

借鑒日本國機國造經驗

軍事科技作者 耿志雲

提 要

自1960年代二戰後的世界經濟復甦期起，「國機國造」的政策遂成為各個先進工業國家的戰略目標，以期擺脫對外來技術的長久依賴性，這其中又以日本最為成功，但是東瀛各廠在戰後的專業能量維持水準並不相等，發展軍用飛機又多受到戰後國際環境的限制，因此，研製一架可供「軍民通用」的飛機，就成為東京當局恢復航空工業能量的優先順位，後續借助戰鬥機的國際合作，與直升機構型研改經驗，逐漸累積現代航空工業能量，本文以日本發展YS-11中程運輸機、三菱F-2超音速戰鬥機，與日本通用直升機在新世紀的軍事航空工業策略，借鑒鄰國在致力推動「軍用航空工業自主化」，與「軍民通用航空技術」的背景與策略。

關鍵字：日本、航空工業、國際貿易、軍民通用技術

前 言

戰後日本的民航機隊購置以美國製造的飛機(如「道格拉斯」DC-3，DC-4和「康維爾」Convair 440)¹以及英國製造的飛機(如「子爵式」Vickers Viscount和「迪·海維蘭」De Havilland DH.114「蒼鷺」Heron)等螺旋槳客機為主導，²此外，在二戰前有良好航空工業能量的廠商，值此也想研發日本製造的新飛機，許多航空界人士渴望能在日本再次親駕自己

的飛機。受到1950年(昭和25)爆發的韓戰影響，從1955年4月(昭和30)起，川崎飛機工廠(現為川崎重工)開始接受美國軍用飛機的維修訂單。³川崎飛機工廠和新的三菱重工業已能獲得美國原廠授權為自衛隊在日本組裝、生產軍用飛機(洛克希德T-33A噴射教練機、北美F-86F(第40批量)戰鬥機)。⁴日本的「國際貿易和工業廳」(現為「經濟產業省」)，在當年是飛機工業的監管機構，其意圖是藉由參與外國航空工業來穩定其國內工業基礎，並且兼顧

1 "JAL's History", Japan Air Lines, 檢索日期2021/4/19, <https://www.jal.com/en/outline/history/>。

2 "All Nippon Airways", Domestic Era, History, Wikipedia, 2021/4/2, 檢索日期2021/4/9, https://en.wikipedia.org/wiki/All_Nippon_Airways。

3 "Aerospace History", 1955, Kawasaki Heavy Industries, 檢索日期2021/3/30, <https://global.kawasaki.com/en/corp/profile/division/aero/history.html>。

4 "North American F-86 Saber", Japan, Operators, Wikipedia, 2021/4/13, 檢索日期2021/4/14, https://en.wikipedia.org/wiki/North_American_F-86_Sabre。



產品壽期較長的運輸機研發和生產。此外，從1980年代起的F-2戰鬥機合作研發模式，和通用直升機的多構型採購和研發，也形同開啟了美、日兩國未來軍用機的聯合發展策略。

近年來，世界各地「非傳統安全」任務大幅增加，各國政府對直升機的應用已經明顯地偏向於搶險、救災的範疇，因此，也促進了中、大型多功能直升機的構型改裝，搭載更多新一代的任務套件和模組，以便遂行既定之任務科目，達到符合國情的「多功能」基本定義，其中，又以美國「賽考斯基」(Sikorsky)公司長年研製的中運量通用直升機為代表，藉觀察其外型設計理念、附屬搭配裝置、座艙配置布局等層面，在工業戰略層級上都成為日本同級產品的模仿對象。排除航空工業的生產規模與技術基礎等因素，反觀我國「漢翔」航空在工程與零附件產製能力並不亞於日本，運用早年授權組裝F-5的經驗，由OEM代工到自主化產品行銷，反而能較少受限於「盟國」的外交制約，充分利用歐、美大廠的概念化資源，發揮系統整合的工業潛能，更易於達到航空技術材料「軍民通用」的目標。

六〇年代民航工業的發展

二戰後的日本政府遵循全世界的航空工業的通例，在許多研發和生產流程下，飛機製造商從政府那裡收到了軍用飛

機的研發訂單，積累了嶄新技術並將其轉移到民航機上，日本在戰後「昭和」時代的「國際貿易和工業廳」也擬定降低研發成本的商業模式，這是讓航空產品具有價格競爭力的銷售策略。⁵

日本的「國土交通省」還曾為促進其國內的民航業者發展，制定了一項補貼計畫，根據政府部門和國內業者發展理念的交流，經內閣批准，「國土交通省」對飛機的適航性和類型認證具有管轄權，製造認證和生產管理的管轄權就屬「國際貿易和工業廳」。預計藉由國內航空公司使用日本自製飛機的策略，增加乘客人數；如果把軍用飛機和民用飛機的研發分擔，開發成本將會降低；假使能進一步將其出口到海外，可為日本的外匯發展做出貢獻。⁶

一、中程民航機的研發策略

日本在二戰後第一架自行研製的YS-11，配備了和歐洲飛機相同的基本發動機，起初，設計單位在將該原型機朝向「商用民航機」的目標研製之後，就一直沒有實現純粹商業航空的目的，但是在同時，卻出現了諸如YS-11J和YS-33等等的新型號飛機計畫名稱，也未見到YS-22這個型號，原來，YS-11的正式名稱是「YS Ichi Ichi」(11的日語逐個字讀音)，當年「日本運輸飛機設計研究協會」的成立目的，即在於促進YS-11的研發。⁷至於「YS」意即日文「運輸關鍵設計一研

5 中村浩美,YS-11 世界を翔た日本の翼(東京都:祥伝社,2006)pp.45~50

6 前間孝則,日本はなぜ旅客機を作れないのか(東京都:草思社,2002)pp.27

7 於下頁。

究一協會」，而所稱的代表型號「11」是指該型飛機的設計，在當年的日本航空工業是屬於第「1」號計畫，以及它的發動機選擇也是第「1」號計畫。⁸它也是二戰後日本唯一量產化的商用民航機，和配備了英國勞斯·萊斯(Rolls Royce Dart RDa.10/1)「飛鏢」活塞式螺旋槳發動機的典型亞洲製飛機，這是該機型的最大特點之一。⁹稍後，日本運輸飛機設計研究協會的後繼組織——「日本飛行機株式會社」(Nihon Aircraft Manufacturing Corporation—NAMC)在1962年(昭和37年)實際設計和製造的YS-11原型機首次亮相¹⁰時可證明這項論點。

在1958年(昭和33年)日本公布YS-11飛機的完整原型機時，航空界可以察覺這架中程運輸機大部分機身構型模仿了英國「霍克·西德利」(Hawker Siddely) HS.748型運輸機，樹立了戰後日本航空產品以歐洲飛機為仿效對象的基礎與影響。至於它的名稱是以當時飛機組裝工廠所在地的橫濱市新杉田的地名命名的，也是當時日本航空界所習慣稱呼的俚語「橫濱杉田11日見」。¹¹我國國際環境實際較不可能取消外購改採自製民航機，但承接

