

# 出國報告(出國類別:進修)

## 美國南加州大學 航空事故調查訓練出國報告

服務機關：國家運輸安全調查委員會

姓名職務：梁學賢 航空調查官

李成韜 航空副調查官

派赴國家／地區：美國加州洛杉磯市

出國期間：民國 108 年 12 月 7 日至 12 月 22 日

報告日期：民國 109 年 1 月 16 日

## 摘要：

為航空事故調查業務需要，培育重大運輸事故調查人才，強化調查人員專業核心能力，本會梁、李兩員因到新任尚須補足專業知識故派訓美國 USC (AAI) 調查班，參訓年度事故訓練課程，學習先進航空業界飛安心得為提升飛行安全之重要工作，學習最新之飛機事故調查方法與飛安相關議題之因應，運用風險管理及評估，可早期發現潛在飛安問題之預防，藉事故調查班調查理論與技術落實執行飛安改善建議。美國南加州大學創建於 1880 年，該大學於 1952 年創立航空安全計畫課程，也是美國所屬研究大學中第一個成立航空安全計畫課程之學府，授課教師均有豐富的經驗與專業知識，授課班次具有全球性及航空專業特性，學員來自不同國家、地區、背景及專長，而該校每年提供約 20 門相關課程培訓相關從業人員約 1000 名；另南加大航空安全學院一直致力保持安全管理系統領域上的領導地位，無論是理論或實務操作上皆然，航空安全學院在洛杉磯市郊外新建自屬的失事殘骸實驗室，許多失事飛機殘骸曾在此實施現場重建，現號稱是目前世界上最大的飛機殘骸實驗室。

# 目 錄

壹、前言	3
貳、過程	4
參、心得	34
肆、建議	38

## 壹、前言

運安會為我國三級獨立機關負責調查重大交通運輸事故，對於改善國內航空安全秉持高標準要求，並與國際接軌。為應業務需要，培育重大運輸事故調查人才，強化調查人員專業核心能力，都是為了「避免類似的事故再度發生」，積極預防交通運輸可能發生的危難或災害。由於梁、李二員就職前皆為民航運輸駕駛員(後稱筆者)10月1日聘任擔任航空調查工作，對於飛安調查在過去飛行歷練中雖稍有涉略但非專精，因應未來航空事故調查專業尚須補足。依據國家運輸安全調查委員會訓練手冊，基礎訓練課程內容辦理基礎訓練，故特派至美國 USC 航空事故調查訓練機構接受飛安專業調查基本訓練，獲取飛安調查基本知識。

一、依據國家運輸安全會訓練手冊，基礎訓練課程內容辦理，筆者之基礎訓練。  
二、美國南加州大學為國際知名之飛航安全教育單位，本年度舉辦之事故調查班，提供之課程包含法規、調查、調查技術、人因及生物醫學分析、事故調查飛機殘骸管理與安全稽核。

三、國內並無相關師訓課程及學校。

筆者為民航業飛機操縱實際經驗達近 30 年，深知航空器意外事件調查是非常專業分工細膩之藝術成就，甚至需要發揮愚公移山及大海撈針的精神，故特派至美國航空事故調查訓練機構參加業務相關之基礎訓練。

## 貳、過程

### 一、行程

	飛航班次	出發地	出發時間	目的地	到達時間
去程	長榮 BR6	台北	2019/12/8 11 : 20	洛杉磯	2019/12/8 06 : 50
返程	長榮 BR15	洛杉磯	2019/12/20 23 : 30	台北	2019/12/22 06 : 05

### 二、課程安排

訓練課程及課表：

第一週	星期一	星期二	星期三	星期四	星期五
時間	12/9	12/10	12/11	12/12	12/13
0800-0850	INV 1	INV 5	MED 1	LAB 1	INV 12
0900-0950	INV 2	INV 6	MED 2	LAB 1	INV 13
1000-1050	INV 3	INV 7	MED 3	LAB 1	INV 14
1100-1150	INV 4	INV 8	MED 4	LAB 1	INV 15
1150-1300	午 餐				
1300-1350	SMS 1	INV 9	MED 5	LAB 1	準備報告
1400-1450	INT 1	PHOTO 1	INV 10	LAB 1	HUMAM FACTORS
1500-1550	INT 2	PHOTO 2	INV 11	LAB 1	HUMAM FACTORS 1540-1620 Sherry Avery- ATC

附註：INV(失事調查)、SMS(安全管理系統)、MED(航空醫學)、TECH(航空技術)、SYS(航機系統)、INT(訪談調查)、LAB(殘骸實驗室)、CASE (案例實習)

第二週	星期一	星期二	星期三	星期四	星期五
時間	12/16	12/17	12/18	12/19	12/20
0800-0850	TECH 1	TECH 5	LAB 2	SYS 7	CASE 1
0900-0950	TECH 2	TECH 6	LAB 2	SYS 8	CASE 2
1000-1050	TECH 3	TECH 7	LAB 2	SYS 9	CASE 3
1100-1150	TECH 4	TECH 8	LAB 2	SYS 10	CASE 4
1150-1300	午 餐				
1300-1350	SYS 1	SYS 4	LAB 2	TECH 9	

1400-1450	SYS 2	SYS 5	LAB 2	TECH 10	
1500-1550	SYS 3	SYS 6	LAB 2	TECH 11	

**SUBJECT**

Investigation(INV 15hrs & LAB 7hrs & PHOTO 2hrs)  
 Medical(MED 5hrs)  
 Technology(TECH 11hrs & LAB 7hrs)  
 Aviation Safety Management System(SMS 1hr)  
 Interview(INTER 2hrs)  
 System(SYS.Lab 7hrs)  
 Human Factor(2hrs)  
 Case Study(CASE 4hrs)

**INSTRUCTORS**

Mr.Keith McGuire  
 Dr.Allen Parmet  
 Mr.Andy McMinn  
 Mr.Tom Anthony  
 Mr.Tom Anthony  
 Mr.Greg Phllips  
 Dr.Malcolm Brenner  
 Mr.Tom Anthony

**AIRCRAFT ACCIDENT INVESTIGATION COURSE**  
 AAI 20-2  
 December 9-20, 2019

TIME	Monday Dec. 9	Tuesday Dec. 10	Wednesday Dec. 11	Thursday Dec. 12	Friday Dec. 13
800 - 850	INV 1	INV 5	MED 1	LAB 1	INV 12
900 - 950	INV 2	INV 6	MED 2	LAB 1	INV 13
1000 - 1050	INV 3	INV 7	MED 3	LAB 1	INV 14
1100 - 1150	INV 4	INV 8	MED 4	LAB 1	INV 15
1150 - 1300	LUNCH	LUNCH	LUNCH	LUNCH	LUNCH
1300 - 1350	SMS 1	INV 9	MED 5	LAB 1	Presentation
1400 - 1450	INT 1	PHOTO 1	INV 10	LAB 1	Prep
1500 - 1550	INT 2	PHOTO 2	INV 11	LAB 1	Factors Human Factors

TIME	Monday Dec. 16	Tuesday Dec. 17	Wednesday Dec. 18	Thursday Dec. 19	Friday Dec. 20
800 - 850	TECH 1	TECH 5	LAB 2	SYS 7	CASE 1
900 - 950	TECH 2	TECH 6	LAB 2	SYS 8	CASE 2
1000 - 1050	TECH 3	TECH 7	LAB 2	SYS 9	CASE 3
1100 - 1150	TECH 4	TECH 8	LAB 2	SYS 10	CASE 4
1150 - 1300	LUNCH	LUNCH	LUNCH	LUNCH	LUNCH
1300 - 1350	SYS 1	SYS 4	LAB 2	TECH 9	
1400 - 1450	SYS 2	SYS 5	LAB 2	TECH 10	
1500 - 1550	SYS 3	SYS 6	LAB 2	TECH 11	

**SUBJECTS AND INSTRUCTORS:**  
 Investigation (INV 15 hrs & LAB 7 hrs & PHOTO 2 hrs) Mr. Keith McGuire  
 Medical (MED 5 hrs) Dr. Allen Parmet  
 Technology (TECH 11 hrs & LAB 7 hrs) Mr. Andy McMinn  
 Aviation Safety Management Systems (SMS 1 hr) Mr. Tom Anthony  
 Interviews (INTER 2 hrs) Mr. Tom Anthony  
 Systems (SYS 10 hrs, LAB 7 hrs) Mr. Greg Phillips  
 Human Factors (2 hrs) Dr. Malcolm Brenner  
 Case Study (CASE 4 hrs) Mr. Tom Anthony

**三、班級介紹：**

美國南加州大學(USC)航空安全、調查相關課程為國際航空之進修課程，開放國際航空專業自由報名參加，本班學員除美國本籍之 FAA、DEA、飛機製造商、Gulfstream 駕駛員、空軍、海軍飛行員外，也有來自英國、荷蘭、挪威、丹麥、台灣及烏干達等地之學員，合計 27 員。除授課外，還能有機會了解除美國之外國家的飛安調查運作情形，使調查知識之觸角能延伸至美國以外之地區。



四、課程概分為 Investigations(調查)、Technology(技術)、Human and Biomedical Factors(人與生物醫學因素)、Accident Investigation (conducted in a separate facility with actual wreckage) 事故調查(在分離的殘骸設施中進行實際調查)等四大項，認證與訓練課程詳述如下：

A. Investigation(調查)	Introduction and History Authority and Theory Principles of Investigation Initial Actions Site Safety On-Scene Investigation Procedures Investigation of Aircraft Fires Systems Investigation Technical Assistance Flight Data Recorders
B. Technology(技術)	Types of Material Failures Metal and Composite Materials Identifying Failures in the Field Understanding Aircraft Stability
B. Human and Biomedical Factors	Human Factors

(人與生物醫學因素)	Casualty Identification Aeromedical Role in Investigation
C. Accident Investigation (conducted in a separate facility with actual wreckage) 事故調查（在分離的殘骸設施中 進行實際調查）	Wreckage Observation/Familiarization Wreckage Examination/Documentation Investigation Organization at Accident Site Accident Site Hazards and Safety Investigative Group Interactions
D. Presentation(結業報告)	

