

科學圖書大庫

# 航空電子設備

校閱者 呂伯強 宋真坦

徐氏基金會出版  
世界圖書出版公司

科學圖書大庫

# 航空電子設備

校閱者 呂伯強 宋真坦

徐氏基金會出版  
世界圖書出版公司

**航 空 电 子 设 备**

吕伯强、宋真坦校阅

徐氏基金会(台) 出版

世界图书出版公司

(北京朝内大街137号)

北京中西印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1990年3月第一版

开本: 850×1168 1/32

1990年3月第一次印刷

印张: 15

ISBN 7-5062-0663-3

定价: 8.40元

经徐氏基金会允许, 世界图书出版公司重印, 1990

限国内发行

## 總 論

日本之民間航空以及與航空有關之技術開發方面，經過戰後一段時期之空白時代，已經逐漸地整備起來。目前，機場以及相關設施、航空交通管制系統、航空保安系統等等，任一方面均進步神速。另外，航運經營者所擁有之飛機與其航運管理體系以及維修體系亦已充實到位列世界之前幾名之程度。

航空與飛機（包括アゼオニクス）、飛行員（PILOT）、航空保安無線電設施、ATC（航空交通管制）設施、航空管制官、航空通訊設施等等，這一連串大小的環結（LOOP），爲了保全飛機之安全航行而有系統地結合在一起，成爲一機能健全之大體系。試舉小環結（LOOP）之一的飛機操縱方面來說，感應器（SENSOR）→顯示器→飛行員→控制系統→操縱舵面→感應器，如此的一個環結，於近代的飛機，此一環結則由「感應器→（顯示器→飛行員）→控制系統→」之所謂手動操縱系統變更爲：感應器→數位處理系統→（顯示器→飛行員）→控制系統之手動操縱系統與→數位處理系統→控制系統→與自動操縱系統所整合組成。飛行中之大部份時間使用自動操縱系統，其間，（顯示器→飛行員）之環結則當作經常監視系統而存在著。

同樣地，在ATC之場合時，飛航資訊（FLIGHT STRIP，RADAR DISPLAY）→管制官→飛行員→飛航資訊之環結亦被構成。隨著預測資訊之變化，管制官會修正飛航資訊，或者尋求飛航要素之

修正，而將最新之飛航資訊給予飛行員。

飛機由1960年左右之第一代噴射（JET）運輸機時代開始連續經過第二代與第三代機種之變革，現在已進入最新之第四代噴射機時代了。這些飛機不用說其空氣動力學之性能，其電子裝備件之機能亦非常地發達。以今日之程度來看，亦引入了極為高度電子化之各種系統，只要兩位飛行員即可安全地飛航，而且整體之可靠度亦非常高。

飛機之飛行控制方面，所必需之各種感應器中之姿態基準之感測方式，隨著機用計算機技術之發達，已能以固裝（STRAP-DOWN）方式來使用雷射陀螺儀（LASER-GYRO），而得到更精確之數據，同時，該數據亦可應用於導航方面。由於硬體（HARDWARE）之可靠性大幅地提高，今後在此領域之內，此種方式必成為主流。另外，電波感測方面，由於數位（Digital）處理系統可以內藏於其中，依地面工作站與機上裝置之多路徑（Multi-Path），而具有減輕系統之性能劣化之能力，可說非常有助於整體系統功能之提高。空氣數據（Air Data）與換能器（Transducer）之性能提高的同時，由於空氣數位電子計算機之引入，故可有高性能之輸出來供給自動飛行控制系統。同時，亦可將有效之資訊（Information）給予飛機上之風剪（Wind Shear）偵測系統，此為提高飛航安全之一大要素。

此外，由於數位計算機（Digital Computer）技術可以廣泛地應用在飛機之上，因而可以提高自動飛行控制系統之性能。藉著隨之而來的安全-失效（FAIL-SAFE）系統以及失效運作系統的開發完成，自動著陸系統也就實現了。更有甚者，由於電子計算機技術之利用，飛航管制系統（FLIGHT MANAGEMENT SYSTEM）或推力管制系統（THRUST MANAGEMENT SYSTEM）之導入也就變為可能，也因而能夠進行最適當之飛行控制，而有助於燃料費用之減輕。另外，隨著飛機之最新空氣動力學設計技術之發展，線控（FLY-

