

装備品の技術動向（コックピット器材）

1. はじめに

コックピット器材は航空機の運航に欠かせない装置である。コックピット器材はパイロットに航空機を安全に運航させるための器材であり、同空域を飛ぶ他機や地形との衝突を避けて、安全に離陸、着陸を可能にすると共に、管制塔、エアライン、他機との交信を可能にする。コックピット器材はコンピュータ、ディスプレイ、アビオニクスシステム等の進化によって発展を続けてきた。処理速度の速い中央コンピュータを伴った統合型モジュール方式アビオニクス（IMA: Integrated Modular Avionics）システムへの移行、イーサネットデータバスを使ったデータ転送の高速化、液晶ディスプレイの大型化、パイロットがディスプレイを通じてシステムと容易に情報交換が行えるように工夫した表示画像のグラフィック化など、多くの技術進歩がコックピット器材を発展させてきた。

コックピット器材は昔の独立・完結型システム（独立した個々のアビオニクス装置等から構成されたシステム）に比べ軽量化され、小型化が進むことにより、重量軽減と消費エネルギーを節減することによって、燃料の節約に貢献している。最新の IMA システムは部品数を減らし、ワイヤリング量（コネクタ数）を減らすと同時に、各装置に埋め込まれたテスト装置（BIT）による自己診断機能によって、整備費の削減に寄与するところが大きい。このことは、運航便の確実性を高め、エアラインの信頼を高める上でも役立っている。世界の経済、安全保障、技術、法的規制といった様々な要因にからんで現れたこのような傾向は今後も続くであろう。

また、現在の IMA システムは、市場で既に入手可能なプロセッサ、データバス、ディスプレイの技術を利用している。IMA システムのアーキテクチャは周辺装置を伴ったパソコンなどに基いて設計されている。即ち、独自で新しいプロセッサやデータバスを開発するよりも市場から最も適した技術を採用する事に重点を置いている。そのため、パソコンなどの進化につれて、コックピット器材も益々進化していくことになる。

2. コックピット器材の状況

コックピット器材は前述のように、その中心的な役割を果たす通信・航法用アビオニクス装置の変化によって変貌してきた。本項では、近代化の先駆けとなった 777、最新大型旅客機の A380 と 787 のコックピット器材の状況及び今後の動向について順に紹介する。

2.1 ボーイング 777

1995 年に 777 が就航した当時は、そのコックピット器材は技術的に当時の大型旅客機としては最も進んだものであった。777 が開発され就航した当時は、航法・通信用アビオニクス装置をエアラインが選定していた。しかしこの状況は変化し、最新機種種の航法・通信用アビオニクス装置は機体メーカーが選定するようになってきている。この変化の大きな理由は、後述するようにアビオニクスシステムが高度に統合化されてきたことにある。

777 のアビオニクスの心臓部ともいべき航空機情報監視システム（AIMS: Aircraft Information Management System）は、IMA の原理が大型旅客機に初めて採用された事例としてアビオニクス開発史上でも重要なステップであった。AIMS は、飛行管理、ディスプレイ画像の生成、集中メンテナンス、システムの状況監視、通信管理、データハンドリングなどの機能を備えている。これにより、大型旅客機では初めて上記の機能をつかさどる中央処理ハードウェア及びソフトウェアの全てが単一のシステムに統合されることとなった。従来ならば、多数のそれぞれ独立したユニットを用いるところが少数のモジュールに置き換えられたのである。

また、777 はボーイングで初めてフライバイワイヤ（FBW: Fly By Wire）を採用した機体である。エアバスでは、すでに A320 に採用されており、この点では一足遅れた採用で

あった。FBWはパイロットの操縦操作を電気信号に変えて各操舵面を動かす仕組みであり、従来のように、操縦輪（操縦桿）と各操舵面とが油圧装置あるいはケーブルを經由して繋がっているのではなく、操縦操作はコンピュータによって電気信号に変換されて伝送される。このため、パイロットが操縦する部分は従来の操縦輪のような形状が必要なくなり、A320ではサイドスティックが採用されている。しかし、ボーイングはFBWになっても操縦輪を採用している。

