

出國報告（出國類別：研究）

赴英國參加材料分析調查員會議及 至法國檢測 NA-107 尾旋翼組件

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：英國、法國

出國期間：民國 105 年 4 月 18 日至 4 月 29 日

報告日期：民國 105 年 6 月 1 日

目次

壹、目的	2
貳、過程	4
參、心得	8
肆、建議	17

壹、目的

第四屆材料分析調查員會議 (Accident Investigator Materials, 簡稱 AIM) 由英國航空失事調查局 (Aircraft Accident Investigation Branch, 簡稱 AAIB) 主辦, 參與會議者多數來自歐美地區的資深材料分析調查員, 彼此於會議中分享各國材料分析的調查實務經驗, 並研討最新材料分析調查技術。AIM 會議迄今共舉辦三次, 前三次分別於法國巴黎、美國華盛頓特區及澳洲坎培拉舉行。本次飛安會受邀參加 AIM 會議, 職於會議中發表一篇論文「Experiences with 3D scanning and FEA」, 介紹本會的材料分析調查實務, 同時藉此機會積極與歐美地區的資深材料分析調查員交流, 建立未來交流合作的機會, 以擴大本會在航空材料破壞分析調查能量。

此外本會曾於民國 94 年建置飛航事故調查員之技術論壇網站, 藉以提供全球的紀錄器專家研討相關議題及解決方案, 使用迄今調查員會員已超過 1 百多位。本年度, 本會執行 105 年度跨部會署科發基金「飛航事故肇因分析系統建置計畫」, 子計畫「深化調查技術及改善飛安」的研究範圍包括「擴大飛航紀錄器調查員之交流平台」, 因此另新建置材料分析調查員之技術論壇網站 (International Material Investigator Group, IMIG), 提供全球的材料分析調查員研討使用, 以促進各國材料分析專家交流與合作。職於 AIM 會議中與各國材料分析調查員共同討論 IMIG 網站的架構與規劃。

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。經初步研判, 該機尾旋翼可能發生機構失效, 為釐清該起事故發生原因, 本會將尾旋翼組件送至法國空中巴士直昇機公司作進一步檢測, 法國飛航失事調查局 BEA 來函冀望本會派員協同檢測該組件, 因此, 於上述會議結束後, 另安排行程至法國馬賽原廠協同檢測該組件, 找出事故肇因。因內容涉及法國空中巴士直昇機公司業務機密、以及飛航事故調查期間不公開原則, 本出國報告未包含此內容。

行程表如下：

日期		起訖地點	任務
月	日		
4	18	台北~倫敦	起程
4	19~21	倫敦	會議
4	22	倫敦	準備資料
4	23	倫敦~馬賽	交通
4	24	馬賽	假日
4	25~26	馬賽	檢測
4	27	馬賽~巴黎	檢測及交通
4	28~29	巴黎~台北	返程

貳、過程

本次 AIM 會議除台灣飛安會派員參加外，其它參加的單位包括美國運輸安全委員會 NTSB、法國飛航失事調查局 BEA、德國聯邦航空失事調查局 BFU、加拿大運輸安全委員會 TSB、澳洲運輸安全委員會 ATSB、愛爾蘭 AAIU、義大利 ANSV、俄羅斯 MAK、以及主辦單位英國航空失事調查局 AAIB、英國海運失事調查局 MAIB 等，參與人員約二十多位，合影照片如圖 2-1。本次 AIM 會議共計 3 日，會議議程表如圖 2-2 所示，除參訪英國航空失事調查局 AAIB，亦安排至樸茨茅斯 Portsmouth 的 1710 Naval Air Squadron (NAS) 以及著名的國防科技集團 QinetiQ 參訪。



ACCIDENT INVESTIGATOR – MATERIALS MEETING, 2016

S. Hawkins M. Fox S. Otin A. Darlington R. Carter R. Smith J. McMillan D. Nehusch A. Dyachenko P. Farrell E. Leckey E. Chuang B. McDermid N. Alexander
H. Flegg V. Guertsman L. Fitzsimons M. Amura J. Boulicault J.-F. Berthier L. Dunn A. Robinson F. Zakar J. Doxey R. Vickery

