

噴射客機的 製造與技術 (修訂版)

認識噴射客機的技术發展和製作流程，
一窺製造現場的技术細節與浩大工程。

青木謙知◎著

盧宛瑜◎譯

作者序



「製造業」現場，是在一無所有的狀況下，生產出實體的「物品」。這個過程實為非凡的景象，且能夠給人物品誕生後的感動。用於製造業的各種技術，特別是訓練有素的技術員，其技藝更令人驚嘆。

飛機的體積相當大，因此工廠也很大。由於製造過程已分工，因此只看一間工廠無法掌握其製造全貌。例如波音的飛機，雖然在波音工廠進行最後組裝，但反過來說，就算參觀波音工廠，也只能看到最後組裝作業。對於機體框架的製造以及外板加工等，大部分的作業工程，都是和其他工廠簽訂負責製造的合約，在其他工廠進行製造作業。因此，就算想「在波音工廠看某個構造零件的削切作業」，也不可能實現。

關於飛機整體的實際製造作業，首先從某個製造商開始製造小零件，再由其他製造商使用這些零件來製造尾翼等「機體元件」部位。接著各元件會被運至波音工廠，才進行最後組裝完成。這些作業流程無論是波音公司，還是歐洲共同體的國際合資製造商空中巴士，原則上都相同。

飛機內部更有引擎以及操縱裝置等諸多系統類的配備。尤其引擎完全為個別處理，引擎製造商是在製造完成後才交貨給機體製造商，並在最後組裝作業程序裝上。這就是為什麼，有一部分機種的

引擎走「選擇制」，能夠讓航空公司（Airline）選擇。

各種系統設備原則上和機體元件一樣，都有各個專業製造商。這些專業製造商從機體製造商那邊簽訂契約，開發、製造系統後再裝置於機體內部。筆者在取材時，對於這些進行前置作業的製造商感到吃驚的是，「他們作業用的工具機幾乎清一色都是日本製」。

最近，飛機的製造零件幾乎都是強化纖維複合塑料（FRP：Fiber Reinforced Plastic），但即使如此，飛機原則上還是金屬製。最常使用的就是鋁合金，暴露於高溫的部位則使用鈦合金材料。另外有部分相當低的比例會使用鋼鐵。日本製的各種作業用工具機則用來對這些金屬素材進行加工，這些工具機也被海外多數製造商引進。

說實話，這些機台雖都是相當特殊的機械，但大部分都由一些不是很知名的企業所製造。但不管是哪一間公司製造，比較其作業精細度以及可靠性、耐久性等，無論從哪個角度來看，大家都認為「日本製的工具機最好」。由於大多數公司對日本製機械的認可，加上現實也是日本製工具機的使用率較高，所以這並不是因為筆者身為日本人，就開始自誇。筆者在取材時發現這樣的事實，心中不禁感到無比驕傲，而且也重新認識了日本的技術力。

客機工廠比其他大型機體的組裝工廠還要大。雖然製造商提供

了工廠地板面積以及建築物的總容積數字，但無論何者，都和我們日常生活接觸到的認知相差甚遠，幾乎難以想像。因此飛機組裝工廠有諸多稱號，如「是沒有柱子的世界中，最大的建築物」等，擁有相當多「世界第一」的形容詞。最容易想像的說明之一，就是在波音公司的埃弗里特工廠，面積到達「一棟工廠大門的大小，和美國一座足球場地地面面積一樣大」。這個說明就能夠實際感受到工廠（建築物）的大小。

本書主要都使用筆者所取材的內容以及照片，並針對今日的噴射客機製造現場的狀況，包括規模大小等，以容易理解的方式傳達給各位讀者。

本書執筆之際，受到科學書籍編輯部門的益田賢治先生、以及石井顯一先生的許多寶貴建議。筆者在此藉著書序，對兩位致上謝意。

2013年9月 青木謙知

直到決定開發 噴射客機前

1

噴射客機是民間企業販售的商品，若沒有需求和販售的前景就無法開發。本章將針對直到決定發展新型客機之前的過程做詳細說明。

Technologies of
jet airliner
manufacturing





✈ 噴射客機又可分為大型機、中型機、小型機，以及短距離客機、中距離客機、長距離客機等。無論哪一種機型，只要到了一定的時期就必須改換新機型，開發新機型會以前代機種的開發時間為基礎，在一定的循環下進行改良。