777はボーイングのそれまでの大型旅客機に採用されていたCRTに代わって、飛行計器にLCDを採用した最初の大型旅客機である。LCDはCRTに比べると軽量であり部品数も少ない。LCDには、フライト、航法、エンジンの各情報がCRTよりも高い解像度・明瞭度でカラー表示することができ、画像は直射日光下でも見やすく、大きく傾いた視角からも見ることができるので、隣席パイロットのディスプレイ情報も明瞭に読み取ることができる。

図 2.1-1 に 777 のコックピット写真を、図 2.1-2 にディスプレイの配置を示す。



図 2.1-1 777 のコックピット 1)

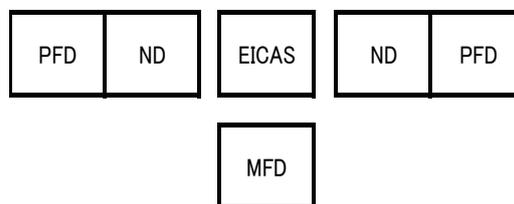


図 2.1-2 ディスプレイの配置

777には、8×8inのLCDが6台設置されている。両パイロットの前面に、主フライトディスプレイ（PFD: Primary Flight Display）と航法用ディスプレイ（ND: Navigation Display）が置かれている。PFDには速度計、水平儀、高度計、方位計などが集合表示され、NDにはHIS、DME、VORなどの航法計器及び気象レーダ情報などを統合表示している。また、両パイロットの中間（前面）にエンジンパラメータ等ディスプレイ（EICAS: Engine Indication and Crew Alerting System）が、中央部（スロットル制御器の前方）に多機能ディスプレイ（MFD: Multi Function Display）が置かれている。EICASには、エンジン及び客室等の状況（燃料、油圧、空調、電気、ギア、ドア等）が表示され、MFDには、電子チェックリストや機体外部カメラの映像などが表示される。電子チェックリストは、従来は紙のチェックリストで行っていた各種のチェック項目を電子化し、画面にチェックリストを呼び出して行うものである。これにより、コンピュータが未実施項目をチェックすることができるため、チェック項目の見落としなどのヒューマンエラーを減少させ、効率的な運用ができるようになった。

また、飛行管理コンピュータを統括する飛行管理システム（FMS: Flight Management System）への情報入力用にカーソル・コントロール・デバイス（CCD）が新たに設置されている。CCDはスロットルレバーの左右に設置され、パソコンのタッチパッドのように、画面上のタッチセンサー式のパッドを指で操作し、カーソルを移動させるものである。CCDによって、飛行計画の修正などが、より容易で確実に行えるようになった。

また、電子フライトバック（EFB: Electronic Flight Bag）がオプション機能として装備可能となった。EFBは、パイロット席の左右に1つずつ配置されている。EFBには、機体のマニュアル、航法チャート、空港の滑走路地図などの情報が表示でき、パイロットの負荷軽減及び積載重量の低減に役立っている。図 2.1-3 に EFB の表示例を示す。



離陸性能計算

空港マップ

メイン
メニュー

アプローチ
チャート

ログブック

図 2.1-3 EFB の表示例²⁾

2.2 エアバス A380

A380 は、777 に続くアビオニクスシステムの進化の重要なマイルストーンとなっている。A380 では IMA のコンセプトが 777 に初めて導入された当時よりも一層進歩している。また、パイロットとシステムとのインターフェースは改善され、コンピュータによるグラフィックユーザインターフェース (GUI) が採用されている。

前述の様に、777 は AIMS によって IMA の第一歩を記したのであったが、IMA のコンセプトは A380 においてより進化された形で実現されている。しかし、A380 においても単一の中央コンピュータによって全ての機上システムを制御するに至っていない。A380 のアビオニクスシステムはいくつかに分割され、その各々は IMA の構造をなすが、完全に一体化されてはいない。