A. Investigations(調查)共計 24 小時：

**1. Introduction and History 簡介與歷史：**

美國南加州大學 (University of Southern California) 創建於 1880 年，為美國西岸歷史悠久的私立大學，該大學於 1952 年創立航空安全計畫課程，也是美國所屬研究大學中第一個成立航空安全計畫課程之學府，授課教師均有豐富的經驗與專業知識，授課班次具有全球性及航空專業特性，學員來自不同國家、地區、背景及專長，而該校每年提供約 20 門相關課程培訓相關從業人員(約 1000 名)；另南加大航空安全學院一直致力保持安全管理系統領域上的領導地位，無論是理論或實務操作上皆然，學校的航空安全學院在新墨西哥州阿柏克基市郊外，擁有自屬的失事殘骸實驗室，許多失事飛機殘骸曾在此實施現場重建，現號稱是目前世界上最大的飛機殘骸實驗室。此次學院主辦之課程，授課地點位於美國加州(California)洛杉磯國際機場(Los Angeles Airport)附近之銀行商業大樓(City National Bank Building)，為期 9.5 天，授課內容主要針對航空器失事調查規劃設計，計有失事調查(Investigaion)、航空醫學(Medical)、航空技術(Technology)、安全管理系統(SMS)、訪談調查(Interviews)、航機系統(Systems)、人為因素(Human Factor)、案例實習(Case Study)等 8 項；授課講師均為具飛機失事調查經驗豐富之失事調查專家，其寶貴經驗可提供全球各航空界失事調查人員參考，增加專業知識及獲取新知，落實航空器失事預防工作。

**2. Authority and Theory 權威與理論：**



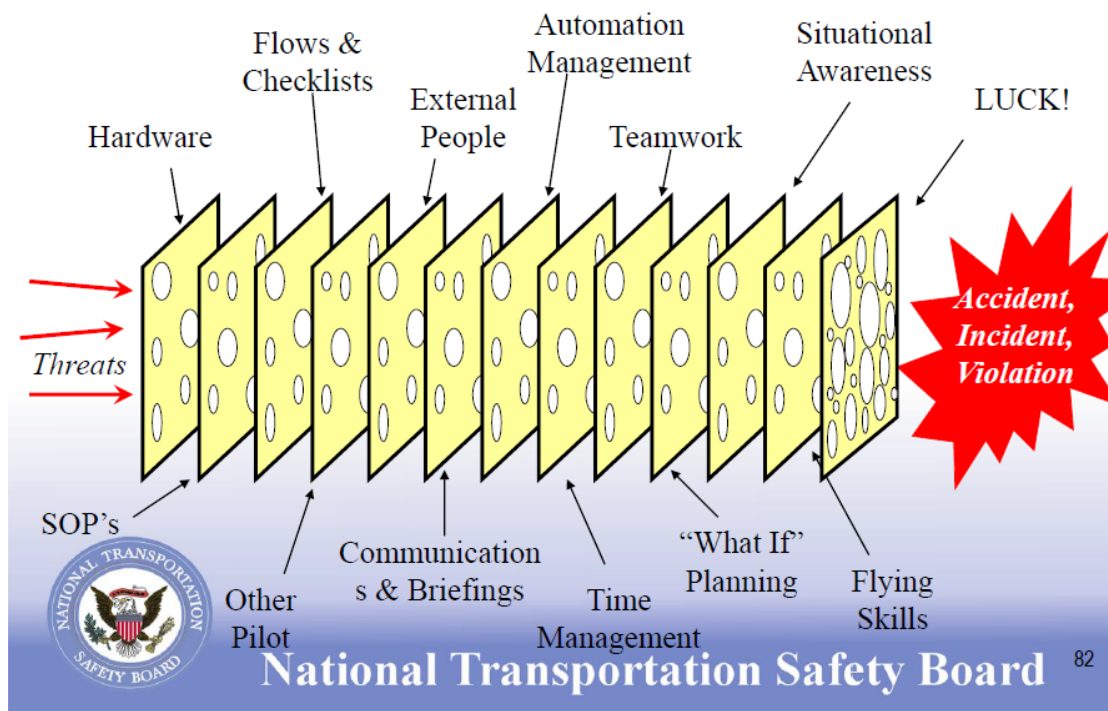
授課講師 Mr. Keith McGuire 基思·麥奎爾 於美國 NTSB(National Transportation Safety Board 國家交通運輸安全局)工作 28 年，從事多年調查教學工作，曾任 NTSB 西北地區總裁，於 2006 年退休，基思曾任美國空軍飛行員，擁有文學學士學位，物理學碩士，諮詢心理學碩士，並已完成哈佛大學的高級行政人員計劃。經驗相當豐富，Keith 特別提出調查的目的為找出失事確實肇因，進而提升飛安作為，而調查的定義則為數據及資料的獲得；藉分析數據並研判發生過程及原因的步驟，來完成報告撰寫。



學院飛安授課之理論中其中一項方式為，對於發生在機場地帶之事故，通常會利用空照圖或是等高線圖、航管資訊、機場燈光及無線電助導航設施狀況、及周遭地帶之建築物分布、分析之燃油樣品跟機場道面之檢驗結果報告等。如果是與火災及救援有關之事故，調查人員會進一步確認場站消防行動、反應時間、保全體制、通報時間、通報手段以及使用的滅火劑種類及用量。

最後將以上所有因素綜整、開始判斷從威脅到事故發生之各個環結，即如下圖之所謂『乳酪法則』中，各個階段存在可能疏忽而無法阻擋威脅的漏洞。並從飛操觀點來審視整個作業程序，從組員操作流程、手冊、訓練等等可能改善的方針下手，擬訂相關之飛安改善建議，以防堵相同的漏洞再次發生。

## Field Phase=Define the slices of cheese



事故發生之乳酪法則

### 3.Principles of Investigation 調查原則：

當事故發生時，通常發生在意想不到的時間與地點，現場總是一片混亂，不知該如何著手，掌握不到重點，往往因此而失去一些重要的線索及證據，所以該課程從經驗上累積一些在著手調查前，如調查組織的編組、調查員的遴選、人員的訓練及一些防護措施等所需要準備的事項，供我們參考，可立即反應的處理程序，在事故發生時，能夠迅速著手調查行動，儘可能與搜救工作能同步進行，找出事故確實肇因。失事調查部分之課程內容包括飛安失事之背景介紹、相關法規介紹、失事調查之準備工作、調查安全注意事項、調查相關細節及注意事項；如蒐證、人員訪談及證詞、飛航軌跡、飛機殘骸及撞擊點之判斷。同時介紹調查之分工及專業；如飛機系統、人機介面、飛行作業、維修作業、飛機結構、電器系統、火燒軌跡、電器系統、儀表、發動機及飛航紀錄資料之簡介。並對飛機失事重要影響因素如風切、失速、積水跑道、飛機結冰等現象。

### 4.Initial Actions 初步行動：

失事調查準備：

失事調查人員的編組：通常由政府部門主導，該事故發生單位配合調查，另外也會請飛機的製造商協助調查。成立調查委員會時，設立主委及代理人，其下區分機動小組與專案調查小組，採相互輪值以抄收事故信息與命令傳遞，專案調查小組依專業進行分組，其組織成員大略劃分為主任委員、調查官、飛行調查委員、修護調查委員、醫務調查委員、協調員及其他委員等，依各國國情再做調整。

失事通知檢查表：該表為在失事事故發生後，為能夠應有效迅速通知有關單位及調查人員，並作為失事通知之依據。內容包含被通知人員的住址及電話號碼、單位及其職務代理人姓名(職務、工作單位、職稱、工作單位電話、住址及電話)。

擬定失事調查計畫要項：如交通工具的安排、失事現場照相存證、各員作業檢查卡、失事調查箱、軍警單位通信支援及現場警衛及限制區畫分、殘骸存放規劃、殘骸重建計畫、各專業技術支援、失事搶救圖、失事新聞發布之政策與管制及調查演練等項目，並於「飛機失事調查計畫」擬定完成後，將計畫分送與失事搶救與調查之相關單位與人員。

飛機失事調查遵循原則：每一次失事調查均可增進對失事預防的知識與經驗，並有助於空、地勤組員人員訓練、修護需求，針對改良材料、設計等其他遠程效果，調查內容是否正確及完善，將影響失事預防的效果。

飛機失事調查作業區分：飛機失事調查範圍大致區分為航務調查、機務調查及醫務調查 3 大項，分述如后：

A、航務調查：飛行操作、飛機性能、機場設施、天氣環境方面、航路管制及通話紀錄、目擊者證詞等資料。

B、機務調查：飛機各系統修護紀錄及飛行紀錄器(Fly Date Record)。

C、醫務調查：機組人員生心理狀況、精神狀況、有無疾病及藥物影響、毒物影響、酒精影響、視覺與錯亂、飛行疲勞、缺氧及遺體解剖調查。

飛機失事調查箱(Go Bag)：工具包括工作手套、調查作業程序及檢查表、繪圖紙、筆記本、量角規一半圓分度規、量尺、圓規、各色粉筆與簽字筆、放大鏡、手電筒、地圖、小型手提錄音機或 V8 攝影機、照相機、手工具、方位測量儀與三角架、磁羅盤、捲尺、繪圖板、油類樣品採集瓶、標籤、小零件包裝紙、大小塑膠袋、牙醫用彎鏡、小刀、繩索、失事初報表、失事機飛行手冊、簡便外傷救護藥品等。

## 5.Site Safety 現場安全：

衛生防護措施：大部分事故發生時，難免伴隨人員傷亡，為避免殘骸、病(血)媒介感染疾病應採取的措施，如護目鏡、連身工作服、工業工作鞋、口罩、防護面罩等裝備。或因事故地點可能為惡劣地形，天候因素等影響應備妥通訊器材(手機及無線電)、雨衣、太陽眼鏡、水壺、膠盔、綁腿及腰帶等相關安全防護裝備。由於現今航空機體結構材料多為複合材料，當結構破壞斷裂或燃燒之後，容易產生極微細纖維穿入人體之毛細孔及其有毒性氣體物質恐將傷害呼吸系統，調查員應盡量避免進入這類環境，並注意以下之安全防護：若曝曬在「病(血)媒」的環境下，最常見的就是人體免疫缺陷病毒及肝炎病毒，除應知道其特性外、調查員還需要知道其感染途徑及去污染方法，保護自己並加以防護，避免於執行調查過程中遭受感染，影響自身安全及後續工作，穿著層級防護衣須依不同失事現場而調整，以確保自身安全，層級防護衣分類如后：

(1) 一級防護衣物：安全帽、連身工作服層級防護衣、綁腿及工作鞋等，以預防飛機殘骸尖銳金屬碰撞、割劃及穿刺等傷害。

(2) 二級防護衣物：連身帽式防水工作服、防水鞋、眼罩及口罩等，預防人體殘骸之病(血)媒感染，並在離開現場後立即予以銷毀拋棄，依美方的職業安全與健康標準提供調查現場調查員的安全標準，人員須先鑑識現場的危險性及程度，建立進出點以便管制，現場調查員應使用個人保護設備，並且律定進食、飲水及等規則，離開後防護裝備就予以銷毀或拋棄，所有攜入現場的裝備都應妥善保護(如照相機)，確遵安全考量需要，妥善準備及實施前置訓練。

## 6. On-Scene Investigation Procedures 現場調查程序：

### 現場調查：

航空器失事或重大失事事件發生後，失事調查委員會應指定調查員一員擔任主任調查官，並於接獲失事通知後派員(包括該事故航空器公司人員、民航局人員及飛機製造商人員)，儘速到達失事現場，展開初步調查作業，重點如后：

