆材料分析調查員會議。

本次會議除臺灣運安會 TTSB 參加外，包括主辦單位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）、澳洲運輸安全局（Australian Transportation Safety Bureau, ATSB）、法國航空事故調查局（Bureau d'enquêtes et d'analyses, BEA）、德國聯邦航空失事調查局（Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung, BFU）、荷蘭安全委員會（Dutch Safety Board, DSB）、日本運輸安全委員會（Japan Transportation Safety Board, JTSB）、加拿大運輸安全委員會（Transportation Safety Board, TSB），共 8 個單位，共計二十多人參與。

上屆會議後曾建議，派兩員以上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。本次本會由運輸工程組莊禮彰組長及林意程副研究員參與會議，發表三篇技術報告，包括本會工程技術能量現況、台鐵隆田案金屬疲勞破壞分析、台中捷運案桁架破壞分析等，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。圖 1-1 為本屆會議場地，圖 1-2 為參加會議所有人員合影。



圖 1-1 本屆會議場地一隅



圖 1-2 參加會議人員于美國 NTSB 辦公室合影

二、過程

2.1 行程

日期		起訖地點	詳細任務
月	日		
5	4	臺北~紐約	起程
5	5	紐約~華盛頓特區	交通
5	6	華盛頓特區	會議
5	7	華盛頓特區	會議
5	8	華盛頓特區	會議
5	9	華盛頓特區	會議
5	10	華盛頓特區~臺北	返程
5	11		
5	12		

2.2 議程

DRAFT Program—AIM 2024 at NTSB

May 6 evening: Optional social hour at a place on the DC Wharf

Day 1—May 7	6th floor conference room
8:30 a.m.-9:00 a.m.	Meet and greet with coffee
9:00 a.m.-10:00 a.m.	Introduction and housekeeping (safety) <ul style="list-style-type: none"> • Barbara Czech, Research Director • Tim LeBaron, Director Aviation Safety • Around the room introductions
10:00 a.m.-11:00 a.m.	Materials Laboratory tour (w/ basement)
11:00 a.m.-Noon	Recorders Laboratory tour
Noon-1:00 p.m.	Lunch (on own, food court, meet in Club Room)
1:00 p.m.-3:00 p.m.	Updates from each agency Agency update—BEA: Frédéric Hervelin and Stéphane Otin Agency update—ATSB: Simon Grummett Agency update—BFU: Dietmar Nehmsch, Agency Update—AAIB: Mark Elis, Introduction of the JTSB: Yasuyuki Hisada Agency Update—TTSB: Eric, Li-Chang Chuang Agency Update—TSB Canada: TBD Material Lab Establishment: Milestone Achievements (NTSC) of Saudi Arabia Agency update—NTSB: Mike Budinski
3:00 p.m.-3:30 p.m.	Break
3:30 p.m.-4:00 p.m.	Case study: Cessna210 in-flight break-up and impact with terrain <ul style="list-style-type: none"> • Seb Davey, Simon Grummett, ATSB
4:00 p.m.-4:30 p.m.	A350 radome collapse <ul style="list-style-type: none"> • Stéphane Otin, BEA
4:30 p.m.-5:00 p.m.	Drone or Bird: A review of recent NTSB investigations of mid-air collisions between aircraft and smaller objects <ul style="list-style-type: none"> • Erik Mueller, NTSB
6:00 p.m.	Optional group activity TBD

Day 2—May 8	6th floor conference room
8:30 a.m.-9:00 a.m.	Meet and greet with coffee
9:00 a.m.-9:30 a.m.	Procedures for neutralizing pressurized cylinders on an accident site <ul style="list-style-type: none"> • Frédéric Hervelin, BEA
9:30 a.m.-10:00 a.m.	Walk to Smithsonian Museum of Natural History
10:00 a.m.-noon	Smithsonian Feather Identification Lab <ul style="list-style-type: none"> • Carla Dove, Smithsonian Institution
Noon-1:00 p.m.	Lunch (on own, food court, meet in Club Room)
1:00 p.m.-2:00 p.m.	Additive Manufacturing in Aviation <ul style="list-style-type: none"> • Mike Gorelick, Federal Aviation Administration
2:00 p.m.-2:30 p.m.	Case study: UH1 engine failure and forced landing <ul style="list-style-type: none"> • Seb Davey, Simon Grummett, ATSB
2:30 p.m.-3:00 p.m.	SAFTI—Enterprise Data Management Software (work tracking) <ul style="list-style-type: none"> • Matt Fox
3:00 p.m.-3:30 p.m.	Break
3:30 p.m.-4:00 p.m.	General aviation investigations at NTSB—Aviation Report Timeliness Project <ul style="list-style-type: none"> • Kristi Dunks, Aviation Safety
4:00 p.m.-4:30 p.m.	Engine failure and fuel leak on B767 <ul style="list-style-type: none"> • Mark Ellis, AAIB
4:30 p.m.-5:00 p.m.	Crane truss failure analysis <ul style="list-style-type: none"> • Eric, Li-Chang Chuang, TTSB
5:00 p.m.-5:30 p.m.	Icing in a system <ul style="list-style-type: none"> • Dietmar Nehmsch, BFU
6:00 p.m.	Optional social hour—Penn Quarter