BY-WIRE) 或者光纖控制 ( FLY-BY-LIGHT ) 之技術應用亦成爲可能，若其可靠性能獲得保障的話，則可以期待藉由那些技術而獲得更快適安全之行。

另一方面，當作人機介面 ( MAN MACHINE INTERFACE ) 而介於這些技術與飛行員之間的顯示器 ( DISPLAY ) 之一舉進入螢幕顯示 ( CRT ) 之時代，不用說到整合化儀器 ( INTEGRATED DISPLAY ) 之實現，僅顯示必要之東西，給予飛行員預測指示等亦變爲可能，各種警報機能之統一處理亦爲可能，隨著整體可靠性顯著地提高，亦有助於飛行員工作負荷 ( WORK LOAD ) 之減輕。

目前地面上支援飛機航行之航空保安無線電設施，在今後十餘年內會被當作主要系統 ( PRIMARY SYSTEM ) 而繼續存在著。指示空速 ( ILS, Indicated Airspeed ) 方面，爲了因應大型飛機須要較長之滑行距離而需之服務以及機場內大型設施之出現導致通路之增加，爲了減輕多重通路 ( MULTI-PATH ) 之影響以及所須之服務而開發了新的天線 ( ANTENNA ) 方式與信號方式。另外，由於新的半導體技術，可靠度極高之裝置亦一併被開發著。超短波全向式無線標識 ( VOR, VHF Omnidirectional Range ) 方面，能夠提供更好的服務給予終端空域內之飛機的終端 ( TERMINAL ) VOR，除了繼續保有與以往相同之 SIGNAL-IN-SPACE 外，可以一舉消除多通路 ( MULTI-PATH ) 影響的都卜勒 ( DOPPLER ) VOR 方式亦已被實用著。

與這些無線電導航系統並行著，而爲保障飛機飛航安全之 A T C 系統方面，從 1960 年代起，由於電子計算機之引入而急速地進行其現代化。首先，爲了程序管制 ( PROCEDURAL CONTROL ) ( 航空交通管制之基礎 ) 而開發了飛行數據處理系統 ( FDP: FLIGHT DATA PROCESSING SYSTEM )，接著爲了已現代化之雷達管制，而

開發雷達數據處理系統 ( RDP : RADAR DATA PROCESSING SYSTEM ) 。 另外 , 爲了以機場爲中心之終端管制 , 亦開發了自動雷達終端系統 ( ARTS : AUTOMATED RADAR TERMINAL SYSTEM ) , 目前 , 任何一種均被視爲標準設施而使用著。亦即現在可說是電腦輔助之 A T C 之時代了。更且 , 隨著新的雷達感測技術之開發 , 新的軟體 ( SQFT-WARE ) 與當作人機介面之顯示系統的開發亦被推行著 , 期待可靠性更高之 A T C 系統能出現。又經過過去 10 餘年之開發而完成之第三代系統中 , 應該談及的尚有 MLS ( 微波着陸方式 ) , SSR MODE S , 碰撞防止方式 , 航空衛星等等 , 其中 MLS 已被當作國際標準來採用 , 其他之設施亦逐漸地被標準化中 , 可以說我們即將要迎接新的航空電子系統之時代。

# 目 錄

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 總 論 .....                     | I  |
| 第一章 航空通訊系統 .....              | 1  |
| 1.1 概 要 .....                 | 1  |
| 1.2 航空固定通訊系統 .....            | 2  |
| 1.2.1 概 要 .....               | 2  |
| 1.2.2 國內固定通訊系統 .....          | 2  |
| 1.2.3 國際航空固定通訊系統 .....        | 5  |
| 1.2.4 其 他 .....               | 11 |
| 1.3 航空移動通訊系統 .....            | 14 |
| 1.3.1 概 要 .....               | 14 |
| 1.3.2 國內航空移動通訊系統 .....        | 15 |
| 1.3.3 國際航空移動通訊系統 .....        | 20 |
| 1.3.4 航空管理通訊系統 .....          | 29 |
| 1.4 航空廣播服務系統 .....            | 34 |
| 1.4.1 概 要 .....               | 34 |
| 1.4.2 飛航情報廣播業務 ( ATIS ) ..... | 35 |

