

最近のコックピット・ディスプレイ・システムに関する設計技術の動向

1. はじめに

コックピット・ディスプレイ・システムのコンピュータ化は 1980 年代に入り革命的な進歩を遂げ、全電子式の MFD(Multi Function Display)を使った計器はこれまでのコックピットの概念を一新した。

それまでのエレクトロ・メカ計器では実現し得ない各種の表示を、文字やシンボルの色彩及び点滅表示等にて、より判り易い視覚を可能とした。現在では更に改良が進められ、必要な情報を 6 台の大型液晶パネルに集約したグラスコックピットとなっている。

本稿では、コックピット・ディスプレイ・システムの現状について述べるとともに、現在主流の液晶ディスプレイパネルに要求される特性、設計上考慮すべき事項及びその実現方法等について述べ、最後にコックピット・ディスプレイ・システムの将来動向として大型表示器や新しい表示内容の研究事例及び外界表示等について紹介する。

2. コックピット・ディスプレイ・システムの現状

航空機の姿勢、機首方位、速度及び高度は、飛行中の航空機にとって最も重要な情報である。これらの情報は表示方法が進化した現在でも重要度には変わりはなく、表示配列においても、その基本配列は踏襲されている。

本項では、エレクトロ・メカ計器から電子化への移行、そして、より一層情報が集約された統合表示のグラスコックピットまでに至る変遷について述べ、最近の航空機に搭載されている PFD(Primary Flight Display)、ND(Navigation Display)及び EICAS(Engine Indication and Crew Alerting System)の機能や表示内容を紹介する。

2. 1 航空計器の基本配列 -T 型配列-

正操縦士と副操縦士の正面には、航空機の飛行状態を示すもっとも重要な計器が配置されている。図 2.1-1 に示すように航空機の姿勢を示す ADI(Attitude Director Indicator)は操縦士前面の中央上方に、速度計はその左側、高度計はその右側に、そして航空機の方位を示す HSI (Horizontal Situation Indicator)は ADI の下側に配置され、T 型配列の構成が基本となっている。これは操縦士の視線移動を最小にして飛行状態が把握できること、また、計器を見る順番及び確認頻度からも T 型配列が最適であると考えられている。この基本配列の計器を中心に、他の計器類も相関関係をもって配置されている。

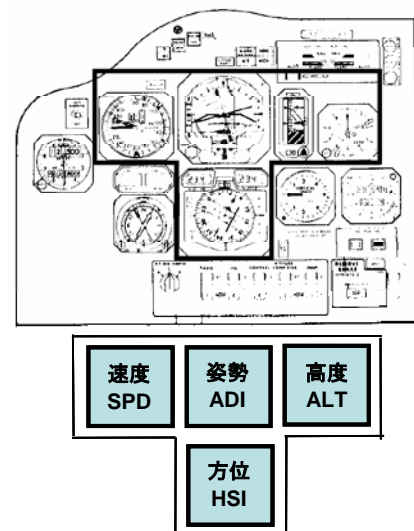


図 2.1-1 T 型配列

2. 2 コックピット用ディスプレイの変遷

B747-200/300、DC-10、A300 等の第 3 世代のジェット機では、航空機の高速度化、大型化にともない、航法システムの進歩、更に安全性／経済性等の追求により、計器の種類及

び数が増大し、エレクトロ・メカの単体計器及び統合計器で充満されたコックピットとなった。(図 2.2-1 左図参照)

エレクトロ・メカ計器は故障も多く、更なる航空機の高度化の対応には限界があり、B767等の第4世代のジェット機では、デジタル技術や一部の計器にブラウン管(以下「CRT」と呼ぶ。CRT : Cathode Ray Tube)が採用され、情報量の増大や信頼性/整備性の向上を目指した全電子式のMFD(Multi Function Display)はコックピットの概念を一新した。

B767のMFDは、従来のエレクトロ・メカ計器のADIやHSIをそのまま電子化したEADI(Electronic ADI)/EHSI(Electronic HSI)が採用され、表示内容は従来の表示が踏襲されている。(図 2.2-1 中央参照)