Day 3—May 9	6th floor conference room
8:30 a.m.-9:00 a.m.	Meet and greet with coffee
9:00 a.m.-10:00 a.m.	Round Table: agency approaches to emerging transportation technology— training and experience building: —NTSB Approach to Emerging Transportation Technology <ul style="list-style-type: none"> • Mike Budinski, NTSB —Developing a network of experts and in-house skills in new propulsion technologies (electric power, hybridisation) <ul style="list-style-type: none"> • Frédéric Hervelin, BEA
10:00-11:00 a.m.	NTSB Commercial Space Program <ul style="list-style-type: none"> • Dr. Dan Bower
11:00-11:30	Balloon failure <ul style="list-style-type: none"> • Dietmar Nehmsch, BFU
11:30 a.m.-Noon	Next meeting planning/closeout discussion
Noon-1:00 p.m.	Lunch (on own, food court, meet in Club Room)
1:00 p.m.-1:30 p.m.	Fracture surface interpretation in A356 casting alloy <ul style="list-style-type: none"> • Simon Grummett, ATSB
1:30 p.m.-2:00 p.m.	Failure analysis of servo flaps from a Kaman K-1200 <ul style="list-style-type: none"> • Don Kramer, NTSB
2:00 p.m.-2:30 p.m.	Failure analysis of servo flaps from a Kaman K-1200 <ul style="list-style-type: none"> • Xin-Xiang Jiang, TSB Canada
2:30 p.m.-3:00 p.m.	Break
3:00 p.m.-3:30 p.m.	Fatigue failure of the train bogie and sharing insights from the International Fatigue Conference in Japan <ul style="list-style-type: none"> • Eric, Li-Chang Chuang, TTSB
3:30 p.m.-4:00 p.m.	Fatigue failure of a PIPER-PA18-150 seaplane float <ul style="list-style-type: none"> • Julien Boulicault, BEA
4:00 p.m.- 4:30 p.m.	Stress corrosion cracking of Cessna 175 flight control cables <ul style="list-style-type: none"> • Stéphane Otin, BEA
6:00 p.m.	Optional social hour at the US Library of Congress

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 Birdstrike 博物館（圖 2.3-1）。



圖 2.2 參觀 Birdstrike 博物館

三、會議重點摘要與心得

本次 AIM 會議間隔兩年後再次舉辦，以下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，這裡著重于介紹主辦國 NTSB 及法國飛航事故調查局 BEA。

美國國家運輸安全委員會 NTSB

美國 NTSB 組織架構如圖 3.1-1 所示，「Office of Research and Engineering」(本會運輸工程組英文名稱亦是參照美國)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。

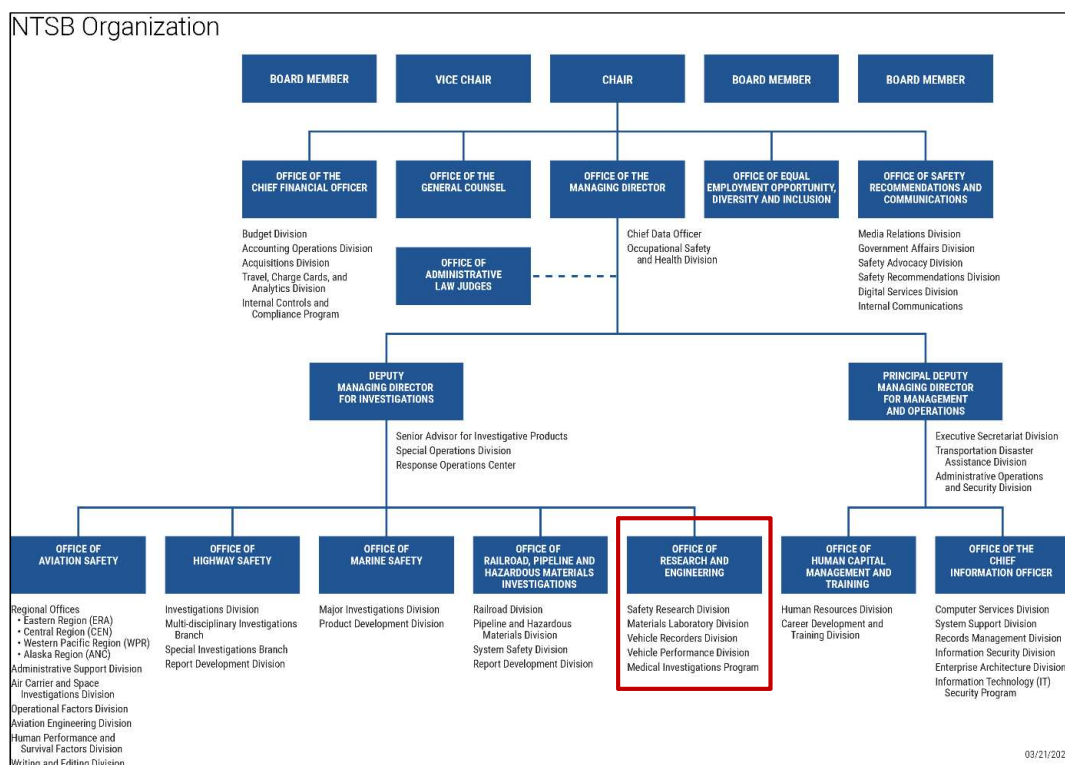


圖 3.1-1 美國 NTSB 組織架構

法國飛航事故調查局 BEA

法國 BEA 組織架構如圖 3.1-2 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 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「結構與發動機」分組。法國 BEA 於 2023 興建新的材料分析實驗室，圖 3.1-3 為新啟用的材料分析實驗室；導入 EasyTom XL Ultra 新型 X 射線檢測設備，解析度可達 350 奈米，試件大小可達直徑 320 公釐、高度 600 公釐，承載重量為 80 公斤重，法國 BEA 以紀錄器水下定位發報器作為檢測案例，在 X 射線掃描下，可快速取得水下定位發報器內部的 3D 模型，如圖 3.1-4 所示。法國 BEA 另蓋一個新的棚場，以置放重要殘骸及關鍵證物。

