

——林俊安——

美軍陸航旋翼機隊航電系統發展——從CAAS到FACE

提要

- 一、美軍陸航機隊具悠久歷史，除依實戰經驗於二戰後整合成立旋翼機隊，於越戰發展新戰術外，並自第一次波灣戰爭後，進一步整合先進技術於旋翼機隊航電系統升級上，迄今保持全球領先地位，成為各國仿效標竿。
- 二、本部航空保修科飛機修護官，職司管理本軍陸航各型旋翼機隊、無人載具維保職責，兼接裝新型機種及建案承辦；爰自歷年經驗中，深刻體悟到我國航空工業之弱勢—航電產業不足與缺陷。因此搜羅近年來，美陸航執行開發「通用航電架構系統」對其旋翼機隊進行航電、飛操系統升級歷程資料，以及後續跨軍種開發先進航電系統通用架構歷程，對此議題進行統整論述與分析。
- 三、本文先簡述美陸航機隊發展簡史，後針對「通用航電架構系統」敘述發展歷程、架構及應用，續說明美國國防部參考本成功經驗，欲整合全軍航空器，包含美陸航旋翼機隊，而提出之下一代航電系統規範架構及發展現況，對比我軍陸航旋翼機隊發展提出「就任務別，規劃裝備維持策略」、「就全壽期，進行整體後勤規劃」、「運用民力，研製提升聯合戰力」等建議，俾利我軍參考運用。

關鍵詞：美軍陸航機隊、航電系統、CAAS、FACE

圖片來源：青年日報



壹、前言

美國陸軍航空部隊自成立以來，歷經多次轉型，其作業模式與標準向為我國陸航部隊標竿及學習典範，而為因應不斷變動的敵情威脅，以滿足作戰需求，美陸軍執行開發「通用航電架構系統」(CAAS)航電系統，以對其旋翼機隊進行航電、飛操系統升級，旨在減低裝備研發、後勤維持與訓練成本，同時提升聯戰任務之作業互通能力，俾因應裝備全壽期維保需求；續因執行綜效良好，獲美國國防部參考本成功經驗，整合各軍種航空器開發更適合下一世代所需之「未來航電功能規範」(FACE)。

本研究採用文獻探討比對法，先行簡述美陸航機隊發展簡史，後針對「通用航電架構系統」敘述發展歷程、架構及應用；續說明「未來航電功能規範」之通用規格、架構與發展現況，對比美軍及我軍陸航旋翼機隊差異，提出分析建議，俾利我軍參考、運用。

貳、美陸航機隊發展簡史

美軍陸航機隊成立迄今，具悠久歷史——最早可追溯至百年前的南北戰爭時期，當時已具有人操作的航空器（熱氣球）執行偵測任務，隨著時間推移與科技演進，於20世紀初，首先採用定翼機執行砲前觀測任務，陸續執行眾多試驗性任務，於二戰後整合旋翼

機隊、越戰時發展新戰術，並陸續整合科技發展能量與精進人員訓練於任務中，自第一次波灣戰爭後進一步整合全球航太產業與科技技術於旋翼機隊升級上，迄今保持全球領先地位，成為各國仿效標竿。

本發展簡史簡述美軍自二戰後的發展情況，藉階段歷程說明其發展主要演進與歷程。

一、二戰、韓戰時期

美軍陸航團 (Army Corps) 於二次大戰後，依據1947年美政府訂定的國防授權法 (National Defense Authorization Act) 撥交部分人力與定翼機隊新成立美國空軍；後於1952年，未撥交之美軍陸航團改組為美國陸航 (Army Aviation) 部隊，並置重點發展於二戰末期始行採用的旋翼機技術，並於韓戰期間初步部署至戰區執行任務。

二、越戰時期

美陸航部隊正式發展戰術戰法、大量運用旋翼機隊於作戰任務中始自越戰，當時所使用的UH-1伊諾魁 (Iroquois)、AH-1眼鏡蛇 (Cobra)、CH-47契諾克 (Chinook) 等機型，陸續成為美軍主要的通用/攻擊/中型運輸旋翼機隊架構，藉由旋翼機隊之部署速度與機動彈性成為美陸軍後續執行作戰行動之關鍵需求，為美國陸軍因應衝突帶來革命性的發展，當時美軍飛行與保修幹部所發展出的準則技令亦大部分沿用迄今。

三、後越戰、冷戰時期



越戰期間，美陸航部隊旋翼機隊的突出表現，展現其於現代戰場上的價值，也因此，即使在越戰整體戰役挫敗，美國國內一片裁軍聲浪中，仍能如期獲撥預算，運用戰場經驗加速機隊更新及研改，並於原有之UH-1、AH-1、CH-47機型之外，再籌獲OH-58奇歐瓦（Kiowa）機型，同時全力發展旋翼機技術，力圖於技術領域中保持領先於冷戰對手——蘇聯。

自1970年代中葉至1980年代早期，為美陸航旋翼機隊現代化及部署關鍵時期——與蘇聯冷戰的緊張對峙提供了一個清晰明確的威脅及需求，影響美陸軍旋翼機隊朝多引擎通用機（原UH-1機型為單發動機型式）、具偵搜、攻擊功能、大推力之旋翼機型方向發展，美陸航機隊也開始調整為AH-64A、OH-58D、CH-47D及UH-60A/L等機型。

四、沙漠風暴行動（第一次波灣戰爭）

冷戰期間，美蘇並未產生主要軍事衝突，因此，於1990年以美國為首的聯合國軍隊為收復科威特而進攻伊拉克的「沙漠風暴行動」，成為美陸航部隊首度面對裝配前蘇聯武器之伊拉克地面武力的第一場實際衝突，而其戰果也的確顯示以AH-64系列、UH-60系列、CH-47系列及OH-58D等機型能有效發揮戰力，創造戰術上有利態勢。事實上，部分研究顯示，AH-64阿帕契攻擊直升機