圖 2-1 各國材料分析調查員合影留念

	DAY 1 - 19 April 2016	DAY 2 - 20 April 2016	DAY 3 - 21 April 2016
08:15	Coach transfer from local hotels to AAIB	Coach transfer from local hotels to AAIB	Coach transfer from local hotels to AAIB
09:00	Introduction and housekeeping: Afandi Darlington, AAIB & DCIAA David Miller, AAIB		Depart AAIB, travel to QinetiQ Farnborough
09:30	Presentation: Agency updates	Depart AAIB, travel to 1710NAS, Royal Navy Base Portsmouth	Presentation: Steve Harris, QinetiQ QinetiQ's Forensic Engineering Group
10:00	Case study: Lisa Fitzsimons, AAIB 787 ELT battery investigation		QinetiQ lab tour
10:30	Break	Presentation: Dr. Charlotte Pope, 1710NAS 1710NAS Materials Integrity Group	
11:00	Presentation: Mark Ford, AAIB Lithium battery & PED containment for transport		Break
11:30	Case study: Jean-Francois Berthier, BEA Ultralight Rans Coyotte investigation	Tour of 1710NAS lab	Case study: Matt Hiley, QinetiQ Investigating fatigue in composites
12:00		Case study: Howard Flegg, MAIB Steel wire and HM polyethylene rope failures	Case study: Stephane Otin, BEA Full composite aircraft in-flight break up
12:30	Lunch	Lunch	Lunch
13:00			
13:30	AAIB lab / hangar tour	Case study: Dr. Li-Chang Chuang, ASC Experiences with 3D scanning and FEA	Discussion topic: Afandi Darlington, AAIB Top ten 'most wanted' accident research topics
14:00	Case study: Rob Smith, ATSB 9M-MRO (MH370) debris analysis	Case study: Adam Slater, 1710NAS Lightbulb analysis using CT scanning	Case study: Dietmar Nehmsch, BFU Helicopter landing gear fracture
14:30	Break	Discussion topic: Dr. Charlotte Pope, 1710NAS Best practices for taking samples in the field	Case study: Bob Vickery, AAIB & Nigel Harrison QQ Chromium Plating - Is it what it seems?
15:00	Case study: Dr. Matt Fox, NTSB Recent failures in the GE90 and GENx engines		Break
15:30	Discussion topic: Dr. Matt Fox, NTSB Managing examinations with the manufacturers	Break	Case study: Frank Zakar, NTSB In-flight lap joint separation on fuselage of B737
16:00	Case studies: Val Guertsman, TSB Canada Propeller failure / Webbing & textile investigation	Case study: Julien Boulicault, BEA Ultralight ELA investigation	
16:30	Case study: Afandi Darlington, AAIB Sensor and instrument investigations	Discussion topic: Julien Boulicault, BEA Lab works or examinations for non-certified aircraft accidents	Wrap up, 2017 AI-M planning, AI-M website
17:00	Close; coach transfer to local hotels from AAIB	Close; travel back via The Golden Pot pub at Shalden, for buffet meal and skittles evening, 17:30 - 20:00.	Close - travel back to Farnborough to arrive at 17:30
18:30	Coach transfer from local hotels to The Forester's Pub, Church Crookham, for group dinner starting 19:00	Coach transfer back to local Farnborough hotels at 20:00.	
21:30	Coach transfer back to local Farnborough hotels		

圖 2-2 AIM 會議議程表

AIM 會議議程整理如下：

日期	會議議程
4 月 19 日上午	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 2016 AIM 會議開場：Afandi Darlington, AAIB ✓ BEA 及 AAIB 裝備更新及實驗室現況 ✓ 案例研究：波音 787 電池損壞事故 Lisa Fitzsimons, AAIB ✓ 鋰電池等相關證物之保存與運送 Mark Ford, AAIB ✓ 案例研究：超輕之機翼破損 Jean-Francois Berthier, BEA
4 月 19 日下午	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 參訪 AAIB 實驗室及機棚 ✓ 案例研究：馬航 370 殘骸打撈與分析 Rob Smith, ATSB ✓ 案例研究：GE90 及 GENx 發動機失效案例 Dr. Matt Fox, NTSB ✓ 調查機構如何與原廠合作檢測 Dr. Matt Fox, NTSB ✓ 案例研究：飛機螺旋槳脫落事故 Val Guertsman, TSB ✓ 案例研究：感測器及儀表之調查分析 Afandi Darlington, AAIB
4 月 20 日上午	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 簡介 1710 Naval Air Squadron (NAS) 材料分組 ✓ 參訪 1710 Naval Air Squadron (NAS) 實驗室 ✓ 案例研究：渡輪鋼索斷裂事故 Howard Flegg, MAIB
4 月 20 日下午	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 案例研究：3D 光學掃描及有限元素分析案例研究 Li-Chang Chuang, ASC ✓ 案例研究：電腦斷層技術 CT 應用於儀表警告燈之燈絲破損研究 Adam Slater, 1710NAS ✓ 案例研究：超輕載具事故 Julien Boulicault, BEA ✓ 綜合討論：未認證航空器之檢測工作 Julien Boulicault, BEA
4 月 21 日上午	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 簡介 QinetiQ ✓ 參訪 QinetiQ 實驗室 ✓ 案例研究：複合材料失效之調查 Matt Hiley, QinetiQ ✓ 案例研究：全複合材料之航空器於空中解體 Stephane Otin, BEA
4 月 21 日下午	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 失效分析未來研究重點 Afandi Darlington, AAIB ✓ 案例研究：直昇機滑撬疲勞斷裂 Dietmar Nehmsch, BFU ✓ 案例研究：波音 737 起落架之疲勞破壞分析 Bob Vickery, AAIB & Nigel Harrison QQ