照片 / 青木謙知



1.1 噴射客機的壽命

客用機和貨用機甚至相差15年！

噴射客機的壽命在設計時，主要依其機體構造而定，通常都以其構造強度能夠承受的飛行時間及飛行次數來決定。例如長距離客機波音747，在設計階段時便以「總飛行時間60000小時」以及「起飛和著陸次數（又稱起降次數）20000次」為目標，並在實現此目標為前提下，進行設計製造。

其後製造的短距離機型（747SR），比起長距離機型的巡航飛行高度較低，接受外部空際的氣壓差較小，但另一方面，短距離航線的起降頻率會增加，因此便將新機體的飛行壽命目標設定降至42000小時，但起降次數則增為53000次。

此外，飛機也會根據其實際操作的狀況，而有可能超過當初設定的飛行壽命。例如麥克唐納·道格拉斯（簡稱麥道，後來與波音公司合併）公司的MD-80，它所設計的飛行時間壽命為45000小時，但卻因其相同構造設計的前代機種DC-9的飛行實績，而延長至78600小時。

若要正確推測客機的壽命，會有點複雜，不過以一般的客機



使用條件，其中一個標準就是「經濟壽命達20年」。這個意思就是在20年內，一般維護保養工作下便能夠飛行，但若超過20年，即使還能夠運作，其維護工作的頻率也會增加，而且修補工作所需的花費也會提高。

但如果是貨物專用機，即使相同設計的機種，其壽命也能延至35年。原因之一就是貨機不載客，因此像一些使用壽命較短、且需要頻繁檢查的旅客用安全設備以及客房系統等都不需要裝設。當然客機本身的安全性和構造強度等完全沒問題，在不載客的情況下還能夠延續使用15年。因此當客機退役後，其機體大多會轉賣，被當成貨機來運航。



1.2 市場預測

為何預測的時間為20年後？

噴射客機並非每個人都會購買的一般商品。但是進行市場預測，調查何時需要、需要何種機種、以及需求量多大等，再根據預測訂定販售策略，這一點和其他商品並無不同。

客機主要製造商波音公司以及空中巴士公司每年都會發布20年後的市場預測。波音公司發行的預測稱為Current Market Outlook (COM)，空中巴士的則稱為Global Market Forecast (GMF)，其中包含往後20年間世界各地區的經濟成長預測、未來20年內全球所需機種和數量、以及每個地區需求的特徵等。

這兩家公司的預測時間之所以都是20年，這是因為前面提過，客機的經濟壽命大約為20年，現在所使用的噴射客機在20年後幾乎都退役，且更換完畢。簡而言之，這個預測是針對全機型替換期間的總需求。

兩間公司的全體預測並無太大差異，其預測相同的部分如：今後20年內，航空旅客的需求量每年平均約成長5%，其結果表示噴射客機的數量必須增至2倍，牽引世界航空旅客市場的地區是中國以及東南亞地區，而需求量最大的則是單通道機艙，配備150~180席座位的機種等。但是關於超大型機種的需求量，由於空中巴士開發並販售了A380客機，因此空中巴士對於這項需求的預測量較大。

1.3 客機市場的轉換

是否要開發超大型客機

噴射客機的經濟壽命約為20年，也就是說，如果20年內現役的客機幾乎都會替換更新，那麼噴射客機的市場大約為20年區隔，每20年就會有一波輪替。實際上，在1960年代的波音727 / 737或道格拉斯DC-9、以及歐洲製的各種小型客機等登場後，短距離路線的客機也一口氣進化成噴射機種。接著自1980年代前半起，這些客機的後世代機種，也就是新單通道客機（150席等級）的需求量急速增加。