(1) 管制現場(Secure Area)：主任委員或代理人於現場自消防搶救指揮官接收失事現場指揮權責後，首先應檢查警衛部署警戒是否妥善及有無遺漏疏失，保持各項證據保持原狀，等待進一步之調查。

(2) 蒐集易受破壞或散失之證據(Collect Perishable Evidence)：儘速蒐集所有易遭破壞證據，如油料樣品、漏出的液體或散落的文件、地圖、圖表及相關飛行資料等，並給予編號，避免吹散或未經檢查即行消失，而無法蒐集之證據則進行拍照，如失事周遭環境相對狀況、撞擊痕跡等，避免可能因移動損壞或損傷證據後，誤導判斷。

(3) 訪談組員及目擊者證詞(Interview Participants and Witness)：趁目擊者與當事

人對失事印象為第一印象且記憶猶新時，避免未經他人影響或經與他人研討後，而改變先前所見的訪談證詞，目擊者證詞，為蒐證的重要工作。

(4) 巡查現場(Walk Thru)：其巡查重點如下：

- A、第一撞擊點的位置(巡查初始點)。
- B、判斷飛機撞擊方向與速度。
- C、判斷飛機撞擊姿態與撞擊角度。
- D、殘骸分布情形。
- E、失事現場相對環境與範圍。
- F、當時天候情況。
- G、損毀情況，如有無著火。

(5) 清點殘骸(Inventory)：

- A、由失事現場第一撞擊點開始，清點殘骸主體及主要組件：
  - (a)動力部分-發動機、螺旋槳。
  - (b)機翼及各操縱翼面。

- (c)機身、座艙、儀表、彈射座椅及起落架。
  - (d)燃油分布情形。
  - (e)其他，如各電線系路及裝備損毀情況。
- B、清點殘骸時如未發現殘骸主體或主要組件，則應格外注意該殘骸很可能為失事主要肇因。
- C、抵達現場時依飛機完整度，先行研判飛機是否於撞擊前飛機已解體及結構失效。
- (a)如兩翼翼尖均在現場，則可假定飛機撞地時，兩翼仍在機身。
  - (b)如現場尋獲機頭與機尾，則可假定飛機撞地時，機身尚屬完整。
  - (c)現場所見發動機完整無缺，螺旋槳葉片無短少，表示撞地前發動機未脫離飛機，螺旋槳葉片未於空中飛脫。
  - (d)各操縱翼面、起落架組件、座艙與彈射椅必須尋獲，其與殘骸主體之相關位置，可能有助於判斷係何種狀態失事，以及所需調查範圍。
- D、調查人員與清點殘骸時，應隨時繪製相關及相對位置圖表、作筆記、錄音或錄影相關位置及說明。以利後續能夠詳盡正確畫出殘骸分布圖。
- E、因殘骸有時仍必須移動，無法保持原狀，為避免相關種重要證據消失，調查人員必須儘早了解失事現場情況及執行筆錄。
- (6) 失事現場照相(Photo)：建議以高畫素數位相機拍攝，相機規格需能夠遠近對焦，清晰拍攝所需觀察之全景與細微部分，如拍攝重點為失事現場全景、殘骸分布、地面撞擊情況（最初撞擊點至散布最遠的殘骸）、失事機殘骸主要組件及有用之物證撞擊痕跡與現象（發動機、螺旋槳及螺旋槳撞擊地印痕、機翼及各操縱翼面、機身及座艙儀表板、機尾及各操縱面、起落架組件、重要機件或零件故障情形、起火情形、燃油流布區域及地面財物損毀情形等）。
- (7) 失事現場圖測繪(PRAW)：失事現場繪製應包含失事現場圖、失事現場場景圖及殘骸分布圖等，分述如下：
- A、失事現場圖(Location of Accident Site)：主要功能為指示飛機失事地點與附近周遭環境相關位置及距最近機場方位與距離，適當比例尺地圖為1/5000至1/25000，依殘骸散布情況來選擇，將重要地標、主要道路交通線、城鎮、山岳、河川及橋樑等先行簡扼標明，並註明指北方向，再標註飛機撞擊位置及軌跡路線、各殘骸散布位置，飛機最後位置、參考地標、助航設施、目擊證人位置、高壓電塔、地面刮痕、地面軌跡、撞擊方向、參考河流、道路、管線、燃油流布區、火燒區域、機場跑道、滑行道、撞擊坡面及起降場地等。
- B、失事點場景圖(Scene of Accident Site)：將失事現場及附近有關地形、地貌及特殊地標等，更詳實地按比例繪出，如飛機失事時飛行軌跡、各撞擊點、各點及地面拖行的軌跡距離、主要殘骸位置、現場目擊證人各所在位置等資料一一繪出，使失事現場場景能夠依事實呈現。

C、殘骸分布圖(Wreckage Distribution Diagram)：主要功用為顯示飛機殘骸分布情形，殘骸分布圖無標準模式，以能清晰描繪殘骸分布情形為主，重點如下：

- (a)飛機觸地及後續各撞擊點。
- (b)航向及飛行軌跡。
- (c)主要殘骸及組件位置；如發動機、螺旋槳、各操縱翼面、起落架、座艙、及其他裝備等。
- (d)螺旋槳或飛機撞擊地所造成之痕跡。
- (e)死亡或受傷人員位置。
- (f)殘骸破片散布情形。

#### 4、蒐據：

證據可概分為二大類，即人證與物證，分述如下：

A、人證(Witness)：

- (A)專業人員(Expert Type)
- (B)目擊者(Eye Witness)
- (C)其他證人(Other Witness)

B、物證(Material Evidence)：

- (A)飛機殘骸零件(Parts)：包含飛機結構組件、動力配置系統、電氣、儀表、液壓、氧氣、空調系統、助航裝備，通信電子、燃油系統、滑油系統、液壓油系統及液體等。
- (B)失事現場位置(Position)：證據必須記載詳細之失事地理位置、地形地貌(如山、湖、坡地、濕滑地面、雪地等環境情況與天氣情形、分布圖及照片)等。
- (C)文件紀錄(Paper)：應包含飛機及發動機紀錄，裝備補給紀錄、修護紀錄及相關法令、規定、指示、公告、飛行計畫、通話紀錄及飛行員訓練紀錄、講評、日記等文件，應一併蒐集齊全。

### 7. Investigation of Aircraft Fires 飛機起火調查

如何判斷火災發生於空中飛行階段或撞擊地面後產生？

如果發生火災，是飛機失事的原因還是結果？

如何調查及研判火災發生的位置？

調查人員需要具有飛機起火（飛行中/後撞擊）的一些基本知識。

第一首先熟悉飛機上有哪些可燃物：

A類-可燃物，例如木材，布料，紙張，橡膠和類似材料、B級-可燃液體，氣體，油脂和類似材料、C類-通電的電氣設備、D類-易燃金屬，例如鎂和鈦。上述可燃物燃燒後因溫度造成顏色變化，如鉻酸鋅油漆底漆在 450°F 時開始轉變為棕褐色，在 600°F 時呈現為深褐色，在 700°F 時呈現為黑色。不銹鋼會從溫度 800°F -900°F 開始，由棕褐色變為淺藍色，再從深藍色到黑色，隨著溫度升高而變色。

鈦隨著溫度的升高而從棕褐色變為淺藍色，從深藍色到灰色。

第二追查飛機可燃料來源：燃油－發動機，燃油管，燃油箱，燃油孔(了解飛機燃油之燃點)。液壓油－飛機，發動機(了解液壓油、滑油燃點)。電池氣體－飛機電池。貨艙－機艙（貨物可以同時包含燃料和氧化劑）。廢料－廚房，廁所。

第三找出飛機點火來源：飛機－APU，制動器，加熱器，泵，車輪。電氣－電弧，火花，鍵合/導線故障。發動機引氣系統，排氣，內部組件故障。靜電－異種材料的接觸和分離。電擊－粘合結構不當。

第四再觀察殘骸是否完整，飛機殘骸全部組合妥後，可能立即可看出某一破損表皮之刮痕、皺紋或煙火痕跡，在另一破片上亦有可相連之痕跡，此即表示該兩破片在破碎分離前，此一痕跡必已先行存在，如重新組合作順利的话，除可查出表皮上之痕跡，為由何物及自何處造成撞擊，自煙火痕跡追蹤火源外，亦可查出飛機撞擊地解體破裂時，各組件相互碰撞情形。

A、如何判斷飛機於飛行中發生火災的方法：

熱強度－高溫 (> 3000°F) 或低溫 (<2000°F)

火災模式-水平（與飛行方向相反的圓錐形）或垂直（向上與圓錐形）

煙灰模式-水平（與飛行方向相反的圓錐形）或垂直（向上的圓錐形）

如果在氣流順流中，可能會導致溫度超過 3000°F，可以熔化鋼部件（2700°F）。

產生水平流型煙霧－煙灰和飛濺物隨風流而沉積（注意：煙灰不會粘附到溫度高於 700°F 的表面上）。

通常局部化-鉚釘和折斷的邊緣可以提供線索。



B、如何判斷飛機於撞擊後起火的方法：

飛機撞擊後起火燃燒溫度遠低於飛行中機上火災；除非存在強風或金屬火(鎂)，否則通常低於 2000°F，只能熔化易延展的成分如 (Al、Mg) 鋁、鎂。

撞擊後產生垂直流型濃煙 - 煤煙上升，熔融物料沉陷，可以覆蓋大面積，鉚釘和斷邊可以提供線索 (例如，窗玻璃)。



#### 8.Systems Investigation 系統調查

Normalization of Deviance(執無常為常)

- To people outside an organization, the activities seem deviant; however, people within the organization do not recognize the deviance because it is seen as a normal occurrence.
- In hindsight, people within the organization realize that their seemingly normal behavior was deviant



挑戰者號太空梭災難 (Space Shuttle Challenger disaster)

挑戰者號在 1986 年 1 月 28 日當地時間早上 11 時 38 進行的第 10 次太空任務，



因為右側固態火箭推進器（Solid Rocket Booster, SRB）上一個 O 形環失效，導致一連串連鎖反應，在升空後 73 秒爆炸解體墜毀。當時機上的 7 名太空人，全在該次意外中喪生。

這次災難性事故導致美國的太空梭飛行計劃被凍結了長達 32 個月之久。同時美國總統隆納·雷根下令組織一個特別委員會——羅傑斯委員會，負責此次事故的調查工作。羅傑斯委員會發現美國國家航空暨太空總署的組織文化與決策過程中的缺陷與錯誤成了導致這次事件的關鍵因素。