	<ul style="list-style-type: none">✓ 案例研究：飛機蒙皮鉚接失效案例 Frank Zakar, NTSB✓ 2017 AIM 會議暖身 Val Guertsman, TSB
--	--

參、心得

美國 NTSB、法國 BEA、英國 AAIB、MAIB、法國 BEA、德國 BFU、加拿大 TSB、澳洲 ATSB 的材料分析調查員於此次 AIM 會議中分享了數個調查案例，包括超輕載具事故、感測訊號裝置異常、直昇機滑撬疲勞斷裂、螺旋槳脫落、渡輪鋼索斷裂、複合材料航空器之空中解體事故、航空器起落架疲勞破壞、GE90 及 GEnx 發動機失效案例等，以下僅介紹關注的重點議題。

3.1 英國航空失事調查局 AAIB

1915 年英國皇家飛行隊(Royal Flying Corps)成立「事故調查部」(Accidents Investigation Branch, AIB)，負責航空事故調查。經過多年的組織變革，於 1987 年更名為航空失事調查局 AAIB(Air Accident Investigation Branch)，目前 AAIB 為英國交通部的下屬機構，但依舊保留著軍方色彩。AAIB 曾調查數起重大飛航事故，包括哈維蘭彗星型客機 (De Havilland Comet) 因金屬疲勞造成多起空難、泛美 103 航班洛克比爆炸空難等。AAIB 組織架構如圖 3-1，目前 AAIB 共區分成 6 個調查分組，分別由航務、機務及飛航紀錄器等專業技術人員組成。