歐美民航模組生產的經驗卻甚為出眾，相對於此，我國航空工業發展也並不受單位改制的影響(例如由「航發」改制成「漢翔」)，而能一貫保持研發能量，這是我國國情文化與日本的差異，也是比日本更能活用航空技術的先天資本，重點應轉為如何保存代工與組裝經驗，結合軍民通用技術，為新產品發展出屬於自己的產權與實用特色。

二、現代民航作為航空起點

當年日本航空工業計畫的構想是YS-11J(一架未實現的YS-11噴射式飛機)和YS-33(同樣未曾實現配備3發動機的噴射式飛機)。它的型號「YS-33」緊接著「YS-11」是因為自衛隊另有一架純粹軍用運輸機在研發。實際上，當年日本航空自衛隊的C-1運輸機研發和製造規模相似於YS-11。最初於1970年(昭和45年)首飛的C-1是由NAMC所研發的中運量噴射機，改由「川崎重工」(Kawasaki Heavy Industries)生產製造。¹²

再拿同時期美國飛機的研發為例，於1968年初，「波音717」在試航飛行階段被稱為「道格拉斯DC-9的高級進階版本」。但其實因為它是空中加油機KC-

7 杉浦一機，ものがたり日本の航空技術(東京都：平凡社，2003)pp.35~40

8 咲村珠樹，「YS-11量産初号機「ひとまる」公開プロジェクト 最後の大規模組み立てを生配信」，おたくま経済新聞，2009/9/13，檢索日期2021/4/5，<https://otakei.otakuma.net/archives/2020091304.html>。

9 Steven C. Mercado, "The YS-11 Project and Japan's Aerospace Potential", September 1995, [www.jpri.org](http://www.jpri.org/publications/occasionalpapers/op5.html)., 檢索日期2021/4/18, <http://www.jpri.org/publications/occasionalpapers/op5.html>。

10 エアーライナークラブ，2006，「YS-11物語」，JTBキャンブックス。

11 前間孝則，YS-11 - 上 国産旅客機を創った男たち(東京都：講談社・α文庫，1999)pp.20

12 前間孝則，YS-11 - 下 苦難の初飛行と名機の運命(東京都：講談社・α文庫，1999)pp.29



135A「同溫層供油者」的暫定型號，¹³目的在於航空工業的保密，同理，日本在計畫C-1時，研發的名稱中就曾秘密地使用了「YS-22」這個型號，NAMC未能克盡全功的原因在於日本曾對YS-11J進行了研究，由於推力增加和速度增加，因此必須加強飛機的主翼結構；其次，由於飛行高度增加，整個機艙內還必須強化加壓裝置；燃油消耗的程度也不同，因此，必須更換油箱以提高續航里程。換言之，僅改變發動機的YS-11J需要進行徹底的全機更新設計，因此，當局轉向新飛機的研發是順理成章的發展。此外，YS-33計畫的提出時間大約是在1968年(昭和43年)，當時為「CX」計畫(後來改稱C-1)起了一個很好的開端，但假如是研發一架根據C-1基本設計的民航機，在外界看來也屬可能，所以當年有各種各樣的猜測。¹⁴

日本航空工業界曾經進行了眾多YS-11衍生計畫，最後YS-11僅只是唯一的一架量產的商用客機，所謂的「YS-33」也沒有再發展就中止計畫。但是YS-11卻是一架讓日本在戰後恢復航空工業信心的代表之作，它也曾經成功外銷到許多國家，包括1960年代甫成立的「中華

航空公司」在內。這對於日本能在後來的世界航空工業材料市場中分佔一席之地，大部分得力於由政府主導的航空工業明確決策，與其與歐美大廠在全機出口的競爭，不如改由零附件的訂單承接與生產，將更易於航空工業的獲利與國家影響力的延伸，而這也正是我國在80年代企圖採取的航空產業策略。

三、符合世界航空工業通例

在如今日本「令和」紀元的第3年，即2021年日本航空自衛隊麾下的YS-11FC(FC是「飛行檢查器」的縮寫)導航儀器查核機隊行將除役。¹⁵因為受到1970年代「石油危機」影響飛機的訂單驟減，旋於1974年在第180架量產機交機後便停止生產，並且解散了NAMC，飛機的售後服務轉由三菱重工負責。日航的子公司「日本空中通勤者」(Japan Air Commuter—JAC)原是最後以此機種飛行日本國內離島的公司，但已經於2006年9月30日之後全部停飛。原因是日本的「國土交通省」要求其國籍航空公司在民航機上都要加裝TCAS(飛機防撞警告系統)。未加裝TCAS的飛機只能飛到2006年底。而加裝YS-11的TCAS一架要花費1億日圓

13 Michael Lombardi, "Historical Perspective, Start of a PROUD MISSION", Boeing Frontiers. Chicago, Illinois: Boeing., July 2006, 檢索日期2021/3/28, http://www.boeing.com/news/frontiers/archive/2006/july/i_history.pdf。

14 油井一，河東桓，熊谷孜，國產中型ジェット輸送機の開発(東京都：日本航空宇宙学会誌，Vol. 20 (224)，1972)，p.476～489。

15 吉川忠行，“空自YS-11FC、半世紀飛びラストフライト 最後のダートサウンド” Aviation Wire, 2021/3/18, 檢索日期2021/3/23, <https://web.archive.org/web/20210318041426/https://www.aviationwire.jp/archives/222839>。

(93萬美元，依照1USD = 107JPY匯率計算)，對於YS-11來說並不划算，因此航空公司乾脆引進新機種取代它。停飛後的YS-11除了報廢解體及公開展覽外，仍然於適航狀態的飛機則出售給國外的小型航空公司。¹⁶

在日本官方，航空自衛隊擁有13架、海上自衛隊擁有10架、海上保安廳擁有5架、國土交通省(運輸省)航空局有6架。¹⁷通常用來進行飛行導航訓練、運輸、巡邏、電波查核。海上自衛隊曾經以此機載運俄羅斯庫頁島的一名青年緊急就醫。¹⁸有部分飛機換裝了性能更好的美製通用電氣GE T64型發動機。在日本航空自衛隊的YS-11中，用於飛行導航查核的YS-11FC於今年3月17日在除役之前，進行了最後一架次的飛行，作為飛行查核機，其任務是查核全國自衛隊專用機場的無線電設備和導航管制設施是否有異常。¹⁹在所澤市的西武鐵路本線「航空公園車站」前陳列著一架退役的同型飛機是1965年製造的，據說這一架航空自衛隊的除役機是配備「勞斯·萊斯」發動機的最後一架YS-11。²⁰《圖1》



圖1 日本航空自衛隊使用的YS-11FC電子導航查核機已於2021年3月17日除役，此一構型是YS-11系列機身改裝潛力的最佳化呈現。

資料來源：日本航空自衛隊網站

https://www.mod.go.jp/asdf/equipment/shienki_tenkenki/YS-11FC/index.html。

八〇年代國際合作的範例

日本航空自衛隊現役的三菱F-2，是從F-16「戰隼」衍生而成的多用途戰鬥機，由「三菱重工」和「洛克希德·馬丁」公司(以下簡稱洛馬)為日本聯合生產製造，當年，日本與美國之間的研發技術比例擬議為60：40。於1996年開始量產，首架飛機於2000年撥交使用，到2008年，首批76架均已部署航空自衛隊3個飛行中