その後開発されたB747-400及びA320等では操縦士に必要な情報を判り易く表示するため、6台のCRTディスプレイが採用され本格的なグラスコックピットとなり、より一層の統合化が進んだ。現在では同種情報の集約化が行われ、飛行情報を集約したPFD(Primary Flight Display)と、航法情報を集約したND(Navigation Display)が操縦士正面に各2台装備されている。B777及びA340-600では視認性に優れたLCD(Liquid Crystal Display)が採用され始めた。(図 2.2-1 右図参照)

航空機の姿勢、機首方位、速度及び高度の各表示は、表示方式が進化したPFDにおいても、これまでのT型配列がPFD内でも踏襲されていることは興味深い。

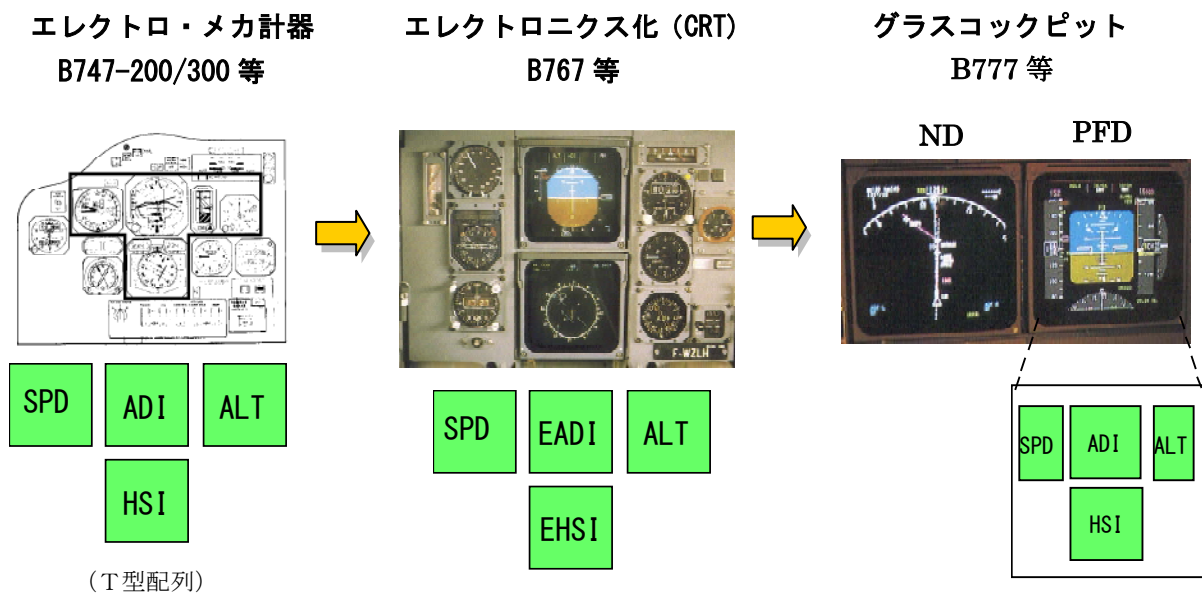


図 2.2-1 コックピット用ディスプレイの変遷

この変遷をみると、当初単にエレクトロ・メカの単体計器や統合計器の電子化を目的としたものであったが、現在ではMFDの表示の自由度を活かし、より良い表示を目指した表示情報の集約が行われている。グラスコックピットの特徴としては以下が掲げられる。

- ・機械式可動部がないため信頼性が高い。
- ・計器の種類/数が大幅に減少し運用コストの削減に寄与できる。
- ・情報やステータスのカラー表示及び点滅表示等、容易な認識表示が可能となる。
- ・選択したモードや飛行状況に対応する必要な情報のみを表示でき、操縦士のワークロ

ードが低減できる。

- ・飛行状態から算出した予想飛行経路などを航路上のウェイポイント、フライトプラン等と合わせて表示することができる。

2. 3 PFD/ND/EICAS

ここでは、航空機に搭載されている PFD、ND 及び EICAS の機能及び表示内容等について一例を紹介する。代表的な民間航空機のcockpit構成を図 2.3-1 に示す。

(1) PFD(Primary Flight Display)