A380 のコックピットは、1980 年代後半に開発された A320 シリーズの設計思想を受け継いでいる。A320 は、完全グラスコックピット、FBW、サイドスティックを初めて採用した機体であり、エアバスはその後のすべての開発機に A320 のコックピットの設計思想を面々と継承させている。これは、エアバスのポリシーの表れと同時に、機種移行 (乗員訓練) を容易にらしめている。通常では 1 ヶ月かかる移行訓練が、A320/A330/A340/A380 の移行訓練では 10 日以下となっている。

図 2.2-1 に A380 のコックピット写真を、図 2.2-2 にディスプレイの配置を示す。



図 2.2-1 A380 のコックピット³⁾

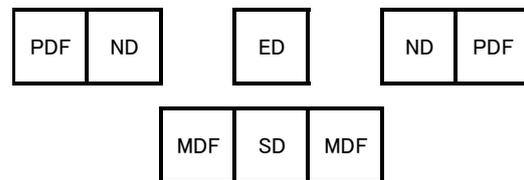


図 2.2-2 ディスプレイの配置

A380 は 6 × 8 in の LCD を 8 台備えている。主フライトディスプレイ (PDF) 2 台、航法用ディスプレイ (ND) 2 台、エンジンパラメータ等ディスプレイ (ED: Engine/warning

Display) 1 台、システムディスプレイ (SD: System Display) 1 台、多機能ディスプレイ (MFD) 2 台が置かれている。PDF、ND、MFD の表示項目は、777 の各ディスプレイと同様であり、777 の EICAS の表示項目がエンジン系 (ED) とシステム系 (SD) の各ディスプレイに個別表示され、777 では 1 台であった MFD がパイロットに 1 台ずつ配置されている。これらのディスプレイは全て同一で互換性があり、整備性面での向上が図られている。777 では FMS へのデータ入力などを CCD によって行っていたが、A380 ではキーボードとトラックボールで行っている。キーボードの採用はコックピット器材としては最初のものであり、パイロットの操作負荷軽減が進んでいる。尚、A380 のディスプレイモジュールは日本の横河電機が供給している。

2.3 ボーイング 787

787 は、大型旅客機のコックピット器材の最新段階を示している。777 で始まり、A380 で進歩を見せた重要な技術的傾向を更に一層推し進めている。最も重要な点は、IMA が大型旅客機として初めて真の集中コンピュータ制御アーキテクチャを実現したことである。これにより、操縦系と航法系のデータが、単一のコンピュータで一元管理できるようになった。また、ディスプレイもさらに大型化し、改善が見られ、特に、制御のための人間とのインタフェースが改良されている。また、A380 ではオプションであったヘッドアップガイダンスシステムも 787 では標準装備となった。

787 は集中コンピュータ方式のアビオニクスを採用した最初の大型旅客機である。このシステムの核心は Smiths (現、GE Aviation) の集中コンピュータシステム (CCS: Common Core System) である。このシステムの開発は、Smiths、ボーイングと共に Rockwell Collins と Honeywell も参加した。CCS は従来のシステムに用いられている複数のコンピュータに変わるもので、アビオニクス及びユーティリティ機能を最大 80 種搭載でき、従来型システムに用いられる 100 種以上のユニットに替わることができる。CCS によって重量、容量、製造費、維持費が削減でき、ボーイングはアビオニクス系の重量を 2,000 ポンド削減できると予想している。

従来は、コンピュータが別々であったため、操縦系表示 (PFD) と航法系表示 (ND) は別々のディスプレイに表示せざるを得なかったが、CCS によって PFD と ND のデータを同時にひとつのディスプレイに表示することができるようになった。このため、従来より大型のディスプレイを使用して、画面の半分に PFD、半分に ND のデータを表示することなどが可能となり、パイロットへの情報提供の柔軟性が大幅に向上した。また、アビオニクスなどの搭載器材数等によって表示情報が増減する場合は、ディスプレイの数を増減することができる。MRJ は 787 と同シリーズのコックピット器材を使用する予定であるが、そのディスプレイは 4 台とされている。