|            |                                    |     |
|------------|------------------------------------|-----|
| 1.4.3      | 終端航線情報廣播業務 ( AEIS )                | 35  |
| 1.4.4      | 航空氣象 ( VOLMET ) 轉播系統               | 36  |
| 第二章 航空管制系統 |                                    | 39  |
| 2.1        | 概 要                                | 39  |
| 2.1.1      | 航線管制                               | 44  |
| 2.1.2      | 終端 ( Terminal ) 管制                 | 49  |
| 2.2        | 監視雷達 ( RADAR ) 系統                  | 52  |
| 2.2.1      | 航線 / 機場監視雷達                        | 52  |
| 2.2.2      | 二次監視雷達 ( SSR )                     | 65  |
| 2.2.3      | SSR 波型 S                           | 72  |
| 2.3        | 數據 ( DATA ) 處理系統                   | 80  |
| 2.3.1      | 概 要                                | 80  |
| 2.3.2      | FDP 系統                             | 81  |
| 2.3.3      | RDP 系統                             | 84  |
| 2.3.4      | 終端 ( Terminal ) 雷達資料處理系統 ( TRDPS ) | 95  |
| 2.4        | 未來動向                               | 104 |
| 2.4.1      | 航空管制系統之必備條件                        | 104 |
| 2.4.2      | 美國 FAA 之 ATC 系統的未來動向               | 106 |
| 2.4.3      | AERA                               | 106 |
| 2.4.4      | 統合流量 ( Flow ) 管理 ( IFM )           | 112 |
| 第三章 導航系統   |                                    | 118 |
| 3.1        | 概 要                                | 118 |
| 3.1.1      | 背 景                                | 118 |
| 3.1.2      | 航 機                                | 120 |

|                                                 |     |
|-------------------------------------------------|-----|
| 3.1.3 對於導航之要求                                   | 122 |
| 3.1.4 導航系統之輸出                                   | 122 |
| 3.1.5 導航的種類                                     | 124 |
| 3.1.6 導航系統                                      | 127 |
| 3.2 無線電導航系統                                     | 130 |
| 3.2.1 NDB與ADF                                   | 130 |
| 3.2.2 VOR                                       | 134 |
| 3.2.3 75 MHz 標識訊號 ( Marker Beacon )             | 141 |
| 3.2.4 DME                                       | 142 |
| 3.2.5 TACAN ( 泰康 )                              | 148 |
| 3.2.6 LORAN                                     | 150 |
| 3.2.7 OMEGA                                     | 153 |
| 3.3 獨立導航系統                                      | 157 |
| 3.3.1 都卜勒 ( Doppler ) 導航系統                      | 157 |
| 3.3.2 慣性導航系統                                    | 170 |
| 3.3.3 姿態方位表示系統                                  | 201 |
| 3.4 著陸誘導系統                                      | 219 |
| 3.4.1 概 要                                       | 219 |
| 3.4.2 終點空域之氣象                                   | 220 |
| 3.4.3 著陸設施 ( Mechanism )                        | 222 |
| 3.4.4 ILS                                       | 226 |
| 3.4.5 電波高度計                                     | 233 |
| 3.4.6 自動著陸                                      | 236 |
| 3.4.7 微波著陸系統 ( Microwave landing system : MLS ) | 240 |
| 3.5 空氣資料系統                                      | 247 |
| 3.5.1 概 要                                       | 247 |

