

出國報告（出國類別：其他）

赴加拿大參加第五屆
材料分析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：工程師／莊禮彰

派赴國家：加拿大

出國期間：民國 106 年 5 月 7 日至 5 月 13 日

報告日期：民國 106 年 6 月 28 日

目次

壹、目的	3
貳、過程	5
參、心得	8
肆、建議	19

壹、目的

第五屆材料分析調查員會議 (Accident Investigator Materials, 簡稱 AIM) 由加拿大運輸安全委員會 (Transportation Safety Board of Canada, 簡稱 TSB) 主辦, 參與 AIM 會議者多數來自歐美地區的資深材料分析調查員, 彼此於會議中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。AIM 會議迄今共舉辦四次, 分別於法國巴黎市、美國華盛頓特區、澳洲坎培拉市及英國倫敦市舉行。

本次為本會第二次參加 AIM 會議, 職於會議中發表一篇軸承失效案例研究, 名稱為「*TGB Bearing Failure Analysis of an AS365 N3 Accident*」, 內容為內政部空中勤務總隊一架 Eurocopter AS365N3 型直昇機 (編號 NA-107), 於民國 105 年 3 月 11 日在新北市石門區北方 0.3 海浬處墜海, 造成人員傷亡, 事故肇因該機尾旋翼發生軸承失效的情形。本次專題報告除介紹直昇機尾旋翼齒輪箱檢測以及材料試驗等內容, 並說明本會如何根據各項觀察與分析結果, 找出軸承破壞模式以及失效肇因; 此外於會議中, 職與歐美地區的資深材料分析調查員交流, 建立技術交流合作的機會, 以擴大本會在航空材料破壞分析調查能量。

行程表如下：

日期		起訖地點	任務
月	日		
5	7	台北~多倫多	起程
5	8	多倫多~渥太華	轉機
5	9~11	渥太華	會議
5	12	渥太華~溫哥華	返程
5	13	溫哥華~台北	轉機

貳、過程

本次 AIM 會議除本會派員參加外，其它參加的單位包括美國國家運輸安全委員會（NTSB）、法國飛航失事調查局（BEA）、德國聯邦航空失事調查局（BFU）、英國航空失事調查局（AAIB）、澳洲運輸安全委員會（ATSB）、中國民航科學技術研究院（CAST）、以及主辦單位加拿大運輸安全委員會（TSB）等，參與人員約二十多位，於加拿大運輸安全委員會工程實驗室外合影紀念，照片如圖 2-1。本次 AIM 會議共計 3 日，會議議程如圖 2-2 所示，除參訪加拿大運輸安全委員會工程實驗室外，亦安排至加拿大軍方所屬 Quality Engineering Test Establishment(QETE) 實驗室參訪。



圖 2-1 各國材料分析調查員合影留念

AI-M 2017 Agenda

	DAY 1 – Tuesday 9 May 2017 Location: TSB Head Office 200 Promenade du Portage, Gatineau, QC	DAY 2 - Wednesday 10 May 2017 Location: TSB Head Office 200 Promenade du Portage, Gatineau, QC	DAY 3 – Thursday 11 May 2017 Location: TSB Engineering Laboratory 1901 Research Road, Ottawa, ON & Quality Engineering Test Establishment, Canadian Armed Forces 45 Sacré-Coeur Boulevard, Gatineau, QC
08:30-09:00	Transport from hotel to TSB Lab		Transport from hotel to TSB Lab
09:00-9:30	Breakfast, introduction and welcome: TSB Chief Operating Officer	Tony Gasbarro (TSB Canada) <i>Images that make a Difference</i>	TSB Engineering lab Tour
9:30-10:00	TSB Director, Operational Services	Discussion: Novel techniques and new applications for wreckage documentation	
10:00-10:30	Agency Updates	Sylvain Giguère (TSB Canada) <i>Job Safety Analysis at TSB Lab</i>	Val Guertsman (TSB) <i>Shoulder Harness Failure</i>
10:30-11:00	Break	Break	Break
11:00-11:30	Sebastian Davey (ATSB) <i>MH370 investigation</i>	Vincent Bolduc (TSB Canada) <i>ELT Failure Modes</i>	Discussion: Efficiency of the AI-M group (BEA)
11:30-12:00	Stuart Hawkins (AAIB) <i>Eurostar EV-97 in-flight wing failure</i>	Earl Chapman (TSB Canada) <i>Working with Engine OEMs</i>	Wrap up and AI-M 2018 planning Open discussion
12:00-13:00	Lunch	Lunch	Pizza Lunch
13:00-13:30	Stéphane Otin (BEA) <i>Nose landing gear extension failure</i>	Dietmar Nehmsch (BFU) <i>In flight break up of wooden glider (Fauvel AV 36 flying wing)</i>	Visit of QETE facility
13:30-14:00	Simon Grummett (ATSB) <i>In-flight break-up of a Dromader fire-fighting aircraft</i>	Xin Xiang Jiang (TSB Canada) <i>Dynamic simulation of hydraulic cylinder loading</i>	
14:00-14:30	Don Kramer (NTSB) <i>CF6-80C2 Stage 2 Turbine Disk Failure</i>	Adam Slater (Navy, UK) <i>Historic Bristol Centaurus radial engine</i>	
14:30-15:00	Gilles Romeuf (BEA) <i>Smoke in the cockpit</i>	Eric Li-Chang Chuang (ASC) <i>AS365 tail gear box investigation</i>	
15:00-15:30	Break	Break	
15:30-16:00	Frank Zakar (NTSB) <i>Fracture of a Saddle Fusion (Weld) Joint in High Density Polyethylene (HDPE) Pipe</i>	Haijun Tang (CAST) <i>Failure analysis of aircraft tires</i>	
16:00-16:30		Discussion: Best practices for health and safety in the lab and in the field	

