

エアラインが望む飛行機 ～売れる飛行機と売れない飛行機～

概要

近年の航空輸送の興隆を受けて、数多くの機種が開発されている。しかし、それらの中には人気の機種もあり不人気の機種もあることを、読者の方々は不思議に思っているかもしれない。エアラインが航空機を選定する際には、購入価格、燃料費、運航費など、さまざまな要素を可能な限り定量化し、それらを総合したコストを用いて、候補機種を比較するのが一般的である。

ただし、たとえば安全に係る領域では、設計思想に影響を受ける部分もあるなど、コストに換算することが困難な領域も多い。そのため、この種の「定量化できない領域」では、定性的な評価も併用されている。

ここでは、エアラインのコストに占める各費用の大きさを概観するとともに、「定量化できない領域」の代表として、機体の操縦性・操作性、および、パイロットの訓練・資格審査などについて概略を紹介したい。

1. エアラインのコストに占める各費用

図1 および表1は、ICAO（国際民間航空機関）から発表されている「エアラインの経費構造」を示したものである。この経費内訳は、調査の対象となったエアラインの平均値であるため、個々のエアラインに適用できるものではないが、おおまかな絵姿を読み取ることができる。

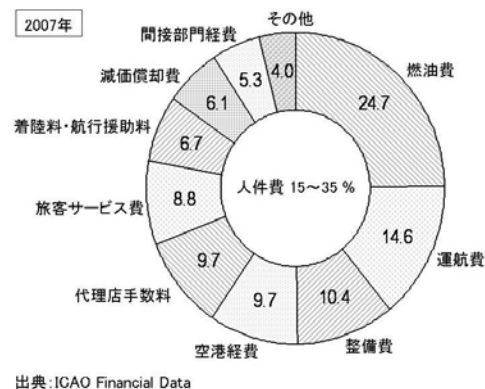


図1 エアラインの経費構造

表1 エアライン経費構造の詳細

費用科目	各科目に含まれる代表的な経費
運航費	乗務員(Pilot/CA)労務費、訓練費
整備費	整備部品費、整備材料費、整備委託費、整備労務費、施設設備 Tool 費用、訓練費、整備システム費用
空港経費	グランドハンドリング費用、空港施設使用料、業務委託費、空港労務費
旅客サービス費	空港ラウンジ運営費、ケータリング費用、機内用品費用

これらの経費のうち、機種選定と密接に関わる経費は、以下述べる順に、燃料費、減価償却費、整備費および運航費である。

1－1．燃油費

図1から分かるように、諸経費のうちで最も大きなウェートを占めるのが「燃油費」であり、年間の所要経費が1兆円であるエアラインがあったとすれば、燃油費の規模は2500億円程度にも達する。したがって、燃費に優れた機体の導入によって、燃油費を10%節減できたとすれば、収支を250億円程度改善できることになり、これは、収支トントン程度にしかない業界である航空業界にとっては重大な関心事である。ただし、全エアラインが、このような燃費に優れた機体を導入し終えた時点では、同じ土俵での勝負になるため、燃費に優れた機体を、いち早く導入することが重要である。

よく知られているように、機体の燃費向上には、エンジンの燃費の向上が最も大きな効果を有している。そのため、機種選定に係るエアラインの技術者は、エンジンの開発動向には極めて敏感であり、常日頃から、関連情報の収集に努めている。

そして、機種選定の際には、エアラインは燃料消費に関するカタログ値を詳細に評価する。また、実際に納入された機体の燃費性能がカタログ値を下回った場合には、航続性能の劣化も伴うため、予定の路線に投入できないといったことも起こりうる。そのため、購入契約書には、機体の燃費性能がカタログ値を下回った場合には、相応の補償を請求できるようにしてあるのがふつうである。

1－2．減価償却費

次に「減価償却費」であるが、先述の「年間の所要経費が1兆円であるエアライン」を想定すると、「減価償却費 6.1%」は、年間610億円の償却費に該当する。

ただし、実際の減価償却費には、機体の購入費のほかに、エンジンと機体のスペア部品の購入費も含まれている。

エンジン価格は、1機ぶんで機体価格の20%程度といったところが相場である。一方で、搭載されている全エンジン数の10%弱程度をスペアエンジンとして所有しているため、それらに応じた減価償却費分はエンジンが占めていることになる。