図 2.3-1 に 787 のコックピット写真を、図 2.3-2 にディスプレイの配置を示す。



図 2.3-1 787 のコックピット 4)

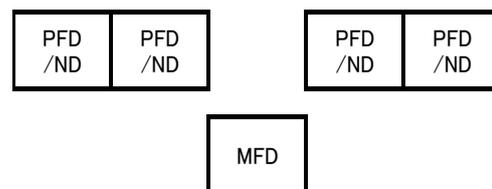


図 2.3-2 ディスプレイの配置

787 のディスプレイは大型旅客機のcockpitに使用されたものとしては最大の12×9.1in（対角線長15.1in）が5台設置されている。ディスプレイのうち4台は計器盤に沿って設けられた水平バンクに置かれ、5台目は中央部、エンジンスロットル制御器の前方に設置されている。尚、787 のディスプレイモジュールは日本のシャープが供給している。

787 では、A380 ではオプションとなっていた、ヘッドアップ・ガイダンス・システム（HGS）が標準装備されている。HGS はパイロットの正面（前方）のやや外側に配置され、図2.3-1では、前方窓ガラスの左右に涙型のガラス（表示部）が見える。HGS の表示部は透明なガラスであり、特殊な投射機によって飛行情報などを外界（景色）に重畳して表示することによって、パイロットが外界を視認しながら（視線を動かさずに）データを見ることができるシステムである。図2.3-3にHGSの表示例を示す。



図 2.3-3 HGS の表示例 5)

2.4 今後の動向

第一の傾向は、1980年代末期から最近に亘って進んできたアビオニクスシステムのデジタル化である。デジタル化が進むことによって、正確、信頼度高く、利用が容易で、かつセンサのデータを航法や運航制御システムのデータに組み込む機能を持たせることができた。また、デジタルシステムはシステム自身を監視し診断機能を付与することが出来るという重要な利点をそなえている。システムの問題を深刻な状態になる前に検知する事でシステムの信頼性を高め、修理をもっともやりやすい場所（修理コストの安い場所）で実施することを可能とし、経済的な整備予算を組むことができる。

アビオニクスシステムがデジタル化すれば、それが技術的に IMA のような統合化システムに発展することは当然の成り行きである。IMA を技術的に構築するために参考にしたモデルはイーサネットバス構造を伴ったパソコンであった。データ処理が集中化するにつれ、飛行管理システム（FMS）のような重要なアビオニクス機能は自立型の単独装置から中央コンピュータに入力されたソフトウェアのパッケージへと発展していった。同時に航法や通信といった共通性を持った機能は一つか二つのモジュールに併合されてきた。これに伴って、以前の自立型の単独装置から構成されていたシステムに比べて航空機内に占めるシステム（コンピュータ、電源、入出力ハードウェア等）は重量、容量とも半分以下に減少した。重量の低減は燃料効率の向上を願うものにとって非常に重要である。

もう一つの傾向はアーキテクチャが開放（オープン）に向かっていることである。cockpit器材の中央コンピュータは、特殊な機能を持ったソフトウェアをダウンロードできる仕組みになっている。これはパソコンが種々のソフトウェアをダウンロードしてプリンタ、スキャナ、ビデオカメラなどと接続できるのと同じである。これと同レベルのことがcockpit器材の中央コンピュータでも可能となっている。オープン・アーキテクチャは、航空交通管理システム（ATM: Air Traffic Management）の将来アップグレードを取り入れるに適したソフト環境を有しているという点がある。エアラインが新たに航空機を購入する際、米国やヨーロッパで現在開発中の ATM システムにその航法・通信システムが容易に適用できるようになっており、ハードウェアを変えずにソフトウェアの変更のみで対応できることを考えるとその経済的な利点ははかり知れない。