|       |                                   |     |
|-------|-----------------------------------|-----|
| 3.5.2 | 標準大氣與飛機用對氣速度計差壓                   | 252 |
| 3.5.3 | 空氣資料之輸入                           | 258 |
| 3.5.4 | 空氣資料計算機 ( Air Data Computer ) 之輸出 | 268 |
| 3.5.5 | 壓力轉換器                             | 278 |
| 3.5.6 | 試驗與校正                             | 281 |
| 3.5.7 | 垂直導航誤差                            | 283 |
| 3.6   | 衛星導航系統                            | 284 |
| 3.6.1 | 衛星導航系統之必要條件                       | 284 |
| 3.6.2 | 衛星之運動形態                           | 286 |
| 3.6.3 | 衛星之覆蓋區域以及誤差要因                     | 289 |
| 3.6.4 | 衛星導航系統之方式                         | 293 |
| 3.6.5 | 衛星導航系統之事例                         | 296 |
| 3.7   | 導航輔助系統                            | 304 |
| 3.7.1 | 氣象雷達                              | 304 |
| 3.7.2 | 高度警報裝置                            | 311 |
| 3.7.3 | 對地接近警報裝置 ( GPWS )                 | 313 |
| 3.7.4 | 風剪 ( wind Shear ) 之偵側系統           | 320 |
| 第四章   | 機上電子裝備系統                          | 325 |
| 4.1   | 概要                                | 325 |
| 4.1.1 | 導航電子裝備系統之特長                       | 325 |
| 4.1.2 | 機上電腦                              | 332 |
| 4.1.3 | 數據 ( Data ) 傳送系統                  | 339 |
| 4.2   | 顯示系統警報裝置                          | 349 |
| 4.2.1 | 飛行儀器系統                            | 349 |
| 4.2.2 | 進步型顯示系統                           | 360 |

|                                          |     |
|------------------------------------------|-----|
| 4.2.3 駕駛艙 ( Cockpit ) 之視覺與聽覺警報系統 .....   | 369 |
| 4.3 自動飛航控制系統 .....                       | 377 |
| 4.3.1 飛航控制系統之開發進展 .....                  | 377 |
| 4.3.2 自動飛行控制系統之功能模式 ( Mode ) 與致動原理 ..... | 384 |
| 4.3.3 數字型 ( Digital ) 飛航控制系統 .....       | 405 |
| 4.3.4 線控 ( Fly By Wire ) 與主動控制技術 .....   | 413 |
| 4.4 資料記錄系統 .....                         | 432 |
| 4.4.1 飛行記錄裝置 .....                       | 432 |
| 4.4.2 AIDS .....                         | 438 |
| 4.4.3 聲音記錄裝置 .....                       | 445 |
| 4.5 飛行管理系統 .....                         | 447 |
| 4.5.1 飛行管理系統之歷史 .....                    | 447 |
| 4.5.2 飛行管理系統開發之現況與未來動向 .....             | 449 |
| 4.5.3 今後飛行管理系統之發展 .....                  | 461 |

# 第一章 航空通訊系統

## 1.1 概 要

依據ICAO ( International Civil Organization : 國際民航組織 ) 的規定，以航空保安為目的的電氣通訊業務，亦即航空通訊業務共可分為航空固定、航空移動、航空廣播及航空無線航法等四種業務。其中與航空無線航法業務相關的系統將於次章敘述。在此將其他三種業務的定義敘述如下。

- (1) 航空固定業務：在特定的兩地間，為了航行的安全，以及使航空業務能有規則、有效率地營運，所實施的電氣通訊業務。
- (2) 航空移動業務：航機（駕駛員）與地上航空局（航空交通管制官或航空公司的調度負責人）之間，或是航機同事之間所實施的無線通訊業務。
- (3) 航空廣播業務：以與航機航行相關的情報傳達為目的而實施的廣播業務。

本章將對與這些業務有關的系統作說明。

### 1.2 航空固定通訊系統

#### 1.2.1 概 要

如前所述，航空固定通訊業務以確保航機的安全運航、正常運航及航空業務的有效率營運為目的，而在特定的地點間相互實施。其性質大致可分類成國內及國際兩大系統。同時為應用之目的，還設定有電傳通訊網與電話通訊網。