圖 2-2 AIM 會議議程

AIM 會議議程整理如下：

日期	會議議程
5 月 9 日上午	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 2017 AIM 會議開場：Leo Donati (Director of Operational Services, TSB) ✓ 各國實驗室狀態更新 ✓ 案例研究：馬航 370 調查, Sebastian Davey (ATSB) ✓ 案例研究：Eurostar EV-97 飛行中機翼破損, Stuart Hawkins (AAIB)
5 月 9 日下午	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 案例研究：前起落架伸展失效, Stéphane Otin (BEA) ✓ 案例研究：Dromader 滅火飛機在空中解體, Simon Grummett (ATSB) ✓ 案例研究：通用發動機 CF6-80C2 第二級渦輪盤失效, Don Kramer (NTSB) ✓ 案例研究：駕駛艙冒煙案例, Gilles Romeuf (BEA) ✓ 案例研究：HDPE 管路焊接點破損分析, Frank Zakar (NTSB)
5 月 10 日上午	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 專題報告：事故調查之影像處理, Tony Gasbarro (TSB) ✓ 專題討論：TSB 實驗室工作之安全分析, Sylvain Giguère (TSB) ✓ 專題報告：ELT 失效模式, Vincent Bolduc (TSB) ✓ 專題報告：加拿大 TSB 協助參與發動機調查, Earl Chapman (TSB)
5 月 10 日下午	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 案例研究：木製滑翔機 Fauvel AV 36 空中解體, Dietmar Nehmsch (BFU) ✓ 案例研究：液壓缸負載動態模擬分析, Xin Xiang Jiang (TSB Canada) ✓ 案例研究：Bristol Centaur 發動機失效分析, Adam Slater (Navy, UK) ✓ 案例研究：AS365 直昇機尾旋翼軸承失效分析, Eric Li-Chang Chuang (ASC) ✓ 案例研究：飛機輪胎失效分析, Haijun Tang (CAST)
5 月 11 日上午	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 參訪 TSB 實驗室及棚廠 ✓ 案例研究：肩套帶破損分析 Val Guertsman (TSB) ✓ 專題討論：AI-M 工作群組之效能, Stéphane Otin (BEA) ✓ 專題討論：2018 AI-M 會議暖身
5 月 11 日下午	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 參訪加拿大國防部所屬 Quality Engineering Test Establishment 實驗室

參、心得

美國 NTSB、法國 BEA、英國 AAIB、德國 BFU、加拿大 TSB、澳洲 ATSB、大陸地區 CAST 的材料分析調查員於此次 AIM 會議中分享調查案例以及專題報告，包括消防專用飛機與木製滑翔機之空中解體事故、前起落架伸展失效、發動機失效分析、駕駛艙冒煙案例、管路焊接點破損分析等案例，此外 TSB 也針對實驗室工作之安全分析、影像處理、TSB 參與協助發動機調查、ELT 失效模式、結構負載動態模擬分析等議題，發表數篇專題演講，以下僅介紹關注的重點議題。

3.1 加拿大運輸安全委員會 TSB

加拿大運輸安全委員會成立於西元 1979 年，直屬於加拿大國會，確保事故調查不會受到任何干預，TSB 負責加拿大境內航空、海運、鐵道及油管事故之調查，目的為「改善運輸安全」，以完成獨立調查，找出事故肇因、調查發現、提出改善建議及公布調查報告等。

目前 TSB 共有五位委員，組織區分為總部以及六個地區辦事處，TSB 總部主要負責制定政策、重大事故的調查工作以及與國際事務相關的事宜，地區辦公處則負責事故初期的處理工作、協助調查工作以及獨立完成中小型的事務調查工作。若為主要的運輸事故，則由總部主導全部的調查工作。目前，TSB 總部共區分成 7 個部門，分別是海運部門、鐵道及油管部門、航空部門、操作服務部門、以及其他支援部門，TSB 組織架構如圖 3.1-1。

