

出國報告（出國類別：其它）

106 年「F-16 型機系統安全會議」

服務機關：空軍第四聯隊

姓名職稱：少校作訓官潘震

派赴國家：美國

出國期間：106 年 12 月 4 至 10 日

報告日期：107 年 1 月 2 日

摘要

「F-16 型機系統安全會議」係由美空軍後勤中心主導，結合洛克希德馬丁、普惠、系統安全小組會員及全球 F-16 型機軍售國一同召開，會中除提報美軍及各使用國重大失事案例、故障趨勢分析及研討改進措施外，與會各國依使用經驗，針對影響飛行安全相關問題共同提案討論。

本次為第 87 次系統安全會議，計有 21 個 F-16 使用國參與，包括中華民國、美國(含美國空軍、洛克西德馬丁飛機製造原廠、奇異及普惠發動機製造廠等單位)、比利時、荷蘭、挪威、丹麥、希臘、義大利、波蘭、芬蘭、葡萄牙、智利、土耳其、以色列、約旦、葉門、埃及、日本、南韓、新加坡、泰國，與會人數約 200 人。

第一天議程主要係由主辦單位提報會議流程並確認未來兩日討論議題項目，會議第二天首先由洛馬代表提報關於全球 F-16 機隊過去一年重大失事的情況以及趨勢，其次是由部分使用國針對該國過去一年發生之飛安事件及趨勢實施提報，最後由洛廠代表提報 F-16 機隊相關議題。第三天主要是由各國與會代表針對該國所提出的問題，與各國所屬之專案經理及技術代表進行晤談，以取得技術問題回復或解決方案。

目次

| | |
|---|----|
| 一、命令依據： | 4 |
| 二、目的： | 4 |
| 三、與會人員： | 4 |
| 四、過程(行程概要)： | 4 |
| 五、會議重點： | 4 |
| (一)美軍失事分級簡介： | 4 |
| (二)F-16 型機失事統計分析： | 4 |
| (三)全球 F-16 型機年度失事事件(A 級事件)： | 5 |
| (四)各國 F-16 型機飛安案例研討： | 7 |
| (五)美方對 F-16 型機關切議題： | 9 |
| (六)自動地面防撞系統(Auto GCAS)及自動整合防撞系統(Auto ICAS)介紹： | 11 |
| 六、心得與建議： | 13 |
| (一)心得： | 13 |
| (二)建議： | 13 |

本文

一、命令依據：

依國防部空軍司令部 106 年 11 月 13 日國空督飛字第 1060001967 令辦理。

二、目的：

藉赴美參與 F-16 型機系統安全會議 (SSG: SYSTEM SAFETY GROUP)，瞭解美軍及全球使用國重大失事案例及改進措施，並於研討會中對各國使用經驗及飛行安全等問題進行研討及記錄，以提供本軍先期預防措施與精進作為參考。

三、與會人員：

領隊：空軍第四聯隊第 21 作戰隊作訓官潘震少校

組員：第四聯隊第四修補大隊航電士趙建智士官長

四、過程(行程概要)：

(一)12 月 4 日：搭乘長榮航空班機自桃園國際機場前往洛杉磯國際機場轉機至鹽湖城，12 月 4 日上午抵達鹽湖城國際機場後入住希爾空軍基地招待所。

(二)12 月 5 日至 7 日：於希爾空軍基地參與 F-16 型機系統安全會議。

(三)12 月 8 日至 10 日：由希爾空軍基地搭車至鹽湖城國際機場搭機前往洛杉磯，自洛杉磯國際機場搭乘長榮航空班機返國，於 12 月 10 日清晨抵達桃園國際機場。

五、會議重點：

(一)美軍失事分級簡介：

- 1、A 級事件：損失總金額大於 2 百萬美元(含)或肇致人員喪生；飛機損傷無法修復。
- 2、B 級事件：損失金額大於 50 萬美元(含)至 2 百萬美元(不含)或肇致人員傷殘；地面人員 3 員以上住院治療。
- 3、C 級事件：損失金額大於 5 萬美元(含)至 50 萬美元(不含)或人員由於受傷而短暫無法執行任務。
- 4、D 級事件：損失金額大於 2 萬美元(含)至 5 萬美元(不含)，人員受傷或患病而不符 A、B、C 級事件者。
- 5、E 級事件：事件發生不符以上飛危事件界定條件，但事態嚴重，若再發生極可能造成傷亡之事件。