また、交換部品の価格も相当な額になる。これは、自動車などに比べて飛行機の生産機数は著しく少ない上に、使用される部品の種類が著しく多い（ボーイング社によれば、777型機には約300万点の部品が使用されている¹⁾）ために、個々の部品の価格が高価になるためである。また、同じ理由によって、部品メーカー側の売手市場になりがちであり、中にはリードタイムが1年を越える部品もある。したがって、エアラインとしては、部品切れによる欠航を避けるべく、常時、相当な量のスペア部品を保有せざるを得ないという事情もある。

一例として、国内のあるエアラインでは、エンジン用スペア部品、機体用スペア部品を合わせて、1,000億円を超える金額の部品を在庫している。

1－3．整備費

整備費は、部品費、材料費、人件費および整備委託費からなる直接整備費と、整備施設・設備・ツールの費用、訓練費および整備システム費用などからなる間接整備費からなっている。これらのうち最も大きな部分を占めるのは直接整備費の中の部品費であるが、間接整備費の中の、整備士の訓練費や整備システム費用も無視できない。

このため、既存のフリートに比べて、設計思想やシステム構成が大きく異なる機体を導入すると、訓練用資料の新規作成、訓練用機材の新規購入などの要因によって、訓練費の増加、あるいは、整備システムの更新やデータ入力などによる整備システム費用の増加を招くことになる。そのため、相当まとまった機数にならないかぎり、現有フリートを製作したメーカー以外の機体を導入することは避けたいところである。

1－4．運航費

運航費の大部分を占めるのが、運航乗務員、客室乗務員の労務費である。地上勤務者の給与とは異なり、乗務時間（飛行時間）に応じた乗務手当と、寄港先で宿泊する場合の日当（航空業界ではパーディウムと呼んでいる）、およびホテル代が含まれる。

さらに、運航乗務員、客室乗務員には、航空法上で乗務時間制限があり、その時間を越えて乗務できないため、運航スケジュールの急な変更に対応し、予備乗務員を確保する必要がある。通常1機当たり、5～6組の運航乗務員（通常、1組は2名ないし3名）と客室乗務員（客席数に応じ、通常、50の客席に対し、最低1名の割合：200人乗りの機体であれば、最低4名必要）のセットが必要となる。

また、それら必要な運航乗務員、客室乗務員確保のための訓練費も、この運航費の中に入っている。特に運航乗務員には、6か月ごとに、模擬飛行装置（シミュレーター）による訓練・審査が課せられており、当該模擬飛行装置の価格は、1台20億円以上で、その維持費も年間億単位となる。また、運航乗務員、客室乗務員には、年1回の救難訓練が課せられており、その訓練施設設備（脱出訓練模擬装置など）にも億単位の費用が必要となる。

2．コスト以外の要素

エアラインが機種選定を行う際に比較検討する事項には、以上のようなコスト面のほかに、下記のような事項も含まれている。

- (1) 自社路線との適合性
- (2) 客室の快適性
- (3) 信頼性・安全性
- (4) 整備性
- (5) 操縦性・操作性
- (6) パイロットの訓練・審査に与える影響

これらのうち、(1)～(5)については、直感的に理解できることであり、詳しい説明は不要かと思われるが、現実の選定作業では、(1)に対する検討が最も初期の段階で実施され、そこで残った候補機種が、(2)～(6)および、コスト比較の段階に進んでいくことになる。

逆に、機体メーカーの立場から言えば、どのエアラインをターゲットにして設計するかによって、つまり、どのような規模のマーケットを持ち、どのような地域を運航しているエアラインをターゲットにするかによって、ペイロード、航続距離あるいは離着陸性能などのパラメータに関する設計要件がおおむね決まってしまうことを意味する。

こうして決まる「ペイロードと航続距離」の関係を「機体サイズ対航続距離」に書き

換えて図示したものが図 2a である。

④ で示された短距離路線では、高頻度で運航されていることが望ましく、したがって、小型機が活躍するマーケットである。その代表例が 737 型機や A320 型機である。

一方、たとえば、「NRT(成田)～JFK(ニューヨーク)」などといった ③ で示された路線では、一日あたり 1～2 便で十分であるから大型機で一举に多くのお客さまを運べば十分である。その代表例が 747-8 型機や A380 型機である。また、それらの中間的な距離 (⑤) には、中間的なサイズの機体が向いている。代表的には 757 型機、767 型機や A330 型機である。