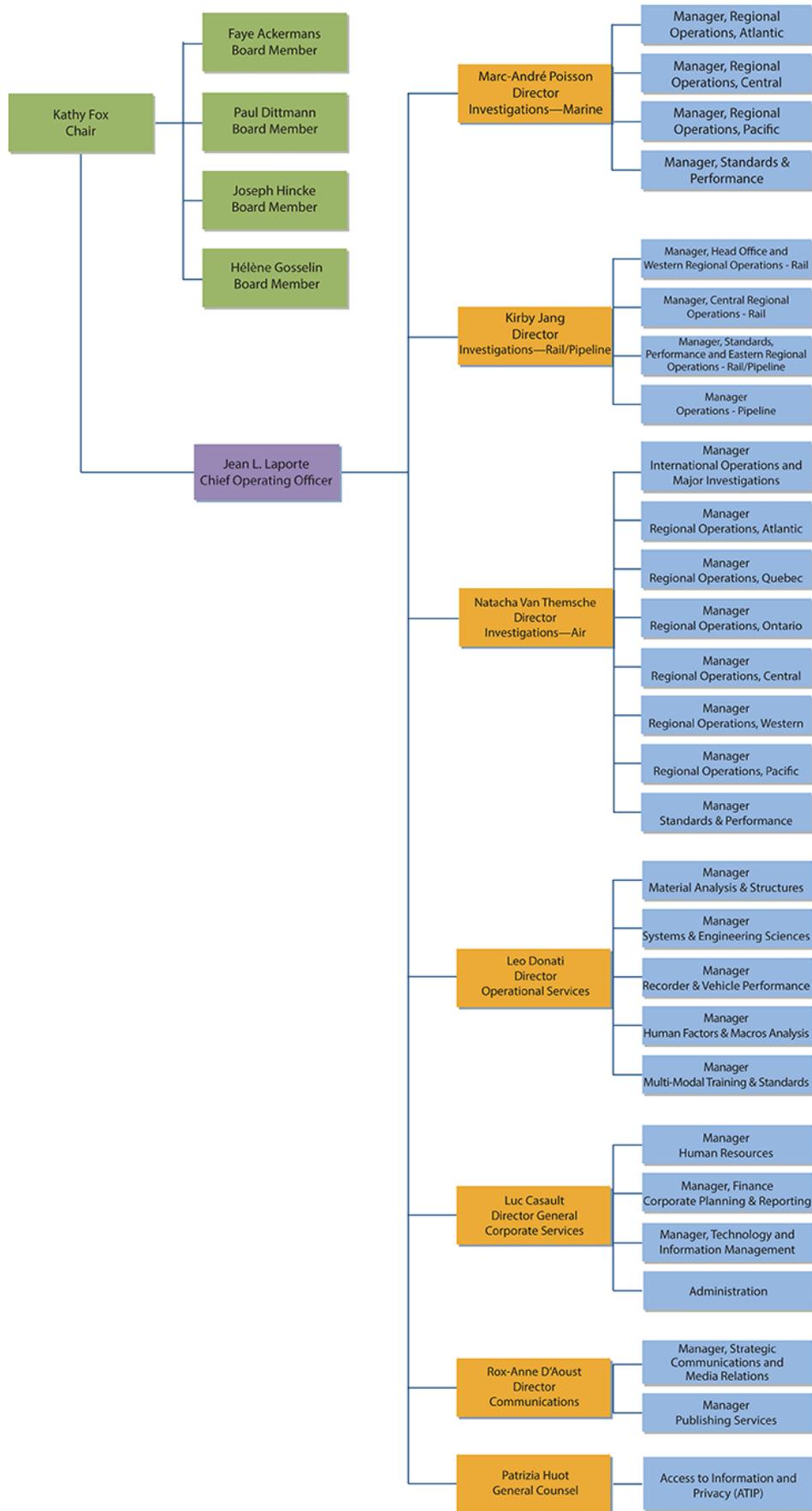


圖 3.1-1 TSB 組織架構圖

3.2 X 射線檢測技術

職曾於 2009 年參訪波音公司及德國航太中心結構與設計研究所，兩單位均擁有 X 射線檢測設備，該檢測設備以非接觸的方式掃描檢查零組件，法國 BEA 及美國 NTSB 已導入 X 射線檢測技術。此次參訪 TSB 實驗室及加拿大軍方所屬 QETE 實驗室時，兩個單位均擁有 North Star Imaging X500 型 X 射線檢測設備（圖 3.2-1）。

X 射線檢測技術依不同的剖平面檢視是否有異常情形，可運用在零組件之內部結構分析、尺寸比對分析、孔徑真圓度、鑄造件縮孔分析、電路板檢測等。以往掃描電腦斷層影像解析度不高，因此運用受到一些限制，目前 X 射線檢測技術已有突破性的發展，X 射線解析度已達 0.001mm，掃描後的電腦斷層影像還可依照密度已不同的顏色區分，如圖 3.2-2 所示。由於 X 射線檢測技術可得到內部立體影像，不需拆解，因此可大幅降低破壞證物的可能性。因此事故發生後，若調查員從航空器殘骸取下儀表板、GPS 晶片、儲存裝置、元件電路板等，在拆解前應該先使用 X 射線掃描，評估證物受損情況，再決定後續的處理方式，可避免拆解過程破壞重要的原始證據。