(二)F-16 型機失事統計分析：

全球 F-16 型機自服役起至 2017 年 12 月 1 日止，累計飛行時數為 12,980,567 小時，計發生 378 起重大失事案件，累計造成 370 架飛機全毀，平均失事率為每 10 萬飛行小時 2.91 件。

美國空軍 F-16 機隊歷年失事肇因以飛行員人因因素與發動機故障為主，佔全部失事率之 80%以上，其中飛行員人因因素與發動機故障因素佔 A 級事件(Class A Mishap)之 75%，在飛機毀損事件中，飛行員人因因素佔 60%，發動機故障因素佔 25%，以近十年而言，飛行員人因因素所佔比例高於發動機故障因素，幾乎超過 50%，因此人因已成為控制失事率之重要議題。

(三)全球 F-16 型機年度失事事件(A 級事件)：

- 1、自上次會議至今(2016 年 12 月至 2017 年 11 月)，全球 F-16 型機共發生 8 起 A 級事件，共造成 3 架 F-16 全毀、5 架 F-16 嚴重受損(可修護)，1 名飛行員喪生。
- 2、失事事件原因類別分析(如表一)：
2017 年度發生 8 起 A 級事件，其中飛行員人因因素佔 5 起(3 起為起飛及落地失敗、2 起人員操控撞地)，發動機外物損傷 1 起，2 起原因不明調查中。

表一 失事類別統計

| 失事類別統計 | | |
|--------|----|----------------------|
| 失事類別 | 件數 | 備考 |
| 人因因素 | 5 | 起落階段 X3 人員操控撞地 X2 |
| 機械因素 | 1 | |
| 原因不明 | 2 | |
| 總計 | 8 | |

- 3、美方摘列 2 起人因因素 A 級事件案例於會議中研討，內容摘陳如后：

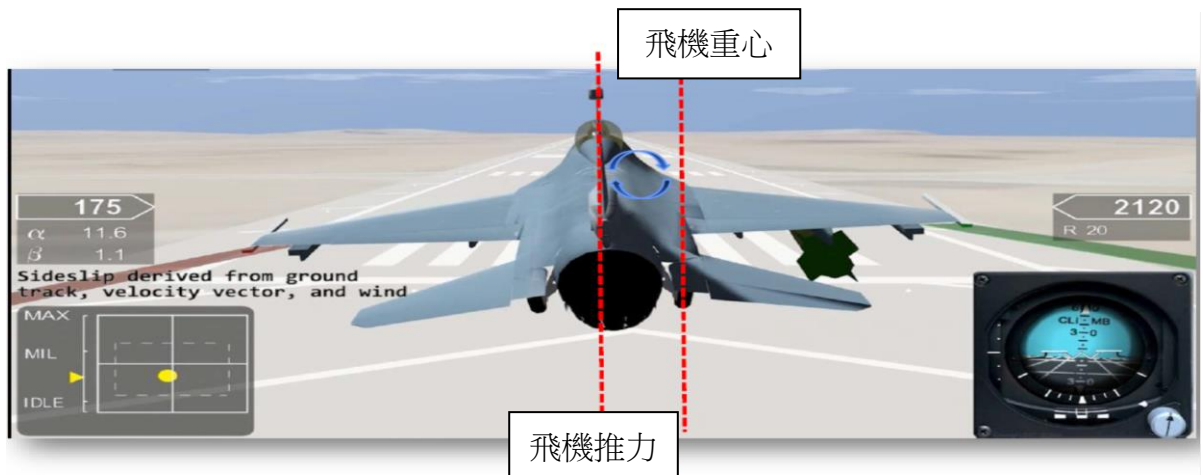
(1)案例一(不對稱掛載重飛失敗)：

以色列空軍乙架 F-16 型機執行對地攻擊實彈課目，因右側第 7 站位炸彈無法投放(如圖一)，遂執行帶彈落地，其掛載接近不對稱外型(該機掛載力矩 22,358 呎/磅，技令規範不對稱掛載力矩為 25,020 呎/磅) (如圖二)，飛機於觸地氣動力減速過程中出現左右跳動現象，飛行員立即操作重飛，飛機離地後於攻角 12 度 AOA 時出現向右滾轉動作，前座飛行員下決心彈射跳傘，因 F-16 型雙座機座椅於彈射時前後座會分別朝向左右上方(前座向右上方，後座向左上方)，故後座飛行人員彈射成功，前座人員因彈射座椅與飛機滾轉方向相同而殉職。