16 "Ageing YS-11s to fly off into the sunset", The Japan Times, 2002/6/30, 檢索日期2021/4/6, <https://www.japantimes.co.jp/news/2002/06/30/national/aging-ys-11s-to-fly-off-into-the-sunset/>。

17 “自衛隊ニュース”, www.boueinews.com, 2011/7/15, 檢索日期2021/4/19, http://www.boueinews.com/news/2011/20110715_4.html。

18 海を守って42年 さよならYS-11A型! (東京都：世界の艦船, 第739号, 海人社, 2001), p.30

19 “飛行点検のYS11が引退 空自入間基地で最終飛行”, 共同通信, 2021/3/17, 檢索日期2021/3/22, <https://web.archive.org/web/20210317023143/https://this.kiji.is/744717965292683264>。

20 “戦後日本復興の象徴「YS-11」量産初号機公開プロジェクト”, A-port 朝日新聞社, https://a-port.asahi.com/projects/kahaku_ys-11/。



隊服役，三菱總計生產了98架。它搭載了日本自製的第一套機載「主動電子掃描陣列」(AESA)J/APG-1雷達，在1995年特別為三菱F-2研發。²¹世界航太工業對F-2的暱稱是「Viper Zero」，因為「Viper」是F-16的半官方暱稱，和三菱在二戰的代表作品「零戰」(A6M Zero)意象聯接，所以也有號稱「平成零戰」的稱謂。²²這種合作模式也開啟了美、日兩國未來在軍用機上的聯合發展策略。約莫同時我國也積極研發「經國號」自製防禦戰鬥機，在相同的時空下，均以美國技術為引用來源基礎，更在不同的國際地位前，我國能突破外交困境，順利研製出超音速多功能噴射戰鬥機，顯得我國航空工業系統整合技術更能活用，基於「先求有、再求好」的先進武器獲得策略原則，透過新式裝備以「模組化」進口的概念，我國如何累積，並且在後續的新機研製中爭取更多的技術轉移，並且堅持住自主產權占有比率，就值得借鑑日本三菱F-2的研製歷程與其主

張。

一、日本堅持主導技術

日本主導新戰鬥機研發的重要性，在於美、日合作技術比例的合理化，否則將無法維持日本國內戰鬥機的生產和技術基礎。航空自衛隊最後一架F-2A戰鬥機的生產是在2011年(平成23年；機號73-8543)完成，²³這是在二戰後第一次達成「純自製」戰鬥機的生產線完整運轉，²⁴此外，日本的倡議還包括對飛機主要零組件的研發和主導權，並且要確保未來性能升級的自主權和可擴展性。²⁵其次，日本也致力於減少美國不願釋出的核心技術含量，同時確保聯合研發的技術資訊能獲得分享。²⁶

最近兩年，日本下一代戰鬥機的另一個合作對象是英國，因為倫敦容許技術資訊對日公開，直到2019年的年中，日本才傾向於與英國共同研發，英國希望將研發工作分配給英國所轄的公司，但是在比例上與日本的主張有所差距，²⁷因此，才

21 John Pike. "F-2 Support Fighter / FSX". February 2016, 2020/1/11, 檢索日期2021/3/10, <https://www.globalsecurity.org/military/world/japan/f-2.htm>。

22 Sebastian Roblin. "Tsunami Devastated Japan's Souped Up F-16s.", The National Interest, 2018/8/21, 檢索日期2021/3/15, <https://nationalinterest.org/blog/buzz/fact-tsunami-devastated-japan%E2%80%99s-souped-f-16s-29422>。

23 株式会社時事通信社, "Final F-2 fighter delivered to ASDF", Japan Times, p.2, 2011/9/29.

24 “航空自衛隊向け戦闘機F-2の最終号機を引き渡し名古屋航空宇宙システム製作所小牧南工場で完納式を開催”，三菱重工 Press Information, 2011/9/27, 檢索日期2021/4/13, <https://www.mhi.com/jp/news/1109275109.html>。

25 Shintaro Ishihara. "FSX-Japan's Last Bad Deal", The New York Times, p.13., 1990/1/14, <https://www.nytimes.com/1990/01/14/business/forum-fsx-japan-s-last-bad-deal.html>。

26 Ronald E. Yates, "U.S., Japan Wrestle Over Who Will Build Jet", Chicago Tribune, 1987/5/17, 檢索日期2021/3/16, <https://www.chicagotribune.com/news/ct-xpm-1987-05-17-8702060391-story.html>。

暫時無法附和日本的倡議，讓下一代戰鬥機的計畫變得「更有日英融合的含量」。也因此，從美國不支持日本由現役的F-22和F-35戰鬥機技術基礎，再繼續聯合發展衍生型計畫時，美日聯合研發的計畫就遭到日方排斥，日本仍然在掌握技術自主權上毫不退讓。

三菱使用原有的F-16設計作為設計新戰鬥機工作的參考指南，並且存在95%以上的F-16藍圖被更改成F-2。²⁸F-2的座艙有3個多功能顯示屏幕，其中包括「橫川電機」的液晶顯示屏幕。F-2與F-16的主要區別計有以下各個特點：

- 1.機翼面積增加25%。²⁹
- 2.用於減輕整體重量和雷達信號的複合材料³⁰。
- 3.更長、更寬的機鼻雷達罩可容納J/APG-1和J/APG-2主動電子掃描陣列(AESA)雷達。(F-2是世界上第一架配備AESA雷達的作戰飛機³¹，早在F-22

Raptor的AN/APG-77 AESA雷達之前就已部署)。

- 4.加大的尾翼³²。F-2裝備了機尾阻力傘艙，就像北約的F-16一樣。
- 5.加大的發動機進氣口。
- 6.三片式座艙罩(風擋、上開座艙罩、後側)。
- 7.與航空電子系統有關的設備和作業程序在許多方面都與F-16不同³³。
- 8.原本的飛行控制系統³⁴。
- 9.可搭載4枚ASM-1或ASM-2反艦飛彈，4枚AAM空對空飛彈和副油箱。

二、確保「美日安保」為基礎

自2019年中以降，美、日對於聯合研發日本新一代戰鬥機計畫，反復討論了以下的重點：

- 1.以中共新型軍機為防範的重點。
- 2.美、日技術的共享和航空工業營運理念一致。
- 3.在「美日安保」基礎上確保共同研

27 Bradley Perrett, "Japan and UK move towards partnership to develop combat-aircraft systems", The Strategist, ASPI, 2021/2/17, 檢索日期2021/3/18, <https://www.aspi.org.au/japan-and-uk-move-towards-partnership-to-develop-combat-aircraft-systems/>。

28 同《註34》。

29 神田国一，主任設計者が明かすF-2戦闘機開発(東京都：なみきしょうぼ, 2018), p. 201.

30 同《註24》。

31 Bradley Perrett, "Japan Upgrading 60 F-2s With AAM-4, J/APG-2 | Aviation Week Network", aviationweek.com., 2012/2/27, 檢索日期2021/4/3, <https://aviationweek.com/defense-space/japan-upgrading-60-f-2s-aam-4-japg-2>。

32 Hehs Eric, "Japan's F-2 Support Fighter", Code One, 2015/11/12, 檢索日期2021/3/26, https://www.codeonemagazine.com/article.html?item_id=185。

33 藤村賢治，湯淺 博，小西朝久，勝崎 巧，XF-2のアビオニクス設計(東京都：日本航空宇宙学会誌,, (555), 2000), p.252~256.