正・副操縦士の正面に各 1 台装備される。PFD には以下のような飛行に必要な飛行情報を 1 台で網羅でき、操縦士は自機がどんな状態で飛行しているかを容易に把握することができる。

- ・飛行姿勢(バンク角/ピッチ角)
- ・FD(Flight Director)
- ・速度(対気速度、速度傾向等)
- ・高度(気圧高度/電波高度)
- ・他機との衝突回避の指示
- ・オートパイロットのモード

(2) ND(Navigation Display)

PFD 同様、正・副操縦士の正面に各 1 台装備される。ND は自機位置を鳥瞰的に上方から眺めた状態を示し、自機位置や飛行に関係する全ての航法情報が網羅できる。

PFD が垂直系統の情報表示であれば ND は水平系統の情報表示とも言える。従来のエレクトロ・メカ計器の場合、水平系統の情報は HSI から得ていたが、ND では HSI 表示を一新し、電子化された地図上に以下のような航法に必要なデータを全て表示し、これまで不可能だった全く新しい航法表示を電子化により実現している。

- ・自機位置
- ・機首方位
- ・飛行予定コース
- ・気象レーダ(雲の位置情報)
- ・地上無線局
- ・無線局からの距離
- ・対地速度
- ・風向/風速

(3) EICAS(Engine Indication and Crew Alerting System)

EICAS は図 2.3-1 に示すとおり計器パネルの正・副操縦士の間(中央)に装備される。エンジン関係の情報だけは常に表示されるようになっているが、それ以外は必要に応じて自動的にあるいはマニュアルで情報を呼び出し表示することができる。表示モードとしては、燃料、油圧、空調、電気、ギア及びドアの各系統がある。

従来のエレクトロ・メカ計器で構成されたcockpitの計器パネルは、各系統の計器及びランプ類で埋もれていたが、EICAS による表示により計器/ランプ類は大幅に削減された。必要な情報だけを操縦士に知らせ、且つエレクトロ・メカ計器では実現し得ない指示の配色(白色、アンバー、赤色等)や点滅表示により、重要度に応じた視覚表示も可能としている。

操縦士のワークロード低減及び状況認識の容易化において EICAS 表示は革新的なもの

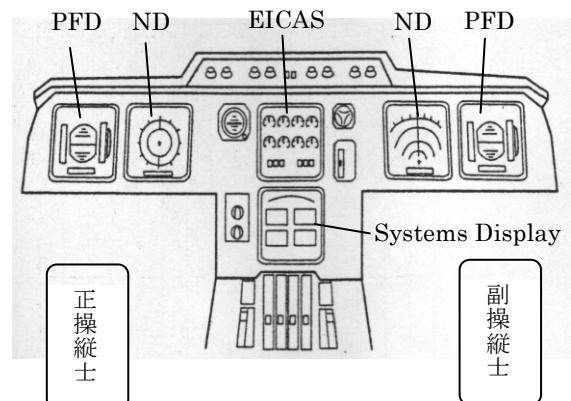


図 2.3-1 民間航空機のcockpit構成

といえる。

2. 4 液晶ディスプレイ

cockpitのHMI(Human Machine Interface)の高度化の一環として、MFDのハード的側面でも改善が見られた。ボーイング社はB777から、またエアバス社はA340-600から、これまでのCRTディスプレイから視認性に優れた液晶ディスプレイを採用しはじめた。液晶パネルは、奥行き寸法も小さく小型軽量化が可能であり、直射日光下から夜間のフライトまで良好な視認性が得られ、シャープで歪/色ずれのない表示が得られる特長がある。また、信頼性、消費電力等でもCRTに比べ優位であり、軍用機の分野はもちろん民間航空機の分野でも採用され、現在の新型航空機では液晶パネルを用いたディスプレイが主流となっている。さらに、これまでメカニカル計器で構成していたスタンバイ計器(姿勢儀、速度計及び高度計)においても、信頼性に優れることからB777ではLCDが採用されている。