以軍經初步肇因調查分析後，發現飛機重飛時滾轉為飛行員於接近不對稱掛載重飛同時開啟後燃器，推力的增加導致偏航往機翼較重的方向滾轉，而落地期間姿態控制的變化因素有許多(包含操縱桿、輪胎負重、方向舵與俯仰動作間的交互作用和側風導致偏航等)，使得飛機偏側產生滾轉效應改正不及。



圖一 失事飛機掛載示意圖



圖二 失事飛機重心示意圖

針對此案例，以軍提問兩點問題及美方回答如后:

- A. 本次失事飛機掛載力矩未超過“不對稱外型”落地限制，故飛行員保持正常的進場速度，但仍遭遇意外事件，詢問洛廠對於“不對稱落地”的力矩是否因此次事件而做修調？經洛廠模擬此次失事飛機外型的力矩執行飛測，可順利操作落地，故無修調“不對稱外型”力矩限制之必要，
- B. 若飛行員執行“不對稱外型”落地，遇不正常情況下執行重飛時，是否有規範重飛帶桿的速度及操作方式？美方的回應為，應當參考“不對稱外型”落地的緊急程序處置的第一條，攻角最大 10 度，重飛過程中保持桿上壓力使飛機自然離地，勿猛然帶桿，如有滾轉效應出現，且無法立即改正時，應立即執行彈射跳傘。

(2)案例二(滑行超速致機翼油箱碰撞地面)：

2016年11月，希臘空軍乙架F-16D型機，機外掛載適型油箱，因滑行右轉時超速致左機翼及左翼下油箱碰觸地面，造成機體損傷並起火，滑行期間最大滑行速度為45哩/時，轉彎時速度為28哩/時，均超過F-16手冊所規範之速限，機上飛行員地面逃生，人員安全，飛機因起火嚴重損毀。

會議中針對此案例，洛廠提醒飛行員於起飛及落地階段，若遭遇緊急情況，儘可能將飛機停於跑道上，若無法控制飛機停於跑道上時，於飛機衝出跑道前，應立刻執行彈射跳傘，避免飛機出跑道後滾轉翻覆，人員受困於機內造成傷亡。

(四)各國F-16型機飛安案例研討：

部分國家於會議上提報該國年度飛安事件，可提供本軍參考案例內容摘陳如后：

1、案例一(G力昏迷)：

美空軍乙架F-16型雙座機執行等勢基本攻防(High Aspect BFM)，高度18200呎，空速410哩/時進入課目，執行前置轉彎(8.8G)時前座學員及後座教官同時G力昏迷，飛機在無人操作情況下，進入35度俯角姿態俯衝，自動地面防撞系統(AutoGCAS)於空速603哩/時，絕對高度約8000呎時致動改正，於絕對高度2400呎時改出。

2、案例二(空中擦撞)：

新加坡空軍3架F-16型機執行空戰運動(ACM)訓練，過程中2號機未判斷與目標機相對偏角及接近率，且2號機對兩機最近距離等安全規定警覺不足，肇致2號機與目標機空中擦撞，2號機噴口及減速板損傷，目標機第9站位發射架受損，執行戰損檢查及可操縱性檢查後安降，人員均安。

3、案例三(發動機故障)：

葡萄牙空軍乙架F-16在高度20,000呎，指示空速為300哩/時，雲幕高且能見度良好(CAVOK)條件下，保持平飛狀態，發動機轉速85%時，發動機自動由主模式(PRI MODE)轉換成次模式(SEC MODE)，30秒後滑油/液壓壓力警告燈亮同時滑油壓力指零，飛行員立即定向40哩外最近機場，手動啟動緊急動力機(EPU)保持發動機轉速於81%，直至獲得足夠的飄降比後收油門至慢車，採熄火航線方式落地，人機均安。