 以747獨占超大型飛機市場的波音公司，在迎接超大型客機的20年輪替點之際，並未生產新機型，而是以747的改良機種來一決勝負。照片為波音747-8洲際飛機。 照片 / 青木謙知

空中巴士的A320家族飛機，就是瞄準了這個時機所開發。其後再過了20餘年的今日，A320和737更導入新技術，進展到開發了新世代的新單通路機，接下來預估也即將因應需求量的增加。

以超大型客機來看，由於1970年為波音747首航，因此預估進入1990年代時，最好也開始進行新機型的替換。這就是為什麼空中巴士公司會開發A380客機，並在2007年讓A380開始上線首航。另一方面，由於開發這種超大型客機需要龐大的經費，風險也相對提高。



空中巴士公司開發了新世代的超大型客機A380，總計有2層樓高的客座。加上A380之後，所有種類的客機便齊備，讓空中巴士足以與波音對抗。

照片 / 青木謙知



因此波音公司幾經波折之後，決定不開發新的超大型客機，改成以747改良型客機來對應。會有這樣的決定也是因為受到市場調查結果的影響，由於市場調查顯示目前並無2種新機型能夠共存的規模，因此波音公司決定推出改良型。

雖然747-8客機是基於上述原因製造出來的，但在新技術的導入上、以及對使用者的宣傳等，相較之下還是全新設計的A380客機占領導優勢。



1.4

機體提案的策劃制定與評價

不是只要把機體做大就好

開發客機首先要做的，就是基本的機體規格策劃制定以及其評價。以空中巴士的A380為例，以下我們就來看看開發新客機需要哪些作業。

首先，空中巴士公司計畫要開發能夠替代747-400的新世代超大型飛機。其具體的機體規模目標為「適合國際線飛行，並設有3等級共600席規模的客座，且擁有比747-400更久、超過13000公里以上的續航力」。在上述前提下，更提出以下條件：不需要更換現有的機場設備就能夠直接就航；著陸後開始進行機上乘客以及手提行李的更替和加油等作業，到下一班次起飛為止所花時間（停航時間，turnaround time）壓縮在110分鐘以內。

接著空中巴士先針對機場的適性做調查，發現「80（m）」這個數字相當重要。這個意思是，機體總寬度和全長如果能夠壓縮在80m以內，無論哪一個機場都不需要蓋新的航廈，就能夠讓A380就航。機體全高也因與維修設備相關，而希望高度能夠在80英尺（24.38m）以內。

此外，如果全長控制在80m以內，機體軸距就不會過長，那麼幾乎所有的機場都不需要變更飛機滑行道和彎道的半徑，就能夠引進A380。

飛機與機場的適性還有一項也相當重要，那就是機場鋪面強度。空中巴士計畫設計的總重量為470噸，目標只比747-400重約70餘噸。為此，空中巴士檢討了各種主起落架的車輪配製以及數量，並研究如何將重量分散至機身。

最後設計出的A380客機，全寬79.80m，全長73.00m，全高24.1m，完全控制在「80（m）」的範圍內。總重量雖增至562噸，但整體由16個輪胎支撐（1個主輪的重量約為35噸）。