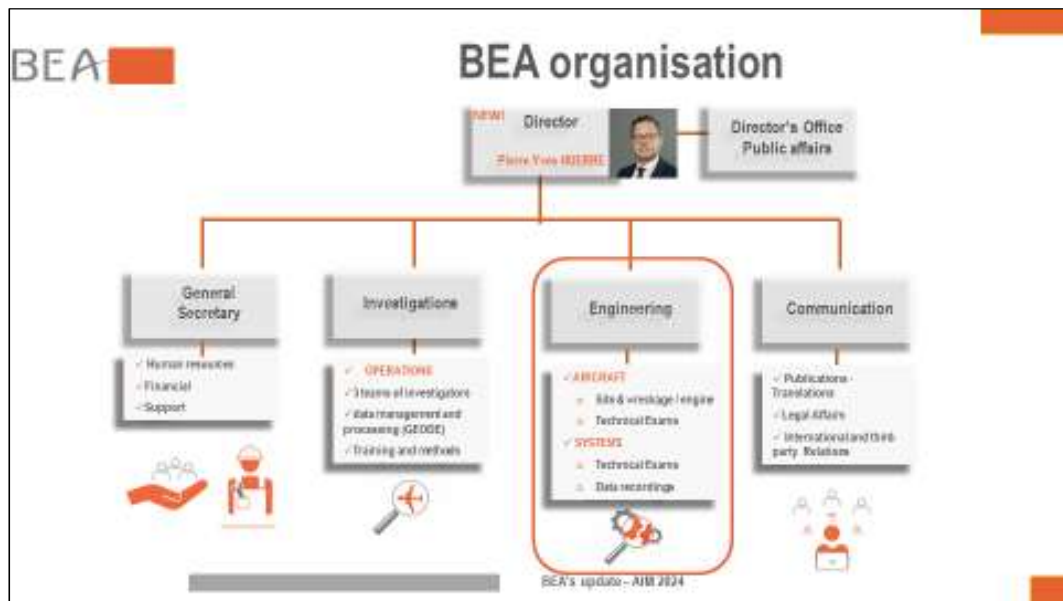


圖 3.1-2 法國 BEA 組織架構圖



圖 3.1-3 BEA 新完工材料分析實驗室

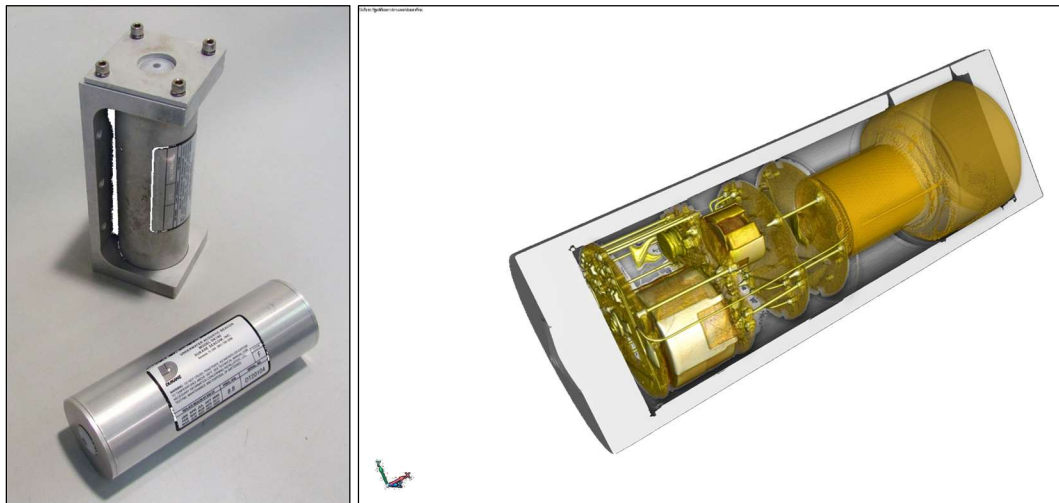


圖 3.1-4 水下定位發報器內部的 3D 模型

3.2 法國分享調查案例- A350 雷達罩故障

2023 年 5 月 28 日，法國航空 AF291 班機，機型為空中巴士 A350，由大阪關西機場飛往巴黎，在起飛過程中遭遇鳥擊如圖 3.2-1 所示，飛機繼續爬升到 35,000 英尺，持續飛行 30 分鐘後，因為雷達罩損壞而導致電子中央監控系統 ECAM 顯示故障訊息，因此機組人員宣告緊急情況，最後飛機安全返航大阪關西機場。雷達罩位於飛機前端，可抵擋鳥擊、大雨、冰雹等衝擊，保護雷達罩內雷達天線；雷達罩表面光滑，材質結構堅固，但要避免影響雷達波發射與接收。

由雷達罩外部損壞來分析：最近幾天內並沒有任何鳥擊報告；在雷達罩機鼻的左

上側觀察到污漬，經紫外黑光檢查後顯示其為生物來源，再經由 DNA 分析比對，確認為受到鳥擊，且為隼屬鳥類；另使用藍色追蹤粉末，裂紋內的粉末呈現圓形狀裂痕，且裂紋連續，即使在相鄰的裂縫處也是連續，表示這些鳥擊裂紋存在於雷達罩損壞之前。

由雷達罩外部損壞來分析：雷達罩內側蜂窩結構已裂（細胞脫層、重疊、屈曲、填角處開裂），屬於高能量撞擊損傷；觀察到黑色沉積物，EDX 分析後顯示為鋁，恰與天線材料一樣，可推論雷達罩損壞之前或期間，內側已接觸到天線。

雷達罩外殼剝離破壞分析：識別不同方向外殼剝離的斷裂特徵，以判定雷達罩外殼脫層的傳播方向，經研判外殼剝離方向從中心區域向雷達罩邊緣進行。此外，法國 BEA 也蒐集該飛機受鳥擊歷史以及檢測紀錄。