事發後由普惠公司專業協助進行該發動機拆解，並針對發動機齒輪箱模組分析，初步調查結果如后：

(1)其滑油油箱剩餘滑油存量正常，但發現齒輪箱模組有燒焦過熱跡象，檢測芯片帶有碎片，且發電機定子有過熱跡象。

(2)進一步拆卸齒輪箱模組，發現輪軸驅動器中有大量碎片，且32斜齒斷損，軸承蓋與滾

珠軸承有大範圍的損傷(如圖三)。

- (3)事件可能的發生順序為：發動機齒輪箱軸承故障、輪軸產生位移、輪軸驅動器 32 斜齒斷損、滑油泵停止及循環停止、滑油過熱(齒輪箱模組、發動機軸承過熱)、發電機過熱及數位電子發動機控制器(DEEC)由主模式(PRI MODE)轉換成次模式(SEC MODE)導致故障產生。

此一事件造成發動機齒輪箱模組、發動機軸承受損與發電機報廢，目前肇因仍由普惠公司持續進行調查。



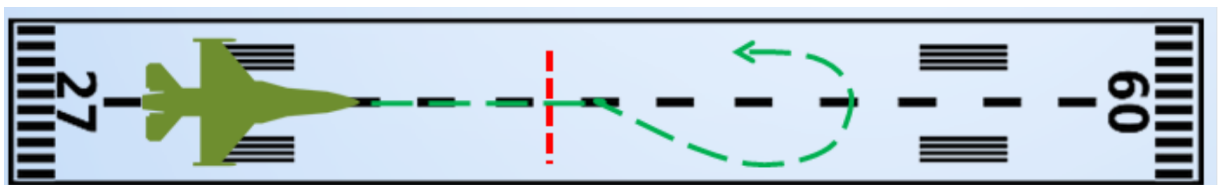
圖三 損壞之齒輪箱軸承

4、案例四(電氣系故障)：

智利空軍乙架 F-16 型機實施空對空戰術攔截訓練，於執行脫離(OUT)戰術動作後，飛機除機內通話及飛操系統測試正常供電外，其餘均失效，所有電氣系燈板及注意警告燈均無發亮，研判為主發電機及緊急動力發電機失效，惟詳細原因於會議上未說明。

5、案例五(輪煞系失效)：

以色列空軍乙架 F-16 型機於起飛滾行至速度 50 浬/時，防滑煞車(Anti-skid)警告燈亮，飛行員依緊急程序執行放棄起飛，惟因左邊輪煞系感測器失效，人員運用煞車不均，使飛機於跑道上打轉 180 度後停於跑道上(如圖四)，導致左主輪爆胎(如圖五)。



圖四 飛機軌跡示意圖



圖五 左起落架爆胎示意圖

(五)美方對 F-16 型機關切議題：

本次會議美方對 F-16 型機關切議題計有以下 6 項

1、雨水影響座艙罩視線(Canopy Rain Pooling)：

自去年系統安全會議至今美軍 F-16 型機發生 6 起空中因大雨影響座艙罩視線事件，美軍目前正在尋求解決方案並針對座艙罩打磨膏進行研究，將於 2018 年 1 月針對新型座艙罩打磨膏執行效用評估，並希望各國如有相關案例能於 SSG 會議上分享各國解決方案，本軍目前並未發生飛行中大雨影響座艙罩視線之情事。

2、起落階段案例趨勢(Takeoff and Landing Phase Trends)：

2017 年全球共有 12 起於起飛及落地階段的意外事件，其中 6 起發生於起飛階段，飛機在重外載情況下執行放棄起飛，3 起衝出跑道，3 起停於跑道上；另 6 起發生於落地階段，其中 3 起因天氣因素造成無法安全進場，另 2 起在進場時下滑道過低，以致擦撞左右定位臺及進場燈光系統，1 起因人員操作不當，進場速度大及落地距離遠，剩餘跑道長度不足，衝出跑道；上述案例顯示本年度在起飛及落地階段的飛安事件，仍高居不下，須提高警覺。