3. 設計技術 -コックピット用液晶ディスプレイへの要求特性-

航空機用として使用する液晶パネルの構造はノートパソコン等に使用されている液晶パネルと基本的には同じであるが、温度、高度(気圧)及び振動等において厳しい環境で使用され、さらに航空機のコックピットとしての特有の表示性能も必要となる。本項では現在主流であるコックピット用液晶ディスプレイへの要求特性、設計上考慮すべき事項ならびにその実現方法等について紹介する。

3. 1 光学要求特性

(1) 広視野角/高コントラスト

正操縦士と副操縦士はディスプレイ上の表示情報を図3.1-1に示すように相互確認(クロスチェック)する。その時、正・副操縦士は互いの反対側にある両サイドのディスプレイ上の表示を正確に認識することが必要となる。このため広い視野角での高いコントラスト(白表示の輝度/黒表示の輝度)の確保が必要となる。特に黒輝度を小さくすることが、高コントラストの実現のため重要要素となる。

デザイン・アイ(パイロットの視点)からディスプレイまでの距離および横方向の目視確認距離から設定される大型機の視野角は、一般に左右65°以上が必要とされる。

(2) 色度

正確な色の識別、認識が飛行情報として重要であり、航空機用ディスプレイには高い色度精度が要求される。各々のディスプレイがフルカラー、特に中間色において同じ色を表示することが要求され、そのためディスプレイごとの色度ばらつきを調整することが必要となる。

色情報はクロスチェック時においても重要なパラメータとして認識される。正操縦士

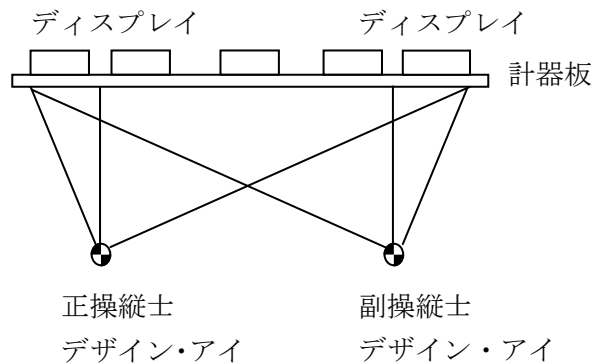


図 3.1-1 水平方向の視野角要求

が正面から見たディスプレイの色度と副操縦士側のディスプレイを見た場合の色度が違う場合は飛行情報の誤認となり、安全飛行上大きな問題となるため広い視野角で色度に変化しないことが重要となる。このため、この色調の変化については、国際的な AIRCRAFT 用 LCD DISPLAY の規格である SAE Standards ARP4256 において詳細に規定されており、航空機用液晶ディスプレイはこの規格に準拠して開発される。

色度変化を最小とするためには、カラーフィルタの色度誤差をはじめ、液晶パネルを構成する材料の分光スペクトル分析、セルギャップのバラツキ等を解析することで実現することができる。

(3) 低反射率

コックピットでは夜間の暗い環境から昼間の太陽光が差し込む明るい環境まで良好な視認性を確保する必要がある。

夜間では液晶パネル裏面のバックライトの輝度を減少させることにより周囲環境に対して最適な明るさを実現できる。昼間はバックライトの輝度を明るくして表示輝度を高くできるが、太陽光がディスプレイ

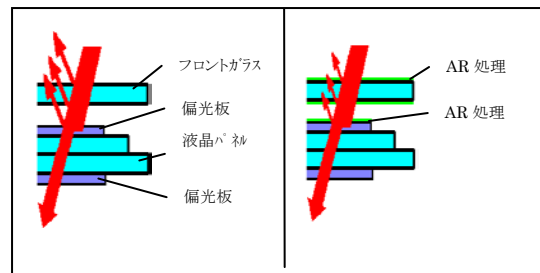


図 3.1-2

図 3.1-3

に差し込んだ場合はディスプレイの表面反射で視認性が悪くなる。このため、ディスプレイ表面の低反射率の確保が重要となる。ここでは低反射率化の一般的な方法として、液晶ディスプレイ前面に装着するフロントガラスでの低反射率化を紹介する。