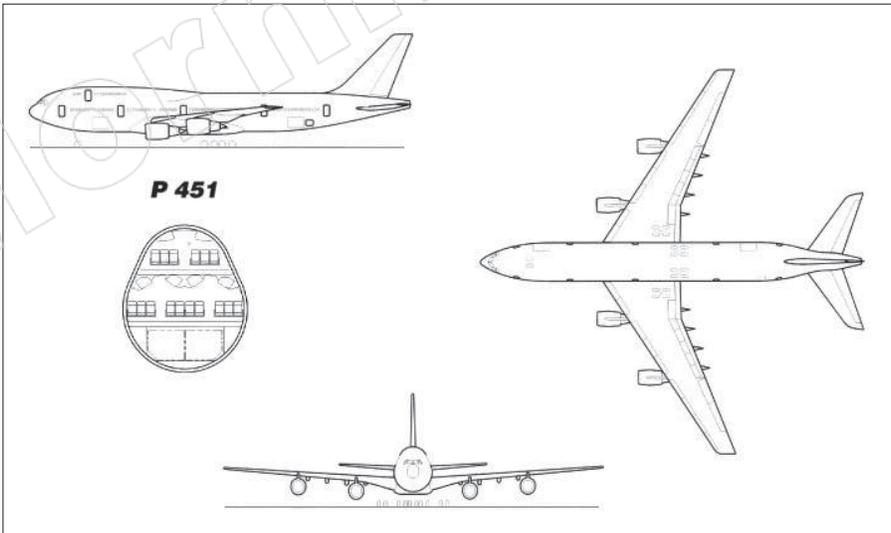
此外，空中巴士在設計A380的過程中，也摸索了數種機體設計。以下便以圖示介紹其中3種代表款式。

■ 並非只要高速就好

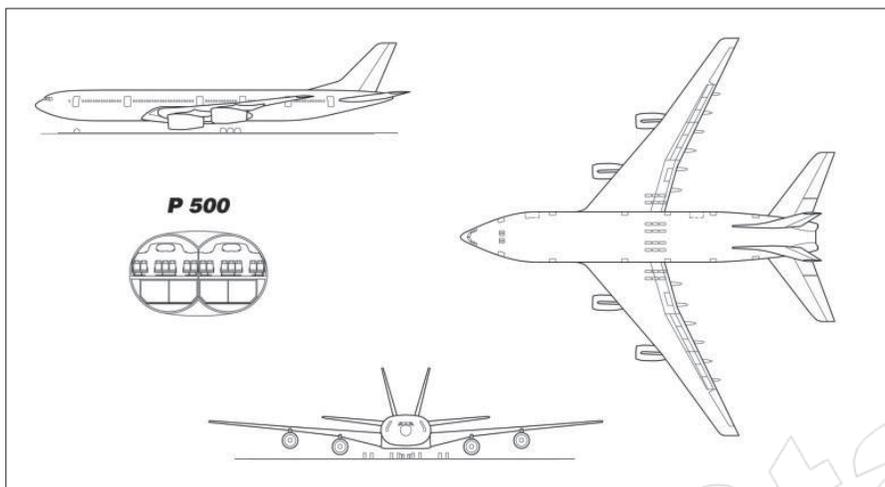
另一方面，波音公司在2001年3月29日發表「音速巡航機」，該客機並非747的衍生型，而是依據全新的概念所設計的中型客機。