また、コンピュータ業界は大型で高解像度の LCD を駆動用ソフトウェアと併せて市場に提供した。航空機業界はこれを最大限に活用することによって、価格低減、操作性向上などを行ってきた。画面が大型化するにつれて、いままであった個々のディスプレイの画像を同時に映し出すことが出来る。ディスプレイの数が減ればシステムの複雑さは減り、

整備費やエネルギー消費の削減につながる。パイロットがディスプレイを通じてアビオニクスシステムと容易に情報交換できるように、画面をテキスト（文字）表示からグラフ化する傾向が目立っている。今後もこの傾向は著しく進み、パイロットの操作は格段に効率化されることであろう。

さらには、増強視野システム（EVS: Enhanced Vision System）と合成視野システム（SVS: Synthetic Vision System）などのパイロットへの付加情報を提供するシステムの開発が進められていくであろう。EVS はイメージングセンサ（赤外線センサ、ミリ波レーダ、光電子倍増等）を用いて、前方外界の地形（生映像または処理映像で、地形や地域に対する航空機の相対位置と高度を示す手段）を表示する器材であり、視界が悪い状態での着陸などに有用である。濃霧における着陸時には、肉眼では滑走路の灯火が見えないが、赤外線センサを使用することによって熱源を感知し、滑走路の灯火として画面上に表示して、パイロットの着陸操作を支援することなどが可能となる。

SVS は、EVS のセンサ画像に替えてコンピュータグラフィック（CG）を用いてパイロットの支援を行う器材である。SVS には、あらかじめ地形、空港、航空路などの情報を CG として保存し、自機の位置情報を CG 画面に重畳表示することによって、パイロットの操作を支援する。外界がまったく見えない状態でも、実際に見えているかのような外界画像を表示したり、カーナビの様に現在位置の確認や進行方向のアドバイスなどが可能となる。現状では、リージョナル及び小型機用の EVS・SVS が開発されているおり、大型旅客機用のシステムの開発が進んでいくであろう。

3.おわりに

前項に記述したように、航空機のコックピット器材は、デジタル技術の発展によって、飛躍的な進歩を遂げてきた。今後も、コンピュータ関連技術の進歩によって益々進化していくことであろう。しかしながら、器材が進化し、自動化が進むことによって、不幸な事故も増えている。通常では、何の不便もない器材が、自動化が進むことによって、非常時のパイロット判断が的確に行われないケースが発生している。

大型旅客機の最大手企業である、ボーイングとエアバスは独自の設計思想を持っている。前述のように、FBW を採用した後もボーイングは操縦輪を継承しているが、エアバスはサイドスティックに変更している。機長と副操縦士の操縦連携についても、両社では考え方が異なっている。ボーイングでは、機長と副操縦士の操縦輪が連携しており、一方の操作が他方の操縦輪に反映されるが、エアバスでは、機長と副操縦士のサイドスティックは完全に独立しており、他方の操作はまったく感じられない。また、自動操縦装置（オートパイロット）の解除方法についても、ボーイングではパイロットが操縦輪を操作すれば自動的に解除となるが、エアバスでは「解除操作」をしなければ解除されない。この様な些細な違いが非常時の咄嗟の行動に影響するものである。

器材価格、開発費用、維持費用などを低減するためには、コックピット器材にパソコンの技術を適用することは、避けて通れない道である。パソコンの応用によって、操作性が改善され、パイロットの負荷軽減にも十分貢献するが、航空機の安全運航ためには、パイロット（人間）の行動に十分配慮した設計を行うことが、今後のコックピット器材への課題である。

4.参考文献

- 1) <http://www.boeing.com/commercial/gallery/777-02.html>
- 2) http://www.militaryfactory.com/cockpits/a380_cockpit.asp
- 3) http://www.boeing.com/dubai2009/media/ProductCards/787_brochure_design_insights.pdf

4) <http://boeing.mediaroom.com/index.php?s=13&cat=41&item=788>

5) http://www.boeing.com/dubai2009/media/ProductCards/787_brochure_design_insights.pdf