為本場行動中發動第一擊之美陸軍武力。¹

五、後沙漠風暴行動至911恐怖攻擊前

經歷第一次波灣戰爭的成功戰場驗證，確立了美陸軍航空部隊的角色與地位，期間所執行之介入區域衝突任務與小規模作戰行動，幾乎全數依賴美陸航空運能力；此後，美軍再次經歷戰爭後的裁軍，美陸航亦順勢汰除AH-1及UH-1系列機型，同時對現有機型進行性能提升——主要轉變為將AH-64A型提升為AH-64D附載長弓（Longbow）雷達、CH-47A/B/C/D型則進行航電飛操、旋翼系、動力系提升為CH-47F。

六、911恐怖攻擊後至現代機隊

美軍遭受911恐怖攻擊後，隨即開始進行長達十多年的反恐戰爭，此期間，美陸航部隊開始進行大規模的轉型，其目的在成為「一支模組化、以戰力為基礎的機動勁旅，並縮短聯合作戰中的部隊後勤距離，使聯戰發揮最大效益。」²；除調整陸航組織為模組化「戰鬥航空旅」（Combat Aviation Brigades, CABs）、轉型後勤體系由被動保修模式為主動狀況預估模式外，同時籌獲新型教練機UH-72拉科塔（Lakota）、重新運用定翼機於美國本土載運物資人員、導入定翼/戰術型無人機外，同時亦面臨了零附件庫儲資產過多（最多儲備30年以上備料）與旋翼機隊老舊（各型機隊均已使用達10年以上）等問題——

1 Bradin, J. W. "From hot air to hellfire: The history of army attack aviation." (1994), p. 182.

2 "Army Aviation's forces Transformation," ARMY 2006/8.



針對此，美陸航除積極加速機隊汰除更新之外，亦開發「通用航電架構系統」(Common Avionics Architect System, CAAS)之航電系統對其旋翼機隊進行航電、飛操系統升級，以因應裝備全壽期維保需求。

七、現代機隊及後續規劃

美軍陸航旋翼機隊目前主要以AH-64E、UH-60M³、CH-47F構成攻擊、通用、運輸機隊，其功能諸元詳如表一。

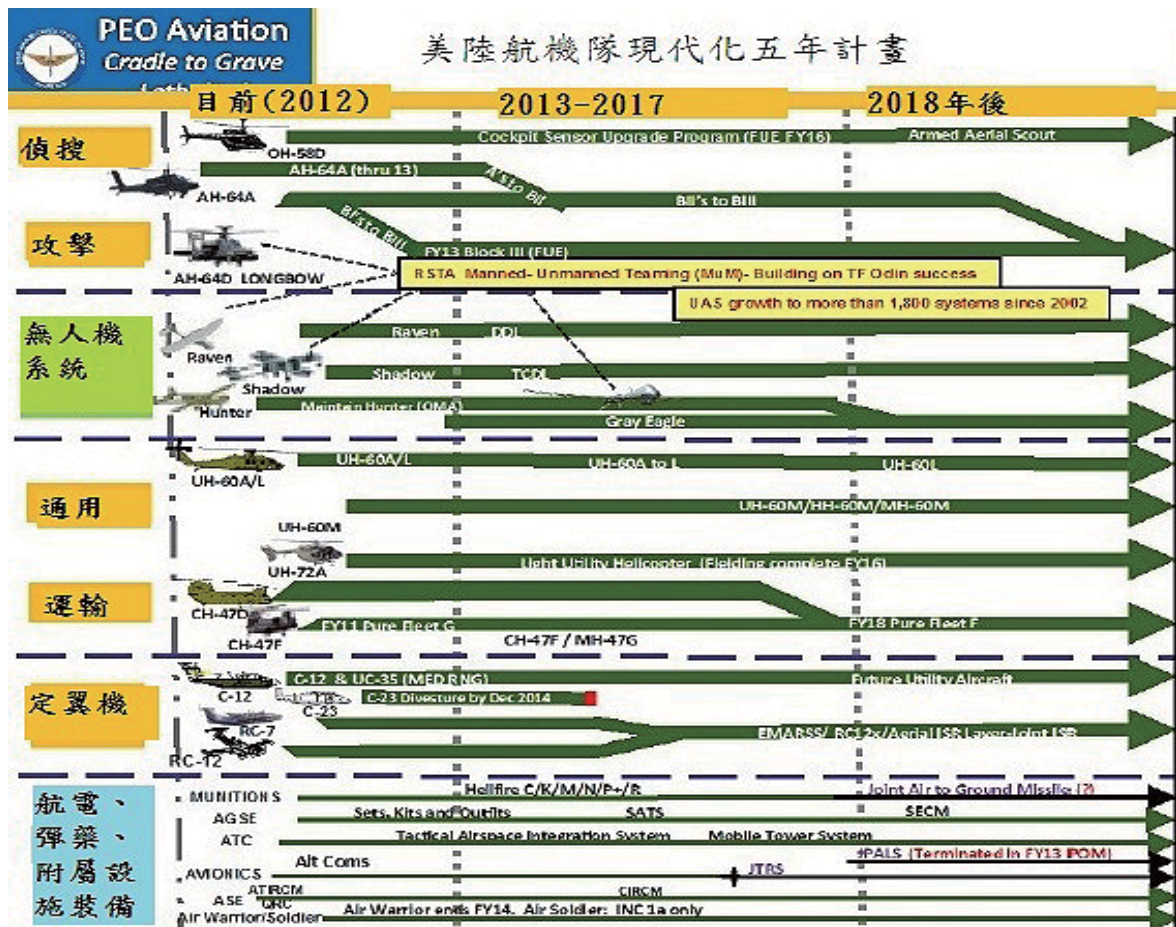
美陸軍曾於2013年提出之陸航機隊現代化五年計畫(如圖一)，目前進度均已完成，惟其OH-58D型機於2015年除役後，原所擔負的偵搜功能由AH-64E兼任，形成機隊負擔過重，後雖一度檢討以美空軍無人機配合行動，但仍顯不足，美陸軍已於2017年提出未來武裝偵察直升機(FARA)之發展需求，同時亦提出未來旋翼機(FVTL)研發案，預劃發展如同V-22「鶚」(Osprey)式旋翼機型式，企圖