圖 3.2-1 TSB 實驗室之 X 射線檢測設備

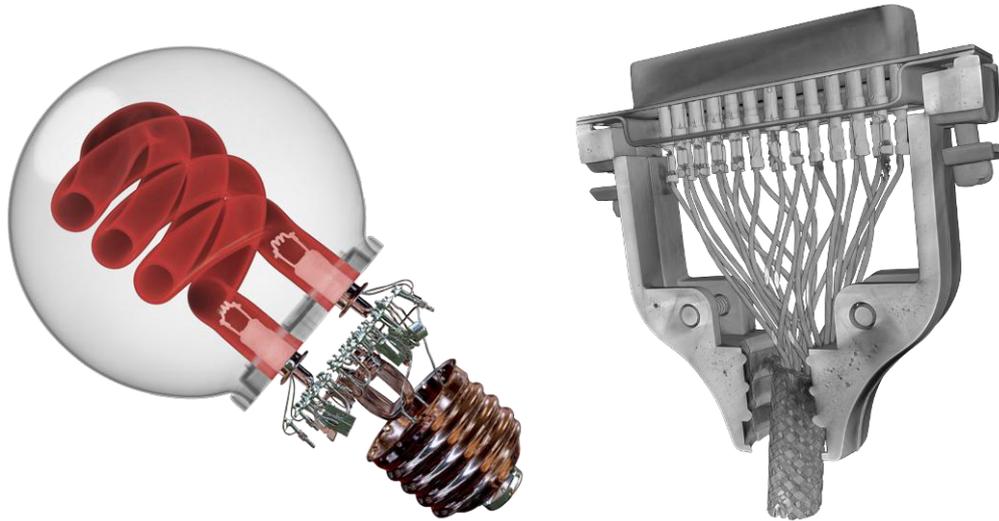


圖 3.2-2 X 射線檢測之電腦斷層影像

法國 BEA、美國 NTSB 及加拿大 TSB 已先後導入 X 射線檢測技術於事故調查，此技術對於材料失效分析有很大的幫助，職已經開始蒐集該設備的相關資料；本會在有限的預算下，建議先利用其它政府機構實驗室或是民間廠商的 X 射線檢測設備，委託處理材料失效分析案件，建立未來合作的管道。

在最近一起事故調查上本會亦開始使用到 X 射線檢測技術。民國 105 年 12 月 7 日，一架波音 737-800 型客機執行自帛琉至臺灣桃園之定期航班任務，該機於經過馬尼拉飛航情報區上空時，一名旅客之充電中手機產生燃燒損毀。而該起事故之手機檢查及測試，係委託臺灣優力國際安全認證有限公司（簡稱 UL）執行，經 X 射線電腦斷層掃描後，電池第一層極片上有一個約 1 公釐直徑之破洞，此破洞位於捲繞式電池極片之捲摺處，經研判可能為初始起火點，其電腦斷層掃描影像如圖 3.2-3。另外，亦以 X 射線掃描由同型式未損壞之電池，其電腦斷層掃描影像如圖 3.2-4，其中上圖為電池極片未展開之掃描影像圖，下圖為電池極片展開後之掃描影像圖。未來若有類似案件，本會可循例租借 X 射線電腦斷層掃描設備，進行非破壞性檢測。