しかし最近、長距離でも、乗換えることなく「直行」したいというお客さまが多く、そのために ⑥ で示された機体が徐々に多くなってきている。その代表例が、777 型機、787 型機や A340 型機である。

ただし、実際のマーケットは、このように離散的に存在するわけではない。そのため、各航空機メーカーは、各種のマーケットを網羅できるように、いくつかの機種を取り揃えている。

図 2b は、さまざまな機体に対する「ペイロードと航続距離」の関係を示したものである。

なお、我が国の場合には、発着スロットに余裕がないため、羽田～千歳や羽田～福岡などといった「短距離路線」に、747 型機、777 型機などが就航しているが、これは、発着枠の制限など、日本の空港事情を反映した特有なものであると言える。

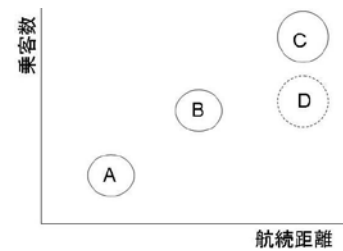


図 2a 旅客機のペイロードと航続距離

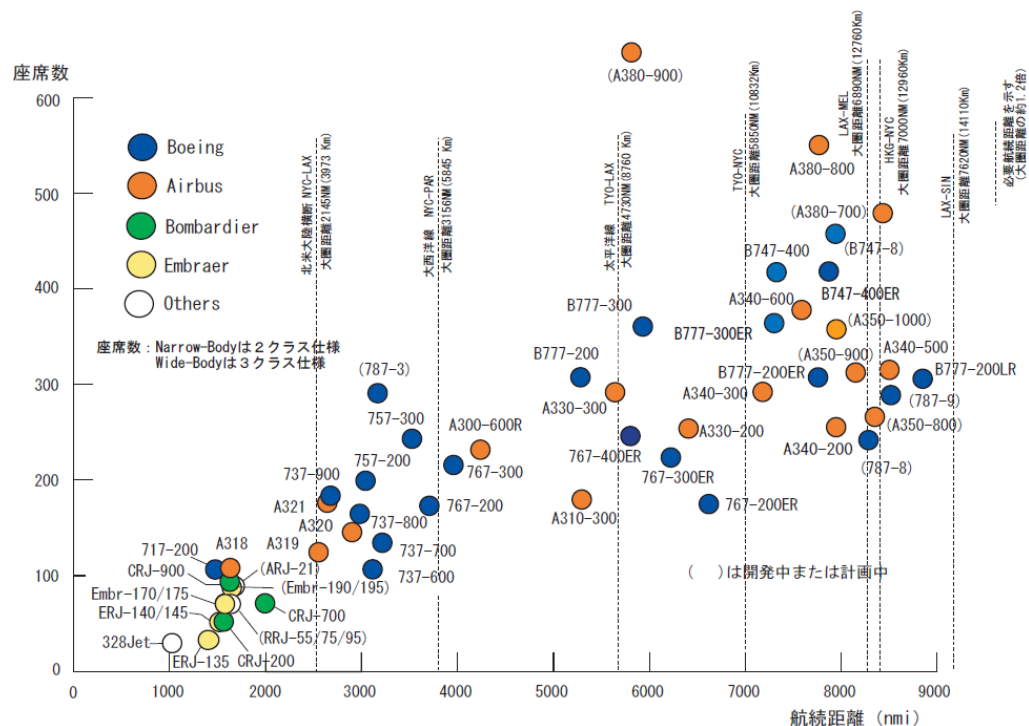


図 2b 旅客機のペイロードと航続距離 (JADC 資料から引用)²⁾

このようにエアラインとしては、自社路線との適合性から見て候補機種を選んだのち、上記の (2)～(6) および、コスト比較の段階に進んでいくことになるが、一般の方々にとって、直感的には理解しづらいと思われる項目が、(6) の「パイロットの訓練・審査に与える影響」である。

以下では、操縦性・操作性の評価、および、パイロットの訓練・審査に焦点を絞って、航空機の設計時に配慮される事項を述べてみたい。

ふつう、この種の事項に関する評価は、エアラインでは機種選定時に、パイロット数名と事務局としての技術者から構成されるチームによって実施される。一方で、FAA（米国連邦航空局）などの行政機関は、T/C（Type Certificate、型式証明）を発行するにあたり、その機種が T/C を付与するに十分なレベルにあることを確認すべく、同様の作業を実施する。