他們發覺自 1977 年開始，NASA 的管理層事前已經知道承包商莫頓·塞奧科公司所設計的固體火箭推進器在 O 型環處存在著潛在的缺陷，但卻未曾提出過改進意見來妥善解決這一問題。他們也忽視了在當天清晨時，工程師對於低溫下進行發射的危險性發出的警告，且未能充分地將這些技術隱患報告給他們的上級。最後羅傑斯委員會向 NASA 提出了 9 項建議，並要求 NASA 在繼續太空梭飛行計劃前貫徹這些建議。

## 液壓系統--聯合航空 232 號班機

在 1989 年 7 月 19 日，一架飛行此班次的道格拉斯 DC-10 三引擎廣體客機之二號引擎（位於垂直尾翼基部）因為扇葉材料的瑕疵，葉片斷裂且斷裂後射出的碎片損壞了機上為數共三套的液壓系統，導致各翼面的控制功能失效。在無操縱面工作的情況下，機組人員在原本坐在客艙中的一位非值勤飛行員之協力下，靠著控制僅存的 2 具引擎調整飛行方向及高度，嘗試讓班機在愛荷華州蘇城緊急迫降。事故之後對於渦輪葉片的製造與檢查，甚至未來飛機的設計都有新規定，以防止或降低操控系統同時失效的機會。

## 艙壓系統--太陽神航空 522 號班機

太陽神航空 522 號班機，是一架於 2005 年 8 月 14 日，由塞浦勒斯經希臘雅典轉飛捷克布拉格的太陽神航空波音 737-31S 客機，這架飛機在 2005 年 8 月 14 日，在雅典東北方墜毀，機上 115 名乘客及 6 名機員全部罹難。

飛機起飛不久，飛行員就報告說空調系統出現問題，10 時 30 分與地面失去聯繫。11 時 18 分希臘空軍派出的兩架 F-16 戰鬥機飛行員在 34,000 英尺高空發現飛機，並看到班機副機師趴在駕駛艙的儀錶板上不省人事，而另一名駕駛員不見蹤影。但駕駛艙內有另一個身份不明的人士正在試圖操縱飛機。12 時 04 分，飛機的兩具引擎陸續因燃料耗盡而停止運轉，最後墜毀。機尾首先觸地，機身翻滾了 500 米後停下，除了機尾及駕駛艙尚保持完整外，全機已成為碎片。

據調查報告指，出事的飛機曾在事故發生前因為空調系統故障而進行維修，飛機工程師做完機艙加壓測試後，忘記把加壓開關從「手動模式」轉回「自動模式」，而飛行員未有察覺。

調查結果歸咎正副駕駛在客機起飛 13 分鐘時最後一次與地面聯繫後(engineer 曾問機長開關是否置於 AUTO 位置)，就因缺氧而喪失判斷能力或甚至昏迷。不論

如何，自始至終正副機長兩人都一直以為系統警示聲，是起因於起飛外型警告所造成的，而不知道加壓裝置沒有正確置於自動位置，最終令機組員沒法及時阻止事故發生，並導致希臘史上最嚴重空難。

直接肇因

- 在執行飛行前程序，引擎啟動前檢查表和起飛後檢查表的程中，未能識別出機艙增壓模式選擇器處於 MAN（手動）位置。
- 無法識別警告和警告啟動的原因（機艙高度警告喇叭，乘客氧氣面罩展開指示，主要警示）。
- 由於缺氧導致飛行人員喪失能力，導致透過飛行管理系統和自動駕駛繼續飛行，直到燃料用盡和發動機熄火以及飛機最後撞擊地面。

潛在肇因

- 航空公司在組織品質管理和安全文化方面存在缺陷。
- 監管機構未充分履行其安全監督職責。
- 組員資源管理原則的運用不足。
- 製造商針對特定類型飛機先前發生的增壓事件所採取的措施無效

## 9. Analysis and Report Writing 分析報告撰寫：

先由專業分組調查於事故現場所蒐集之證物、證詞及事故發生相關事實，以及後續調查、測試及實驗結果；專業分組召集人再著手撰寫事實報告並於呈遞報告後，立即開始編寫分析報告；於各專業分組陸續完成其分析報告後，主任調查官整理各專業分組所報告之重要事故分析、結論、建議等大綱，將全案調查報告可能需陳述之大項摘要列出研討，並針對未來報告審查方式、參加人員等提出所需方案。

飛機失事調查報告通常是團隊分工合作而成；為了讓團隊分工合作有效運作，團隊必須通盤了解終結報告是怎麼一回事，並且了解自己所擔負的部分如何與整體報告相容，在執行調查工作前就應該了解報告格式，否則自行其事的結果是難以整合出一份前後呼應的報告，而任何飛機失事調查的產品就是報告，無論報告撰寫的如何出色生動都不足以掩飾一個失敗的調查，但一個失敗的報告撰寫卻足以毀掉一個出色的調查。

(1)報告封面及內容：封面內容包括報告種類、事故描述、航空器使用人或所有人、製造商、機型、註冊號碼、發生日期與地點及報告日期。摘要報告包括事故經過、調查結果、事故可能肇因、間接因素、飛安改善建議、失事調查機關與協同調查代表及法源依據等，以下為報告本文內容之事實資訊所含細目：

- A、飛機相關資料。
- B、飛航相關記歷。
- C、飛機損壞情況。
- D、其他損壞。

- E、人員資料。
- F、人員傷亡情況。
- G、天氣資料。
- H、通訊內容及記錄。
- I、場站資料。
- J、助航設施。
- K、飛航紀錄器。
- L、航空器殘骸及撞擊資料。
- M、醫療及病理資料。
- N、火災。
- O、生還因素。
- P、測試及研究。
- Q、補充資料（組織與管理）。
- R、有用或有效的調查技術。
- S、概要：飛機失事通報、調查權責確認、合格的調查代表、調查機構、公布調查報告的權責、公布日期以及導致失事意外的簡要報告。
- T、分析：針對事實資訊分析。
- U、結論：研判失事可能肇因。
- V、飛安改善建議。
- W、附件：
  - (A)機組員資料及紀錄。
  - (B)飛航資料紀錄器紀錄資料。
  - (C)通訊紀錄譯本。
  - (D)相關的維修紀錄。
  - (E)飛航計畫、重量及平衡資料。
  - (F)手冊及技令上的相關頁次。
  - (G)調查的技術及工程報告。
  - (H)地圖及繪圖。
  - (I)可公開的說明及證詞。
  - (J)照片。

(2) 報告的品質控制：如果飛機失事調查報告的品質不足以支持結論與建議，這份報告很可能會遭到拒收的命運，而且也無法發揮其預防未來再次發生類似失事意外的功能，調查員只是浪費他們的時間，更遑論所投注於調查工作的經費，如果報告內容及其邏輯有瑕疵，那遭受批評、質疑及攻擊就是可以預期的，所以從事飛機失事調查報告撰寫工作的人都應該謹記在心，以下所列為原則性考量：

A、以讀者角度為考量：讀者沒有目擊失事現場看到實況，也可能缺乏專業知識背景，如果能以邏輯性及系統化的步驟來引導讀者，在讀者閱讀完整的報告後，預期讀者也能夠如同目睹現場親身經歷調查過程一般；如果需要增列名詞字彙或

縮頭代碼索引，務必列出並附在附件中，讀者可以隨時比對查詢，可有效協助讀者閱讀報告。

B、自我審核報告：一個最佳的自我審核方法就是「逆向閱讀法」，由確認「飛安建議」開始，飛安建議是否符合「結論」內容？結論是否由「分析」結果所獲得？藉此分析是否根據失事調查所發現事實或調查員合理的專業推論來進行，最後一個審核步驟還要確認沒有遺漏任何調查所發現的事實，否則一定引發爭議及質疑。

C、數據報告：數據報告的格式因不同國家及調查機構而異，可能由調查員自行制定，有助於數據蒐集，也可能由電腦程式制定，有助於輸入電腦進行分析，有時候這種類型的技術報告並不容易運用，全靠調查員的數據蒐集能力以及資訊人員可以正確的輸入數據，使兩者相輔相成；在現今資訊科技發達的世界中，如果要求蒐集飛機失事的所有可能數據，基本上並不容易達成，所以經常必須思考那些數據資料才是調查工作所必需的，例如空中碰撞事件，蒐集飛機的發動機數據可說是浪費時間，所以蒐集過多的無用數據反而妨礙未來的分析工作。

(3) 安全建議：安全建議是飛安失事調查後的積極行為，然而一項安全建議用字是否合宜，對於安全建議事項的接受程度及執行狀況是具有關聯性的，調查的結果及安全改善建議，應是要實際可行的，而所提之建議亦應注意執行者執行改善能力及能夠查核執行之程度。

## 10. Flight Data Recorders 飛行數據記錄器

### A、適用的飛行記錄數據：

FDR（飛行數據記錄器）包括數字飛行數據記錄器（DFDR），固態飛行數據記錄器（SSFDR）和通用飛行數據記錄器（UFDR）。有關 FDR 資料讀取和錄製的程序其法律和政策通常適用於機上記錄的所有航班數據。在事故或事故發生後恢復的任何事件數據事件，被賦予資料數據相同的保護和安全性。殘骸中發現的任何磁性磁帶或數位晶片可能包含飛行數據，並且應由安全委員會人員保護。

B、FDR 數據：資料讀取和資料取得：

FDR 包含高度敏感的材料，經授權擅自發布信息，為安全委員會的僱員紀律處分的依據。其他安全委員會 IIC 和研究與工程及航空安全辦公室工作人員，可以及時讀取 FDR 數據，以幫助在調查的現場部分。

C、FDR 資料恢復：從現場到 FDR 實驗室：

接到在事故或事件的通知後，IIC 考慮到 FDR 可以記錄至少 25 小時航班信息，與記錄儀部門的主管協商確定記錄信息的相關性是必要的。

D、以下信息需要應盡快記錄，以方便數據讀取：

事件描述（飛行階段，事件類型）、飛機類型、航班編號、航班行程、事件發生後的飛行次數（如果未立即移除記錄器）、事故/事故發生時的本地高度表設置、事故/事故現場的、先前起飛的位置，使用的跑道和標高、起飛時的本地高度表設定值、出發時間，協調世界時（UTC）、事故發生時間（UTC）、事故現場條件可

能會損壞錄音機（火災時間，燃料類型等）。

E、FDR 在裝運前應適當標記和標識（包括聯繫人姓名和電話號碼），如果水下定位信標（ULB 或 “pinger”）有任何可見的損壞，在運輸之前應將其移除，處理損壞的信標時要小心。

F、FDR 單元不得被篡改或打開，且 FDR 不得在現場讀取或下載並且記錄介質不得取出（即磁帶或記憶卡），直到到達錄音機實驗室（即用硬紙或泡沫紙包裹的紙板或木箱內部或裝滿泡沫顆粒的容器中，必須保護 FDR 安全運輸的方式運送到安全委員會，如果 FDR 在水中回收，則應立即將其包裝在水中（乾淨的水）不允許變乾，可以使用密封袋或矽膠類似材料的塑料飲料容器，適當包裝 FDR。