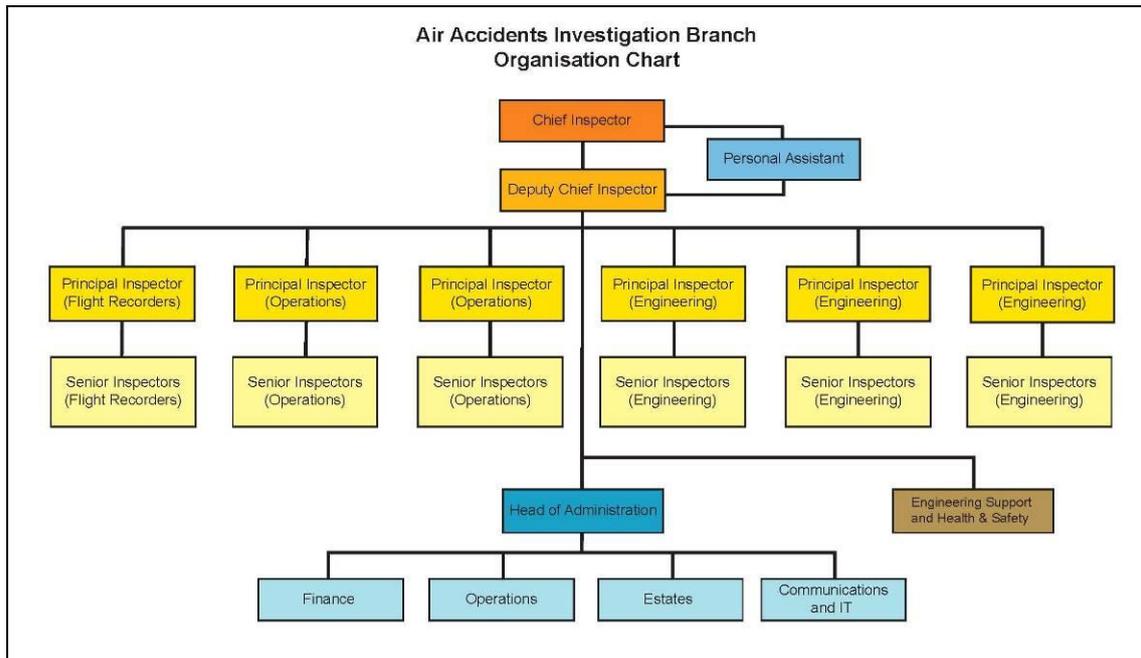


圖 3.1-1 AAIB 組織架構圖

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時，兩單位均擁有 X 射線檢測設備，該機台以非接觸的方式檢查零組件；另外法國 BEA 亦擁有相同的 X 射線檢查設備，機台型號為 Phoenix Nanomelx，當時 BEA 是唯一導入 X 射線檢測技術的事故調查機構。然而，在本次 AIM 會議中，美國 NTSB 資深材料專家 Frank Zakar 提報一起飛機蒙皮失效案例，在該起案例中，NTSB 應用 X 射線檢測技術於事故調查。

西元 2011 年，美國西南航空 812 航班起飛後，於 34,400 呎高空發生失壓情形，飛機緊急落地後，在飛機客艙上方發現長約 59 呎（150 公分）的破洞，如圖 3.2-1，其中一片蒙皮沿機身方向破裂，整片蒙皮向外掀出，客艙加壓空氣持續洩漏，造成客艙失壓。¹

¹ <http://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/AAB1302.pdf>



圖 3.2-1 西南航空 812 航班

圖 3.2-2 左圖顯示蒙皮的接合方式，上下蒙皮中間為一塊補片，分別以三排鉚釘（Rivet）固定，中間的鉚釘需固定在縱樑（Stringer）上。在該起案例，上下蒙皮係以三排鉚釘固定在縱樑 S-4L 上，其中下方蒙皮沿下排鉚釘接合方向斷裂，如圖 3.2-3 所示，從 Rivet 55 到 Rivet 112，斷裂面上共有 58 個鉚接處，經過詳細觀察與檢驗蒙皮斷裂面後，在其中 54 個蒙皮鉚接處發現疲勞裂紋。經過計算與模擬，蒙皮鉚接處之疲勞裂紋週期為 38,261，而飛機交機迄今僅 39,786 週期，兩個數值差異不大，這證據顯示飛機製造當時，蒙皮鉚接安裝即可能存在瑕疵，致使蒙皮鉚接處發生疲勞現象。