巡航速度比起一般的噴射客機提高至0.8到0.95馬赫（註：馬赫值為飛行速度除以音速），它雖然不是超音速客機，但由於能夠以

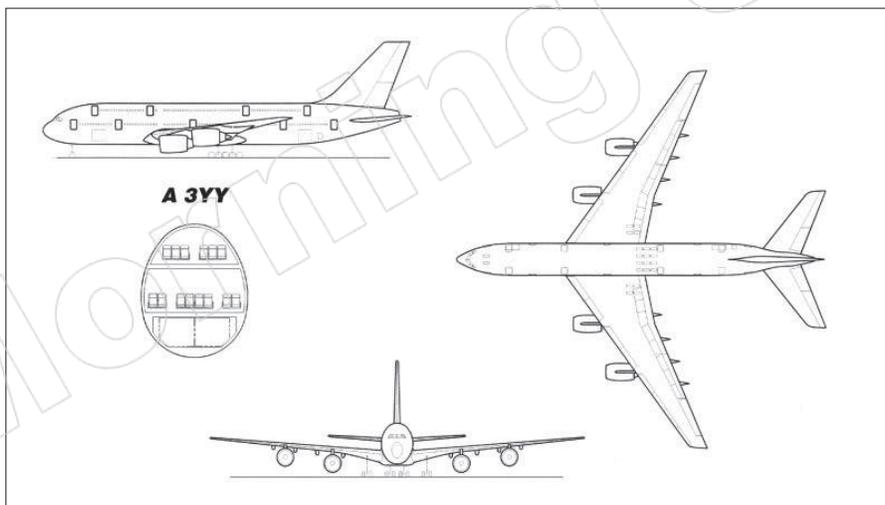
■ 空中巴士公司所研討的各種超大型客機設計草案



 P451。和波音747使用相同的「不倒翁」型剖面，前端機體為2層設計。2樓能夠設置的客座較少，因此這個草案若將機體控制在80m以內，則無法設置600席的客座。



 **P500**。各種草案當中最獨特的水平雙連機體型。客機通常只從左側進出，在右側機體的乘客如何上下機成了最大的難題。此外，由於使用兩個寬大的機體並排，要將全寬控制在80m以內也相當困難。



 **A3YY**。和之後的A380使用相同的橢圓型剖面，整體配備2層客座，但第2層客座為單通道，和A380的雙通道不同。機體做得較狹窄，優點是能夠減少空氣阻力，但是由於2樓的客座為單通道，乘客上下機較耗時，因此判定若設置600席，就無法達到將停航時間控制在110分鐘以內。

高速狀態進行長距離飛行，因此命名為「音速巡航機（Sonic Cruiser）」。針對將來預期的旅客需求量增加，波音公司並未打算

以大型客機來進行大量運輸，而預計以中型客機搭配新設計的運航路線，用分散旅客的方式來吸收增加的客量。但是高速飛行的音速巡航機需大量燃料費，因此運航的經費也確實會提高。

恰巧那時，2001年9月11日美國發生了劫持客機的恐怖襲擊事件，受到這個影響，一時之間航空的旅客人數大幅減少。因此比起高功能性的機體，當時的航空公司更需要經濟性優越的客機。

波音公司因應這樣的市場需求，改變生產新型飛機的計畫，預計生產高效率的中型客機「7E7」，這就是今日的787客機。由此可知社會上所發生的事情或案件，也會對客機的開發造成影響。



 波音公司的新型客機從音速巡航機變成7E7（現在的787）。但無論哪一種客機，由於都屬於中型的長距離機種，因此兩種客機的基礎想法一致，都必須開設更多新都市的直航組合，以分散旅客的方式來消化旅客增加帶來的需求量。 照片 / 青木謙知

1.5 導入新技術等的評價

比什麼都重要的就是優先考量安全性

幾乎所有的產品都會在誕生後融入更新的技術加以改良，發展成新世代的新品。噴射客機也一樣，不僅在機體設計上，連裝備也經常導入新技術，進行新品的研究與開發。

使用電腦操控的線控飛行操作系統、以及駕駛員座艙中的新型抬頭顯示裝置，在現今已被廣泛使用。線控飛行系統是從戰鬥機使用的操控裝置開發而來，用來操縱控制的電腦軟體能夠保護飛行領域，也能設置各種自動校正功能，因此大為提高在操作面上的安全性。抬頭顯示儀則能夠在看到外界視野的同時，也清楚看見飛行的



✈ 737-800的駕駛員座艙。儀表板上方飛行員的視線範圍上，有一個透明的玻璃板，那就是抬頭顯示儀。顯示儀上以綠色的文字或符號投射出飛行情報，由於顯示畫面為透明，飛行員也能夠同時看到外界視野。下一代737開發當時，這項設備還未能成為標準配備，由於該配備在737就航後才成為選擇性的裝備品，因此只裝設在機長座位（照片）上。

照片 / 青木謙知



 空中巴士未來的概念客機。在追求經濟性以及環境合適性之下，所產生的機體外型，但這個款式的客機何時才能實際呈現在眼前，這還是未知數。

照片提供 / 空中巴士

速度、高度以及姿勢等訊息，大幅提升飛行員的情境認知能力。

客機製造商在導入新技術時，重視以及判斷的基準點就在於該項新技術導入後，是否能夠提高飛行的安全性。如果能夠擔保提高安全性，即使在開發階段會花費些許經費，業者還是會積極導入，相對地，就算是看起來不錯的想法，若對提高安全性沒有貢獻，那麼就不會被採納。