34 井出正城，堀江和宏，柳亮 二，山本真生，橋本和典，佐竹伸正，XF-2の飛行制御システム設計，(東京都：日本航空宇宙学会誌,, Vol.48 (555), 2000), p. 233~240.



發的可行。

日本認為，上個世紀「日美共同研發」的軍備，曾經有某些負面的經驗。日本自衛隊及其承包商早在1981年就曾經試圖由日本設計和生產的戰鬥機，欲取代陳舊的三菱F-1戰鬥機，到1985年進行正式可行性研究。³⁵日本最初的意圖是在獲得「麥克唐納·道格拉斯」公司(McDonnell Douglas)的許可，與在地成功生產組裝F-15J戰鬥機的基礎上，開發國產飛機。³⁶日本國防承包商聲稱，需要從一開始就設計一架新飛機，藉以提高工藝技能，進而發展航空工業能量。³⁷

隨著該計畫於1985年開始正式成形，某些美國官員認為「日製」會導致飛機品質下降，削弱「美日同盟」的合作關係，五角大廈改採主張以F-16或F/A-18的基礎，和日本共同生產或共同研發，因為日本並不願意購買完全由美國製造的戰鬥機。³⁸1987年初，美國派出國防部長卡斯珀·溫伯格(Caspar Weinberger)和其他政府官員開始正式向日本施壓，要求落實

「美日雙邊聯合研發」的項目。³⁹雷根政府和中曾根內閣也曾於1987年10月宣布了這項聯合計畫。⁴⁰根據1988年11月簽署的諒解備忘錄，當時的「通用動力」公司(General Dynamics)將向三菱提供其F-16的技術，並且作為聯合主承包商，處理多達45%的研發工作。這是當年日本選擇F-16為基本藍圖，進而發展成為F-2來替代服役已屆30年的F-4EJ的時代背景，同時也能補充、輔助其主要空優戰鬥機F-15J。⁴¹觀察該計畫達成的核心要件，仍然在於美國對日本的技術轉讓。

在美國方面，國務院和國防部的高級官員也支持該項目，將其作為「美國獲取日本技術」以及「加強美日同盟關係」的雙重策略，但是商務部和許多國會議員卻抱持不同意見，因為它含有「增強日本與美國航空工業競爭力」的風險。參議院的20多名成員要求對該交易進行正式審查，認為「日本應該購買完全由美國產製的戰鬥機，以抵消兩國之間的貿易逆差」。⁴²

35 Debora Spar, Co-Developing the FSX Fighter: The Domestic Calculus of International Co-Operation (N.Y.: International Journal, Vol.47 (2)1991-1992), p.265~292.

36 Shintaro Ishihara, "FSX-Japan's Last Bad Deal", The New York Times, p.13, 1990/1/14, <https://www.nytimes.com/1990/01/14/business/forum-fsx-japan-s-last-bad-deal.html>。

37 Ronald E. Yates, "U.S., Japan Wrestle Over Who Will Build Jet", Chicago Tribune, 1987/5/17, 檢索日期 2021/3/16, <https://www.chicagotribune.com/news/ct-xpm-1987-05-17-8702060391-story.html>。

38 同《註43》。

39 Fred Hiatt, "Japan Calls On U.S. To Honor FSX Jet Pact", Washington Post, 1989/3/23.

40 Sanger, David E. Sanger, "Technology Pact for Fighter Creates Dispute With Japan", The New York Times, 1989/2/20, p.1.

41 同《註43》。

42 "Bush Clears Way for FSX Fighter Deal With Japan", Los Angeles Times, 1989/4/30, <https://www.latimes.com/archives/la-xpm-1989-04-30-mn-2867-story.html>。

三菱對F-2的研發工作計畫最初稱為「FS-X」。⁴³早在1984年，當時尚未被洛馬併購的通用動力公司，曾向美國空軍提供了F-16的放大版本，並且考慮將其作為「先進戰術戰鬥機」(ATF)國際競標合約中的低成本機種，但是這個概念稍後轉為F-2研發的起點。因為F-2使用的是F-16「敏捷鷹隼」的放大版機翼設計，但許多航空電子設備已進一步更新到1990年代的標準。日本將分擔60%的費用，美國分擔40%。⁴⁴由洛馬公司製造所有的後機身，和機翼的前緣襟翼。⁴⁵

美國沒有向日本完全公布F-2中的飛行控制軟體技術資訊，理由是「這是美日首次合作研發的戰鬥機」，但根據日本防衛省和自衛隊的退役官員指出，日方當時以「虎之子」的研發代號受限於美方的技術來源，並且被美方的意圖所左右。在兩國工作組合之間的諸多討論中，重點大多放在新戰鬥機的製造比例，和美國提供的技術資源能釋出多少之上。為了實現日本的主動權，使東京當局必須進行溫和的商業談判，並控制住主導局面。

三、加強「美日同盟」的策略

綜觀F-2計畫包括開發成本在內，每一架新飛機的單位成本，大約是F-16C/D Block 50/52(不包括研發成本)的4倍。若將先期作業費納入，會影響增量單位成本(大多數現代軍用飛機都會發生這種情況)，即使按原計畫的採購水準，每一架飛機的價格也有些偏高。最初的141架F-2計畫將使單位成本降低多達1,000萬美元，其中不包括因批量生產而減少的成本。截至2008年，計畫製造94架。⁴⁶F-2的首次飛行是在1995年10月7日。同年稍後，日本政府批准了141架(但後來很快削減到130架)訂單，新飛機於1999年開始撥交，但由於結構性問題，導致新飛機服役時間延後到2000年。考量成本效率方面，F-2的訂單在2004年減少至98架(包括4架原型機)。航空自衛隊稍後在愛知縣境內的岐阜機場對這4架原型機進行了試飛。⁴⁷

承前文，根據合約訂購的94架量產型飛機中的最後一架，已於2011年9月27日交付給防衛省。在最後一架量產型F-2A戰鬥機的啟用儀式上，三菱表明F-2的生產已經達成。⁴⁸截至2014年，撥交了

43 John W.R. Taylor, ed. *Jane's All the World's Aircraft*(London: Jane's Information Group, 1988~89)

44 "F-2 Attack Fighter, Japan", *Airforce-technology.com*, 檢索日期2021/4/19, <https://www.airforce-technology.com/projects/f-2/>。

45 Tom Breen, "Lockheed Martin starts beefing up work force for Japan's F-2", *Defense Daily*, 1996/10/21, 檢索日期2021/3/30, <https://web.archive.org/web/20150924150021/http://www.highbeam.com/doc/1G1-18786166.html>。

46 "Lockheed Martin Gets \$250M F-2 Contract", 2008/4/9.