曾有類似案例，一架中國東方航空空中巴士 A350，由上海飛往馬德里，在落地階段發生鳥擊事件，落地後維修人員檢查了雷達罩，發現受鳥擊痕跡，但目視檢查雷達罩，卻未發現任何損壞或變形，一切正常。當該機由馬德里飛往上海，飛機爬升到 FL240 空層時，ECAM 出現「WXR1+2 FAULT」（氣象雷達系統 Weather Radar System）警告訊息。在此航段中雷達罩並沒有受到外來物（如鳥擊或冰雹）撞擊受損的證據，且雷達罩損壞區域與上一航班鳥擊點明顯不同。

法國 BEA 報告認為該機雷達罩損壞導致多個飛行系統故障，促使機組宣告緊急情況。雷達罩內包含了氣象雷達等關鍵部件，受損嚴重。雷達罩損壞可能是由於鳥擊造成的；WXR 故障在事件航班前三個航班開始出現，若在地面出現 WXR 故障訊息，則需要檢查雷達罩；即使無法確認故障訊息，出現三次故障也需要檢查雷達罩。按照 A350 線上維護程序，在鳥擊後必須打開雷達罩檢查，但實際上並未這樣執行，因此建議需要提高維修人員對雷達罩檢查及其執行方法的意識。



圖 3.2-1 法國 BEA 分享 A350 雷達罩損壞分析案例

3.3 法國分享調查案例-水上飛機金屬疲勞

2023 年 3 月 3 日下午 3 點左右，一名受訓飛行員為取得海上飛機駕駛資格，在教練陪同下，駕駛 PIPER-PA18-150 水上飛機，由法國 Biscarrosse-Parentis 小型飛機場起飛。受訓飛行員對 Biscarrosse-Parentis 湖上、下游進行勘察後，評估當時風向是西北風，選擇與湖北岸平行的區域作為降落區域。該機進場的垂直下降率約為 300 英尺/分鐘，空速為 60 英里/小時。飛機降落接觸水面時，教練感覺到飛機向左移動，他將這個偏差歸因於受訓飛行員尚未熟練軌跡控制所致。

水上飛機降落水面後，受訓飛行員於進行第二次起飛練習時，注意到輕微的振動，不過仍依前一次相同的軌跡進行第二次降落。當飛機浮筒與水面接觸時，飛機猛烈向左轉向，於右翼接觸水面後，飛機向右旋轉，機頭朝下，浮筒和護罩均破裂。受訓飛行員與教練撤離駕駛艙，充氣救生衣並站在浮筒上如圖 3.3-1 所示。Aquitaine Hydravions 俱樂部派出一架四人座水上飛機前來救援。

調查人員至事故現場檢視殘骸，發現左右座艙蓋損壞、護罩變形破損、連接左右浮筒與水平杆件的四個支架均已斷裂。右側浮筒的前部支架在距離浮筒約 5 公分處折斷，而其他三個支架的折斷斷面皆位於浮筒表面上。支架上破損鎖孔的螺絲和螺帽已

脫落，但並未尋獲。

根據飛行俱樂部的文件，這兩個浮筒由方形鋁合金支架，以螺絲和螺母與杆件及浮筒連接，製造於 2000 年 11 月，已使用了 3600 小時。於 2022 年 4 月安裝於事故水上飛機，浮筒沒有壽命限制。

經光學顯微鏡檢視：發現左浮筒前支架的一個螺孔失效，該支架前部到後部發生變形。斷口呈現暗淡、顆粒狀、輕微氧化的表面，具有剪切唇，屬於延性斷裂。該螺孔存在封閉的 7 毫米裂縫，無分支的輪廓，並沿著孔徑方向擴展。此外，右浮筒前支架在其連接到杆件上一個螺孔斷裂。斷裂發生時管材外觀沒有任何明顯變形，屬於脆性斷裂。破裂的孔變形成橢圓形，並且在其與固定螺絲、螺母的支撐表面上也顯示出異常磨損的跡象。斷口顯示出三個氧化區域，呈月牙形。浮筒右後及左後支架的鎖孔則無裂縫痕跡。

經掃描式電子顯微鏡（SEM）檢視：左浮筒前支架一個螺孔的裂紋前緣已擴展至約 3 毫米的深度。裂紋外無消光，氧化少，斷口呈延性及過載斷裂特徵，具酒窩型（Dimples）的延性破斷情況及疲勞條紋（Fatiguestriations），如圖 3.3-2 所示。右浮筒前支架的一個螺孔裂紋前緣已擴展至約 7 毫米的深度。裂縫前緣無光澤且氧化，並且在整個擴展區域都可以看到疲勞微紋，斷口呈延性及過載斷口特徵。附近的區域均顯示裂紋前沿，其深度分別已擴展至約 1 毫米和 0.6 毫米。斷裂相呈現延性和超載斷裂的延性特徵，如圖 3.3-3 所示。

BEA 調查本次事故系因支架螺孔疲勞裂紋導致，其肇因可能系用於訓練目的的水上飛機水上著陸頻率過高，或支架之螺栓鎖固力量不足導致。BEA 建議提高水上飛機浮桶上支架的檢查頻率，惟該檢查需要大量拆卸工作，且根據不一定能找到缺陷；另應檢查支架上螺絲和螺母的鎖固扭矩；若同類事故數量增加，考慮檢驗鋁合金支架的設計與疲勞強度是否足夠。