反射の発生要因を図 3.1-2 で説明する。反射は密度の異なる界面で発生するので、フロントガラス付きの液晶ディスプレイの場合はフロントガラスの両面と液晶パネルの偏光板表面が反射率の大きな要因になる。表面での反射を抑えるための表面処理は一般的に AG (Anti-Glare) 処理と、AR (Anti-Reflection) 処理がある。AG 処理は、鏡面反射は抑えることができるが、拡散反射が大きくなるため太陽光下では画面全体が白くなり著しく視認性が低下してしまう。AR 処理は表面に反射防止用の光学薄膜を蒸着する処理であり航空機用の場合にはこの AR 処理が一般的に用いられている。フロントガラスと偏光板に AR 処理を施すことで大幅な低反射率化が可能となる。(図 3.1-3 参照)

さらに低反射率化を実現するには、低反射多層クロムコートブラックマトリクスなど液晶パネル内の改良も必要となる。

(4) 高輝度

直射日光下においても良好な視認性が要求されるため航空機用液晶ディスプレイは、通常 500cd/m²以上の輝度が必要となる。高輝度化はバックライトで実現するが、液晶パネル背面直下に、熱陰極管または冷陰極管を配置する直下型の構造を取る必要がある。直下型は陰極管の配置による輝度むらが基本的に出やすい構造であるため、輝度むらを抑えるために拡散板での拡散効率を上げる必要がある、その上で低消費電力化のために、光利用効率を向上する必要がある。光利用効率の向上策としては輝度上昇フィルムの使用、さらに液晶パネル側の改善策として液晶パネルの開口率向上がある。

バックライトの消費電力軽減は、信頼性向上に繋がり航空機搭載用液晶パネルの高開口率実現は重要要素となっている。主に TFT (Thin Film Transistor) や配線パターン

適化設計および電極面積を減少させ高開口率を実現することとなるが、開口率向上策としてはプロセス及び材料面から次のような改善策が検討されている。

- ・低抵抗材料の使用やホトリソグラフィ精度の向上による TFT バスラインの細線化
- ・TFT 浮遊容量の低減による保持容量部の面積低減
- ・層間絶縁膜構造による絵素電極面積の拡大
- ・対向電極とのアライメント精度向上

3. 2 環境要求

民間航空機用搭載機器に要求される環境試験項目は、一般的に RTCA (Radio Technical Commission for America) DO160 で規定される。航空機の搭載場所等で試験条件、試験内容は異なるが、コックピット機器については、表 3. 2-1 に示す項目が適用されると考える。実際には、これらの試験内容及び搭載機体固有の要求を基に各機器の環境試験内容が設定される。

表 3. 2-1 民間航空機用ディスプレイに要求される環境試験

RTCA DO-160 の 項目	環境試験項目
第 4 項	温度・高度
第 5 項	温度変化
第 6 項	湿度
第 7 項	運用衝撃および破壊着陸安全性
第 8 項	振動
第 16 項	入力電源
第 17 項	電圧スパイク
第 18 項	音声周波伝導妨害感受性－電源入力
第 19 項	誘起信号妨害感受性
第 20 項	無線周波妨害感受性（放射および伝導）
第 21 項	無線周波エネルギー放射
第 22 項	雷誘起過渡妨害感受性
第 23 項	静電気放射

以下に主要な項目について補足する。

(1) 温度

民間航空機は世界各国で使用されることから、要求温度範囲は遭遇する温度環境すべてが包括され、低温から高温まで広範囲となっている。飛行中のコックピット内は空調されているが、事故等で空調が止まった場合や、寒冷地における起動、砂漠地帯での作動等、遭遇する広範囲の低高温環境において正確な表示が求められる。そのために液晶材料は、低温から高温までの広い動作温度範囲で使用可能な材料を選別する必要がある。

(2) 高度(気圧)

コックピット内は与圧されているが、事故等で与圧が破壊されたとき、急激な減圧または加圧状態となる。減圧、加圧環境下でも正確な表示が必要である。温度と共に、高

度(気圧)を含めた複合環境での要求事項も重要である。

(3) 振動、衝撃

航空機の運航中に遭遇する離着時等の衝撃、振動に加え、車輪のバースト、エンジンブレード破損等の事故環境に耐えることも要求される。特に液晶パネルの取付け方法は、耐振動、衝撃を考慮した構造設計が必要となる。