表一 美陸航旋翼機隊性能諸元概要

項次	數值 諸元	AH-64E 	UH-60M 	CH-47F 
1	機員數(人)	2員	3員(14員)	3員(武裝兵55員)
2	最大馬力	3,880軸馬力	3,880軸馬力	4,075軸馬力
3	燃油油量	357加侖	299加侖	2,848加侖
4	起飛重量	10,433公斤	11,113公斤	24,494公斤
5	巡航空速	265公里/小時	275公里/小時	265公里/小時
6	最大空速	365公里/小時	357公里/小時	278公里/小時
7	最大航程	400公里	540公里	1,230公里
8	續航時間	3.08小時	4.3小時	4.6小時
9	作戰半徑	480公里	592公里	500公里
10	飛機全長	17.73公尺	19.76公尺	30公尺
11	飛機全寬	14.63公尺	16.36公尺	18.3公尺
12	飛機全高	3.87公尺	5.13公尺	5.7公尺
13	武器配備	30公厘鏈炮 AGM-114地獄火飛彈 AIM-92刺針飛彈 2.75吋火箭彈	7.62公厘機槍	選配7.62公厘機槍

資料來源：本研究整理(資料來源：國軍IHS詹氏年鑑，圖片來源：陸軍後勤中心裝備資料庫)

3 特戰型號為MH-60。



圖一 美陸航機隊2013年現代化五年計畫

(資料來源：美陸航專案辦公室 [PEO, U.S. Aviation] 2013年五年期計畫報告)

以兼具速度、火力之單一機種取代現有旋翼機隊。

由上述美陸航旋翼機隊發展簡史及附表，可知機隊主要機型製造商為貝爾 (Bell)、波音 (Boeing)、賽考斯基 (Sikorsky)⁴ 等公司，⁵ 原發展初期係以整機含後勤供應方式採購獲得，並未就軟/硬體部分進行規範與整合，而究其發展歷程，主要轉變在於「後沙

參、美陸航旋翼機隊航電系統發展

- 4 原隸屬聯合防衛(United Technology)集團，後於2015年併入洛克西德·馬丁 (Lockheed Martin) 公司。
- 5 自OH-58D於2015年除役後，目前美國陸航已無採用貝爾公司機種；另美陸軍採購歐直航太 (Eurocopter) EC145 (後賦予美軍編號UH-72) 屬教練機，在此不列計。



漠風暴行動至911恐怖攻擊前」期間，運用美陸航空運能執行特戰行動時，所面臨之統一指揮管制需求；同時，因應「第一次波灣戰爭」期間美軍所發展之後勤轉型，因而亟思相關作為，意圖整合各機種，特別是運用於特種作戰任務之機種飛操及航電系統，以達指揮管制、戰場偵監之功能。

唯航電飛操系統市場侷限獨特、主要關鍵軟體又因各任務及需求而產生眾多分歧一單就傳輸協定與標準，即有航用無線電 (ARINC) 664、661、429、DO-178B、MIL-STD-1533B、RS-232、422、美國國防部資訊科技標準 (DISR)、POSIX、電機協會 (IEEE) STD1003.1、OpenGL等標準，因而美軍於規劃初期即面對市場規模、研發成本、產品品質及技術成熟度之窒礙，後由執行單位「美陸軍技術應用發展專案辦公室」(Army's Technical Applications Program Office, TAPO) 與學界共同審查評選，⁶ 最終選擇美商「洛克威爾·柯林斯」公司 (Rockwell Collins, RCI)⁷ 合作開發。

該公司於1990年代曾得標並成功開發應用於美國空軍之KC-135空中預警機之「全球空中交通管理系統」(Global Air Traffic Management System, GATM)——該系統主要

功能在使軍機與民機可於同一空域中相互接受管制協調，其主要技術為「通用再應用元件」(Common Reusable Elements, CoRE) 軟體，並依開發經驗繼續發展「飛控二代系統」(Flight 2)，運用於民航客機 (如：波音767) 中；「美陸軍技術應用發展專案辦公室」即借重其先前成功經歷，協同該公司研發一套開放式、模組化、可重複運用之「通用航電結構系統」及相關軟體，整合先前分歧的各機型系統，同時成為其中部分主要裝備，如：通用處理單元 (GPPU)、多功能顯示器 (MFD)、控制顯示單元 (CDU) 之主要供應商。

美陸軍首先於1994年起試裝於美陸航通用/中運 (UH-60系列/CH-47D) 旋翼機，以滿足美軍執行各項特戰任務所需空運、空中近接火力支援、掩護之需求，藉以節約其機隊航電系統整合、研發期程及維持、訓練之成本。

一、通用航電架構系統規格介紹

「通用航電架構系統」主為依據美軍軍規MIL-STD-1553B「匯流排標準」，以航用程式語言ADA95編寫軟體，連結各子程式模組所開發系統——其核心程式碼「操作飛航程式」(Operation Flight Management, OFM) 共計約110萬行程式碼、飛行管理系統約12

6 Paul Clements, John Bergey, "The U.S. Army's Common Avionics Architecture System (CAAS) Product Line: A Case Study," CMU/SEI-2005-TR-019, 2005/9, p. 10.