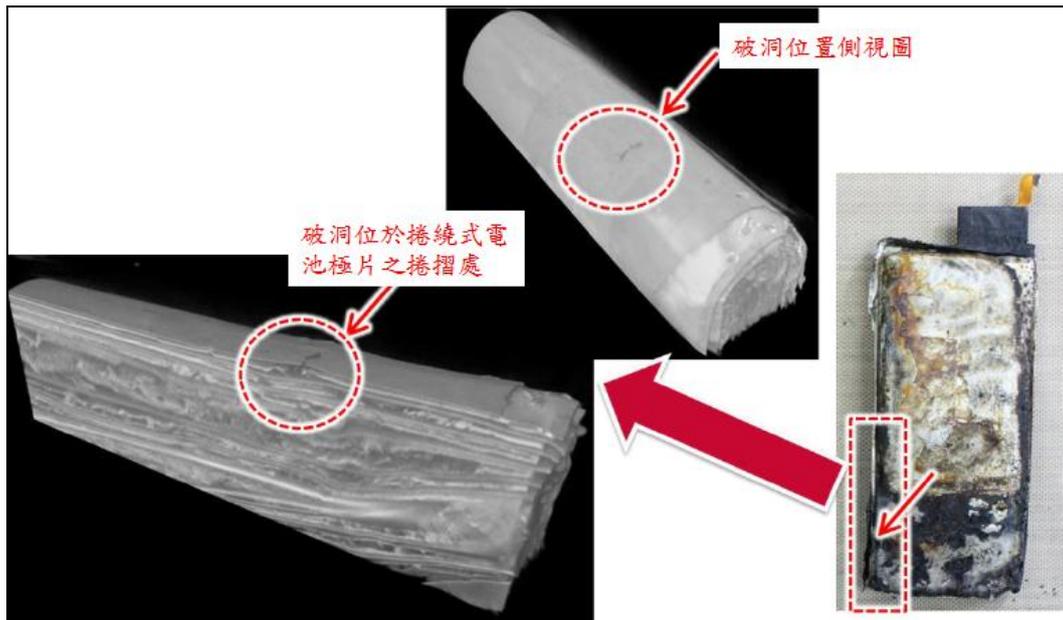


圖 3.2-3 受損手機之電腦斷層掃描影像

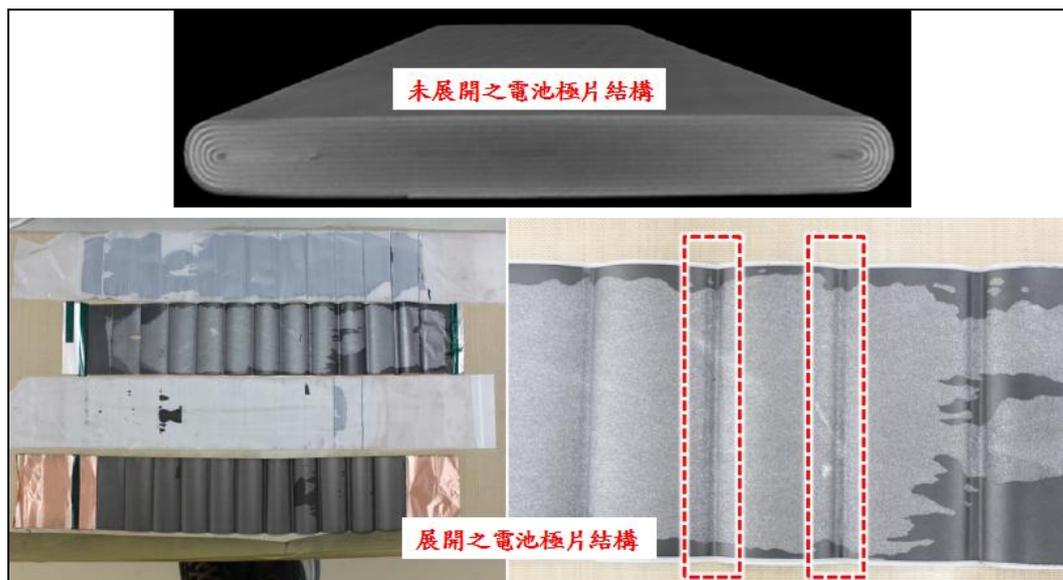


圖 3.2-4 未損壞電池之電腦斷層掃描影像

3.3 專題報告及案例研究

本屆 AIM 會議共有十幾篇的專題報告及案例研究，重點節錄整理如下：

ELT 失效模式

由加拿大 TSB Vincent Bolduc 發表。當航空器受到巨大外力撞擊時，位於機身後方的緊急定位發射機（Emergency Locator Transmitter, ELT）會自動開啟

並發射求救訊號，每 5~6 年要更換一次 ELT 電池，而 ELT 啟動後會維持 48 至 72 小時持續發射訊號，ELT 發射頻率區分 121.5MHz、243.0MHz、406MHz 等三種頻率。121.5MHz 及 243.0MHz 目前已不再使用；而 406MHz 頻率發出後，由衛星系統接收訊號，接收衛星依照軌道高度，可區分成 GEO（同步衛星）、LEO（低軌道衛星）、MEO（中軌道衛星）等。