コックピット用ディスプレイに要求される事項は、視認性に直結する光学特性及び耐環境特性のほか、小型軽量、高信頼性、高整備性、低消費電力等も必要となってくる。特に、コックピット用ディスプレイは HMI として重要な機器であり、要求される表示品質のレベルも高い。

現在、民生用として液晶ディスプレイに変わる新しい表示デバイス(FED : Field Emission Display、PDP : Plasma Display Panel、EL : Electro Luminescence 等)の開発が盛んに行われているが、これらのデバイスにおいても光学特性や環境条件を考慮して選定する必要がある。

現在開発中の新デバイスは、まだ一長一短があり航空機用表示デバイスとして採用するには解決すべき課題が多くある。そのため暫らくは液晶パネルが航空機用ディスプレイの主流の表示デバイスになると考える。

4. コックピット・ディスプレイ・システムの将来動向

本項では、航空機に装備される最も重要な HMI 機器となるコックピット・ディスプレイ・システムの将来動向について紹介する。

現在のコックピット・ディスプレイ・システムは、航空機システムの複雑化に伴い、共通化可能な機能、モード類が統合され、各ディスプレイに振り分けて統合表示するグラスコックピットが主流となっている。

操縦室内の情報表示は TCAS(Traffic Alert and Collision Avoidance System)の義務化に始まり、将来的には ICAO(International Civil Aviation Organization)が推進しているフリー・フライト航法支援やウィンド・シア警報表示等も要求される方向にあり、操縦室内の表示要求はますます増える傾向にある。これら情報量の増大に対応すべく、将来の航空機においては従来の表示情報の統合化、パイロットに対する見易い表示のあり方等の最適化を図ることが重要と考えられている。

また、CAT(Clear Air Turbulence)及びウィンド・シア等の目に見えない気象災害による事故や、悪天候による低/零視程時のフライト変更等、飛行安全の向上と経済的リスクを最小とするため、従来のシンボル表示のみでなく赤外線、レーダ等のイメージ・センサで取得/加工した情報、さらに CGI(Computer Generated Imagery)で生成した画像を融合する等の新たな視界支援情報表示の要求が高まってきている。

以下に表示装置の将来動向ならびに現在研究中の表示例等を紹介する。

4. 1 HUD/HMD

民間航空機に導入される表示器として、HUD (Head-Up Display)、HMD (Head Mount Display) も想定される。どちらの表示も既に軍用機等で使用されており無限遠に焦点を

結び、外界視認と同時に飛行関連情報を視認できるものである。

HUD は民間機でも離着陸時の有効性が示されているが、前方の狭い範囲に限られた表示であり、離着陸時以外はデッド・ウェイトとなりかねない課題がある。

HMD は HUD と似ているが、全方位での表示が可能であり、操縦士がどちらを向いていようと、いつでも直ちに必要情報を操縦士に伝えることができる利点がある。但し、操縦士の頭に装着するために、よりウェアラブルなものが要求され、ヘッド・トラッキング機能が必須のものとなる。

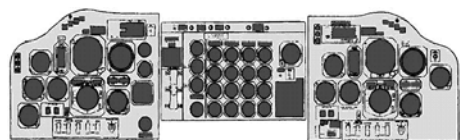
これらは他の表示器と同様、導入効果と導入コスト／リスクの兼ね合いの検討が今後も重要となる。

4. 2 大型表示器

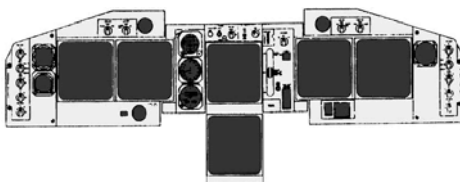
航空機用表示装置の方向の一つとして表示器の大型化が想定される。大型化の要因は、新しい表示の導入に伴いコックピットで扱う情報の量及びその種類が今後とも増加し、より多様で精密な表示が要求されるためである。計器パネルの面積が将来増大するとは考えにくく、表示情報増大要求に対応するためには、個々の表示器を大型化し計器パネルに占める表示可能面積を増やすことが手段となる。