47 "Lockheed Martin continues work for Japan's F-2 fighter", *Defense Daily*, 1998/4/23, 檢索日期2021/4/3, <https://web.archive.org/web/20150924151518/http://www.highbeam.com/doc/1G1-20535550.html>。

48 於下頁。

61架單座機和21架雙座機。⁴⁹知名的通用電氣、川崎、霍尼韋爾、雷神、日本電氣(NEC)、榛子(Hazeltine)和國際電氣(Kokusai Electric)都是F-2主要的承包商。⁵⁰洛馬提供了後機身、機翼前緣邊條、飛行管理系統，與大部分的機翼操縱控制面機構(作為日美《雙向技術轉讓協議》的一部分)，和其他零附件的產製。川崎製造了機身的中段，以及主輪和發動機的艙門。⁵¹而前機身和主機翼則由三菱製造。航空電子設備由洛馬公司提供，數位電傳飛控系統由日本航空電氣公司和霍尼韋爾(原「聯盟信號」)聯合研發。通信系統和IFF識別答詢器的承包商包括雷神、日本電氣(NEC)、榛子和國際電氣(Kokusai Electric)。由三菱在名古屋市的小牧「南工廠」(也是試飛基地)進行了總組裝和試飛工作。⁵²

F-2採用更大的機翼面積，可以讓飛機依其推力提供更好的搭載和機動性，但也考量到攜帶攻艦飛彈，為了使較大的機翼質量更加輕巧，機翼、翼梁、結構和蒙

皮由石墨—環氧樹脂複合材料製成，並在高壓製成中堅固化。這也是「共固化」技術在生產現代戰術戰鬥機中的首次應用。⁵³三菱耗時甚長以突破這種機翼的新技術，避免機身重量增加對加速度、爬升、有效載重，和航程半徑產生影響。但事實證明該技術領先各國，不僅可以減輕重量、改善航程並且還能有若干匿蹤性。作為計畫工業合作夥伴關係的一部分，這項技術也轉移回了美國。⁵⁴《圖2》

繼F-2戰鬥機之後，日本自製的下一代戰鬥機，顯然是以和美國共同研發的外交政策取決為前提。從兩年前起，日本政府傾向於選擇英國作為共同研發的合作夥伴，比較不偏好於與美國合作的最大原因，在於美國提供的技術資源，很可能滿足不了日本主導的下一代戰鬥機研發的先決條件。但是，根據日本「美日同盟」的既有軍事合作基礎，不難預料，日本最後仍然僅能採用美製匿蹤戰鬥機的技術授權與配備，搭載於「純日製」的機身上，以延續兼顧國際利益與軍事同盟的雙層考

48 "Mitsubishi Heavy Industries end production of F-2 fighter", AirForceWorld.com, 2011/10/2, 檢索日期2021/3/30, <https://web.archive.org/web/20111002231721/http://www.airforceworld.com/fighter/eng/f2.htm>。

49 Craig Hoyle, "Big in Japan: Tokyo's Top 10 aircraft projects", Flightglobal, 2014/10/24, 檢索日期2021/3/26, <https://www.flightglobal.com/big-in-japan-tokyos-top-10-aircraft-projects/114931.article>。

50 Lockheed Martin Press Release, 2008/4/8.

51 同《註51》。

52 Mark Lorell, Troubled Partnership: History of US-Japan Collaboration on the FS-X Fighter, (D.C.: Rand, 1995), p. 383.

53 同《註28》。

54 "Lockheed & Mitsubishi's F-2 Fighter Partnership", Defenseindustrydaily.com, 2019/10/22, 檢索日期2021/3/29, <https://www.defenseindustrydaily.com/lockheed-mitsubishis-f2-fighter-partnership-03188/>。



圖2 日本航空自衛隊的F-2A超音速多功能戰鬥機，此機是典型「美日同盟」架構下的時代產品，日本要求「純自製」含量達到60%以上。圖示武裝為ASM-2反艦飛彈(2種導引模式均可由此機投射)與其他空對空飛彈和20公厘砲彈。

資料來源：日本航空自衛隊網站 <https://www.mod.go.jp/asdf/equipment/sentouki/F-2/index.html>。

量，換言之，即便採用了部分來自英國的技術，這架日本自製的新戰鬥機仍然是作為輔助F-35A的地位，因此，無論未來的「F-3」是否會按原計畫發展，日本自製的第5代戰鬥機仍然是擺脫不了「日美混血」的面貌。

機載AESA雷達系統使用氮化鎵技術

承前文所述，日本三菱公司的F-2為全世界第一種使用AESA雷達的戰鬥機，隨著新雷達機組系統從碟形天線轉向主動電子掃描陣列(AESA)的發展趨勢，對於分佈在平面陣列上的高功率信號放大器的

需求也不斷增長。傳統上，由機械操縱的碟形雷達可以使用單一高功率放大器來驅動天線，而AESA系統則需要多個緊湊排列的功率放大器。想要達成在狹小的機鼻雷達罩空間內實現這種水平的高輸出功率，需要具有高功率密度和寬頻的解決方案，這便是氮化鎵(GaN)半導體技術的理想實用範例。然而，雖然基於GaN的放大器帶來了大幅的雷達效能改良，但它們的實用化並非沒有挑戰。

一、使用氮化鎵技術的挑戰

主動電子掃描陣列(AESA)系統的基本原理是藉由調整每個天線單元的相對相位以掃描波束，這是和根據天線的物理方向確定目標位置的機械轉向雷達系統運作的根本不同之處。前者提供了多種優勢，例如：與碟形天線相比，將平面陣列天線安裝到飛機機身上，讓機身保持適形的匿蹤外型就能容易得多。此外，AESA雷達可以更直接地控制波束方向，有些甚至支持可調式的多波束掃描。這就可以在新飛機載具上部署先進的雷達功能，同時能以最大程度提高戰鬥機跟蹤難以識別的威脅之能力。然而，與簡單的旋轉碟形天線相比，實現AESA雷達需要更先進的電路布局。特別是AESA的每個單元都需要一對發射／接收(TR)模組，其中包括移相器、開關電路、高功率信號放大器，和接收信號低噪音。⁵⁵

AESA系統最關鍵的品質因素之一是

55 Carlo Kopp, "Active Electronically Steered Arrays, A Maturing Technology", Air Power Australia, 2014/1/27, 檢索日期2021/10/22, <http://www.ausairpower.net/aesa-intro.html>。



雷達探測範圍。為了使物體在雷達範圍內，反射信號必須高於接收器的本身噪音，一般使用「信噪比」(SNR)計算標準對其進行量化。最簡單的技術在於，優化TR模組的SNR和接收器噪音係數的最小化，和發射器的輸出功率最大化均有關聯。雖然這原理聽起來很簡單，但由於TR模組的尺寸限制，以及高頻、寬頻操作的需要，在實際配置時它變得相對複雜。通常，TR模組排列在格柵中並放置在天線零組件後面。為了安裝所有的TR模組，每個模組的高度和寬度都受到各個天線零組件尺寸的限制。隨著雷達工作頻率的增加，天線的尺寸減小。例如：在X波段，TR模組的高度和寬度將小於2公分。AESA的設計標準簡言之，TR模組必須微型化，具有高輸出功率，也須具有低噪音係數，還可以在高頻下工作。顯然，要加強TR模組的最大化性能是一項重大挑戰。然而，通過使用GaN半導體技術，以上技術就變得更容易。⁵⁶

二、用於TR模組的氮化鎵技術

氮化鎵(GaN)是一種具有高擊穿電壓和高電子遷移率的半導體材料。與砷化鎵(GaAs)類似，高電子遷移率可實現高頻操作，它屬新一代航太專用通信與探測裝備普遍採用的原料，世界各國多款新建造的海軍船艦雷達系統，也都採用氮化鎵材料作為新技術。然而，與GaAs不同的是，