圖 3.3-1 事故水上飛機

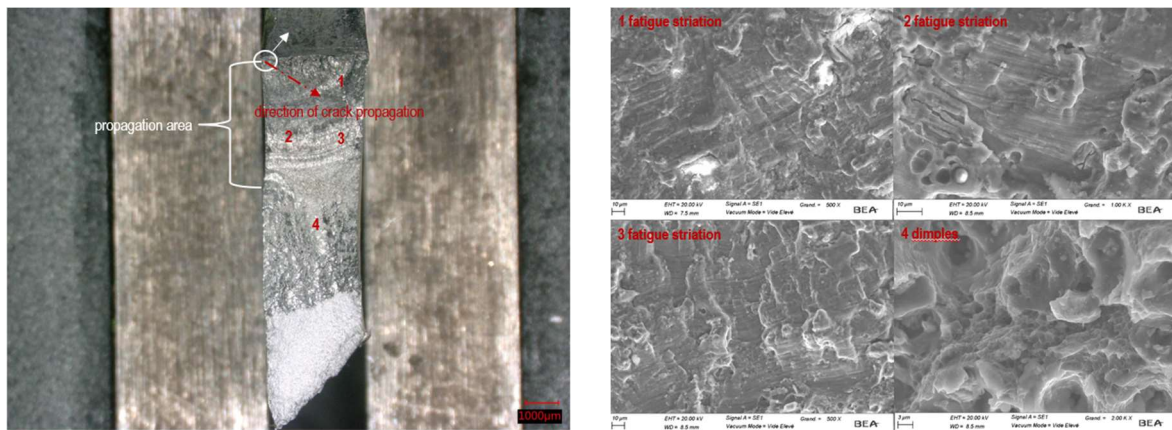


圖 3.3-2 左前掃描式電子顯微鏡檢測結果

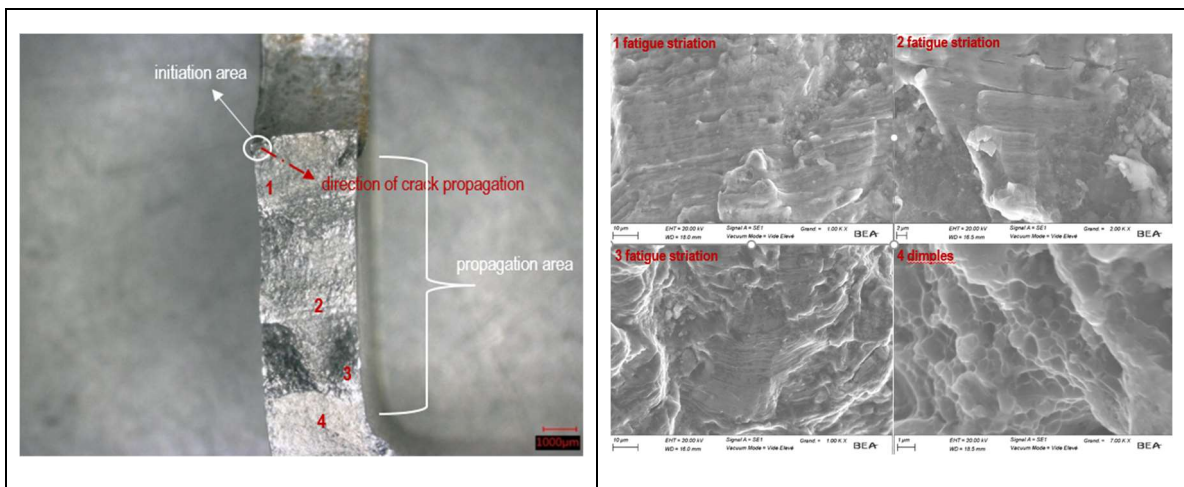


圖 3.3-3 右前掃描式電子顯微鏡檢測結果

3.4 德國分享調查案例-DHL 貨機艙門開啟

2021 年 2 月 11 日，一架由 Leipzig 飛往 Frankfurt 的 DHL 波音 757 貨機，貨物裝載後，機組人員于 03:43 關閉主貨艙門，整架飛機除冰之後，於 04:30 起飛。爬升至 5100 英尺時，機組人員注意到主貨艙門有巨大的噪音，且駕駛艙警告燈亮起。飛航資料紀錄器顯示橫向加速度和副翼活動突然增加，以抵消航向的變化，機組人員宣告緊急情況並決定返回萊比錫機場。降落後發現主貨艙門是打開的狀態，且艙門控制台上所有的燈號皆為亮起的狀態，如圖 3.4-1 所示。

經檢視飛機損壞狀況，貨艙門上的升降執行器損壞、內門襯裡消失、MCD (Magnetic chip detectors) 磁力晶片偵測器的後線束已斷掉、門鎖的螺絲頭和門鎖本身有損壞、通風門聯鎖杆下端部分損壞，機身和尾部則沒有損壞。貨艙門系獨立液壓系統，使用 115V 電壓，飛航資料紀錄器內無紀錄相關感測器系統資料。

調查小組於 2021 年 2 月 20 日於 Leipzig 展開調查，發現液壓系統在其作動順序中顯示錯誤情況，鎖銷堵塞了門鎖；沒有鎖銷堵塞的情況下，磁力晶片偵測器 (MCD) 在門鎖位置是在可以打開的位置。此外，還有一個鎖銷開關故障。調查小組另針對關主貨艙門打開所需的壓力機制與相關數值所提供之資料，如圖 3.4-2 所示。

事故當時溫度為 -17°C ，而且有凍霧，溫度極低且濕度高。同型貨機於 2014 年 12 月曾在西伯利亞 Yakutia 發生類似的事。故調查小組擬于低溫高濕度情況下，針對艙門之相關零件、開關、液壓閥門等進行功能測試。經與 IABG(德國航空等工業和國分析和測試機構，擁有分析、模擬和測試核心能力)討論後，決定於該中心氣候室 (Climatic Chamber) 模擬事故當時之溫度與濕度，針對主或艙門及其元件進行功能測試，測試設備如圖 3.4-3 所示。