7 已與聯合防衛 (United Technology) 集團於2018年合併換股，於2019年1月1日起更名為柯林斯航太公司 (Collins Aerospace Ltd.)。



萬行、通訊系統約25萬行、戰術型戰場之決策監控相關程式碼約7千5百至8千行程式碼。其系統主要架構類似現今的電腦或網路工作站架構系統—以單一處理器連結整合分散獨立之各應用系統，運用開放式架構及視窗介面簡化連結所需運算時間及相關後勤支援成本，其主要系統提供功能如下所列：

- (一) 飛航任務管理服務。
- (二) 通訊指揮管制功能。
- (三) 機體控制—儀表顯示、油料、輸出動力、環控、危險警示預警。
- (四) 導航定位。
- (五) 航電控管—裝備開關、起始耦合、狀況回報、飛行操控。
- (六) 感測管控—整合感測、監察裝置（包含威

脅標定）。

(七) 存活求救定位功能。

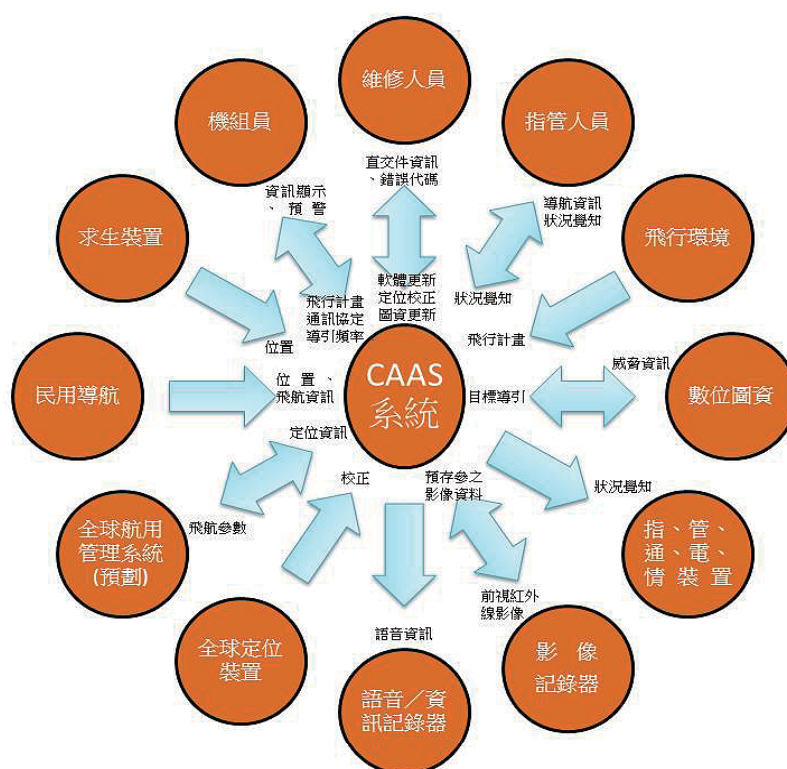
(八) 武器管理。

(九) 數據傳輸—威脅資訊、飛行計畫、導航協助、資訊圖表。

而為達到提供上述功能之目的，該系統需整合各項飛航所需資料、資訊，於各職掌人員、裝備中，以雙向/單向方式運作處理—於職掌人員部分：機組員、維修人員、指管人員為雙向方

式處理及提供相關資料、資訊；裝備部分，則以數位圖資、影像紀錄器及規劃中的全球航用管理系統進行雙向處理，單向輸入飛行環境資訊、校正全球定位系統、民用導航資訊及求生裝置位置資訊，並即時單向輸出至C4I(指管通電情)裝置與語音/資訊紀錄器中，其系統處理內容分工示意圖如圖二所示。

由上述說明及示意圖可



圖二 通用航電架構系統處理內容分工示意圖

(資料來源：同註6，本研究譯製)