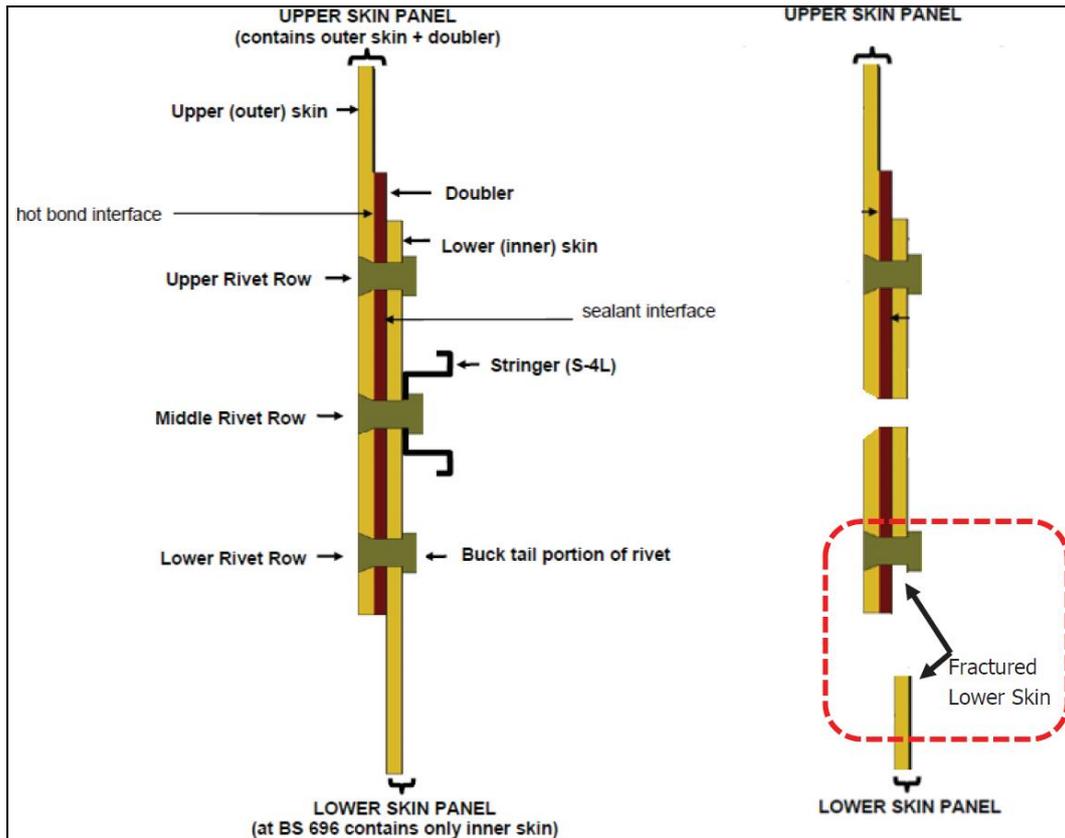


圖 3.2-2 蒙皮接合示意圖

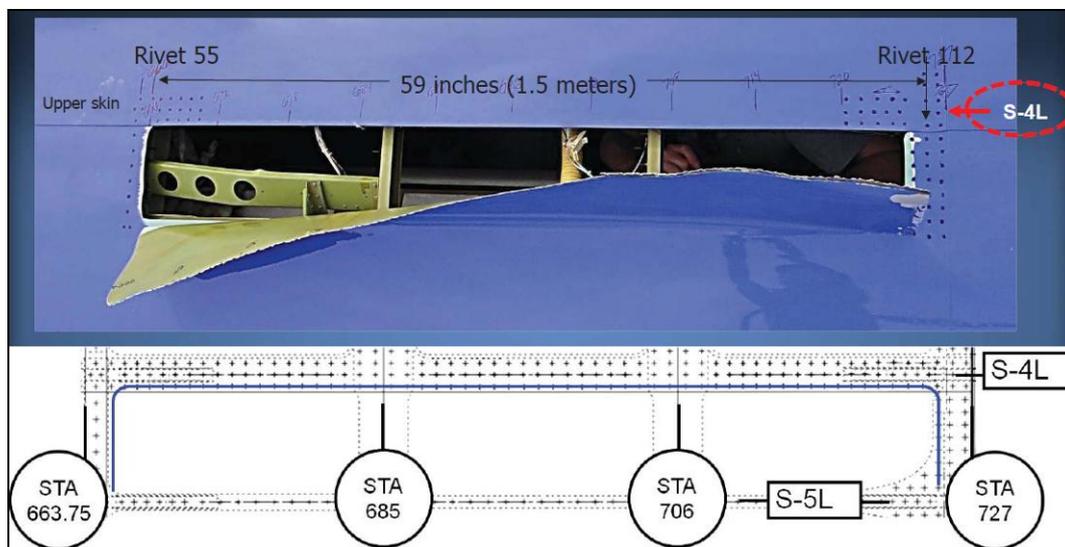


圖 3.2-3 受損蒙皮位置

若鉚釘正常安裝，中間補片及下層蒙皮的孔徑大小會一致，此時鉚接強度最
 加；若下層蒙皮的孔徑較大時，鉚釘需完全填滿孔洞；若未填滿孔洞，易形成圖
 3.2-4 的情況，鉚釘與下層蒙皮孔洞間有間隙，蒙皮在蒙皮鉚接位置形成不連續

處，有應力集中現象，因而易產生疲勞裂紋。

為確認該機蒙皮鉚接有存在此種缺陷，NTSB 使用 X 射線檢測設備檢查 Rivet 38 到 Rivet 54 之間的蒙皮，以單軸 X 射線旋轉照射蒙皮，由於蒙皮與鉚釘對 X 射線的阻射率不同，再用電腦重建出斷層面影像（圖 3.2-5），影像在經過三維呈像技術疊合，即可組合成立體影像，圖 3.2-6 顯示 Rivet 54 位置蒙皮鉚接之 X 射線影像，明顯發現蒙皮鉚接處有很大的間隙。