## B. Technology(技術)共計 11 小時

本課程以物理結構受力產生之現象去探討失事調查的方向，從殘骸中找出各結構受損的情形，研判當時飛機可能撞擊的角度與姿態，並分析是否為飛機機械故障或人員操作不當，肇致飛機結構受損等，授課重點如后：

Types of Material Failures 重大故障的類型

1、飛機結構調查：主要調查飛機失事是否與飛機構架或其組成件結構損壞，過程必須對全部殘骸及細微末節作澈底之研究與判別，特別是機齡老舊的飛機。由於金屬腐蝕問題及長期使用，其主要構架或次要結構體、接頭、配件及其他組件極易產生材料疲乏或故障損壞，如未仔細調查，其失事之真正原因不易發現，飛機因結構失效在飛行中解體與飛行員操作不當墜毀，兩者之間有時甚難區別，故在調查過程中，必須與其他資料核對，特別於初期階段、飛行經過、一般氣象

狀況、飛機性能、型別及操作時所受空氣負荷量等知識，將可協助決定失效之範圍，同時必須參考該機修護紀錄及使用經歷，參考飛機製造圖、同型號及同批之其它飛機，檢查結構零件、系統組合件之修改及拆卸是否與失事有關，對調查工作而言，重點置於零組件失效原因，情形如后：

- (1) 應力超限：如果作用在零組件上的作用力超過原本設計所承受的應力，就會造成應力超限，其概略可以區分為飛行員不當操作所造成之應力超限、天氣造成之應力超限及亂流造成之應力超限。
- (2) 應力未超限：如果作用在零組件上的作用力並未超過原設計所承受的應力，卻仍然發生失效情形，其概略可區分為製造錯誤（零組件的製造未達原設計規格）、修護或改裝錯誤（有些零組件在進行修護或改裝，其產品壽限已經使其強度產生變化）、承受負荷能力降低（經一段使用時期後金屬零件可能發生鏽蝕或因金屬疲勞發展為裂痕）。
- (3) 空氣動力應力超限：因空氣動力的原因使得一個完備的零組件因局部超過其設計應力，零組件就可能發生失效情況。

## 2、航空金屬材料失效鑑別與分析

金屬失效主要分為：

瞬間式失效包含：塑性斷裂失效及脆性斷裂失效

漸進式失效包含：疲勞失效、腐蝕失效、磨損失效、蠕變失效

A、塑性斷裂(瞬間式)失效：當構件所承受的實際應力大於材料的屈服強度時，將產生塑性變形，應力進一步增大，就會產生斷裂，稱為塑性斷裂失效。

B、塑性斷裂的特徵：在裂紋或斷口附近有宏觀塑性變形，或者在塑性變形處有有裂紋出現；塑性斷裂的一種典型斷口是抗拉試樣的杯錐狀斷口，杯部呈纖維狀特徵，錐部呈淺灰色的光滑區，並與杯部或 45 度角。塑性斷口微觀形態主要為韌窩。根據韌窩的形狀可分析斷裂時所受應力的性質，如韌窩為等軸，受正應力作用，如杯錐狀斷口的杯部。韌窩為拉長呈方向性，受剪切應力或撕裂應力作用，如杯錐狀斷口的錐部。(如下圖所示)



C、塑性斷裂的原因：通常情況下塑性斷裂是由於外應力超過材料的屈服強度所致(材料強度過低或超載)。

脆性斷裂(瞬間式)是指斷裂前幾乎不產生顯著的塑性變形。

脆性斷裂：按裂紋擴展的路徑分為穿晶脆性斷裂和沿晶脆性斷裂。

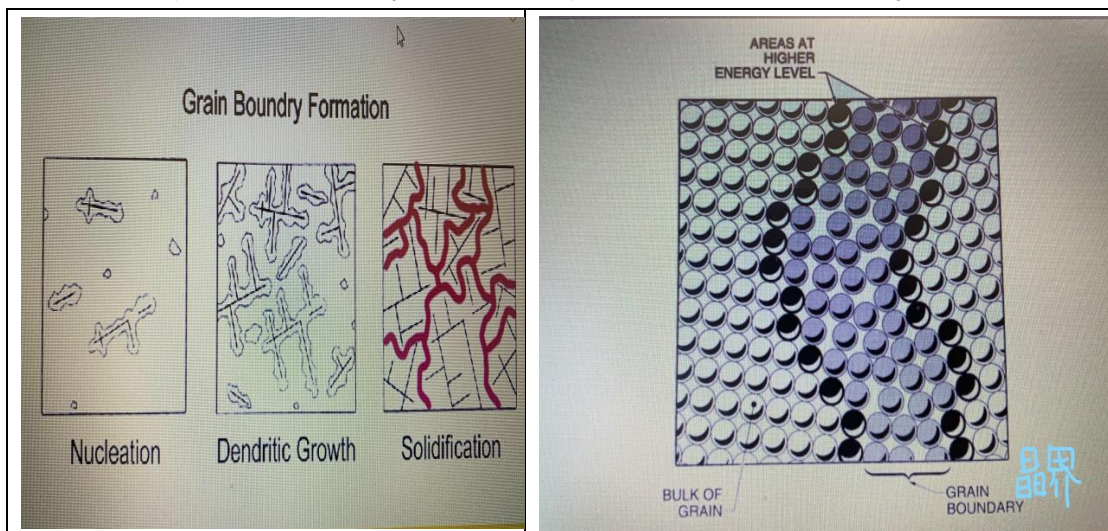
穿晶脆性斷裂：解理斷裂是穿晶脆斷的一種常見的主要斷裂方式。

解理斷裂：是指在一定的條件下，金屬因受拉應力作用而沿某些特定的結晶學平面發生分離。

沿晶脆性斷裂：裂紋沿晶粒介面擴展而造成金屬材料的脆斷稱為沿晶脆性斷裂。通常晶界是強化的因素，即晶界的鍵合力高於晶內，只有在晶界被弱化時才會產生沿晶斷裂。

晶界弱化的基本原因：材料本身或環境介質或高溫的作用(如下圖所示)

晶界的形成(Grain Boundary formation) 晶界 Grain Boundary 的原子微觀



晶界弱化的基本原因：材料本身或環境介質或高溫的作用

晶界沉澱相造成的沿晶斷裂：由晶界的夾雜和第二相沉澱所造成的，晶界上的

析出相通常是不連續的，呈球狀、棒狀或樹枝狀，晶界沉澱相越多，斷裂應力越低。

雜質元素在晶界偏聚造成沿晶脆斷：如 Ge、Sn、N、P、As、Sb、Bi、S、Se、Te 等。低合金鋼的第二類回火脆性（合金鋼在回火後慢冷或在 375~560°C 等溫產生晶界脆化和沿晶斷裂）。

金屬材料失效鑑別表

本次課程於目視或十倍以內學儀器範圍

Instantaneous		Progressive				
Mode Exam	Ductile	Brittle	Fatigue	Corrosion	Wear	Creep
Visual Up to 10x	*Dimension gaps to separation *Check *Crack, stress fracture *Clear lips	*Very little deformation *Fan fracture *Small shear lips *Cracks, fine mark *Shear effect *Impact effect	*Two main fracture *Checkmarks *Cracks *Cracks marks *High stress/low cycle *Low stress/high cycle	*Cracked surface *Damage *No indication of all *No sensitivity of SS *No SCC of AAS	*Abrasive wear *scratching, gouging *Adhesive wear *break in, scoring, pitting, scoring	*Crack tests *Crack tests *Long term stress rupture, oxidation *Fatigue, brittle cracks *overload zone ductile *enlarged line
Microscopic Up to 1000x	*Cracks stretched along fracture plane *Cracks locally work hardened *Fracture across the grain	*Cracks not deformed *Fracture intergranular or cleavage	*Fatigue part of fracture is straight across the grain *Possible defect at origin	*Intergranular vs. transgranular path *Effect of surface attack, contour, etc.	*Nature of embedded particles *Amount of material to be made *Amount of material worn away	*Crack features *Intergranular *Grain boundary *Inclusions and cracks
Scanning Electron Microscope Up to 20Kx	*Fracture surface usually smooth *Angle less than 90 degrees *Fracture across the grain	*More granular fracture *Fracture appears like rock candy *Cracks fracture appears like numerous fan shaped phases	*Fatigue striations often seen at 1000x *Cracks fracture appears in parallel with the grain *Nature of origin can be identified at 1000x	*Intergranular vs. transgranular path *Nature of attack to surface *Chemical analysis by EDS	*Nature of embedded particles *Surface appearance at high magnification *Chemical analysis by EDS	*Surface details at high magnification *Nature of film on crack fracture
Confirming Tests	*Metal test at fracture test for impact test for impact test for impact test	*Crack impact at fracture test for impact test for impact test	*Crack test test for impact test for impact test	*Fracture test test for impact test for impact test	*Fracture test test for impact test for impact test	*Crack test test for impact test for impact test

環境介質侵蝕而引起的沿晶斷裂：高強度鋼的氫脆、應力腐蝕。

高溫下的沿晶斷裂。

### 3、飛機結構失效調查調查項目表：

- (1) 儘可能研判各種非撞地損壞部分所形成破損斷裂之原因。
- (2) 研判飛機之載重與重心。
- (3) 核對該機實際載重物重量及載重物固定之方法是否與技令規定符合。
- (4) 檢查起落架與機艙之位置與情況及其操縱手柄位置，是否有故障或失效之跡象。
- (5) 檢查各操縱翼面與配平絞鏈及結構。
- (6) 檢查配平使用位置。
- (7) 設法找到並縝密檢查操縱面與配平鋼繩、滑輪及連桿轉矩管等，是否有卡位、折斷或連接不當、碰擦或其他缺點。
- (8) 座艙與發動機滅火機曾否使用。
- (9) 儘可能實施殘骸重組，研判飛機解體之順序。
- (10) 儘可能尋覓遺失機件，特別是無法在現場尋獲之操縱翼面，主要組件。
- (11) 記下座艙內各操縱手柄位置，並攝取照片，如疑為撞地衝擊力而造成之操縱柄不正常之指示位置，應加以說明。
- (12) 檢查各電路斷電器與開關位置與情況。
- (13) 檢查氧氣系、氧氣瓶、管路接頭及調節器等情況，是否有不正常或缺氧現象。
- (14) 檢查除冰系統。
- (15) 檢查座艙壁及地板情況，有無空中爆炸可能，如有空中爆炸跡象，艙壁及地板將遺有爆破之痕跡。
- (16) 檢查風擋、側窗玻璃有否裂痕。