3. 米国における T/C 発行基準の変化

（注：パイロットの訓練・審査に馴染みのない方は、[解説概要 23-3-1 「パイロットの訓練・審査の概要」](#) にあらかじめ目を通されることをお勧めします。）

米国では、1990 年代初頭から、FSB（Flight Standardization Board）なる審査会による評価が定着した³⁾。この FSB は、派生型機を含む新型航空機に対して T/C を発行する際に、それまでのようなハードウェアだけからの審査のみならず、運航者の立場から見て、その機種が受け入れ易いものになっているか否かを審査しようというものである。具体的には、パイロット、メカニック、ディスパッチャー、キャビンクルーに対して、特に強調すべき訓練を要するのか否か、あるいは、特にパイロットの場合には、ワークロードは適正かなどといったことが審査される。

中でも、パイロットに受け入れられやすい設計になっているかを審査することに重点が置かれているが、この審査会が設立された背景には、下記のような事情があると考えられる。

- ⅴ 「ルールに則って T/C は取得したが、操作上・操縦上の観点からは受け入れられないといったことが起こり得る」

（原文 “It is possible an aircraft could be type certificated and not be determined to be operationally acceptable under the applicable regulations. (以下省略)”⁴⁾）

- ⅴ 「FSB の目的と担当範囲は広範囲にわたるため、この章で、審査会メンバーに期待されている業務のすべてをカバーすることはたぶん不可能である。しかし、いくつかの業務については、大部分の FSB メンバーに共通している。メンバーには、その経験に基づく洞察力が求められるのがふつうであり、また、その助言能力をもって、議長に対する提言を行うことも要求される。FSB メンバーのその他の業務には下記のようなものがある」

（原文 “Since the purpose and scope of FSBs vary, this section cannot possibly cover all the tasks a board member may be asked to perform. However, some tasks are common to most FSBs. Members are usually asked to provide insight

based on personal experience, and to make recommendations to the chairperson in an advisory capacity. Other standard FSB member tasks include (以下省略)”) ⁵⁾

そして、これらの Order では、FSB に期待される業務範囲の例として、下記を挙げている。

v Determination of Pilot Type Ratings.

新型式機の場合、FSB はふつう、T/C 取得のための飛行試験の間に、パイロットの型式限定に関する要件を決定する。派生型機の場合、FSB は、新型式機として、パイロットの型式限定が必要であるか否かの評価を行う。

v Development of Training Objectives.

FSB は、Normal Procedure と Emergency Procedure に関する訓練要件を確定し、それを基に、訓練機材に対する要件を検討する。

v Training Recommendations.

FSB は、FAA の責任者がエアラインの訓練プログラムを承認する際に用いるべき提言を作成する。訓練要件と訓練プロシーチャーを開発するにあたり、FSB は、その機体に係るユニークな特性を考慮する。

v Initial Training/Checking.

メーカーのパイロット、FAA のインスペクターパイロットの「最初の訓練と最初の審査」は、ふつう、審査会メンバーによって実施される。

v Review of Existing Training Programs.

必要に応じて FSB は、訓練効果を評価するために、既存機のための訓練プログラムを検討する場合がある。

v Accidents.

事故が発生した場合、FSB は、その審査会が担当した機種に関わる「訓練の妥当性」および「パイロット資格の妥当性」について、相談を受けることがある。

このように、FSB は、航空機の型式証明を発行する一連の活動の中で、パイロットの業務に関わる部分についての主要な判定のすべてを司っているといえる。Advisory Circular や Order だけから、FSB の担当業務の全容を把握することは容易ではないが、おおむね、図 3a/b のようになっているのではないかと推測される。

なお、FSB は、FOEB (Flight Operations Evaluation Board) や MRB (Maintenance Review Board) といったほかの Board とともに、AEG (Aircraft Evaluation Group) の傘下にある。

注：米国の航空法は FAR (Federal Aviation Regulations) であるが、その解説を行う文書である AC (Advisory Circular)、および、各種の処理要領を定めた FAA 内部向けの文書である Order も参考にされることをお勧めする。下記からアクセスすれば、ごく少数の例外を除いて、すべての FAR、AC、Order を Download することができる。(http://www.faa.gov/regulations_policies/faa_regulations/)