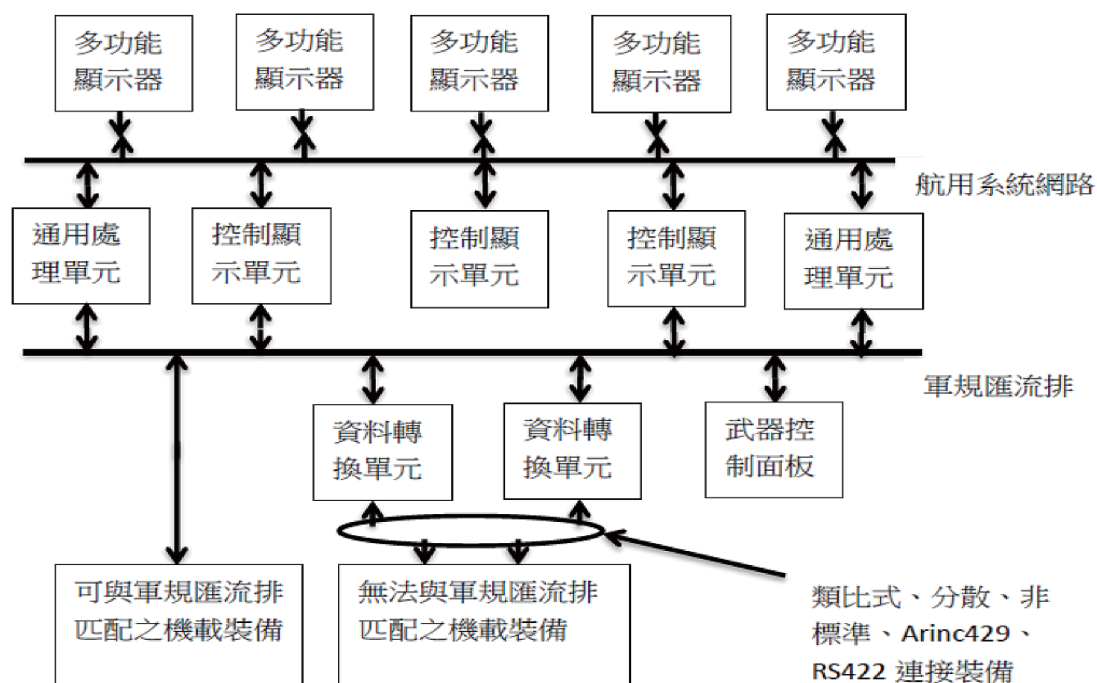


知，通用航電架構系統主要包含：任務管理、通訊、機體控制、導航、航電管理及武器管理，可將原本分散的資訊或單機整合於單一系統內以發揮指管綜效，並降低整體成本。

通用航電架構系統構成單元主要包含「多功能顯示器」(MFDs)、「控制顯示單元」(CDUs)、「通用處理單元」(GPPUs)、「資料轉換單元」(DCUs)、「武器控制處理面板」(ASPPs)、「航用系統網路」(ASLs)、「軍規匯流排」(Serial Data Bus)等，主要軟體內建於各「控制顯示單元」及「多功能顯示器」中，「通用處理單元」(GPPU)則內建數位地圖軟體，「武器控制處理面板」(ASPP)則內建對應武器之操控軟體，架構如圖三所示。

其主要構成單元分述如下：

- (一)「多功能顯示器」：為內建雙處理器，個別處理圖形顯示及任務運算功能的處理單元，標準配置為4具（保留擴充選配1具空間），主要功能為顯示組員相關資訊，以任務面板的邊框按鍵控制。
- (二)「通用處理單元」：為內建數據地圖圖資，主要負責影像及圖形處理，並供應資訊至多功能顯示器單元，以供應航用系統網路進行傳輸。
- (三)「控制顯示單元」：為系統主要資料輸入單元，內建執行系統軟體之單顆處理器，標準配置為3具，其中2具連結符



圖三 通用航電架構系統主要架構圖

(資料來源：同註6，頁21，本研究譯製)



合軍規標準之匯流排，並與另一具互為備援。

(四)「資料轉換單元」：主要處理非屬軍規匯流排之裝備連結，標準配置為2具，如：類比式、以原規格、RS-422接頭連結之裝備。

(五)「武器控制處理面板」：為基本武器資訊傳輸介面(如：連接、給電顯示)，在具武裝需求，裝設通用航電架構系統的美陸航旋翼機上配置乙具(如：加裝武裝之MH-60型通用直升機)。

(六)「航用系統網路」：兩套ARINC-644航用乙太網路，主要負責通訊及部分通用航電架構系統軟體傳輸，並以特定頻率分段對各控制單元進行雙向控制。

(七)「軍規匯流排」：兩套符合軍用通訊標準MIL-STD-1533B之分散式匯流排，負責保密通訊及通用航電架構系統軟

體及相容於軍規匯流排之裝備運作及資料傳輸。

量產化的通用航電架構系統分別使用單顆Power PC 750處理器於「控制顯示單元」中，雙顆同型處理器於每個「多功能顯示器」中，以開放系統簡化野戰層級抽換直接交換件(LRU)之間的連結及支援，並以「航用系統網路」及「軍規匯流排」分別控制系統以達保密需求，如此可兼顧安全性，同時大幅降低各航用單元間的后勤成本與簡化訓練，其軟體與硬體間的通用性亦可望提供較低的全壽期後勤維持成本及增加新科技的整合程度、降低其成本，整合前後的駕駛艙儀表板差異如圖四。

二、通用航電架構系統應用情形

前述，美陸軍於1994年起始行試裝於美陸航通用/中運(UH-60系列/CH-47D)直升機，以滿足美軍執行各項特戰任務所需空運、空中近接火力支援、掩護之需求，美陸軍綜



圖四 通用航電架構系統航電系統整合前後駕駛艙差異圖

(資料來源：摘錄自波音公司2011年年會簡報內容，經本研究翻譯整理)



合實際執行特戰任務之經驗，期望透過航電系統升級以解決下列旋翼機隊應用於任務執行中之窒礙：

- (一) 原功能無法因應作戰需求。
- (二) 擴充升級/安裝新任務組件成本。
- (三) 原系統消失性商源問題。
- (四) 於戰場環境中適應商用裝備、軟體之成本。

執行初期，美陸軍將特戰部隊通用機UH-60系列及CH-47系列分別更新為特戰型號MH-60K、MH-60L、MH-60-IDAP及MH-47D、MH-47E，並由美陸軍第160特種作戰航空團進行測試，於2003年委由「洛克威爾·柯林斯公司」以四千萬美元預算執行小批量研改，其系統需達下列作戰需求：

- (一) 控制駕駛/機組員之指管及機體各系統，飛行控制及數位通訊，如：數據機、感測器及助/導航系統。
- (二) 控制訂製任務裝備及設定系統參數，如：機體、駕駛、武器參數。
- (三) 飛航管理及指引、警示。
- (四) 控制引擎、傳動單元及動力輸出參數。