測試結果顯示微動開關的及繼電器皆正常運作、液壓閥門功能正常、開關在給定的開關壓力下亦正常運作。艙門測試的部分發現鉤形開關正常運作，但鎖銷開關在冰層厚度 0.8 公分時未到達初始位置，呈現開啟狀態。

調查小組在 IABG 測試機構進行的結冰測試，證實低溫高濕的環境和與開關零件失

效是有相關性。同時，在極低溫的氣候室中，0°C 的冷水產生氣霧效果，且有些量測點為較難進入，加上室內量測工作時間有限，要模擬事故當時的氣候環境並進行精準的量測是非常大的挑戰。



圖 3.4-1 降落後發現主貨艙門是開啟狀態

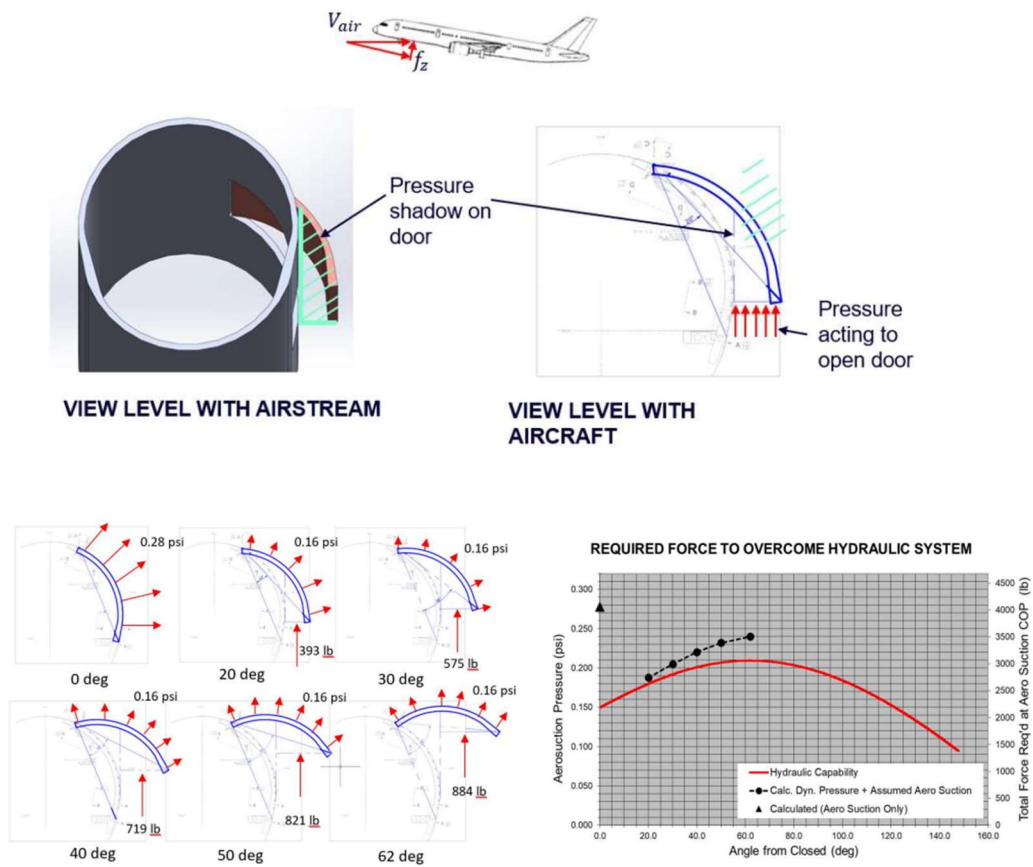


圖 3.4-2 主貨艙門打開所需的壓力的機制與數值



圖 3.4-3 艙門於氣候室進行結冰測試

3.5 本會簡報內容

本次本會共分享三篇技術報告，包括本會工程技術能量現況、臺鐵隆田案金屬疲勞破壞分析、台中捷運案桁架破壞分析等，並在會場播放桁架失效模擬動畫，藉此機會與各國調查員技術交流，而各國調查員亦參與討論，對於本會失效分析能力表達認同之意。

桁架破壞分析

運輸工程組參與本會主導之台中捷運事故調查，除參加事故現場先遣任務外，後續亦處理鐵道列車紀錄裝置資料。後續針對桁架破壞作步檢測分析，以分析桁架失效

原因。工程失效分析流程如下，包含殘骸巨觀檢視及精密量測、吊臂材料分析、吊臂結構應力分析、工程失效分析等，執行項目如下：

- (一) 檢視拆除機殘骸，之後依序還原拆除機桁架原始排列位置，再以 Zeiss T-scan 手持式雷射掃描儀量測拆除機桁架與塔吊機根部殘骸，取得 3D 高精度數位資料，並將正常桁架與失效桁架疊合比對，以確認拆除機桁架變形狀況；
- (二) 經取樣後送至財團法人金屬工業研究發展中心進行材料試驗，以釐清拆除機桁架破壞模式以及確認其材料成分；
- (三) 另委請國立臺灣大學土木工程學系歐昱辰教授執行拆除機桁架結構應力分析，模擬不同操作情境之桁架結構應力，以及桁架結構可能發生破壞位置；
- (四) 依據上述資料進行工程失效分析，研判拆除機失效因素。