(17) 檢查有無空中鳥擊之跡象。

## Metal and Composite Materials 金屬及復合材料

常見失效情形：飛機結構組零件金屬材料斷裂時，由於其所受負荷不同，而呈現出各種不同特性(如彎曲、壓縮、拉伸、剪切及扭轉等)，說明如后：

1、彎曲失效：材料彎曲損壞，通常均由拉伸應力與壓縮力之合力所造成，在分析一項純粹的彎曲損壞時，應注意金屬裂紋橫切面上所承受的軸應力，如該金屬橫斷面上的材料穩定性夠大，不致於因壓力而發生翹曲變形時，則損壞是由於拉伸應力所造成，在這種情況之下，如該金屬結構件係鋼脆性材料，則其斷裂的發生是以拋物線的方式進行，斷面與主要的拉伸應力方向呈垂直狀。

2、壓縮損壞：壓縮應力所造成之各種材料損壞，在本質上與結構件之穩定性有關，各種金屬結構件中，其材料所能承受壓縮應力之各種限度通常很難達到，因此在結構件中焊接及壓縮部分，因壓(應)力而造成的損壞不易顯現，如壓縮應力超過材料負荷限度，各種不同性質材料，將產生不同之失效特徵。

3、拉伸失效：分析拉伸應力所造成之各種失效損壞，必須考慮金屬材料之可延展性與鋼脆性，因二者所顯示之失效型態截然不同：

A、中度可延展性圓形材料受拉伸應力失效時，其斷痕成杯形，邊緣成 45° 光滑之切面，有縮小及內傾現象，中心斷痕則成拉伸型態，因材料結構與受力因素影響，斷痕邊緣時為塚狀之缺口。

B、高度可延展性材料受拉伸應力失效損壞時，斷痕可區分 2 部分，其一呈粗糙粒狀之拉伸型態區，另一部分則呈現出 45° 光滑之剪切型態面。

C、鋼脆性之圓形材料受拉伸應力失效時，其斷痕平整，且必然與拉伸應力方向成垂直，甚少有變形與歪斜之斷裂面，在飛機結構件中，純粹鋼脆之金屬可能不多，典型的鋼脆材料靜態超負荷所造成之拉伸應力失效，其斷面四周，常具有極細小之 45° 切面，在顯微鏡下，斷痕出現排列整齊之窩型旋紋。

4、剪切失效：分析剪切應力所造成之各種材料損壞，必須瞭解金屬材料所具有之機械性質及雙向剪切應力對角線上發生之壓縮應力，當剪切力加諸於可延展性的金屬件而發生損壞時，其斷面光滑且在斷面後有延伸情形，如屬鋼脆材料，則斷面後緣將出現 45° 粗糙之拉伸型態裂口，此乃剪切應對角線上發生拉伸應力的結果，無論可延展性或鋼脆性材料受檢應力失效時，其受力之前緣均呈現明亮之半月型剪痕，此為典型之剪切失效之特徵。

5、扭轉損壞：金屬材料受扭轉應力損壞，亦因材料本身之不同性質而分別呈現不同之斷面特徵，簡介如后：

A、可延展性金屬材料受扭轉應力損壞時，斷面光滑平整，具有剪切型態及不甚明顯之同心圓圈，此顯示損壞係由外而內，同時在材料軸心部位，呈現因扭力而造成螺旋型之突出斷痕。

B、鋼脆性金屬材料在受扭轉應力損壞時，其除斷面粗糙具 45° 之拉伸型態，斷痕有旋轉痕跡。

C、中空圓柱受扭轉應力損害時，與中空圓柱受彎曲應力損壞之特徵十分近似，且同樣具有  $45^\circ$  之拉伸失效特徵，其不同點為斷面具有旋轉痕跡，但無彎曲變形之現象。

6、金屬疲勞損壞：金屬疲勞通常係因機械經長時間承受往復或週期性之負荷力，使其局部受力處產生塑性硬化，首先在金屬切面轉換處產生裂紋（切面轉換處如孔口、螺紋、齒槽、工具刻痕、刮傷點及鏽蝕麻點等），此等切面轉換處由於應力集中，故極易產生疲勞裂紋，當機件繼續承受往復負荷力，疲勞裂紋區亦逐漸擴大，相對地機件受力部位逐漸縮減，應力則更為集中，如此因循惡化，超過其能承受之最大應力時，該機件則瞬間折斷。（如下圖）



## Identifying Failures in the Field 現場識別

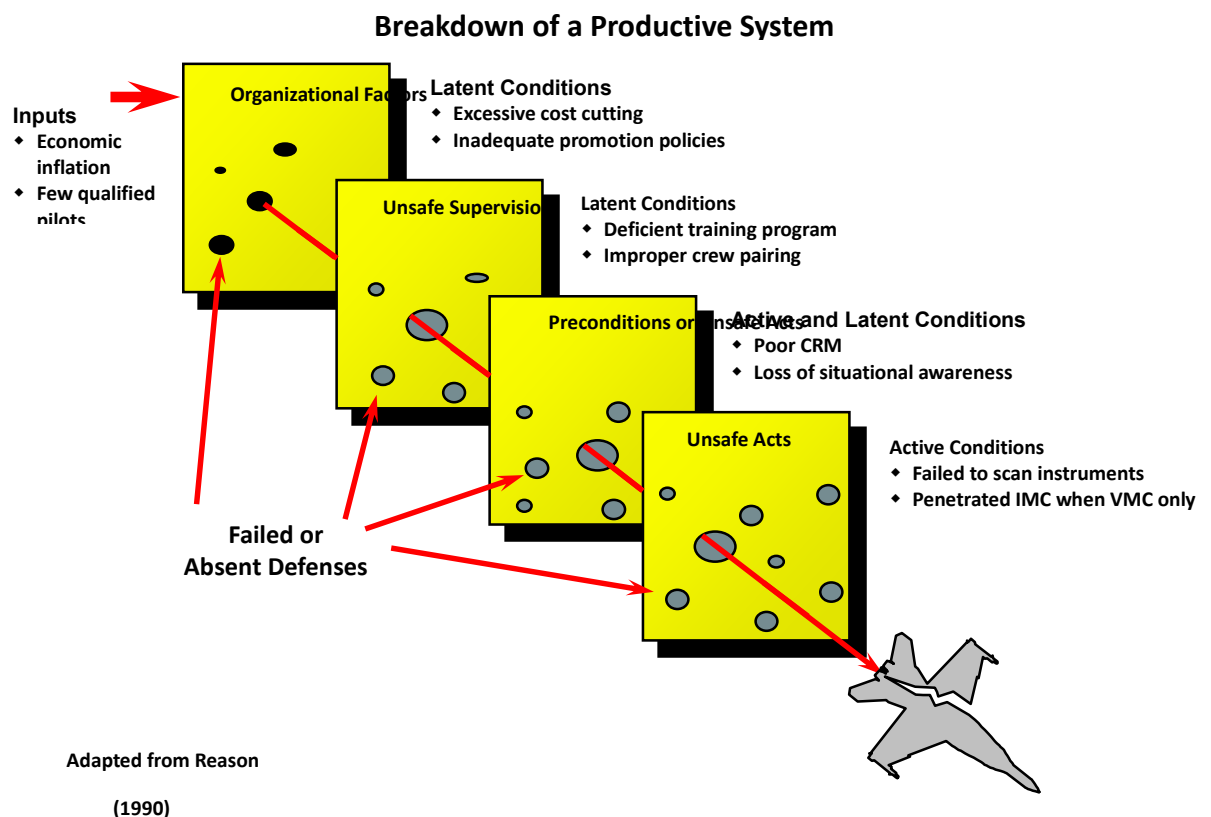
事故的分類，目前 NTSB 區分『重大』以及『地區性』事故主要依據事故機為民航運輸用途或是普通、私人用途，另外也依據事故規模做為判斷。而在事故或事件之判斷標準則包括：主結構是否損傷、人員傷亡或是具有危害飛航安全之虞、必須回報之事件。在重大飛航事故發生的初始階段，地區負責之 NTSB 地區辦公室與當地 FAA 辦公室需負責進行現場保全及出入管制，與第一時間現場單位合作，建立媒體連絡管道，保全紀錄器以及易消失證據，最後與 NTSB 本部協同作業。調查後續作業則包括：拆解相關零組件、訪談相關人員、空氣動力學分析及模擬、材料分析、系統測試、測試與研究，以及證物保存等。航機過去之維修紀錄也需要保存。而關於紀錄器儲存內容的處理方式上，FDR 資料通常是在調查團隊之間分享的，但 CVR 紀錄的內容必須嚴加保護，CVR 抄件之內容需要召開

確認會議確保大家均同意此一內容無誤，公聽會之前不得公布 CVR 抄件內容也發布且 CVR 聲音檔永遠不得釋出。此外，其他形式紀錄器，如影像記錄器(AIR)、QAR 等亦比照相關規定處理。

C. (Human and Biomedical Factors(人與生物醫學因素)、共計 2 小時

1. Human Factors 人為因素：

人為因素部分課程之重點為介紹人為因素於失事調查之重要性、飛行員及維修人員易犯之錯誤、督導人員易犯之錯誤、人為因素調查之方式、組員資源管理及人為失事肇因模式分析等。人為因素分析及分類系統(Human Factor Analysis and Classification System, 簡稱 HFACS) 係 Dr. Shappell 及 Dr. Wiegmann 延伸 Reason' s Model 所發展出來的一套分析工具，該系統維持 Reason' s Model 的架構及精神，因此 Dr. Reason 提出了起司模型(如下圖)。將事故調查結果做分



類，以具體的方式表達調查結果和人為因素的關係，HFACS 延伸此一概念，將事故調查有關人為因素的調查結果，如駕駛員疏失、組織因素、人因設計、醫學與病理、組員資源管理等，更進一步地歸納成下表中的 17 項類別，變成呈現出人為因素調查的架構，可藉由此一系統的 17 項因子做為人為因素事故調查檢查表(如下圖)，有系統地、全面地來探討人因的問題。HFACS 其實是一個分析的方法和統計的工具，可以用在操作分析方面，在維修、航管等方面亦可適用，利用科學的方式找出事故的原因，並預防事故發生，正是 HFACS 的主要目的。

<b>Human Factors Analysis and Classifications System (HFACS)</b>					
<b>R e a s o n ' s  M o d e l</b>	<b>Organizational Influences</b>	<b>Resource Management</b>		01	
		<b>Organizational Climate</b>		02	
		<b>Organizational Process</b>		03	
	<b>Unsafe Supervision</b>	<b>Inadequate Supervision</b>		04	
		<b>Planned Inappropriate Operations</b>		05	
		<b>Failed to Correct Problems</b>		06	
		<b>Supervisory Violations</b>		07	
	<b>Preconditions for Unsafe Acts</b>	<b>Standard Conditions of Operators</b>	<b>Adverse Mental States</b>		08
			<b>Adverse Physiological States</b>		09
			<b>Physical and Mental Limitations</b>		10
		<b>Standard Practices of Operators</b>	<b>Crew Resource Management</b>		11
			<b>Personal Readiness</b>		12
		<b>Unsafe Acts</b>	<b>Errors</b>	<b>Decision Errors</b>	
	<b>Skill-Based Errors</b>			14	
	<b>Perceptual Errors</b>			15	
	<b>Violations</b>		<b>Routine</b>		16
			<b>Exceptional</b>		17