而針對特戰機型全機整合後性能，美軍特戰指揮部 (Army Special Operations Command, SOCOM) 提出需求如下：

- (一) 抗大規模毀滅性武器 (WMD) 能力 (如：核武電磁波干擾、生物/化學攻擊等)。
- (二) 標定/區別/運輸/移轉大規模毀滅性

武器。

- (三) 可執行海上攻擊/攻艦任務。
- (四) 可執行區域偵搜/評估。
- (五) 可執行突擊任務。
- (六) 具摧毀/壓制目標之直射火力。

綜上思考，所有的特戰任務其實都可概括為將人員滲透/撤出 (Infiltration/Exfiltration) 至目的地，因此，就抽象的需求來看，整合後之航電駕駛艙 (Integrated Avionics Cockpit) 需置重點於：

- (一) 提升巡行哩程—提供較佳之機體性能及燃油運用效率。
- (二) 維持人員負荷—於不增加駕駛/機組員負荷下可操作本系統。
- (三) 提供擴充空間—可與新型電子裝備/系統輕易整合。
- (四) 資電防護功能—提供抗紅外線 (IR) 或無線電 (RF) 干擾功能。
- (五) 提升通訊能力—提供新式類比/數位無線電且較佳之介接互通功能。
- (六) 提升感知功能—可整合並使用偵搜裝備提供完整戰鬥局勢。
- (七) 提升導航精度—可運用全球定位系統 (GPS) 及其它助/導航系統確保準時到達目標或目的地。

2003年，美陸軍再將測試結果良好的MH-47E升級為MH-47G，並於隔 (2004) 年3月12日完成首飛。主要換裝「通用航電架構系統」整合任務裝備多模式雷達與先進紅



外線前視顯示器，以增強飛行員情境認知與聯合作戰能力，俾利執行全天候及夜間低空任務，同時加裝武裝如M-134迷你機槍與M-240D型7.62厘米機槍，提升戰場自衛火力。⁸

後續該航電系統成為美陸軍現役型式AH-64E、UH-60M、CH-47F標準系統，同時美陸軍宣布自2008年後新購置之機型皆須匹配通用航電架構系統，而2008年3月波音公司亦與美國陸軍簽訂總值達兩億八千五百萬美元的合約，以生產供應70架CH-47F直升機，自2011年起開始交貨。該公司表示這型直升機完全符合美軍的各項評估，包括在美國肯塔基州坎貝爾堡美國陸軍基地所進行的適航性、功能及操作測試，在「聯合戰備訓練中心」所進行的訓練及夜視鏡訓練演習，以模擬空襲、戰鬥補給及運輸任務。⁹

美陸航採用通用航電架構系統之後，所帶來的整後成本減少效益及新科技整合之支援績效，接續為美國海岸巡航隊的HH-60、美國海軍的VH-60、CH-53機型所採用，依據美陸軍「技術應用發展專案辦公室」所估計，上述機種後續約有2,072至2,177架以上需求。

然而，受限於有限的國防預算，同時

考量未來所面對的威脅型式仍多樣未定，美陸航也不得不調整多年來「構型統一」的原則，而採行「部分升級」(Piecemeal Modernization)的方案，讓部分具特戰需求的單位機隊先行升級通用航電架構系統座艙、增強型渦輪引擎、主動式飛彈防禦系統等，以確保能優先滿足其特殊作戰需求，再全面調整構型統一。¹⁰

肆、下一世代美陸航旋翼機隊航電系統發展

一般而言，航空電子裝備主要可依功能區分「感測裝備」、「影像處理」、「通信裝置」、「導航裝置」等，而在美軍一般設定航空器全壽期為30年要求下，航電的快速發展，往往迫使裝備10-15年即需進行更新提升，以往，各機型皆由各製造商發展獨有系統，導致美陸軍航空裝備常依賴單一商源而致生備料過多或消失性商源、長交期而影響妥善率等問題。

美國國防部依據美國陸軍開發「通用航電架構系統」且運作良好之經驗，於2009年規劃開放式科技架構、標準，以供各廠商間

8 〈武備巡禮：設備升級符合特戰需求〉，青年日報，<https://www.ydn.com.tw/News/List/41>，檢索日期：民國107年9月30日。

9 茅毅編譯，〈寰宇軍聞：契努克直升機通過美軍戰力評估〉，青年日報，<https://www.ydn.com.tw/News/List/31>，檢索日期：民國107年9月30日。

10 Sydney J. Freedberg Jr., "Army Helicopters: Piecemeal Modernization For Future War." Breaking Defense, Sep-15, 2017.



提供符合標準之模組供應美國各軍種，特別是型式混雜的海、空軍航空器，以提升「作業互通能力」與「軟/硬體通用性」，繼而由美國陸軍及海軍專案辦公室與跨國際合作之「開放組織」(Open Group)於2010年合作發展，由其會員共識決議，針對民用及軍用航空器所設計的「未來航電功能規範」¹¹ (Future Airborne Capabilities Environment, FACE)，其目標在使「導航」、「通訊」、「感測」功能上合乎規範之軟/硬體模組可在各種不同的航空器之間使用，以增加各裝備之間之通用性，朝降低研發、整體後勤成本，俾達「一套系統，平臺通用」(One System, Many Platform)之目的，目前參與「開放組織」會員已達75間公司、800餘單位及機構，美軍下一代航空器裝備，無論定翼、旋翼機、有/無