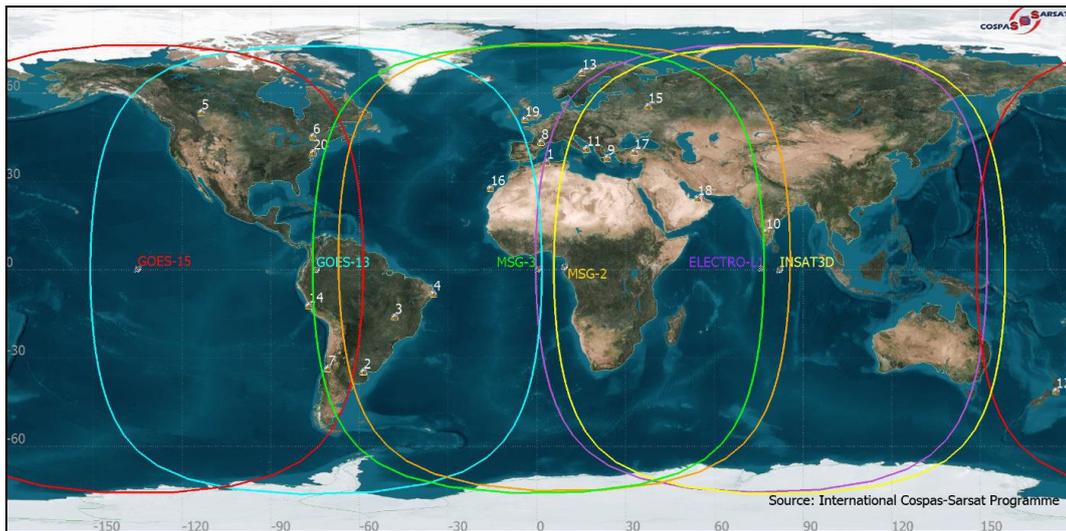


圖 3.3-1 GEO 衛星系統

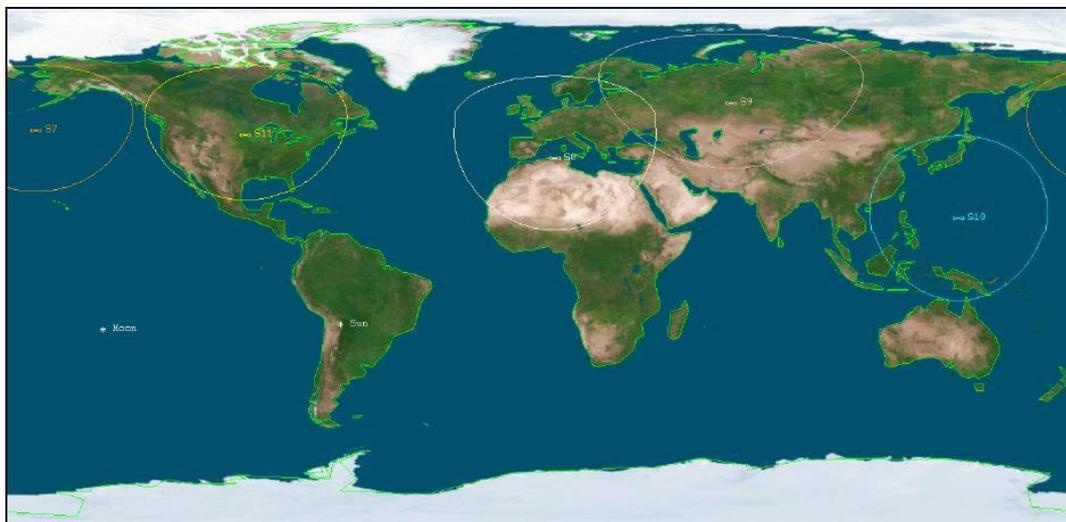


圖 3.3-2 LEO 衛星系統

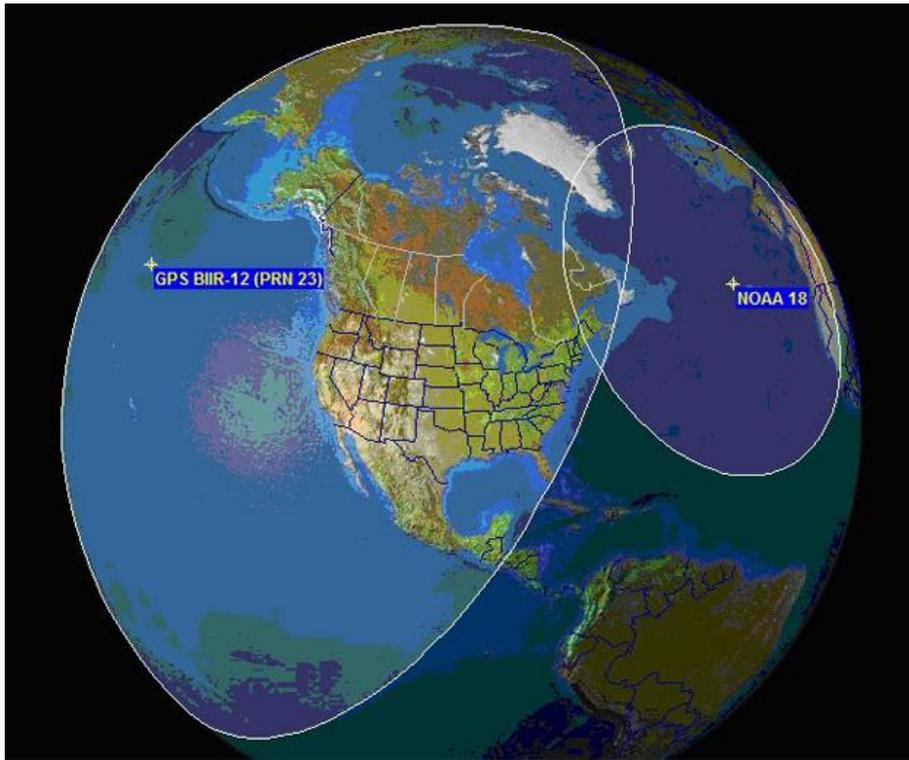


圖 3.3-3 MEO 衛星系統 ©GOVERNMENT OF CANADA

TSB 也提到他們為何要作此項研究，因為在某些飛航事故，調查單位一直在質疑為何 ELT 沒有作用，此外 TSB 也想瞭解在事故發生時，ELT 如何作用。若發生與 ELT 相關之飛航事故時，TSB 檢測步驟如下：先檢測 ELT 是否運作正常，之後使用 X 射線檢測技術掃描 ELT、檢查電池電壓狀態、ELT 系統功能測試、操作曲線是否符合原始設計要求、檢查天線方向與功能、若 ELT 浸水或是有潮濕限向，檢查是否有腐蝕現象等。

根據 2011 至 2016 年的統計資料，在 8,145 件飛航事故及意外事件中，共有 356 件與 ELT 相關或是調查報告曾提及 ELT，其中接收到 ELT 訊號僅有 63 件，未接收到 ELT 訊號僅有 69 件，不明原因共 224 件；然而 ELT 真正發揮作用僅 26 件，其他 ELT 無法作用的原因包括組員手動發射、天線損壞、地形遮蔽 ELT 訊號、ELT 在撞擊地面時損壞、火燒破壞、撞擊力不夠而無法觸發 ELT 等。