1. Casualty Identification 傷亡鑑定：

初步醫學調查：初步醫學調查工作由最早抵達失事現場之醫護人員執行，通常是當地醫院或消防單位，但他們的首要工作是搶救人員生命並非失事調查，而且他們的行動可能影響後續調查工作的進行。當失事現場發生在機場或附近，緊急應變單位及計畫可以快速反應處理，如失事現場為市區或市區附近，也可獲得相對快速的處理，但如果發生在偏遠地區，初步醫學快速回應的可能性就很低。

法醫與醫療檢驗人員：法醫處理飛機失事罹難者人體殘骸的法定權責應非常明確，無論法醫是否曾經抵達飛機失事現場，法醫必須負責對罹難者出具死亡證明，所

以法醫非常清楚自己的權限，他們的專業及經驗可以明確判斷死亡原因者，而大多數國家是由法醫視情況決定，可能認為不需要進行解剖，但因失事現場的環境背景因素或其他證據遺留在罹難者人體殘骸上，而重大飛機失事可能有非常多罹難者，除了租借拖車式冰櫃保存人體殘骸外，還需要向其他醫療機構請求援助，因為無論是 DNA 檢驗或是進行解剖，都需要大量人力及時間。

人體遺骸鑑識：身分鑑別及認屍工作宜全由法醫負責，法醫分為兩組，一組尋找屍體特徵並記錄，另一組蒐集死者的背景資料，兩組資料核對無誤後，才能確認死者身分發交家屬領回，而鑑識工作由失事現場的人體及殘骸位置標示為起點，繪製發現位置圖並標示說明所見的相關資訊，建立一標示及編號系統配合繪製發現位置圖，所有的失事調查員都可能參與這項工作。

### 3. Aeromedical Role in Investigation 航空醫學在調查中的作用：

航空醫學調查 (Aeromedical Investigation) 一課對航空生理及醫學做了一個很完整的介紹，譬如各種高空缺氧症的原因和影響、空間迷向等，另外也有一些說明對於調查人員在現場可能會遇到的危險。

飛機失事有兩種主因，即人為過失與機械故障，在失事案例中，人員過失所佔百分率遠較機械故障高，而人員過失可區分為飛行員因素、其他空勤組員因素、修維護人員因素及督導人員因素等，其中飛行員因素佔人員過失大部分比例；另許多失事發生，係由人員未配合裝備操作規定之要求，此因素可能為身體、生理、心理或三者兼具，其各別之原因，必須予以發掘、分析、研判、並製作客觀而完整之報告，所需相關人員及步驟概述如后：

航空醫學調查員：航空醫學調查員執行調查工作與其他調查員都是由蒐集資訊開始，但是所著重的資訊內容不同，其所需如后：

(1) 失事殘骸現場、(2) 人體殘骸、(3) 目擊者證詞、(4) 生還者證詞、(5) 生還者檢驗報告、(6) 座艙人員家族病史、(7) 個人病史及醫療紀錄。

## D. Accident Investigation (conducted in a separate facility with

actual wreckage) 事故調查 (在分離的殘骸設施中進行實際調查) 共計 6 小時

### 1. Wreckage Observation/Familiarization 殘骸觀察/熟悉：

- (1) 儘可能在證據被擾亂搬動前到達失事現場，除搶救生還者外阻止殘骸不必要之處理或移動，確使重要證據能予以保留。
- (2) 找尋有無現場目擊人員，並記錄其姓名及住址，以利進行訪談，詢問事發當時狀況，來還原真相。
- (3) 找出失事現場殘骸及零件予以攝影、拍照並編號，以利後續調查。
- (4) 調查進行時，追查所有證據，不急於結論，應重複追查並驗證。
- (5) 分析所有證物及證據，詳細檢查，並不可將任何情況視為理所當然及主觀觀念產生，應客觀看待每一個可能性。
- (6) 為找尋失事真相。應追蹤每一可能之線索並予以綜合處理。
- (7) 訪查所有對調查失事事件有幫助之人員，不遺漏任何一位證人，只要有新

的發現，可進行重複訪談，以確保未疏漏任何細節。

(8) 保留殘骸或證物完整，直至調查結案為止。

(9) 調查未終止結束前，避免作不成熟之結論，造成媒體不實報導。



## 2. Wreckage Examination/Documentation 殘骸檢查/記錄/重建：

將失事飛機全部殘骸破片用拼圖方法(Jigsaw Puzzle)予以重新排列及組合，為調查結構失效、空中解體失事發生之順序，以及空中起火火源之追蹤，最有效的方法之一，殘骸重新組合之方法平面排列(Laid Out)及立體組合

(3 Dimention)，分別說明如下：

(1) 平面排列須先請技術顧問及對該型機有經驗之人員協助鑑定，確認殘骸破片應在之位置，依機頭、機身、機尾、標誌及油漆等按部位排列，並將已解體變形之各殘骸零件重新拼組成原來的形狀，確實有許多技術上的困難。

(2) 立體組合飛機殘骸則可利用活動架、支架及鋼纜等自屋樑上吊掛，或用鐵絲綁紮，將破碎之殘骸定位於木架或粗孔鐵絲網上。



(3) 飛機殘骸全部組合妥後，可能立即可看出某一破損表皮之刮痕、皺紋或煙火痕跡，在另一破片上亦有可相連之痕跡，此即表示該兩破片在破碎分離前，

此一痕跡必已先行存在，如重新組合工作順利的話，除可查出表皮上之痕跡，為由何物及自何處造成撞擊，自煙火痕跡追蹤火源外，亦可查出飛機撞擊地解體破裂時，各組件相互碰撞情形。

(4) 進行殘骸重新組合時，應參考飛機修護或結構改裝之經歷：

A、由於飛機機齡老舊，許多飛機構架及表皮歷經修補或改裝，如所用材料或修護品質欠佳，則可能影響結構強度及飛機重心，因而改變飛行特性，造成結構失效之因素，故由已知改裝紀錄，於檢查殘骸時，應特別檢查曾經改裝之部位。

B、核對操縱面限度與該型機規定之限度，如超越操縱面動作範圍時，可能使飛機於高速飛行動作時遭受過大的應力。

C、檢查操縱面時，應檢查所有配重或其他平衡裝置，因操縱面平衡裝置在飛行中喪失、安裝不當或裝配不均，均可能導致震動，進而影響飛機結構強度。曾經有結構失效之失事事件，失事原因為配重裝置不當。



### 3. Investigation Organization at Accident Site 事故現場調查機構

調查團隊則由 IIC 率領各個專業領域之召集人，包括：飛航操作、人為因素、空中交通管制、天氣因素、結構、飛機系統、發動機、機務、紀錄器、生還因素、場站、飛機性能以及材料實驗室等領域。

參與調查之協助成員包括：航空公司、監理機構或是航空器製造商等，由單一窗口統一協調，如下圖所示。透過參與相對應之專業分組，提供技術專業支援，必且得以針對事故中之調查發現提出與安全有關之提案，在法律上亦需要 FAA 共同參與調查。



現場的每日作業流程由事故現場的調查指揮中心管控，該中心並不同於消防救援單位所成立的事務應變中心。整個事故調查作業由調查組織會議開始，它將組成共同的調查團隊開始，規劃每日晨間工作，再由各窗口進行各單位提報，且當日工作結束後並進行當日的進度報告。

開始進入現場作業之後，各專業分組調查工作由分組召集人負責，不同分組之間透過單一窗口聯繫，並透過現場筆記( Field Note)逐一記錄在現場的事實發現，及規劃未來的調查方向，藉由各分組的進度提報以分享最新的調查進度及遭遇的問題。



#### 4. Accident Site Hazards and Safety 事故現場的危害與安全

接獲通報時應立即聯繫 FAA 當地的代表、機場場站人員、航空公司、當地的警察單位等，並通知飛機與發動機製造商。在事故現場必須注意可能的危害物質，包括：化學物質（液壓油等）、加壓之容器或輪胎、爆裂物（爆竹或火藥）、燃料/油品、複合材料以及煙塵等，另外還需注意血媒性生化物質危害，需依賴標定危害區域、穿著生化防護衣以及稀釋漂白水清洗以保護調查人員。對應充滿尖銳破壞構造物或是燃燒過的事務機艙內部，需要準備厚底防護鞋、手套以及口罩或防護面罩以避免煙塵危害。另外亦必須考量事故地點之溫濕度、降水（雨/雪）機率、海拔高度及殘骸狀況，決定所需之安全防護裝備。

NTSB 另外準備了一份現場風險評估表供 IIC 及現場指揮官填寫，用以在到達現場之前評估現場風險，重點是事故已經發生，不需要增加不必要的風險，尤其是現場作業人員通常比較激動，需要事先掌握相關之可能風險因子。





#### 5. Investigative Group Interactions 調查小組互動

在重大飛航事故發生的初始階段，該地區負責之 NTSB 地區辦公室與當地 FAA 辦公室需負責進行現場保全及出入管制，與第一時間現場單位合作，建立媒體連絡管道，保全紀錄器以及易消失證據，最後與 NTSB 本部協同作業。支援辦公室的人員則負責組織家庭支援活動、提供家屬簡報、與其他支援機構聯繫、做為與當地政府連絡窗口、面對記者及大眾媒體、並負責通訊技術及後勤的支援等工作。



## 6.Presentation(結業報告)

此行參加訓練課程同學來自世界各地，多為現役民航機師或軍中飛行員，筆者結業報告分別被編至不同組別，讓學員到棚廠收集事實資料後藉由各種事實資料分析研判後完成各組報告並完成簡報。講師在說明事故經過後，將學員分為五組，各組自行分配適航、發動機、飛航操作、生還因素等，各組並指派一名主任調查官及從各組推派一名分組召集人，由分組召集人與主任調查官討論現場作業的結果，最後由各組主任調查官順序上台報告，由各授課教官評鑑。