3、自動地面防撞系統改正及空間迷向飛行員改正(SDO;to Include AGCAS & PARS 'Saves')：

全球本年度有 2 起自動地面防撞系統改正避免飛機墜地，其中 1 起為因人員高 G 昏迷，失去操控飛機能力，另 1 起事件為執行對地大角度機砲攻擊時，因專注對靶操作而忽略飛機狀態，自動地面防撞系統於 1770 呎絕對高度，22 度俯角，4 度坡度狀態下致動，改正飛機。

韓國空軍 F-16 型機年度內發生 1 起空間迷向事件，長機於夜航真天氣情況保持 30-45 度坡度轉彎，歷時 3 分 49 秒，2 號機位在長機尾隨位置，2 號機專注位置保持而未交互檢查自身狀態，導致空間迷向，最後人員自行改出，改出最低高度 1870 呎。

上述案例未造成 A 級事件，但美軍及洛廠強烈建議 F-16 機隊加裝自動地面防撞系統

(Auto GCAS)，有效避免失去意識下的失控撞地事件憾事發生。

4、缺氧/座艙失壓(Hypoxia & Cabin Depressurization)：

全球本年度 F-16 型機未造成缺氧情事，惟原廠持續建議各使用國採購座艙氧氣系統手持式測試儀(On-Board Oxygen Generating System ;OBOGS) (圖六)，於地面檢查時測試氧氣系統輸出功能是否符合技令規範要求，以預防肇生高空缺氧問題。

本年度挪威空軍 F-16 型機發生 2 起艙壓故障，1 起為飛機爬升至飛航空層 21000 呎時，飛行員發現艙壓完全沒增加；另 1 起為在飛航空層 23000 呎時發現座艙壓力無指示，處置均得宜，人機均安。



圖六 座艙氧氣系統手持式測試儀

5、爆材過期(CAD_PAD Overage Items)：

部分 F-16 使用國反應因屆期而辦理延用的逃生爆材數量日益增加，對機隊造成潛在風險，美軍建議各國以機號管制即將屆期的爆材並將資料提供給美軍，以利美軍管制日益增加的風險並加速各國籌補速度。

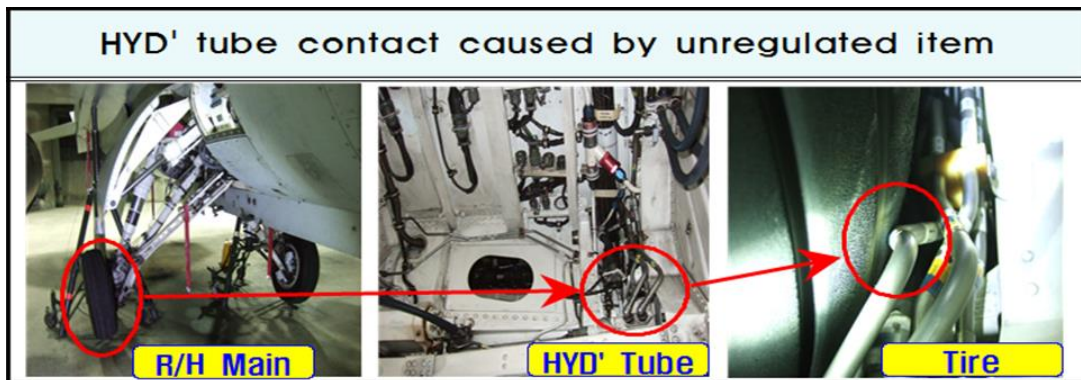
本軍自接機至今每年均提供即將屆期資訊給美軍，於爆材屆期前半年清查單位存量是否足夠，如存量足夠，將於爆材屆期前執行更換，若存量不足，將回報保指部列請購清單至美方購補，若美方供應鏈無法及時提供時，美方將辦理延校。