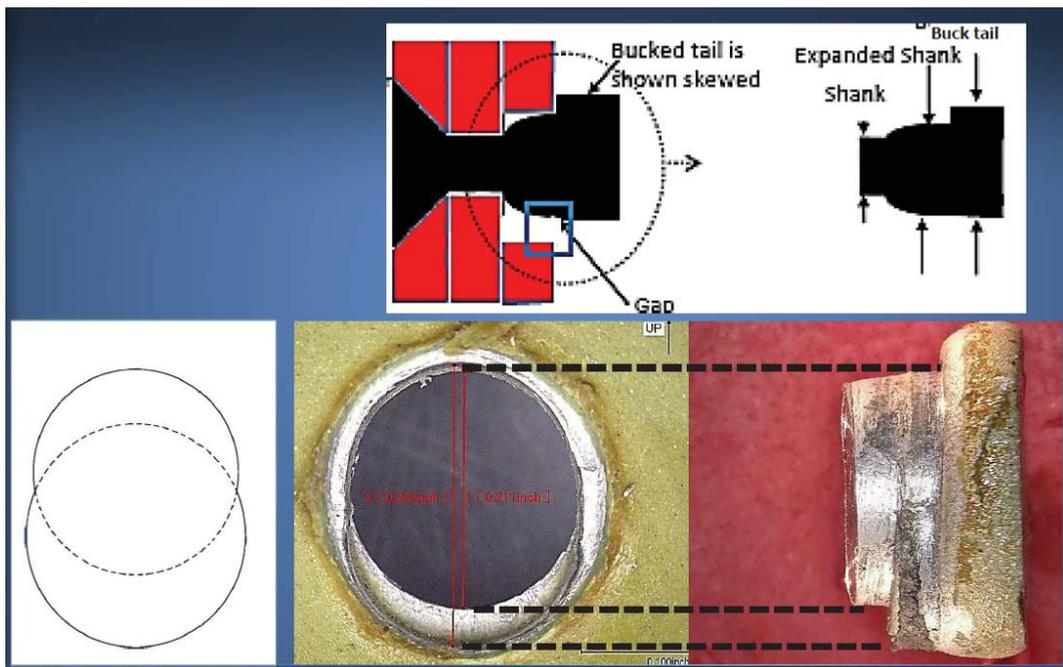


圖 3.2-4 安裝不良之鉚釘

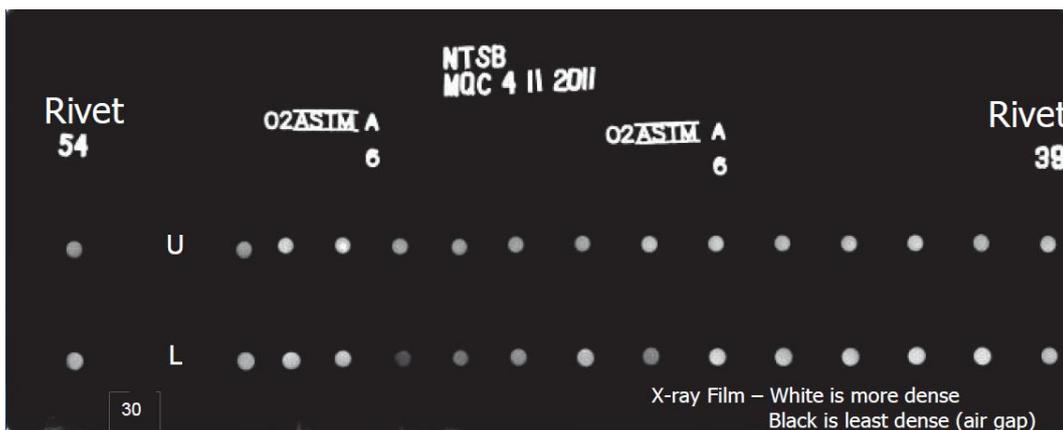


圖 3.2-5 蒙皮 X 射線影像

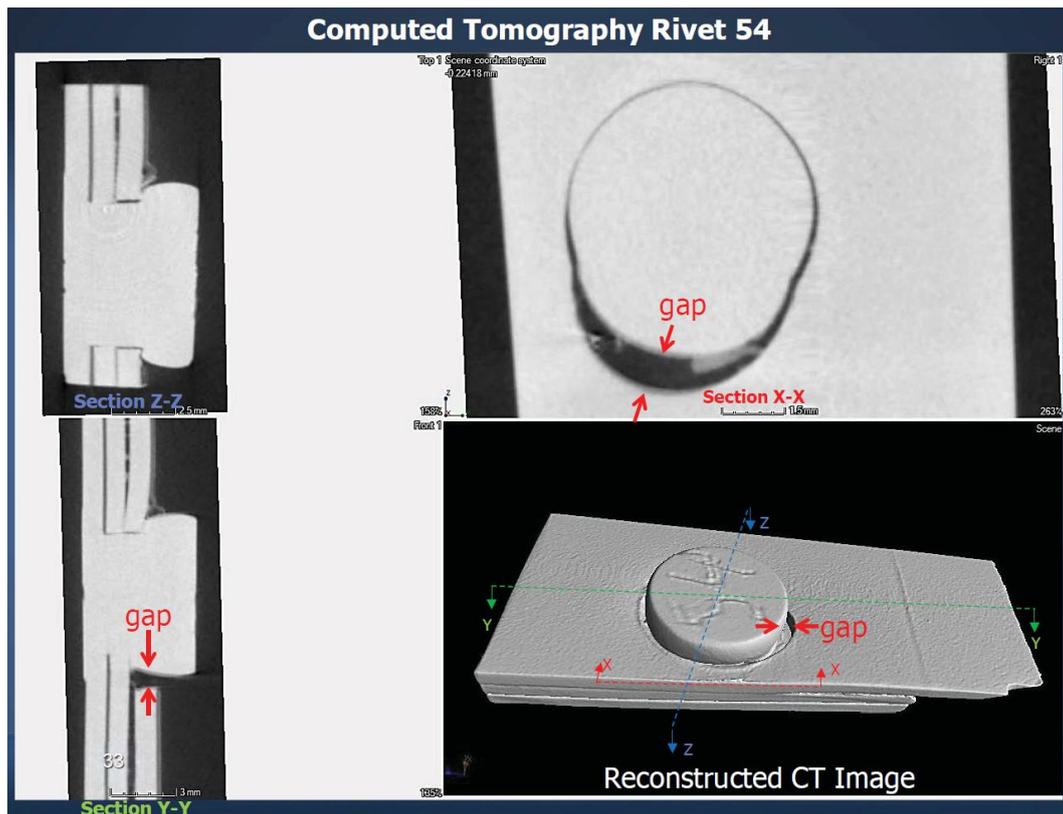


圖 3.2-6 蒙皮鉚接處 (Rivet 54) 之 X 射線影像

X 射線檢測技術可依不同的剖平面檢視是否有異常情形，運用在零組件之尺寸比對分析、孔徑真圓度、鑄造件縮孔分析、電路板檢測等；由於不需經由拆解即可先得到立體影像，因此可避免拆解過程破壞原始證據。法國 BEA 及美國 NTSB 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。

3.3 手持式 X 射線螢光光譜儀

X 射線螢光光譜儀 (X-ray Fluorescence Spectrometer, XRF) 係利用 X 射線激發待測物的原子，產生元素特性之 X 射線，之後對這些 X 射線的強度和能量進行檢測，以判定待測物之元素組成，是一種廣泛用於檢測固體與液體元素組成的非破壞性檢測技術。XRF 有兩種系統，一種是波長色散系統 (WDXRF)，另一種是能量色散系統 (EDXRF)，兩者的主要差異在於 X 射線的偵測方式。WDXRF 儀器

具有非常好的能量解析度，光譜干擾較少；EDXRF 儀器具有較佳的訊號強度，通過這些訊號強度可以縮短分析時間，適合小面積或者映射分析。在此會議中，NTSB 調查員介紹 XRF 的使用（圖 3.3），該項設備除了可以在實驗室內快速判定元素組成，調查員亦可攜帶至事故現場，迅速檢測蒐集到的殘骸及其它證物的化學組成，並可立刻判定是否屬於飛機結構零組件。此設備可搭配桌上型一同運作，以達最大效益。



圖 3.3 X 射線螢光光譜儀

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 及我國飛安會於西元 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，飛安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)。

本年度，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), 在此次 AIM 會議中, 各國材料分析調查員討論 IMIG 之建置及管理, 討論整理如下: 增加照片上傳模組、建構討論模組次分類、新聞通知模組、會員管理模組等。目前 IMIG 網站如圖 3.4 所示, 迄今已有十多位會員加入, 未來將可促進各調查機構間之交流與合作。