人機及現行航空器升級裝備，皆需依此為規範標準。

一、「未來航電功能規範」架構

前述，本規範架構之源起乃依據美國陸軍開發「通用航電架構系統」成功之經驗，藉以律定開放架構模組，以供應其他軍種，特別是海、空軍航空器，因此本案於2009年執行初期，由美國海軍成立整合產品團隊(Integrated Product Team, IPT)並以「PMA209空用戰鬥電子」(Air Combat Electrics, ACE)規範作為需求依據，整合採購獲得、整體後勤、測試評估、資訊系統、系統運作等方面需求，產出「核心航電需求主計畫」(Core Avionics Master Plan)，規範以下五大範疇所需功能，如表二。

上述範疇排除「飛控電腦」、「抬頭顯

表二 未來航電功能規範規範範疇架構

範疇	處理功能	存取/記錄功能	顯示功能	數位圖資功能	航用網路功能
所需具備功能	任務電腦(CDU) 任務軟體 通用應用程式介面 控制軟體 網路處理介面 可攜式筆電或智慧型裝備 輔助/備援系統 圖形顯示卡 通用處理單元 數位儲存裝置 多層次獨立安全機制	通用資料存取單元 飛航資訊記錄器 記憶卡/外接硬碟/USB儲存裝置	駕駛艙顯示 任務顯示 組員資訊通聯 輔助/備援裝置 可攜式筆電或智慧型裝備顯示 圖形處理單元 夜視裝置	數位地圖 地形資訊 整合地圖相關標示資訊	有線光纖 乙太網路 軍規MIL-STD-1553網路 調頻控制/保密器

資料來源：本研究整理

11 該專有名詞中國大陸翻譯為「未來機載能力環境」，我國現無正式譯名，本專有名詞於本文採意譯。



示」、「地面控制單元電腦/顯示及飛安/防空
中接近裝備」及「控制功能」單元。而其中，
「未來航電功能規範」系統主要影響處理功
能部分—藉開放架構型式的共通作業軟體以
連結、整合其餘範疇資訊，藉以達成任務遂
行，並以現行的「ASQ-215數位資訊組」(ASQ
Digital Data Set, DDS)、「數位記憶單元」
(Digital Memory Device, DMD)及「先進存
取單元」(Advance Memory Unit, AMU)執行
資料存取/記錄功能，未來將研發「先進數位
資訊組」(Advanced Digital Data Set, ADDS)
以統一規範。

而在顯示功能方面，則主要是將原陰極
射管(CRT)或是初期的液晶(LCD)顯示器
更換為有機發光二極體(OLED)或主動式
液晶(AMLCD)顯示器(可參考圖四的研改
差異)；數位圖資功能則是以「未來航電功
能規範」的開放式架構規範，依各軍種、任
務需求進行擴充，如：相較於美陸軍，美海
軍具長途跨海需求，故除一般圖資之外，另
外擴充「戰術航用圖資」(Tactical Aircraft
Moving Map Capability, TAMMAC)以供任務
所需。航用網路則全數沿用現行已技術發展
成熟的標準，主要在一般/機敏的資訊分流控
制方面以一般(乙太)網路及軍規網路進行
管制，差異處僅在因應科技進步而提升網路

傳輸速度。

二、「未來航電功能規範」發展現況

「通用航電架構系統」系統的主要開
發商「洛克威爾·柯林斯」公司(Rockwell
Collins, RCI)即為與美軍合作制訂「未來航電
功能規範」之「開放組織」(Open Group)主
要成員及技術代表，而現行美國陸軍旋翼機
隊主要機種AH-64E、UH-60M、CH-47F已升
級「通用航電架構系統」航電系統者，未來僅
需微調或局部升級，即可符合美軍所欲推行
之跨軍種「未來航電功能規範」之要求。如前
述，主要挑戰之處在於美海、海陸¹²、空軍之
間多種類的各式航空器上，表三即整理出美
陸軍與海軍旋翼機隊欲升級滿足「未來航電
功能規範」需求，所需執行升級的範疇功能，
由此可見欲將多機種整合至該規範中，仍具
相當執行項目及挑戰。

依據美國2017會計年度「國防授權法
案」(The National Defense Authorization
Act, NDAA)條文「於2019年1月1日後，主要
航空器裝備、介面、系統中全面使用開放式
系統」，¹³且目前依美海軍「整合產品團隊」
規劃，現階段政策至少延續至2025年。而美
國陸軍則基於目前已整合良好的基礎上，於
2014年開始，進行AH-64E「阿帕契」與無人
機MQ-1C「灰鷹」共同執行任務的測評，¹⁴並已

12 美國海軍陸戰隊後勤係由美海軍支援。

13 Dr. Alicia Taylor, "A new FACE for Aviation Acquisition," Army AT&L Oct-Dec, 2017, p. 32.

14 Lt. Col. Steven G. Van Riper, "Apache Manned-Unmanned Teaming Capability," Army, 2014, Sep, p. 51-52.



表三 美陸軍與海軍旋翼機隊欲升級至未來航電功能規範評估

軍種	功能	航空器	是否符合「核心航電需求主計畫」需求				
			處理	存取/記錄	顯示	數位圖資	航用網路
美國陸軍	運輸	CH-47F					
	攻擊	AH-64E					
	通用	UH-60M					
海軍陸戰隊 (受美海軍支援)	攻擊	AH-1W					
	攻擊	AH-1Z					
	運輸	CH-46					
	運輸	CH-53					
	通用	MV-22B					
	通用	UH-1Y					
美國海軍	偵搜	MH-60R					
	反潛	MH-60S					
							已符合
							待升級

資料來源：本研究整理

實際運用於戰區中。¹⁵

伍、我國陸航機隊航電系統發展建議

我國陸軍航空部隊成立於民國33年，發展歷程與美陸航發展歷程相似，自59年起合作生產並接裝UH-1H、83年接裝AH-1W、OH-58D、CH-47SD型直升機後，復自102年起，陸