6、主輪胎變形問題處理(Retraction Problems with Oversize Tires)：

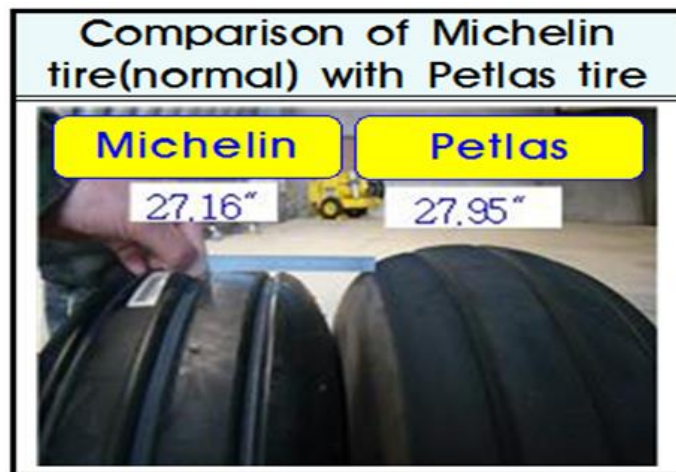
2015 年 4 月 10 日韓國空軍發生乙起 F-16 型機主起落架輪胎與起落架艙結構碰撞摩擦問題(圖七)，其碰撞原因為該輪胎外徑尺寸為 27.95 吋(圖八)，超出標準外徑 27.05 至 27.75 吋；該輪胎為土耳其 Petlas 公司生產製造，該公司已於 2017 年 3 月完成輪胎改善，目前正在對土耳其空軍 F-16 進行裝備測試。

經查本軍發生過 2 件起落架收放後輪胎磨損機身結構事件，該輪胎送回原廠檢測均符合規範，更換新輪胎後未再發生相同事件，兩起事件輪胎均為 2014 年出廠，目前本軍

已無使用 2014 年出廠之輪胎。



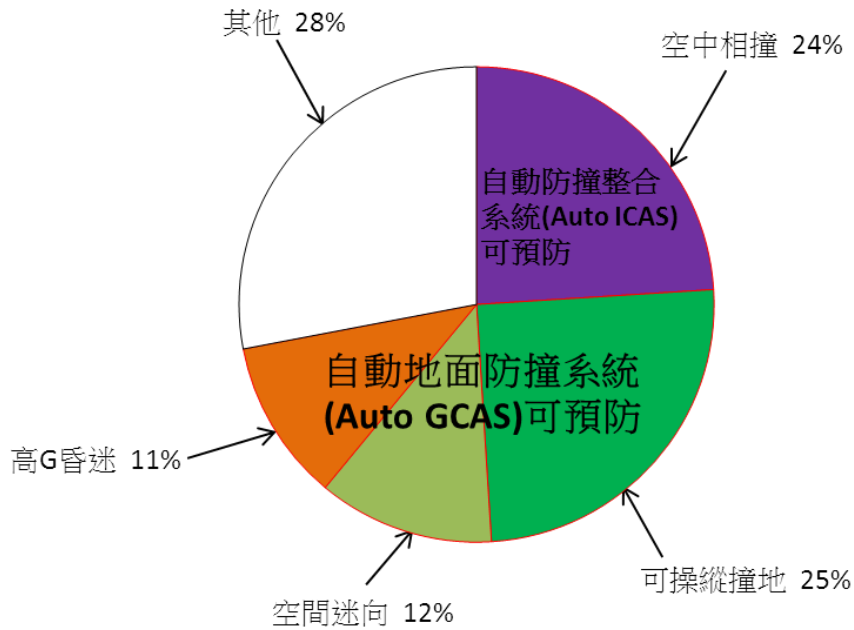
圖七 F-16 輪胎與液壓管碰撞/輪胎變形示意圖



圖八 F-16 輪胎與液壓管碰撞/輪胎變形示意圖

(六)自動地面防撞系統(Auto GCAS)及自動整合防撞系統(Auto ICAS)介紹：

F-16 型機 4 大致命失事因素為 G 力昏迷、人員操控墜地、空間迷向及空中相撞，72%的 F-16 型機意外是此 4 項因素所造成(圖九)，而意外發生原因均為人因因素，為降低此 4 項因素造成重大傷亡及損失，洛廠研發出自動地面防撞系統(Auto GCAS)，此系統能夠不斷地將飛機的飛行軌跡和任務模組電腦(MMC)及數位式地面海拔資料庫(DTED)產生的地形進行比對，若偵測飛行軌跡即將撞擊地面，系統將會發出迴避指令，如果飛行員因高 G 昏迷、空間迷向等因素未採取處置，系統將自動接管飛行控制系統來執行規避動作，一旦消除潛在威脅，系統將把飛機的飛行控制權交還給飛行員；此裝備可在飛行員進入空間迷向、高 G 昏迷及低空操作接近地面時，有效避免飛機撞地。