図 4.1-1 及び図 4.1-2 に示すとおり、表示装置の大型化／統合化によりコックピットの有効表示面積割合も増加していることが、コックピット計器の変遷からも確認できる。

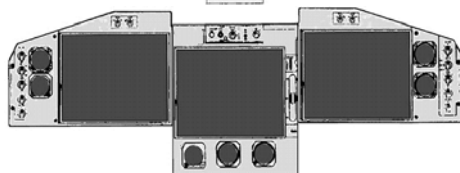
大型化された場合は表示器の数が減るため、1 台故障時の表示システムとしての信頼性が十分とれるかどうかは課題となる。



1. エレクトロ・メカ
有効表示面積比
35～40%



2. 電子化
有効表示面積比
50～55%



3. 電子化(大型化)
有効表示面積比
70～75%

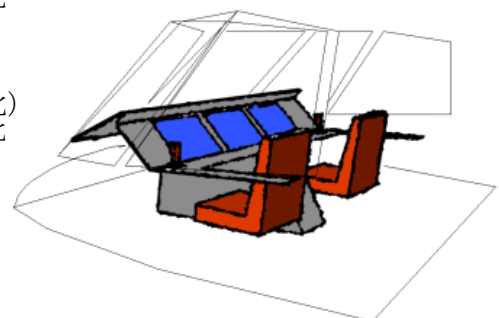


図 4.1-1 計器種類によるコックピットパネル
有効表示面積の検討

図 4.1-2 大型表示器コックピットイメージ

4. 3 NASA の表示研究例

NASA(National Aeronautics and Space Administration)で研究が行われている「旅客機、ジェネラルアビエーションのSVS(Synthetic Vision System)」の表示例を図 4.2-1 及び図 4.2-2 に示す。(出典：<http://lisar.larc.nasa.gov/>)

悪天候・悪視程は航空安全にとって最もやっかいな問題であり、死亡事故の大きな原因

である。NASA の航空安全プログラムは、荒天候や、地形、障害物に向かって飛行することを避けるよう操縦士に支援する革新的なコックピット技術について研究を行っており、主な研究事例としては SVS と航空気象情報がある。

(1) SVS

SVS は、センサー、衛星、地形データベースなどから、外界の天候や時刻に関わらず、一種のバーチャル・リアリティを生成し、操縦士に地形、トラフィック、滑走路等の情報をクリアな画像で表示するものである。

(2) 航空気象情報

航空気象情報は、空中に気象チャネルを示すもので、乗員、管制官、ディスパッチャーに対して適切な時期にムービング・マップ・ディスプレイを提供し、より適切なり・ルーティングの決定を助けるものである。

NASA はこれらの研究を単独で行っているのではなく、FAA(Federal Aviation Administration)や航空機産業と協力して実行している。

図 4.2-1 は 3D(Dimension)表示の地形情報に機体姿勢などのプライマリーな情報を重畳した表示例、図 4.2-2 は、疑似 3D の地形表示に航法情報を重畳した表示例で、既存の PFD 及び ND 表示の発展形と考えられる。



図 4.2-1

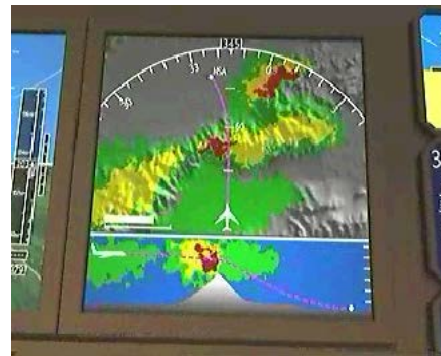


図 4.2-2

これらの表示を民間航空機に採用するにはまだ十分な検討／評価が必要となるが、現在開発中のエアバス A380 やボーイング B7E7 においては、これらの研究成果の一部が活かされるものと考えられる。

B7E7 では現在検討中であるが、2005 年初飛行予定の A380 コックピットでは図 4.2-3 及び図 4.2-4 に示すとおり PFD、ND、ECAM(Electrical Centralized Aircraft Monitor) 及び MCDU(Multi-purpose Control and Display Unit) 全てに 6 インチ(横)×8 インチ(縦)サイズの液晶ディスプレイが計 8 台搭載される予定である。