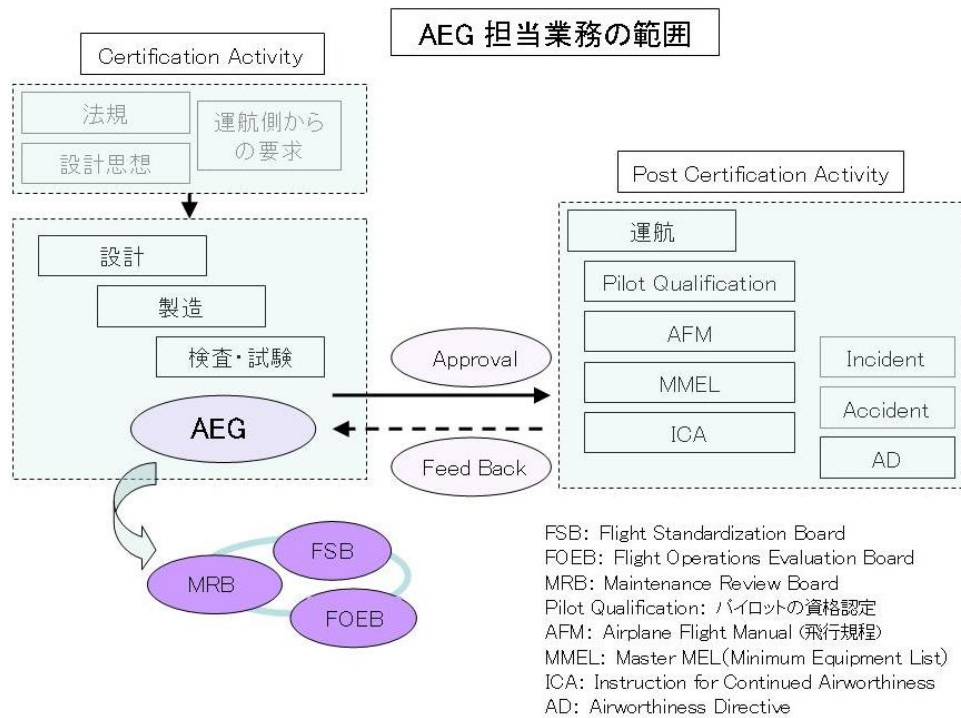


図 3a AEG (Aircraft Evaluation Group) の全体像

FSB で評価される項目

たとえば Crew Qualification に関わる要件を決定するためには、非常に多くのパラメータが関与しているが、これらのすべてを示すことは不可能であるため、以下に、FSB が担当して評価するであろうパラメータを、単純化して表示した。