GaN的高擊穿電壓供電器零組件中的高電場強度。藉由在更高的電壓下運行，這是基於GaN的放大器能夠在更小的空間內提供更高的輸出功率。

在TR模組的功率放大器設計中使用GaN技術，可以最大化發射輸出功率，同時最小化雷達模組的物理尺寸。除了縮小放大器芯片的尺寸外，使用高功率GaN還減少了使用許多低功率零組件的需要。由於用在組合多個零組件裸片的被動式組合網路偏大，並且會在信號路徑中引入損耗，因此，使用較少的被動式組合網路可以提高TR模組中的功率密度。除了在狹小的機鼻雷達罩空間內提供高輸出功率之外，TR模組中的功率放大器還必須能夠在高頻下工作。根據具體應用，雷達可能需要在X波段甚至Ka波段運行。雖然還有其他提供高功率密度的半導體材料，例如LDMOS，但GaN是高頻操作的最佳選擇，以作為AESA附帶的益處，GaN零組件不僅支持高頻操作，而且還是寬頻的理想選擇。

為了確保能有效運行，AESA雷達必須具有保護其免受電子攻擊影響的功能。這一點尤其重要，因為現階段干擾雷達的技術變得越來越可用。實現這種彈性的一種可行方法，是在很寬的頻率範圍內操作雷達。此外，通過在單一脈衝上調製頻率，可以提高雷達的分辨率。然而，這需

56 "GaN Solutions : Small Package for Big Radar Challenges", Wolfspeed, 2021/3/24, 檢索日期 2021/10/15, <https://www.wolfspeed.com/knowledge-center/article/gan-solutions-small-packages-for-big-radar-challenges>。

要TR模組在更寬的頻段上運行。GaN不僅提供高功率密度，而且與GaAs相比，GaN更高的偏置電壓簡化了寬頻阻抗匹配的設計過程。這使單一GaN放大器能夠在適用的頻寬上運行，從而實現強大的多功能AESA系統。GaN更高的偏置電壓在電路層面提供了額外的益處。由於功率是電壓和電流的乘積，對於恆定功率，GaN較高的偏置電壓導致較低的電流。當電流減小時，偏置電路中的損耗也減小，藉此提高了放大器的效率。

GaN技術雖然可以提高TR模組中輸出放大器的性能，但也可用於接收。事實上，最大化SNR需要增加信號強度和降低噪音，原理在於當檢查接收器鏈路時，一個噪音源是低噪音放大器輸入端的保護限幅器，因為限幅器中的每一分貝損耗都相當於額外分貝的噪音係數。通過使用GaN作為LNA的半導體材料，可以設計出限制器，因為GaN可以承受更高的輸入電壓而不會損壞。這導致接收器噪音係數的淨改善，最大化SNR和雷達系統的範圍。此外，通過從設計中移除限制器，TR模組中有更多空間用於其他電路。雖然在AESA的TR模組中利用GaN技術帶來的益處是顯著的，但設計和製造過程遠比簡單地移除GaAs零組件，並且插入GaN零組件複雜得多。新技術除了需研發排除如此小面積產生的高熱能散熱的技術外，成功

使用GaN還需要了解這種半導體材料的許多特殊之處。⁵⁷

三、散熱技術和電路布局

GaN技術的主要優勢也帶來了主要挑戰，雖然高功率密度支持新應用，但它也需要排除裝備產生的熱量。例如：考慮一個30W GaN放大器芯片，在28V時偏置為2.5A。這會導致不超過10平方公釐的零組件功耗為40W。排除這種產生的熱能，需要在每個熱介面上改善散熱，因為即使熱阻的小幅增加，也會導致零組件溫度明顯升高，從而降低雷達模組長期的可靠性。確保有效散熱功能的第一步是優化GaN芯片與电路板的連接。例如，使用「金錫共晶芯片貼裝技術」將提供比銀環氧樹脂更好的導熱性。此外，必須仔細控制連接過程，以防止在模具下方形成氣孔。為確保芯片貼裝質量，可使用「共聚焦掃描聲學顯微鏡」(C-SAM)檢查是否存在會降低熱導率，並導致器件溫度升高不可接受的空洞。

在裝備之外，還需要最大程度地提高底板和載具外殼主體之間的導熱性。對於低功率應用，由於考量其匹配的熱膨脹係數(CTE)，通常將芯片安裝在Kovar電路板上。然而，對於高功率應用，銅鉬等材料可能是更好的選擇，因為它具有較低的熱阻。除了散熱技術的挑戰之外，使用GaN技術設計放大器還需要仔細注意偏置

57 Mario Lamarche, "The Benefits and Challenges of Using GaN Technology in AESA Radar System", Military Embedded System, 2019/10/11, 檢索日期2021/10/17, <https://militaryembedded.com/radar-ew/rf-and-microwave/the-benefits-and-challenges-of-using-gan-technology-in-aesa-radar-systems>。

電路。對於GaAs零組件，通過柵極電流可以忽略不計，而對於GaN，零組件的柵極消耗大量電流。要讓裝備適應此電流需要具有低串聯電阻和源電流能力的偏置電路。作為額外的挑戰，雷達的脈衝特性需要偏置電路來支持快速開關柵極電流。

對AESA雷達技術的未來發展推論，「散熱技術」和「偏置電路」的技術更新，突出了在放大器設計中使用GaN時遇到的一些挑戰。由於各型AESA雷達機組設計都是獨一無二的，因此新技術也持續待克服，為了實現GaN帶來的各種優勢，研發團隊必須具備克服挑戰，並且持續提出創新解決方案的經驗和知識。⁵⁸《圖3~5》

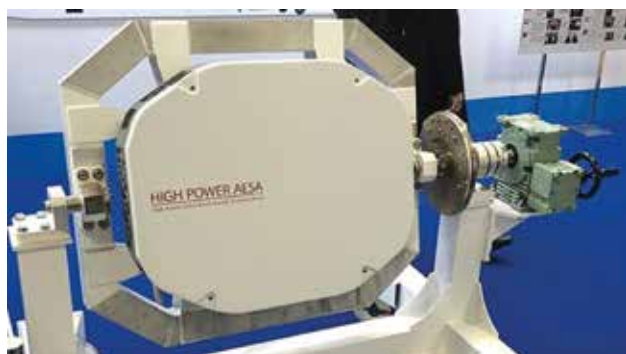


圖3 日本防衛省在2018年12月中公布的下一代機載AESA雷達模組原型機。

資料來源：Japan Reveals Future Fighter AESA Radar, Aviation Week, 2018/12/6, <https://aviationweek.com/defense-space/aircraft-propulsion/japan-reveals-future-fighter-aesa-radar>。

	Mechanical driven parabola antenna	AESA	REESA
Size	△	○	○
Beam Accuracy	○	○	●
Price	○	△	○

圖4 日本三菱公司於2018年2月6日公布的「可旋轉式電子掃描陣列」(REESA-Rotational Element Electronically Scanned Array)最新雷達技術，能夠達到更精準的多波段聚束掃描模式，可望用於日本自製的第5代機上。