職於會議中分享桁架破壞分析，如圖 3.5-1，以及播出本會製作的桁架失效模擬動畫，如圖 3.5-2，獲得各國調查員的肯定。



圖 3.5-1 於會議中分享桁架破壞分析



圖 3.5-2 桁架失效模擬動畫之片段

金屬疲勞破壞分析

運輸工程組參與臺鐵隆田案調查，除參加事故現場先遣任務外，後續針對轉向架上之馬達鞍座金屬疲勞破壞進行分析，以分析失效原因。工程失效分析流程如下，包含轉向架巨觀檢視及精密量測、馬達鞍座材料分析、馬達鞍座應力模擬分析、工程失效分析等，執行項目如下：

- (一) 檢視轉向架殘骸，再以 ATOS Compact Scan 雷射掃描儀量測轉向架殘骸，取得 3D 高精度數位資料；
- (二) 經取樣送至中山科學院進行材料試驗，除了化學成分與硬度測試，尚包括電腦斷層及金像組織檢測。確認其材料成分並釐清馬達鞍座破壞模式；
- (三) 採用有限元素分析（FEA）軟體模擬應力分佈狀況，找出應力集中的區域。設定邊界條件模擬馬達鞍座螺栓是否鎖固之不同情境，將模擬結果與材料試驗所發現之疲勞裂紋區域進行比對；
- (四) 依據上述資料進行工程失效分析，以故障樹分析方法，研判馬達鞍座失效原因。

除分享本會調查案例之外，2023 年 9 月法國 BEA 及澳洲 ATSB 等事故調查單位於

本會負責維護國際材料調查員群組網站（IMIG），建議材料分析調查員會議（AIM meeting）成員國參加 2023 年第 13 屆國際疲勞力學代表大會（International Fatigue Congress），經討論後，指派職代表參加該會議。針對法、澳兩國調查人員于 IMIG 論壇上所關注之纖維增強複合材料（Fiber Composites）及該會議其他重要議題，提出之會議心得報告如下：

- (一) 日本福島核災後疲勞曲線修正：日本銲接工程學會（JWES）原子能研究委員會的 DFC 小組委員會開發了新的疲勞曲線和疲勞分析方法，並將結果提交給 JSME 發電設施規範委員會。規範委員會批准將新的疲勞分析方法納入 JSME 環境疲勞評估方法 2022 版。此外，新的疲勞分析方法正在作為規範案例，提交給予美國機械工程師協會（ASME）的鍋爐和壓力容器規範委員會（BPVC）進行審查。
- (二) 複合材料議題：包含短纖維增強熱塑性塑料（SFRP）在酸性環境下的疲勞壽命的影響、基於基體相應力的短玻纖增強複合材料 short-fiber GFRP（SGFRP）射出成型板之疲勞性能評估、複合材料結構的疲勞損傷演化與損壞容忍度、空中巴士之可防止飛機結構過早腐蝕的新塗層材料等議題。
- (三) 鐵道車輛於極高週次數全尺寸感應淬火車軸疲勞強度評估：日本鋼鐵多年來已經在鐵道車輛的輪軸，依不同的表面加工方式做出許多研究成果，本次則是以感應淬火 Induction Hardening 加工方法進行疲勞強度的評估。

職於會議中分享臺鐵隆田案失效分析，如圖 3.5-1、3.5-2，以及參加 2023 年第 13 屆國際疲勞力學代表大會（International Fatigue Congress）心得分享，如圖 3.5-3，獲得各國調查員的肯定，澳洲等國調查員更於會後針對有興趣之議題，請職再提供更進一步之資訊。