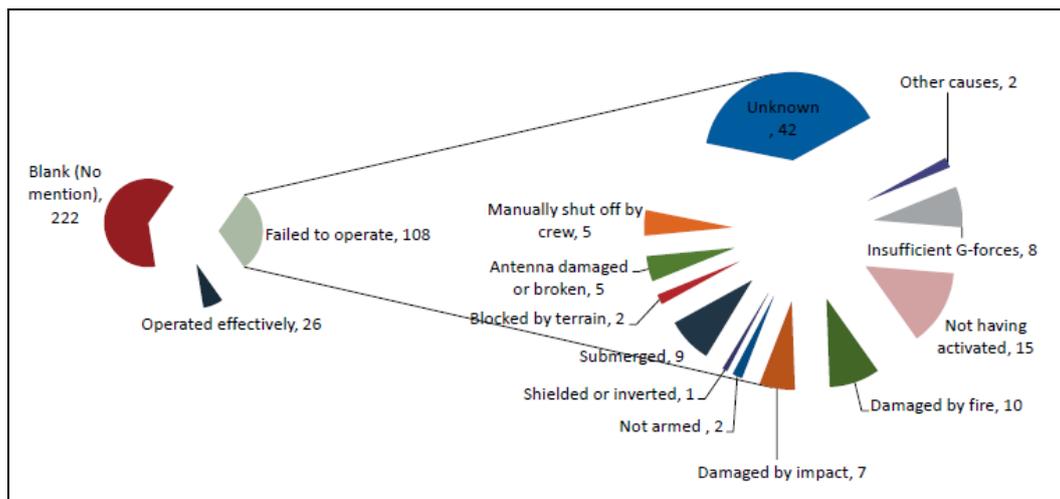


圖 3.3-4 ELT 未發揮作用的原因

TSB 參與發動機調查

根據國際民航公約附件 13，航空器製造國之飛航事故調查機關於事故發生後需參與並協助調查，去年 AIM 會議中，美國 NTSB 曾拋出此議題，討論調查機構與製造原廠的合作模式，當事故肇因與這些飛機製造原廠有關時，製造原廠大多能夠與調查機構密切聯繫，提供資訊以及安排詳細檢驗以釐清事故肇因。

加拿大為發動機製造國，Pratt & Whitney Canada 生產的發動機包括 PT6 series、PW100 series、PW200 series、PW300 series、PW500 series、PW600 series、JT15 series，因此今年由加拿大 TSB Earl Chapman 發表有關 TSB 協助發動機調查的案例。在過去這四年間加拿大 TSB 曾協助 243 件發動機調查，包括發動機內部葉片斷裂、軸承失效等，講者也花很大篇幅介紹 TSB 參與 GE235 飛航事故的情形。

直昇機尾旋翼失效分析

此篇由職發表。民國 105 年 3 月 11 日，內政部空中勤務總隊（以下簡稱空勤總隊）一架 AS365 N3 型直昇機，登記號碼 NA-107，於台北時間 1300 時由松山機場起飛，機上載有正、副駕駛員、機工長、兩名海巡特勤隊員，共計 5 人，前往位於新北市石門地區海岸之德翔台北貨輪擱淺處，執行人員載運之任務。約於 1318 時，該機於接近貨輪時開始向左偏轉，之後加速旋轉，而艙外海巡特勤隊員

因航機旋轉及姿態變化，遭主旋翼撞擊墜海，而直昇機墜毀於貨輪左側之海面上，直昇機全毀，正駕駛員及一名海巡特勤隊員死亡，副駕駛員、機工長及另一名海巡特勤隊員重傷。

在此專題演講中，職介紹本會失效分析流程包含背景資料蒐集、尾旋翼齒輪箱檢測與分析、軸承失效分析等。在背景資料蒐集方面，包含蒐集事故航空器的基本資料以及相關維修紀錄；依據當日之天氣資訊，模擬貨櫃輪周圍的流場，研判事故當時航機之負載狀況，以及航機是否在安全操作範圍內；檢視尾旋翼的動力傳動以及系統操縱方式；審視尾旋翼系統相關的警告技術通報，以及蒐集相關類似失效案例；此外檢視直昇機殘骸，找出任何的蛛絲馬跡。在尾旋翼齒輪箱檢測方面，包括拆解尾旋翼齒輪箱、清洗齒輪箱零組件、巨觀觀察尾旋翼控制軸及軸承控制桿、拆解軸承控制桿之滾珠軸承、巨觀及微觀觀察軸承組件、軸承材料檢測等。最後綜合各項觀察與分析結果，據以研判軸承破壞模式，並找出事故肇因，提出具體有效的改善與防制對策，以避免類似失效再度發生。圖 3.3-5 及圖 3.3-6 為失效示意圖。圖 3.3-7 為職代表本會專題演講時的照片。