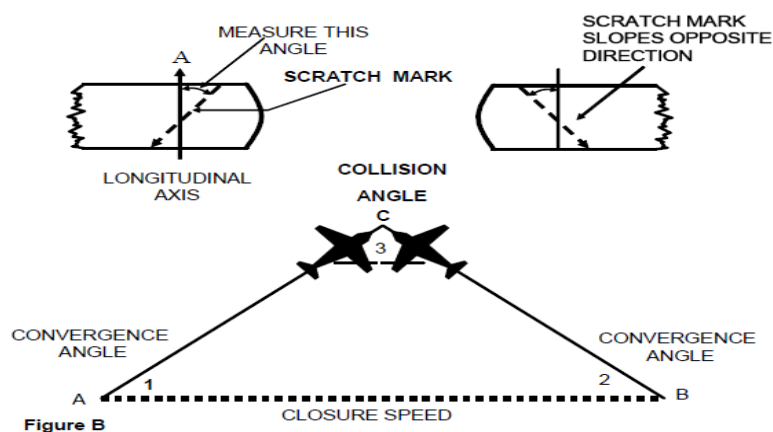


## 叁、心得

由於出國前已完成會內新進人員航空調查基礎訓練課程，飛航失事調查相關法規及作業方式，與台灣基礎訓練課程內容大致相同，在美國課堂上每位學員均樂於表達自己的看法，分享自身經驗，雖然部分人員語言非英語系母語國家，但大家都耐心聽取別人的意見，確實了解別人所要表達的意見，彼此間不會認為他人的意見幼稚或不成熟，相對也不會認為自己的意見才是對的，而授課講師更不會評論每個人意見，相反的會認真看待每個人的意見，讓提出的意見或表達的看法藉由大家討論，因為各國環境及國情政策的不同，所以答案也沒有對與錯，只有分析最好及大家都能接受的答案，也因此每個人均願意再發表意見看法。

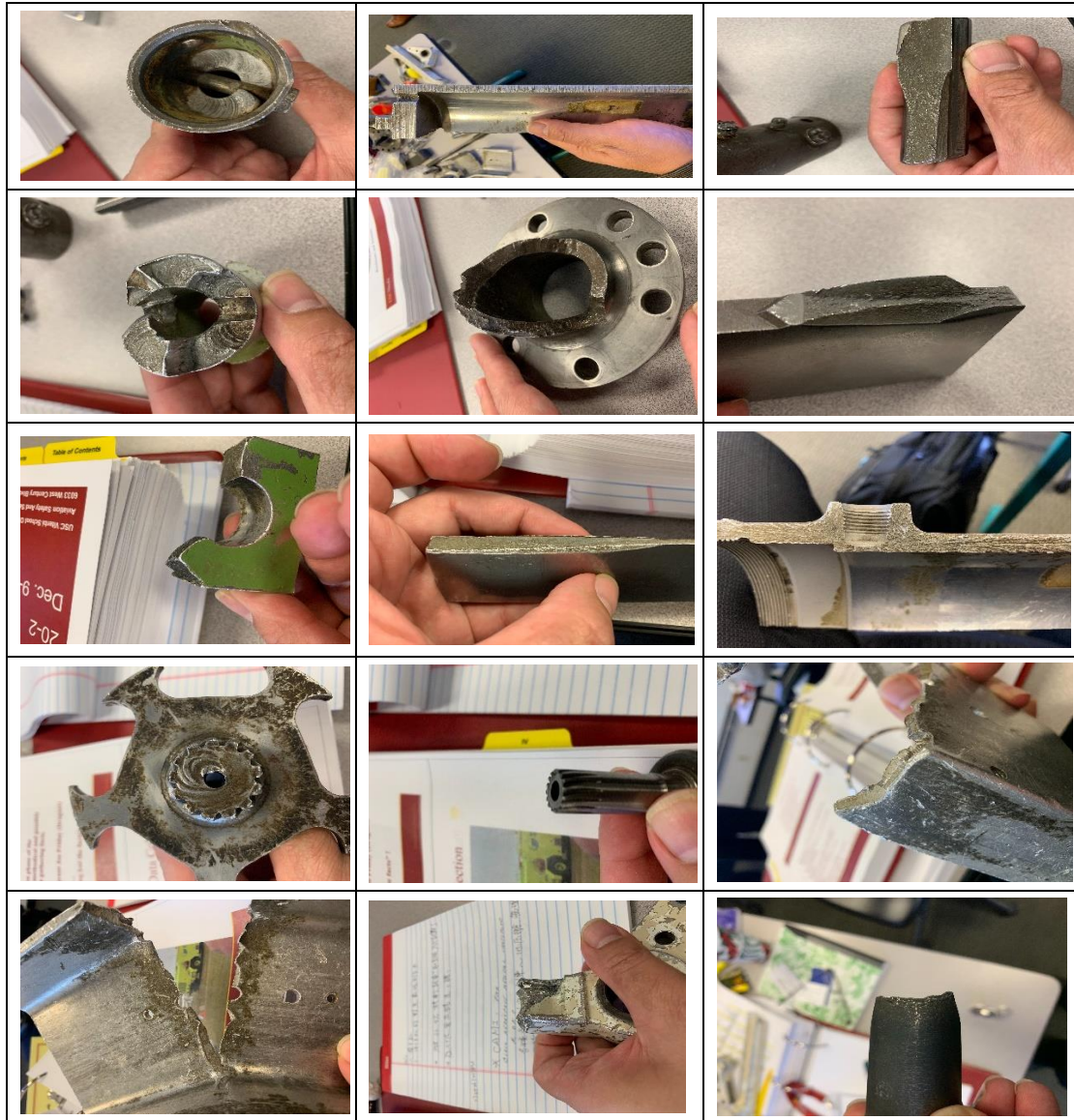
本次參訓心得如后：

- 1、教官用了很多過去調查案例來說明，譬如以兩架飛機空中對撞的失事現場照片，來解說如何從殘骸測量空中相撞時之夾角，上課內容容易理解吸收。擦撞角的定義為：兩機空中相撞後，在機體上所留的擦撞痕跡與航機縱向軸之間的角度。下圖為擦撞角（1,2）與撞擊角（3）的關係：



- 2、在金相學方面，教官帶來兩大箱的事故肇因零件，在解說金屬疲勞所造成的霧面海灘紋或 OVER STRESS 時所造成的同一方向箭頭紋路等，實體物看的到 TOUCH 的，到比照片還真實，令人映象深刻永生難忘。下圖為自行拍攝的珍貴照片：





零件材料破損的情況，不要使用的字彙，如失效（failure）或分離（separate）等，應使用的字彙，如斷裂（fracture）、挫曲（buckle）、燒毀（burned）、腐蝕（corroded）、脫離（disbanded）、彎曲（bend deformed）、扭轉並腐蝕（twisted and corroded）等。

3、人為因素：教官運用人類在平常及緊急情況下不同聲紋的實際案例比較，運用在推論馬航 MH-370 失蹤案的科學論證事相當新穎而且是大膽的。

4、如何判斷火災發生於空中飛行階段或撞擊地面後產生：

機上火災需三項要素：氧氣、熱源與燃油。

機上火災四個階段：初始點火階段（低溫）、火苗成長階段、完全發展階段、衰退階段。

A、初始階段：起火點之溫度高於外界環境，透過放熱反應、火花及自燃過程，發生點火，此時溫度最低。

B、火苗成長階段：取決於燃料、氧氣的供給。抑制型的燃燒，因燃料或氧氣的供應較不足，燃燒速度較慢。快速燃燒的型式為起初燃燒部分的熱流足

以點燃臨近的燃料表面，當有供應足夠氧氣便引起快速燃燒。

C、完全發展階段：釋放的熱能最大、燃燒最劇烈。整個過程控制主要端視氧氣量的供給。在這個階段中，未完全燃燒物質將在最上方，隨著空氣飄浮，當未燃燒物質接觸到易燃物表面時，將再度引起新的火苗。

D、衰退階段：當燃料或易燃物質已燒盡，整個燃燒能量開始逐漸衰退熄滅。經由飛航事故調查中事故現場受熱與燃燒後所留下痕跡的判斷。

有下列五種可能的受熱燃燒狀況：底漆變色、表面改變、金屬表面變色、穿孔、掃帚化（Broomstrawing）。

由殘骸的完整與集中度判斷，觀察火燒程度判斷起火時間便可知飛機是空中起火或是經撞擊後起火燃燒。



5、教官以說故事的方式，分享很多過去真實案例，在潛移默化之中將有關係統方面，調查應有的基本觀念，深植於學員的細胞 DNA 裏，有別於一般填鴨式的教學方式，較能吸引學員上課，的專注力並引發學員的興趣，然後引導學員更進一步的思考，進而傳授調查的技巧。

6、12/13 週五 1540-1620 學院邀請 LAX 國際機場資深航管員(Mrs.Sherry Avery) 授

課，詳盡介紹美國洛杉磯機場之管制雷達等設施、管制能量、消防醫療等，就搭乘直達班機的旅客數量而言（非銜接航班），在全球眾多機場之中，洛杉磯國際機場名列前茅，機場跑道全部開放使用情形下，每日離、到場航班可達約 3000 架次。以服務的總旅客數量與貨物的總重來看，洛杉磯國際機場之客運業務為全球第 4 大，僅次於亞特蘭大、北京以及杜拜。在 2019 年，服務超過 8,753 萬旅

客和 200 萬噸貨物。是加州最繁忙的客運機場，在美國也名列第二大，僅次於亞特蘭大機場。若僅單計算國際旅客數量，洛杉磯國際機場則排名第二，僅次於第一大的紐約甘迺迪機場，所以航管人員的工作量是接近超負荷的。附帶一提，目前機場出入境道路動線重新開工建設中，因此在航機流量繁忙時段聯絡機場環線道路是會出現嚴重塞車的情形，特別提醒搭機時一定要提早出門。

## 肆、建議

USC(美國南加大)舉辦之航空器失事調查基礎訓練中的課堂資料皆是該委員會多年累積下的經驗，調查教官多為美國 NTSB 經驗長達二、三十年退役或現役之授課教官，實戰及教學經驗都相當豐富，加上殘骸工廠有數十種不同事故類型的飛機殘骸，在課堂中所學的知識與技巧，可直接練習並運用在事故調查的實驗課程中，其中包含了多起重大意外事故調查的成果，可使本會調查人員除吸收更新的調查技術外，並能與國際接軌，使在回國後對本會的事故調查程序及技術提出更精進的貢獻，厚植本會人員之調查實力，建議如下：

一、美南加大雖為民間大學，其飛安課程大多與航空事業相關，其內容所傳授之飛機失事調查概念及實務經驗可供汲取新知，並為改進及推展飛安工作之重要管道，建議持續派員前往受訓，俾利提升飛行安全教育工作。持續派員參加該中心舉辦之複訓相關課程(航務、適航)如：

- 1.HAI 直升機事故調查。
- 2.HFH 航空安全人為因素。
- 3.AIP 事故反應準備。
4. II A 事故調查分析。
- 5.HEASS 系統安全人為誤失分析。

二、檢派本會航空調查員參加 ICAO 會員國之國際志工參與調查協助，交換更新的調查技術外，與國際調查組織接軌合作。

三、NTSB 人員得以使用商用航班之觀察員座 (jump seat)，當使用觀察員座時需填寫專用表格，出發前往現場之單程行程，以增加機動性。