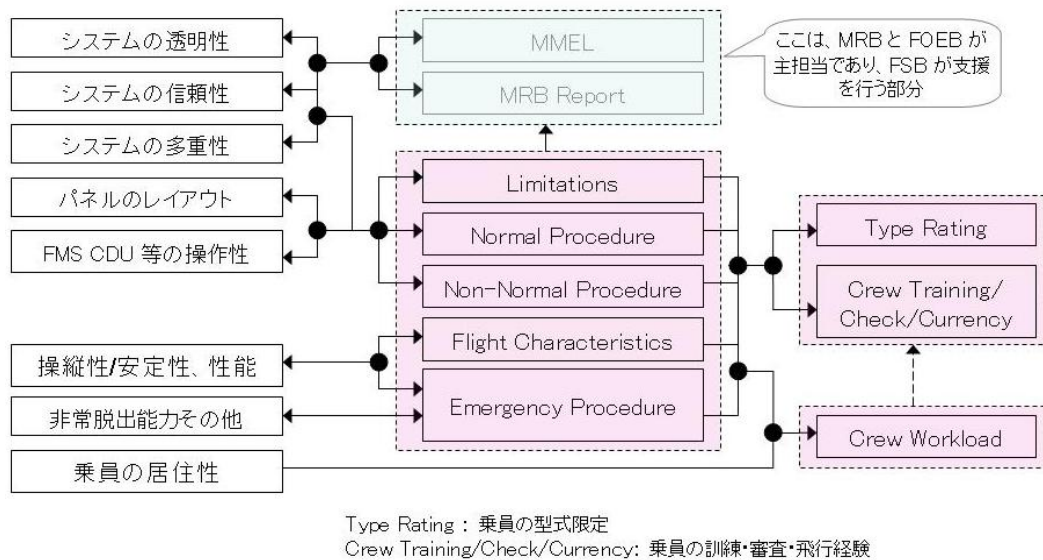


図 3b FSB (Flight Standardization Board) の全体像

4. パイロットの訓練・審査と Design Philosophy

図 3a/b から想像できるように、パイロットに受け入れられやすい機体に仕上げるために、機体メーカーは、エアラインとの密接な協調が必要である。そのために、機体の概念設計がまとまりかけた時点で、メーカーの設計担当者などがエアラインを訪問して事前調整が開始され、以降、定期的に会合が持たれる。この中で一つの大きな議題が、コクピットデザインであるが、そういった調整は、我が国のエアラインのみならず各国のエアラインとも実施され、基本設計が完了する時点までに、これらを集約した「設計思想 (Design Philosophy)」が練り上げられる。

こういった活動を一步進めたものが、ボーイング社が行った Working Together と称するプログラムであるが、コクピットデザインに関しても、我が国のエアラインの意見が多く取り込まれ、777 型機で、その成果が結実した。

このように、機体の操縦性・操作性や、パイロットの訓練・審査という観点から見て、運航者側が受け入れやすい機体に仕上げるためには、パイロットの立場から見たさまざまな配慮が必要であるが、これらの配慮をまとめたものが、「Design Philosophy」である。

ただし、各機体メーカーが公表している「Design Philosophy」では、比較的抽象的な表現を用いているため、一般の人たちには理解しにくいかもしれない。

したがって、ここでは、各パイロットの守備範囲を定めた「Area of Responsibility」、Procedure (操作手順)、および、その背景にあるシステム構成などを検討して、メーカーの考える「Design Philosophy」を具体化した、その結果を紹介することとする。

- 全般的に、コックピットの設計にあたっては、
 - ✓ 要求されるタスクを達成するために必要な手段の提供を図る
 - ✓ 受け入れ可能、かつ妥当なワークロードの実現を図る
 - ✓ Pilot Error が発生する可能性を極小化するとともに、その影響の最小化を図る
 - ✓ 自社が製造した他機種との訓練の共通化を図る
 - ✓ 最適な人間工学を適用することによって、安全性、操作の容易性、および、操縦性と快適性についての要件を満足させる
- 安全な飛行と着陸のための、必須情報と必要な Control (計器・スイッチ類のこと) はすべて、両方のパイロットからアクセスできるようにする。各システムの作動は、オーバーヘッドパネルに設けられた Control によって制御する。
- Area of Responsibility
地上での操作は、左席に着席するパイロット (Left Seat Pilot、LSP) と、右席に着席するパイロット (Right Seat Pilot、RSP) とに分け、地上の職員との会話は LSP が実施し、ATC との通信は RSP が実施する。Low Workload Concept に基づき、地上走行中には、多くの操作を設定しない。
空中での操作は、パイロット・フライイング (Pilot Flying、PF) と、パイロット・ノット・フライイング (Pilot Not Flying、PNF) とに分け、PNF が ATC との通信を担当する。手動操縦中は、PF の指示により PNF が、フライト・ガイダンス・パ

ネル (Flight Guidance Panel) の操作を実施する。

- オーバーヘッドパネルのいくつかのノブ (Knob) には、誤操作を防止すべく、ノブにディテント (Detent) を設け、回す際には、まず引き出さなければならないようにする。また、ノブの各位置 (Knob Position) には、通常的位置には四角形の、Momentary Position には三角形の、白いディテントマーク (Detent Mark) を付ける。
さらに、Momentary Position を有するセクタ・ノブ (Selector Knob) では、確実な操作のために、2 秒以上、モメンタリ (Momentary) 位置に保持しなければならないようにする。
- システムの故障は主として、EICAS (Engine Indication and Crew Alerting System) が発出する Message によってモニターするものとする。パイロットによる、システムの作動状況のモニターの手段には、CCD (Cursor Control Device) および Synoptic (システム作動状態を表示する画面) を含むものとする。
- Dark and Quiet Concept を採用する。その結果、
 - ✓ すべてのシステムが正常な場合には、
 - ・ オーバーヘッド、メイン、グレアシールドおよびペデスタルの各パネル上のライト (Light) は消灯している
 - ・ すべての音声警報 (Aural Warning) が沈黙している
 - ・ すべての セクタ・ノブ (Selector Knob) は 12時の位置に揃っている
 - ✓ 通常的位置にない場合、該当スイッチボタン (Switch Button) には、白のバー (Striped Bar) が表示される。