資料來源：Mitsubishi Electric's New "REESA" Small, Low-cost Array Antenna Achieves High-precision Beam Scanning, Mitsubishi Electronic News, 2018/2/6, <https://www.mitsubishielectric.com/news/2018/0206-a.html>。

2019-2025 packaged GaN RF device market forecast - Split by application

(Source: Yole RF Market Applications, Powers, Technology and Substrates 2020 report, Yole Développement, 2020)

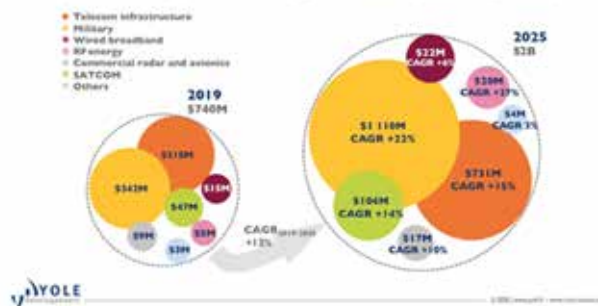


圖5 2019~2025年全球氮化鎵原料的市場預測值，僅軍事用途即佔11億美元。

資料來源：Driven by military applications and 5G telecom infrastructure, GaN RF continues growing, Yole Development 2021, http://www.yole.fr/GAN_RF_Market_Growth.aspx。

58 Qorvo Applications Engineering Staff, "GaAs and GaN Die Assembly and Handling Procedures", white paper, Qorvo, 檢索日期2021/10/23, file:///C:/Users/%E9%99%B3/Downloads/qorvo-gaas-gan-die-assembly-handling-procedures-white-paper.pdf。

九〇年代直升機構型改裝

直升機的構型改裝早在文藝復興時代「旋翼航空器」的概念問世時即同時成形，儘管根據可考的資料推算，直升機的真正實用化，要到二戰後甫付諸運用，但以「鉛錘原理」發展的直升機一開始部署就廣泛地堪任各項任務，彌補了長久以來定翼機的不足之處。

近年來，世界各地「非傳統安全」任務大幅增加，各國政府對直升機的應用已經明顯地偏向於搶險、救災的範疇，因此，也促進了中、大型多功能直升的構型改裝，搭載更多新一代的任務套件和模組，以便遂行既定任務科目，達到「多功能」的基本定義，這其中，又以美國「賽考斯基」(Sikorsky)公司長年研製的中運量通用直升機為代表，從其外型設計理念、附屬搭配裝置、座艙配置布局等層面，都間接成為其他各國同級產品的模仿對象，日本屬於典型的「構改合作」。

一、通用設計符合時代需求

今日廣為各界所知的「黑鷹」通用直升機(UH-60系列；U代表「通用」Utility)，其實在發展概念上受到前一代機種H-34的影響甚深，觀察從1970年代中南半島美、越戰爭時期，美國對H-34的改裝工程，使之具備「多功能」的設計概念開始整合實際作業環境經驗，讓直升機逐漸能勝任在多種環境、氣候下的部署與操作，配合渦輪發動機的應用，進一步完善現代空中勤務「垂降」作業的基礎。

上世紀1950～60年代，使用傳統活塞式發動機的通用直升機，在設計概念上首重「機艙容量」，因此飛行員駕駛艙多半採取「架高」的閣樓式安排(例如美製H-19和H-34；俄製Mi-4)，其主要理由有二點：一、為機艙內部爭取更多的容積，以便於各種器材與人員的安置佔位；二、活塞式發動機的體積較大，考量直升機的配重平衡，多半置放於機首，便於機械員保養維護(這種設計直到美、英兩國開始為UH-34的衍生機種換裝第一代的直升機渦輪發動機)，其衍生的機載武裝(機槍、彈艙、火箭)多以懸臂吊載於機艙之外，至於另外的救護構型，也係將垂降起重機吊桿延伸至機艙外一側(通常為右舷門上方)，藉之以懸吊救生艇與人員套環索具等裝備，這樣的設計布局一直影響了後續新型的通用直升機發展。

二、直升機產業鏈跨國合作

亞洲海島國家領土多呈零星分散，偏遠離島與本土聯絡多以直升機為通勤聯繫工具，運用救護型通用直升機最為普遍者當屬日本，從1954年起，三個軍種的自衛隊便各自採用美援之H-19(均為C型)系列，各自擔綱「運輸」、「搜救」、「專機」等功能，作為UH-34的基本發展原型，對海上自衛隊後來採用本機型，作為川崎重工獲得原廠授權在日本仿製HSS-1「反潛」(海蝙蝠)構型直升機的決策不無影響，也可以說，日本的直升機工業基礎，完全得力於HSS-1的生產與組裝才能樹立日後的基本能力，日本的反潛直

升機至此也和通用化概念融合，為三菱重工在1990年代的「艦隊反潛」SH-60J/K「海鷹」系列直升機編制，⁵⁹做出有力的鋪陳，間接地也讓「賽考斯基」公司研製的通用直升機，在美國本土外以日本為中心，逐年改變亞洲其他各國的軍種同等級裝備序列，進而達到美國對各個盟友「裝備標準化」的戰略目的。

原則上，以「通用化」概念為前提研製的直升機，各型機種的性能各有所長，在編制上也多以比照定翼機的「高低搭配」為策略，藉以涵蓋各種任務層面，尤其對於部分亞洲國家(東南亞)，其所面對的反恐、處突等任務成為常態化，仰賴通用直升機的多功能化，反倒比運用定翼機更具成果和符合經濟效益，復以美製通用直升機的耐用性與簡易維修特性，讓直升機的單位越形增多，從各國的國防、內政到警政甚至大眾傳播單位，都有各型通用直升機的編配，但它們在機組人員培訓和機材零附件的採購和獲得，也多採用國家統一發包申購的方式，以便於讓尚缺自製能力的各國能迅速獲得補充，不致影響

正常出勤。

三、既有構型繼續衍生改良

再以日本為例，早在1988年，日本航空自衛隊就選擇UH-60L為基本構型，取代其KV-107(雙旋翼)和S-62搜救直升機。⁶⁰第1架由賽考斯基公司製造，廠商型號為S-70A-12，另外3架由三菱重工組裝，三菱再經原廠授權許可生產其餘的UH-60J。⁶¹而日本海上自衛隊還選擇了「搜索與救援」(SAR)通用直升機來承接1989年的S-61A，⁶²由三菱和賽考斯基聯手支持自衛隊的任務要求。UH-60J於1991年開始交付，旋於1992年起服役。至2010年，共有40架UH-60J編入自衛隊「救難航空隊」。⁶³航空自衛隊在2010年12月又訂購了40架新的UH-60J，以替換舊的UH-60J，這批「UH-60J+」對現代SAR任務系統進行了各種升級。⁶⁴在2006年日本編列國防預算之前，就已明訂從2009年起加裝空中加油管，這批UH-60J+還完成了與美國空軍的聯合訓練，擴大了其在SAR任務中的活動。⁶⁵《圖6》

另一方面，防衛省也在1980年代中

59 Mitsubishi SH-60J, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., 2008/5/3, 檢索日期2021/4/11, https://www.mhi.com/products/defense/sh60j_anti-submarine_helicopter.html。