(出典：<http://www.airbus.com/>)

これまでのエアバス機は 6 インチ(横)×6 インチ(縦)のディスプレイであったが、縦方向(下部)の 2 インチ増えた表示部に、操縦士への各種補助情報や機体高度情報と地形をリンクした新しい側面表示等を行うなど、操縦士支援表示が検討されている。

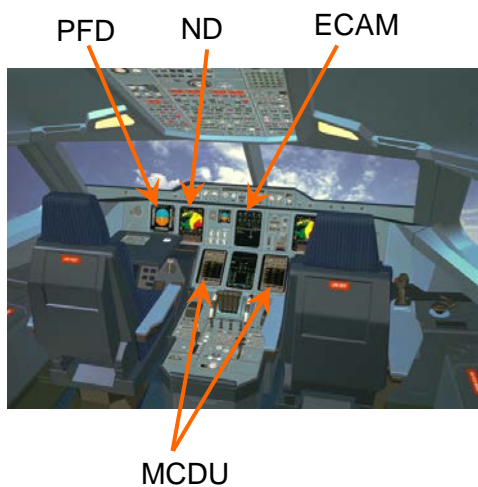


図 4.2-3 A380 コックピット想定図



図 4.2-4 A380 コックピット (拡大)

4. 4 NASA の外界表示器研究例

将来導入が検討される表示器として、超大型表示器または複数の表示器を組み合わせ、飛行情報のみならず外界情報をも、可視ビデオ、赤外線画像及びミリ波レーダ等のデータを合成、融合し表示することも想定される。この場合、ウインドウレス・コックピットとなり、これまで胴体先端部に位置していたコックピットは先端部である必要はなくなり、胴体内部への埋め込みも考えられ、空力特性の優れた機体形状とすることも可能となる。

図 4.4-1 は NASA で研究が行われている「高速民間輸送機のコックピット(Cockpit of High Civil Transport)」の概念である。(出典：<http://lisar.larc.nasa.gov/>)

LAVA(Langley's Animation and Video Archive)のビデオ・ライブラリーにアニメーションが収録・公開されており、詳細情報はなく、概念が示されているだけであるがアニメーションによりリアルなイメージが示されている。正・副操縦士それぞれに外界画像を表示する大画面表示装置が設置され、実際の外界情報が縮小された画像に各種情報が重畳されている。

外界表示については、運用サイドからも是非論があり、採用までには多くの議論を重ね、技術課題を克服する必要がある。特に安全性／信頼性については十分に検討がなされる必要があると考える。



図 4.4-1 外界表示器 (NASA 研究例)

5. おわりに

高度に自動化したハイテク機は、さらなる技術革新を経て、上述のウインドウレス・コックピットにまで進化を遂げると考えられるが、近年の航空機事故で見られるように、正常な飛行データを示しながらの墜落など、自動化が高度のあまり、非常時の操縦士判断が

的確に行われないケースも出てきている。

航空機搭載電子機器及びそのシステムの冗長性／信頼性は今後も向上すると思われるが、これらも限界があり最後は人間(操縦士)が的確に判断し危機を回避しなければならない。

オートパイロットや FMS(Flight Management System)の出現、2マン・クルーによる運用、グラスcockピットによる統合表示、サイドスティック(エアバス機)の採用、そしてマウス操作と同じ感覚で操作できる情報入力装置等により、cockピットは革命的な進歩を遂げてきた。現在ではコンピュータのオペレータデスクのようにも過言ではない。現在直接音声入力の評価や SA(Situational Awareness)の表示研究等が行われているが、危険情報を如何に早く検出／確認し回避するか、そのための危機管理はどうあるべきかなど、操縦士への新たな支援情報以外にもコンピュータの高度な自動化に対応した安全設計はさらに重要になってくると思われる。本章で紹介したcockピット・ディスプレイ・システムにおいても、操縦士に直結するヒューマン・マシン・インターフェース(HMI)として、今後より一層重要なシステムになってくる。

KEIRIN



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。