前者一般需有記錄，且是在交換較長段的情報時使用。例如與航機搜索救難相關的緊急情報、飛行計畫通報、起航通報、落場通報、延遲通報、飛行取消通報、航空情報（NOTAM）、氣象通報、以及航空當局相互間交換與航空保安業務相關的通報等。

後者，則是管制機關相互間交換即時性通報的時候使用，例如管制認可、管制移管、調整等通報。原則是設定直接通話迴路（Direct Speech Circuit）。

在日本的國內系統，除了備於天災等時候使用的後援系統以外，其它全部都使用有線系統。至於國際系統，以前曾經以高頻（HF）無線電傳為主流，但是現在則較多使用海底電纜或通訊衛星。

日本的未來動向，在國內系統方面是有計畫地提高系統性質，也就是提高迴路的速度及處理能力。在國際系統方面則圖求無線電訊的電傳化、無線電傳的有線化、人力轉播的自動化、和資料通訊網的導入等，目前已逐步實施中。

#### 1.2.2 國內固定通訊系統

##### 1. 電傳迴路網

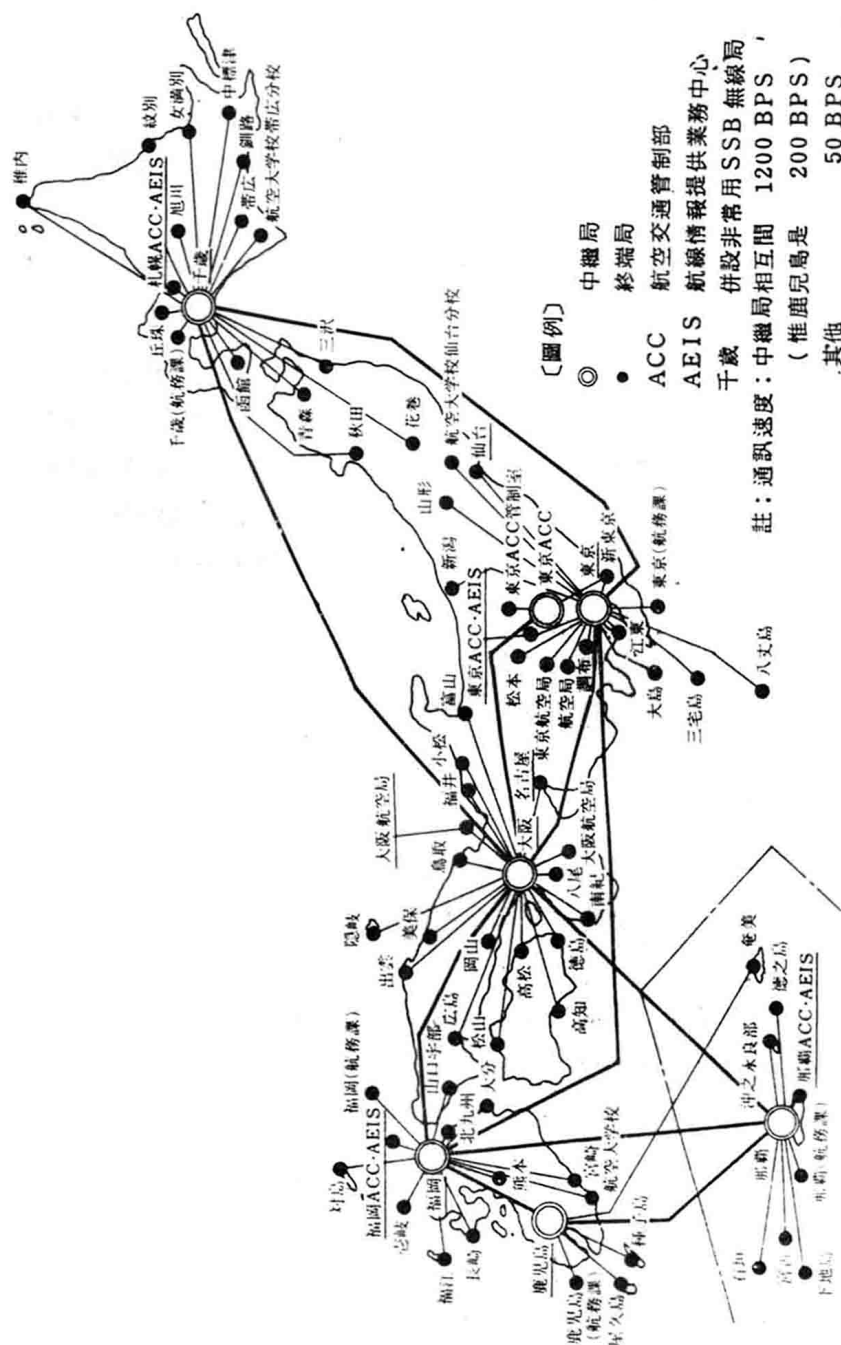


圖 1-1 國內航空固定通訊網

日本的運輸省航空局將其國內的各機場和交通管制局聯結起來，設置了一個如圖1.1所示的電傳通訊網，處理飛行計畫通報（Flight plan）、航空情報（NOTAM）及航機搜索救難通報等與航空保安業務相關的通報。

千歲、東京、大阪、福岡及那霸各中繼局，則設置了國內電傳電子式中繼系統（DTAX：Domestic Telecommunication Automatic Exchange）以實施通訊業務。此外東京航空交通管制部除了FDP系統（Flight Data Processing System—飛行計畫情報處理系統）以外，還設置了作為檢查飛行計畫通報（Flight plan）之輸入資料用的IDP系統（Input Data Processing System—飛行計畫情報處理系統），與鹿兒島機場的EMS系統（Electronic Message Switching System—電子資料交換系統）同樣也是進行電子式自動中繼的處理。

系統的特性概略整理如下：

- (1) 聯線系統：利用電腦的聯線系統與傳送迴路相聯結，自動地進行高速而大量的中繼。
- (2) 24小時連續運作：連續24小時都進行自動中繼服務。