なお、以上の Design Philosophy の構築にあたっては、次のような「ヒューマンファクターの知見」が役立てられているものと思われる。

- ◆ 最小のワークロードで最大の成果が得られるよう、重要なシステムでは、直感的な Procedure (操作手順) を採用し、判断および操作に関わるすべての権限はパイロットに委ねる。
- ◆ チェックリスト (Checklist) は、両パイロットが適正な訓練を受講し、航空機のシステムおよび Procedure (操作手順) に対して十分な知識を有していることを前提として作成されている。
- ◆ 状況への対応とシステム操作への余裕をもたらすべく、可能な限りタスク (Task) の単純化を図れるような、コクピットの設計 (Cockpit Design) にする。自動化は、任務の達成と補完を目的とするもので、乗員の代替とするものとはしない。
- ◆ 高度に自動化された航空機では実際に操作することと同様に、モニタリングも重要である。モニタリング能力の醸成および習熟は、訓練において強調され審査されなければならない。高度に自動化された航空機システムがもたらす「Automation Complacency」(自動化への過信) に陥りがちであることを強調する。

5. まとめ

これまで述べてきたことをまとめると下記のとおりになる。

エアラインが望む飛行機の特徴

- ✓ 同等機種と競合できる価格帯になっている。
- ✓ 同等機種の凌ぐ燃費性能を有している。
- ✓ 整備士・乗員の訓練サポート、導入後の部品補給など、プロダクトサポートが充実している。
- ✓ 設計の段階で、十分な信頼性を実現できるよう、多重性などが配慮されている。
- ✓ ラインでの部品交換が容易にできるなど、整備性を配慮した設計がなされている。
- ✓ 各システムは、整備士も乗員も違和感を感じないような構成になっている。
- ✓ 各システムは、整備士に対しても乗員に対しても透明性を有している。
- ✓ コクピット内の、Control の形状、パネル配置などは、乗員に違和感を感じさせないようなものになっている。
- ✓ 乗員が型式限定を変更する際の訓練・審査・飛行経験に、特殊な要件は課されないような設計になっている。
- ✓ 移行訓練に要する期間は、同等機種と競合できるものになっている。

6. 今後の航空機産業発展に向けての一提言

我が国の航空機産業は、航空機そのものの製作、交換用部品の製作ともに、今後大きく飛躍するものと思われるが、これらの中で、航空機そのものの設計・製造を行うためには、エアラインのパイロットが受け入れやすい機体に仕上げることが重要である。

我が国では、ジェネアビ（General Aviation：エアラインを除く民間航空）のパイロット人口が著しく少ない⁶⁾ ことから、パイロットライセンスを持つ技術者が航空機の設計に携わるということは少なかったが、今後は何らかの対応が必要になるかと思われる。

こういった変革を比較的短期間で達成する方法は、航空機メーカーのエンジニアが、定期便のコクピットを観察して、エアライン運航の実態を経験することであり、中期的には、エアラインのパイロット訓練を短縮版で受講することである。エアライン側としても、最大限の協力を惜しむべきではないと思われる。

また、長期的には、ジェネアビのパイロット人口を急増させ、そういった人材の中から、航空機の設計者を育成していくことも一方法と思われる。

参考資料

- 1) Boeing 社 URL http://www.boeing.com/commercial/777family/pf/pf_facts.html
- 2) JADC 資料 (http://www.jadc.or.jp/7_Aircraft.pdf)
- 3) FSB Report 一覧
<http://fsims.faa.gov/PICResults.aspx?mode=Publication&doctype=FSB%20Reports>
- 4) FAA Order 8110.4C 2-6 u. (f) 項

- 5) FAA Order 8900.1 VOLUME 8 Section 6 の 8-130F 項
- 6) IADF 「ジェネアビのすすめ（航空機産業の一層の飛躍を目指して）」
http://www.iadf.or.jp/8361/LIBRARY/MEDIA/H21_dokojyoho/H21-7.pdf