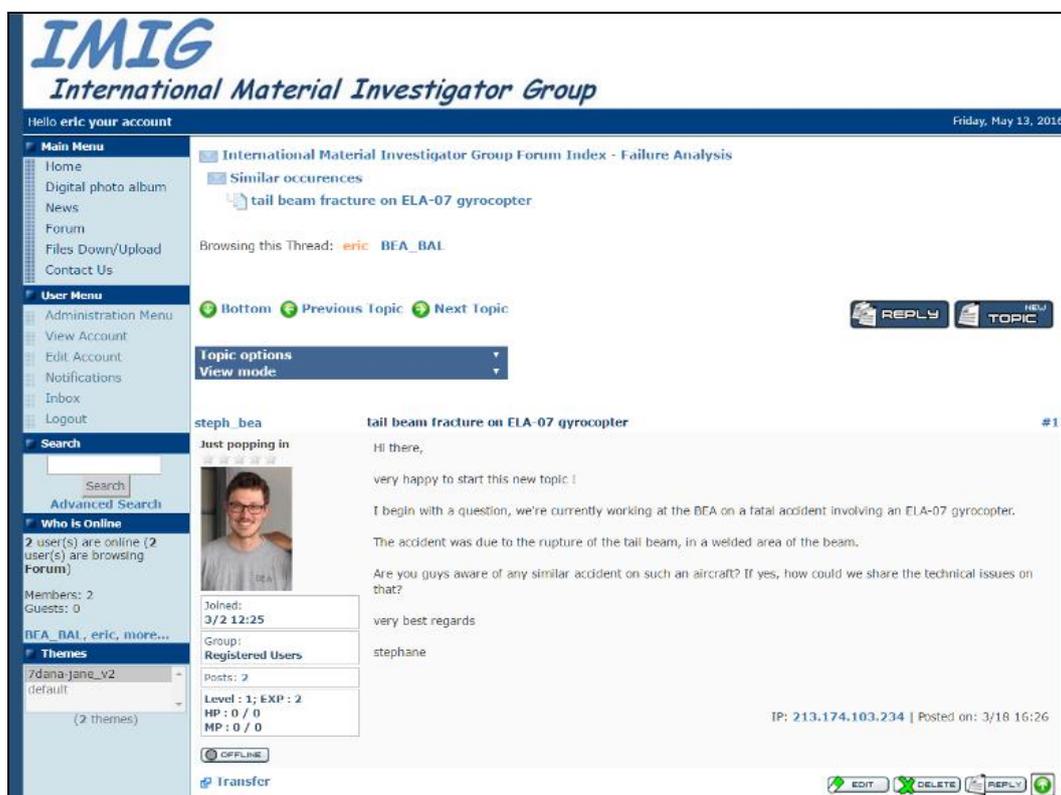


圖 3.4 材料分析的技術論壇網站 IMIG

3.5 調查機構與原廠檢測合作

美國 NTSB 拋出此議題, 討論調查機構與製造原廠的合作模式, 與會者表示: 波音飛機公司與空中巴士等飛機製造大廠, 與事故調查單位合作多年, 因此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; 但是牽涉到其它小廠或是零件供應商時, 調查機構往往會面臨到許多問題, 如資訊提供不足、回應很慢、或是廠商不瞭解調查程序等, 與會者建議:「若有需要, 可以透過該國調查機構進一步協助, 並與製造原廠保持密切聯繫!」。

此議題剛好與此行另一目的相吻合, 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。為釐清該起事故發生原因，本會將尾旋翼組件送至法國空中巴士直昇機公司作進一步檢測。此次參與檢測單位包括法國空中巴士直昇機公司設計部門及飛安部門、零件供應商、法國 BEA 代表、飛安會等，由法國空中巴士直昇機公司事先擬定檢測流程，後經由法國 BEA 代表、飛安會一致同意後，確認此次的檢驗流程。

調查機關從事事故調查，秉持著獨立公正的態度，而製造原廠熟悉該機型的所有資訊與技能，提供檢驗設備及人員，彼此分工合作，一起找出事故肇因，提出改善措施與方法，以避免再次發生。

肆、建議

此次參加第四屆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 及美國 NTSB 已先後導入 X 射線檢測技術於事故調查，建議先委託其它政府機構實驗室或是民間廠商的資源，進行 X 射線檢測技術的可行性評估，並建立未來合作管道。
- 二、 蒐集手持式 X 射線螢光光譜儀相關資訊，並評估導入此項技術之可行性。