- (3) 二重系統：將主要機器二重化，採用自動檢查障礙及自動換機的二重方式。
- (4) 運用的容易性：系統的運作可以在主控室中集中監視並遠距操作。
- (5) 其他：可以進行國際通訊網的自動中繼。另外，可以確立網路管制（Network Control），以與各中繼局相連接的各系統迴路為對象，自動檢出迴路的障礙，並設定代替路線並檢查系統的障礙等。

## 2. 航空交通業務用直通電話迴路網（ATS Direct Speech Circuit）

鄰近的航空交通管制部相互間、或是航空交通管制部與轄內各機場

的管制機關及管制通訊機關（對空通訊局）相互間，設置了附有錄音裝置且可以即時通話的直通電話迴路網，處理管制許可（Clearance）、管制指示（Instruction）和管制移管（Transfer）等通報。

### 1.2.3 國際航空固定通訊系統

#### 1. AFTN (Aeronautical Fixed Telecommunication Network — 航空固定通訊網)

##### (1) 概要

在營運上，各 ICAO 加盟國的政府依據 ICAO 所指定的技術基礎及運用基準，負有設置世界性規模航空固定通訊網的責任。

此通訊網稱為 AFTN。日本的東京（成田）及那霸就是 AFTN 的國際通訊接轉局。其中東京國際固定通訊局是遠東的重要中繼中心，採用電子式中繼系統（AFTAX: Aeronautical Fixed Telecommunication Automatic Exchange）。

該系統的特長與 DTAX 約略相同。

那霸局以前是以人力來進行磁帶中繼，但是自 1983 年後已導入電子式自動中繼系統。圖 1.2 表示 AFTN 與國內航空固定通訊網的關連，圖 1.3 為日本週邊的 AFTN 網路圖。

##### (2) 運作通報

構成 AFTN 的各航空固定通訊局，將鄰近各國的機場、國內相關機關（航空交通管制機關、氣象機關、軍事機關等）及航行國際線之內外航空公司等的通訊迴路接續起來，在彼此相互之間進行中繼和交換通報。

AFTN 所處理的通報大致可分類成確保航機安全航運及正常航運的通報（Class A）、和航空公司業務營運上的通報（Class B）。

AFTN 與國內迴路相異的特色為：