圖九 F-16 失事意外與防撞系統分析圓餅圖

在本次會議中，洛廠針對自動地面防撞系統做一詳盡解說，並表示自動地面防撞系統(Auto GCAS)可進一步研改為自動整合防撞系統(Auto ICAS)，除了原本設計的防止撞擊地面外，還可以避免空中飛機相撞，自動整合防撞系統(Auto ICAS)藉由任務模組電腦(MMC)解算飛行軌跡，再利用機載雷達及空戰即時顯示莢艙(ACMI POD)(圖十)感測具威脅的飛機，並從威脅的飛機獲得相同類型的資訊，利用飛機軌跡改正預測解算法(ARTP)持續地循環計算，以確定兩架飛機的位置、距離及飛行軌跡，若判斷可能相互衝突，會從9種避免碰撞運動方向，選擇最佳向量脫離碰撞航線，對於空戰運動訓練課目能有效避免空中碰撞。



圖十 F-16 空戰即時顯示莢艙(ACMI POD)

六、心得與建議：

(一)心得：

- 1、全球 F-16 使用國每年系統安全會議指派代表參加，並於會中分享飛安案例，藉由每年相互探討飛安議題，發掘 F-16 型機的危安因子，預先採取預防措施，以避免造成重大災難事件肇生，並提升 F-16 型機機隊管理，為本會議之宗旨所在。
- 2、為避免飛安事件類案再生及降低失事率，本次會議部份 F-16 型機使用國提報失事案例分享與討論，並不會因為不同國籍、文化及族群而有所不同或保留，故能藉此從其他國家汲取相關經驗、教訓，且虛心自我檢視，詳實檢討不足與發現缺失，可有效提升飛行員素養及修(維)護作業，進而強化所屬人員飛、地安全觀念，促進整體飛行安全。
- 3、年度各國 F-16 型機隊飛安案例，有多起發生於起飛及落地階段，經分析為人員操作及環境因素，造成飛機衝出跑道，本軍 F-16 型機配有阻力傘，可增加飛機減速效能，大幅減少因剩餘跑道不足使飛機衝出跑道等意外；另若於落地階段時，飛行員判斷環境惡劣無法安全落地，可下決心轉降外場，切勿於進場姿態、速度不正常及環境惡劣時勉強進場，任何時候有懷疑不安全時，應斷然重飛，以維飛安。
- 4、自動地面防撞系統(Auto GCAS)有如汽車的安全氣囊及安全帶，皆是為了安全所設置，F-16 型機 4 大致命失事因素為高 G 昏迷、空間迷向、人員操控撞地及空中相撞，前述案例因該構型機配有自動地面防撞系統(Auto GCAS)，故挽救飛行員生命及飛機安全，近期本軍發生一級事件如能有此配備將可避免憾事發生。

(二)建議：

- 1、鑑於各國提報飛安事件中，大部分均為人因因素所造成，各部隊飛行員應持續不斷提升本職學能及模擬機訓練，練習緊急情況的判斷及處置，增進人員熟稔度及緊急程序應處能力，以確實降低危安事件的發生，確保飛行安全。
- 2、美方洛廠最新研發自動整合防撞系統(Auto ICAS)，能有效預防 F-16 型機 4 大致命失事因素所造成的一級事件，故建議本型機於未來能加裝此系統，並於未來高教機建案能將此系統或類似系統列為標準配備，以增進飛行安全。

八、參考資料：

- (一)SSG 87 F-16 Class “A” Mishap Review (LM AERO)
- (二)F-16 Class C, D, E and HAP’ s & Material Safety Task Group (USAF Safety Center)
- (三)Take Off/ Landing Mishap EPR (LM AERO)
- (四)Current Items Review (LM AERO)
- (五)Safety Center Mishap Review (USAF Safety Center)

(六) Top 10 Flight Safety Lessons Learned (USAF Safety Center)

(七) Israel Country Brief (Israel Rep)

(八) Norway Country Brief (Norway Rep)

(九) Chile Country Brief (Chile Rep)