續完成新型直升機AH-64E、UH-60M接裝，陸戰戰術由單純地面行動層級提升轉變為「空地聯合打擊」，使防衛作戰角色進入立體化，如何能夠運用指通能力，提升各載臺之C5I（指、管、通、電、網路安全、情報）能力，提升並發揚戰力—航電、武器、指管機制即成為主要之關鍵因素所在。

分析我國陸航旋翼機隊目前以AH-1W、AH-64E、OH-58D、CH-47SD、UH-60M共5型

15 Greg Waldron, "MQ-1C, AH-64 team for first tome in South Korea," Flight Global, 2015-Nov.



機種組成；其中，若以滿足美軍「未來航電功能規範」需求對我軍陸航機型進行評估，則新接裝之新型直升機AH-64E、UH-60M其航電系統已相似於美軍現役機型，CH-47SD所配備之航電系統屬同系列機型中之獨有型式，僅具部分功能，AH-1W、OH-58D則未達需求（比較如表四）；綜上可見我國陸航旋翼機隊，各機型航電系統目前與美軍「未來航電功能規範」之間之差異，據此提出三點建議如下：

一、就任務別，規劃裝備維持策略

美軍陸航累積歷年使用、維持旋翼機隊之經驗，自波灣戰爭後整合開發符合其機隊運作實需的通用航電規格，以發揮綜效及擷節後勤資源，值得我軍參酌並直接整合運用，避免形成單一/獨有商源，致使常肇生長交期待料/消失性商源問題，進而導致維持費用高昂而佔用國防預算，惟我國陸航旋翼機

隊機型較美軍為多，而從美陸航旋翼機隊相關報導中，美陸航受限於有限的國防預算及考量未來所面對之威脅型式仍多樣未定，不得不調整「構型統一」原則，而先採行「部分升級」方案，對比我方所面臨威脅雖明確，然新、舊機型混雜運用，實需謹慎規劃需求，明確估算任務所需機隊數量及後續運用方式、維持策略，採行「部分升級」或全面「構型統一」方案，以發揮裝備執行任務最大效益。

二、就全壽期，進行整體後勤規劃

直升機機體及使用/飛行時數壽限，端視平時操作情況及維保技術水準，本軍陸航機隊原UH-1H自106年汰除後，目前使用機齡最久者為AH-1W及OH-58D（26年），而此二種機型在美國陸軍—OH-58D已於104年汰除，AH-1W美陸軍於越戰後已全數移轉美海陸，在操作三十餘年後，美海陸亦已提升為AH-1Z型，同時提升航電系統（詳見表二）；而以我

表四 我國陸航旋翼機隊與美軍未來航電功能規範評估比較

功能	航空器	是否符合「核心航電需求主計畫」需求				
		處理	存取/記錄	顯示	數位圖資	航用網路
攻擊	AH-64E					
攻擊	AH-1W					
攻擊	OH-58D					
運輸	CH-47SD					
通用	UH-60M					
						已符合
						待升級

資料來源：本研究整理



國AH-1W、OH-58D型機為例，勢必將因美方汰除及使用時間因素影響導致後勤維持風險增加，而CH-47SD更因屬獨特機型，使得維持相形不易，此值得有關單位依全壽期觀念及需求，進行整體後勤規劃。

三、運用民力，研製提升聯合戰力

美軍依作戰需求（特戰行動任務所需），整合旋翼機隊航電系統，其目的明確，而綜觀美陸航開發「通用航電架構系統」歷史中，其「技術應用發展專案辦公室」可說扮演主要角色，該辦公室主要任務即為快速獲得研製生產中，甚或尚處於概念階段之裝備、系統，以供其陸航特戰任務所需，而後視技術及成本，擴及其餘機型——以航電案例而言，即為與學界及合作廠商合作開發、整合次系統下之直接交換件，而後又因其成效為美國防部參用，著手整合各軍種航空載台，以提升聯合戰力並降低維持成本。而為滿足後續規劃，美軍更與廠商合作，執行小型研發（SBIR）計畫因應，以開發符合所需之裝備。

我國航空產值目前雖已達新臺幣千億元規模，然航電產值僅占其5%，惟數位圖資、處理元件…等功能於各裝備皆具共通性，如：雲豹八輪甲車車電系統即運用車用匯流排（CAN BUS）技術；而美軍M1新改良版本車電亦全數採開放架構軟體寫成，我國刻正執行之高級教練機亦需進行軟/硬體整合，如善加運用民間軟/硬體研發生產能量，則可試圖進入美軍供應鏈，同時獲得技術，對我軍執行進

一步的情資構連、載具升級、執行聯合火力支援，提升聯戰效能。

陸、結論

美軍陸航戰力執世界之牛耳，向為我國建軍備戰參考標竿，而觀察分析美軍陸航航電系統，更可由其目的，看出其於規格、規範訂定的嚴謹性，進而一體適用，擴及全軍發揮綜效。

適值本軍陸航部隊完成新型攻擊直升機AH-64E接裝並成軍，後續將完成新型通用直升機UH-60M接裝、成軍，陸戰戰術已將轉變調整之際，關注裝備相關科技技術的發展亦不可忽略，運用通用開放架構，於嚴謹的規範下，不僅可以於任務執行時達到保密作為，更可降低後勤維持成本，同時逐步提升共同作業能力，發揮聯合戰力及效能。

作者簡介

林俊安少校，中正理工學院機械系89年班，軍備局技訓中心生產管理正規班93年班，國立雲林科技大學企管所97年班，美國國防語文中心特殊英語及軍售作業管理2012-3年班，現任職於陸軍後勤訓練中心保修組教官。