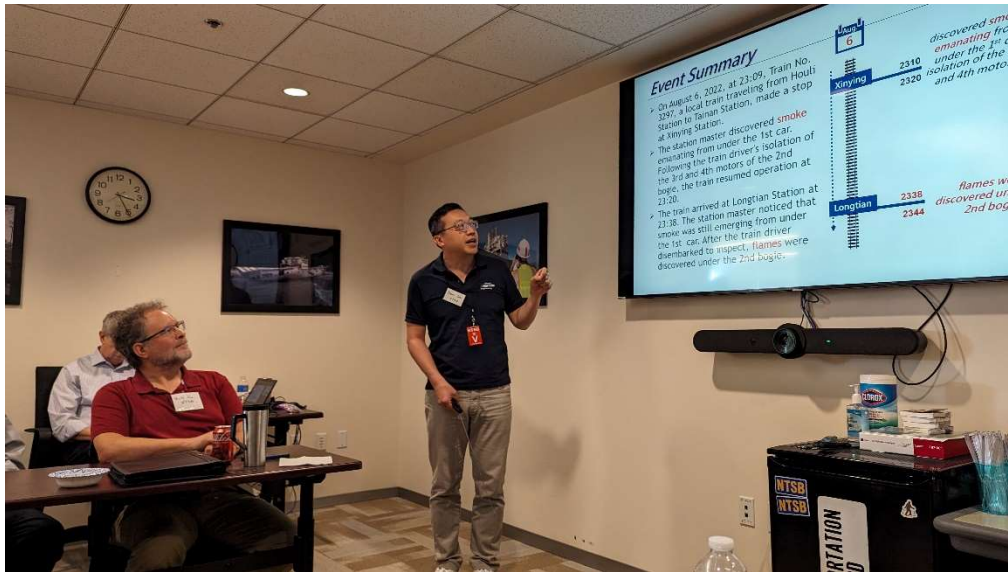


圖 3.5-1 臺鐵隆田案金屬疲勞破壞分析

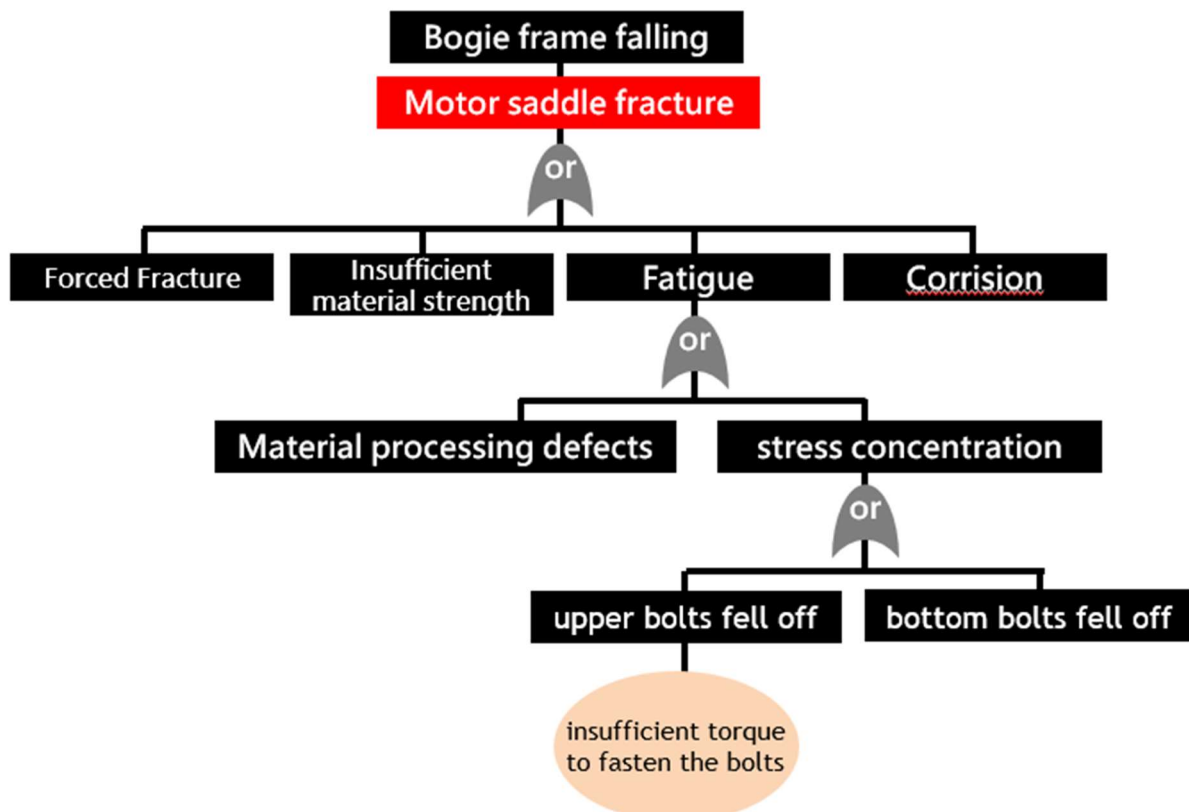
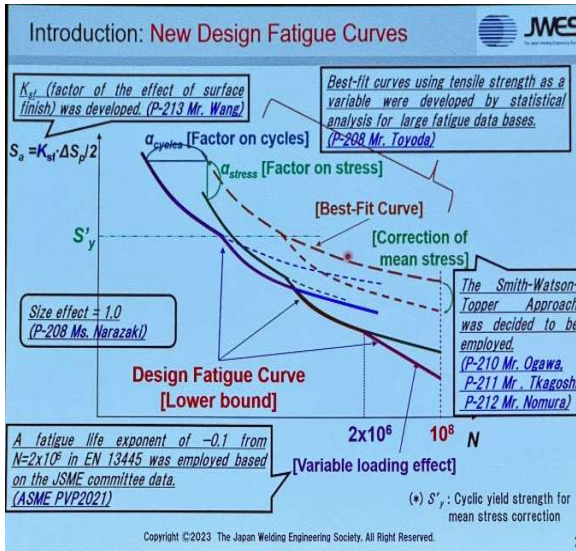


圖 3.5-2 故障樹分析方法




Test method

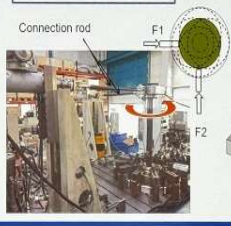
All are fully-reversed ($R=-1$)

- Resonance type rotating bending fatigue test**
 - Heat generated due to high frequency → Cooling → Run out at max. loading
 - Downsize ($\phi 150 \rightarrow 130$) → Untestable due to large deformation → **Give up**
- Biaxial bending fatigue test**
 - Rotating bending simulated by orthogonal 2-axis actuator, High cost, Machines limited
- Uniaxial bending fatigue test**
 - Testable by general machine

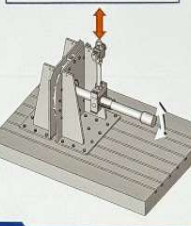
Resonance type rotating bending fatigue test



Biaxial bending fatigue test



Uniaxial bending fatigue test



NIPPON STEEL

Copyright © 2023 NIPPON STEEL CORPORATION All Right Reserved.

圖 3.5-2 國際疲勞力學代表大會議題分享

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，展現臺灣的調查能力。
2. 建議本會爭取承辦 2026 年事故調查員材料會議。

參加事故調查員材料會議 AIM 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、副研究員

姓名：莊禮彰、林意程

出國地區：美國華盛頓特區

出國期間：民國 113 年 5 月 4 日至 5 月 12 日

報告日期：民國 113 年 8 月 2 日

建議事項：

	建議專案	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，展現臺灣的調查能力。	<input checked="" type="checkbox"/> 已實行 <input type="checkbox"/> 研議中 <input type="checkbox"/> 未實行
2	建議本會爭取承辦 2026 年事故調查員材料會議。	<input type="checkbox"/> 已實行 <input checked="" type="checkbox"/> 研議中 <input type="checkbox"/> 未實行