60 Greg Goebel, Sikorsky S-70 Black Hawk. Vectorsite.net, 2009/4/1, 檢索日期2021/3/30, <https://airvectors.net/avs70.html>。

61 Mitsubishi UH-60J, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., 2011/9/27, 檢索日期2021/4/15, https://www.mhi.com/products/defense/uh60j_rescue_helicopter.html。

62 Mitsubishi (Sikorsky) UH-60J, Jane's Helicopter Markets and Systems(London: Jane's Information Group, 2009), p.51~55

63 Mitsubishi (Sikorsky) UH-60 (Japan), Military Section Aircraft, Rotary-wing(London: Jane's All the World's Aircraft, Jane's Information Group, 2010/1/27), pp.25~35

64 Greg Wardron, "Mitsubishi wins \$2.3bn deal for 40 UH-60Js", Flight International, 2010/12/9.

65 於下頁。



圖6 日本海上自衛隊還選擇了UH-60J用於「搜索與救援」(SAR)直升機至今已屆29年。
資料來源：日本海上自衛隊網站 <https://www.mod.go.jp/msdf/equipment/rotorcraft/rescue/uh-60j/>。

替海上自衛隊選擇了S-70B作為三菱HSS-2b(日本版的SH-3H)「海王」反潛直升機的後繼機種。當SH-X(後來正式型號稱為SH-60J)項目啟動時，HSS-2b甫撥交海航使用不久，因此，最初的計畫是將HSS-2b的任務系統與SH-60B的原型空機整合在一起，但最終採用了日本「技術研究本部」(TRDI)自行新研發的系統，它與1990年代時興的第3批「輕量化艦載直升機系統」(LAMPS Mk.III)功能相似，為日本「海鷹」直升機配備了任務電腦，藉由數據資料鏈路聯接到驅逐艦母艦的戰鬥指揮系統中，但它還配備了和美國海軍SH-60F同等級的水中聲納，⁶⁶明顯偏於偵潛和反潛能力的加強。原型機XSH-60J的

首批飛行是在1987年8月31日和1987年10月。防衛省值此指定了SH-60J型要裝置「日本製」的航空電子系統，並由海上自衛隊進行了測試飛行。⁶⁷《圖7~8》

SH-60J於1991年8月開始交付，同年稍後開始服役。3名機組員中的副駕駛員可以在自動飛行管理系統和慣性導航系統



圖7~8 日本海上自衛隊SH-60J性能升級版和SH-60K反潛直升機，後者已能發射短程反艦飛彈，具有對海岸目標的反制能力。

資料來源：日本海上自衛隊網站 <https://www.mod.go.jp/msdf/equipment/rotorcraft/>。

65 Angelique Perez, "33RQS helicopter pilots give air refueling training to JASDF", US Air Force Kadena Air Base, 2009/4/2.

66 防衛省海上幕僚監部，海上自衛隊50年史(東京都：防衛省，2003年版)，頁173~181。

67 "Sikorsky SH-60B", All the World's Rotorcraft(London：Jane's Information Group, 2010), p. 31



的幫助下，專注於戰術協調員的角色。⁶⁸到2007年，日本已經生產了100餘架SH-60J。SH-60K是SH-60J的升級版，先前稱為「SH-60J改」，它增強了新世紀的多項反潛特性。三菱於1997年開始研改，於2005年3月出廠。採用新的主旋翼槳葉、船艦降落輔助系統、航空電子系統和其他偵潛系統。三菱藉由修改型SH-60J製造了2架原型SH-60K。⁶⁹第1架SH-60K於2005年8月10日交付給海上自衛隊，總共製造了50架SH-60K。⁷⁰可以見得日本為自衛隊的裝備更新換代統一擘劃，藉以避免後勤的繁複紊亂。

結語-零附件供應鏈創造商機

我國四面環海，陸地山巒起伏，全年皆有各種民生休閒遊憩在疆界周圍舉行，惟先天氣候多變，通常讓這些橫跨水陸的活動充滿自然變數，對此，多功能的搜救型直升機就扮演著不可或缺的角色，部署在各地的救護直升機隊，成為保障民眾生命安全的守護神。

我國與日本之國情和文化背景儘管不同，但同樣是作為美國在亞太地區的重要安全伙伴，在航太技術的轉讓和釋出存在若干相近的國際籌碼，善用資源、巧妙布局，結合整體外交利益因勢利導，多少可以為一己的航空高技術能量加分。從日

本YS-11的研發歷程，透露出現代國家發展航空工業，必須要以「軍民通用技術」的概念作為前提，除了航空產品的標準化和規格化要和世界接軌之外，更要有「外銷」的長期策略鋪陳，才能進一步降低成本，同時逐漸擴大本國工業在世界的影響力，成為國家戰略的一部分，畢竟渦輪螺旋槳飛機還會在世界航空市場的技術面上屹立成不可取代的長青樹，機材零附件的商業效益更不可預估。

時至今日，全世界有多達32個國家和地區使用「黑鷹」系列，它為現代的通用直升機構型改良和發展建立了不可取代的範本，日本防衛省對於海、空自衛隊所屬的「海鷹」直升機隊換裝與研改工程，尤其受到國際的矚目，充分應用在各種範疇的任務，它在直升機工業上的成就並非一蹴可幾，一如前文所述，它也是根據前一代的H-19和UH-34系列的成功改良經驗，一步步累積的紮實成果，值得所有意圖發展直升機工業供應鏈的國家予以借鑒。

參考資料

1. "Keeping 4th-generation fighters relevant, AESA and GaN technology provide a mission advantage", Raytheon Intelligence & Space, 2021/7/14,

68 AFMS controller for the SH-60J(London : Jane's Avionics, Jane's Information Group, 2007/1/24), p.5

69 Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. "Development of SH-60K Patrol Helicopter", Technical Review Vol. 42 No. 5, December 2005.

70 Mitsubishi SH-60K Upgrade(London : Jane's, 2008/6/11), p.35~50

- <https://www.raytheonintelligenceandspace.com/news/feature/keeping-fourth-generation-fighters-relevant>。
2. Wilmer Companioni, "An Ideal Capacitor Solution for GaN Technology", <https://www.mouser.cn/pdfDocs/AnIdealCapacitorSolutionforGaNTechnology-2.pdf>。
 3. "F-2 Attack Fighter for the Japan Air Self Defence Force", Air Force Technology, 2021/10, <https://www.airforce-technology.com/projects/f-2/>。
 4. "Japan's Upgraded SH-60K Maritime Helicopter Takes First Flight", Naval News, 2021/5/14, <https://www.navalnews.com/naval-news/2021/05/japans-upgraded-sh-60k-maritime-helicopter-takes-first-flight/>。
 5. Mitsubishi SH-60J Archived 2011/9/27, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. https://www.mhi.com/products/defense/uh60j_rescue_helicopter.html。
 6. 海上自衛隊50年史 本編, 防衛庁海上幕僚監部, 2003.3 https://rnavi.ndl.go.jp/mokuji_html/000004055308.html。

作者簡介

耿志雲先生，國防大學復興崗政治研究所中共解放軍研究組100年班軍事學碩士，國際電子戰協會會員，曾任軍事專欄作者、軍事刊物編輯。



P-3C海上反潛機(照片提供：葉秀斌)