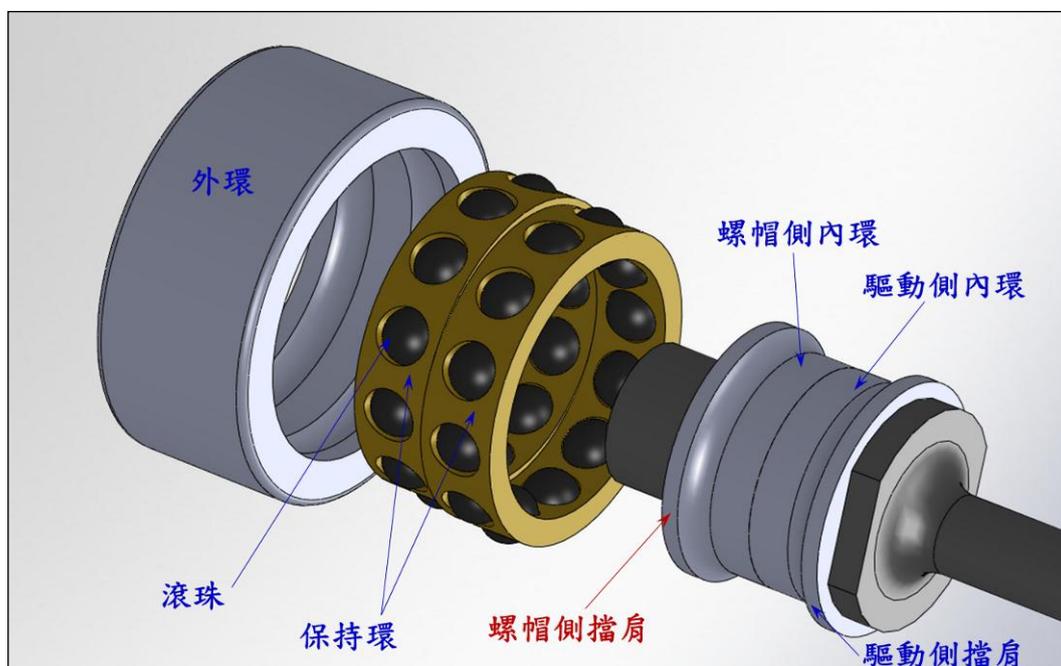


圖 3.3-5 滾珠軸承組合示意圖

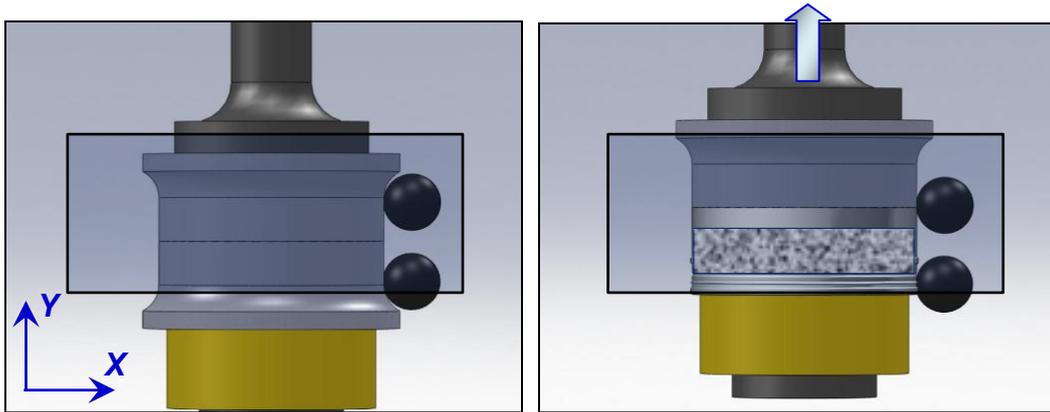


圖 3.3-6 滾珠軸承失效示意圖



圖 3.3-7 代表本會專題演講的照片

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 年共同創立飛航事故調查員紀錄器 (Accident Investigator Recorder, AIR) 會議，該會議屬調查技術論壇性質，藉以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，各國材料分析調查員希望本會依照 IRIG 的

模式，建構材料分析專屬的技術論壇網站(International Material Information Group, IMIG)，因此本會建置 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，如圖 3.4-1 所示。今年會議中，由 BEA 代表主持 IMIG 網站使用會議，由各國材料分析調查員共同討論 IMIG 網站的運作方式，期許網站扮演更吃重的角色。AIM 會議結束後，TSB 委求本會將本次會議資料上傳至網站，供各國材料分析調查員下載。目前 IMIG 網站已有三十多位各國材料分析調查員加入，若 IMIG 網站運作順利，應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

肆、建議

此次為職第二次參加材料分析調查員會議，收穫頗豐，吸取各國調查員豐富經驗，並與各國材料分析專家交流合作，職提出建議如下：

- 一、 法國 BEA、美國 NTSB 及加拿大 TSB 已先後導入 X 射線檢測技術於事故調查，然而本會預算有限，建議先與其它政府機構實驗室或是民間廠商建立合作管道，作為本會事故調查的資源，並同時建立本會 X 射線檢測技術的作業程序。