這幾年雖然市場對於經濟效益和環境保護等議題也相當重視，但最優先的課題仍為是否能確保以及提高安全性。

1.6 到提案之前的過程

製造商和航空公司互相緊密配合

開發機體的概念固定下來後，爲了要將此事業化，必須進入蒐集訂單的作業。客機和汽車等交通工具不同，它的客層有限，顧客參與概念開發的情況也不少，因此新機體通常不會和顧客的需求差距太大。

但是隨著作業進行，在細部的詳細設計確定後，最終必須整合圖面，進入準備製造的階段。即使在這個階段，仍然需要傾聽潛在客戶等的需求。

這些過程是因爲客機並非一般商品，即使是製造商，對於哪個部分應該怎麼做，才能夠提高方便性等的訊息、知識以及經驗都還不足夠。累積這些知識經驗的，是每天都在運航、持續使用這些客機的航空公司，因此最好的方式就是向這些航空公司請益。

細部的設計結束後，就完成了基本的機體設計計畫。這個階段和前面不同，製造商會對身爲顧客的航空公司更加具體說明細部構造（雖然在這之前也有不少可能的狀況）。通常在此階段之後，會由董事會議等上層組織集體認可機體提案，整合後再開始向顧客提出販售計畫。

當然在這之前，製造商要開發何種機種已經事先傳開，因此進入此階段後，將展開更具體的商業部分如機體價格、交貨日期以及可安裝的配備選項說明等。



 波音公司在開發787之際，針對以前各家航空公司能夠任意選擇的配備，也已事前經過某種程度的篩選，然後才導入可讓航空公司選擇的「目錄模式」。展示這些裝備的787展館就設置在西雅圖。上圖為客艙的緊急用裝備品，下圖為廚房的咖啡壺類用品，用目錄模式選擇就能夠將價格大幅降低。

照片 / 青木謙知

1.7 獲得啓始客戶

由數間公司組成客戶群

最早訂購新客機，並促使機體開發計畫啓動的顧客，就稱為啓始客戶（Launch Customer）。啓始客戶的資格和數量、以及訂購客機的數量並無規定，只要製造商認為「足以構成事業化」，新機體的開發計畫便會啓動（launch=開始的意思）。

這些啓始客戶的航空公司大多都是經營多條路線，能夠形成運



 A380的啓始客戶新加坡航空，同時也是最早讓A380實際就航的航空公司。照片為展示機，機體上寫著「First to Fly A380」（首架飛航的A380）

照片 / 青木謙知

輸網絡的大型企業，但其中也有廉價航空公司（LCC）。此外也有與數間航空公司同時交換契約或備忘錄，由數間公司形成啓始客戶群。例如A380客機，最初與之交換正式契約的雖然是澳洲航空，但其實在這之前，阿聯酋航空已發表購買意願，接著更有新加坡航空以及維珍航空陸續加入，形成啓始客戶群。



大部分的啓始客戶都會成為最早收到該機種的航空公司。波音787的啓始客戶為全日本空輸服務有限公司（全日空），因此該公司領先世界的航空公司，首先收到787機體。

照片 / 青木謙知

Working Together的意思是？

波音公司在開發777客機時，將汲取顧客需求的作業命名為 **working together**（共同作業），並反覆進行多次會議，總合意見後擬出機體計畫。在研發787客機時也承襲這項作業，由日本航空公司和TOTO公司開發了客機用免治馬桶，並且裝配在787部分洗手間內。歐美國家幾乎不使用具清潔功能的淋浴式洗手間，因此對於這項設備在日本的普及率感到不可思議。若這項設備未經飛機製造商與日本航空公司之間之共同作業，應該無法如願實現。



配備免治馬桶的波音787洗手間。雖然這項設備對提高安全性並無貢獻，但對於習慣淋浴式洗手間的日本人而言，是相當令人高興的裝備。

照片 / 青木謙知