表示方式と読み取りワークロードに関する考察^{*1}

大 橋 敏 次^{*2}・日根野谷 昌典^{*2}
 深 井 克 明^{*3}・天 藤 久^{*3}

Key Words: Avionics, Head Mounted Display, Human Engineering, Pilot Workload

1. は じ め に

航空機の機能、性能の発展に伴い、パイロットが把握/管理しなければならない情報の量は飛躍的に増加しており、今後も新技術の導入により一層の増加が予想される。このような状況下で飛行安全を確保するに

は、パイロットが適切に判断し、操縦ができるようコックピット内に氾濫する情報を如何に適切にパイロットに伝達するかが重要である。

パイロットへの情報伝達手段としては、従来及び今後も視覚すなわち表示がメインとなると考えられるが、表示方式はメカニカル計器→統合ディスプレイ(ヘッド・ダウン・ディスプレイ→ヘッド・アップ・ディスプレイ)と変遷してきた。更に近年新しい表示方式としてヘッド・マウンテッド・ディスプレイ(HMD)が登場した。三菱重工と島津社ではこのHMDの運用方法に関し共同で研究を実施しており、本研究成果に基づきHMDの読み取りワークロードに与える影響について考察する。

2. 表示方式とワークロードに対する効果

2.1 メカニカル計器 姿勢指示器、速度計、高度計やエンジン回転計等、従来のメカニカル計器では、表示方法及び計器の配置の最適化により読み取りワークロードを低減できることが知られている。

また、表示方法では円型表示の3針、2針表示より単針表示が、更に円型表示より縦型表示の方が読み誤りが少なく、判読時間が短いという結果が報告されている¹⁾

また、計器はその表示する情報により重要度が異なるもの、速度計と姿勢指示器のように計器間で関連性の高いものがある。従って重要度が高いものは計器板中央部の視認性の良い位置に、関連性の高いものは近接配置することによりパイロットの視線の移動を少なくし、ワークロードを低減することができる。

この配置法による基本的な計器配置を第1図に示す。

2.2 統合化ディスプレイ

2.2.1 ヘッド・ダウン・ディスプレイ(HDD) 増加する情報量に対して、パイロット・インタフェース機器を減らし、コックピットの簡素化、パイロット・ワークロード低減のため、HDDが導入された。

著 者 紹 介

大橋 敏次

昭和19年生。岐阜県出身。昭和44年岐阜大学工学部電気科卒業。三菱重工(株)名古屋航空宇宙システム製作所勤務。「CCV研究機」及び「次期支援戦闘機」等の開発設計に従事。電子通信情報学会会員。

日根野谷昌典

昭和37年生。大阪府出身。昭和61年京都工芸繊維大学電子工学科卒業。同年、三菱重工(株)入社。名古屋航空宇宙システム製作所勤務。「次期支援戦闘機」等の開発設計に従事。

深井 克明

昭和56年大阪大学基礎工学部電気工学科修士課程修了。同年、(株)島津製作所に入社。航空機器事業部技術部に勤務し、ディスプレイ関連の装置開発に従事。

天藤 久

平成2年九州工業大学工学部電子工学科卒業。同年、(株)島津製作所に入社。航空機器事業部技術部に勤務し、ディスプレイ関連の装置開発に従事。

^{*1} 平成6年10月6日、第32回飛行機シンポジウムにて講演。
 平成7年10月27日原稿受理 Consideration of Pilot Workload Reduce Effects by Application of New Display

^{*2} 三菱重工業(株) Toshihiko OHASHI, Masanori HINENOYA

^{*3} (株)島津製作所 Katsuki FUKAI and Hisashi AMAFUJI

第1図 基本的な計器配置

HDDでは、情報を整理、統合化し表示できるため、状況に応じて必要な情報のみをパイロットに提供することができる。例えば、巡航時は姿勢、高度等の飛行情報と飛行コース等の航法情報を表示し、着陸時は飛行情報とエンジン回転数等のエンジン情報を表示することができる。従ってパイロットは、計器のように様々な位置を見る必要はなく、数台のHDDだけを見れば良いため、視線の移動量を格段に減少することができる。

また、HDDは当初モノクロでかつ文字を中心とした表示しかできなかったが、コンピュータ技術、ディスプレイ技術の進歩により、現在ではカラー表示でどのような形状でも描けるようになっており、例えばシステム異常を示す場合は赤色表示、形状は直感的にその対象物を連想するようなものとする等、表示の色、形状を工夫することにより判読性を上げ、ワークロードを低減することができる。

2.2.2 ヘッド・アップ・ディスプレイ(HUD) 民間機では目新しいディスプレイであるHUDは、パイロットが頭を下げることなく外界を見ながら、高度、速度等の情報を同時に認識できるようにしたものである。このHUDの原理を第2図に示す。表示素子は外部からの情報信号からシンボルや画像を映し出す機能を有している。航空機用HUDの場合、明るい外界の環境下でも良好な表示視認性を得るために高輝度CRT(Cathode Ray Tube)が使用されている。光学系は表示素子からの光をコリメートする、即ち、外界と同じ焦点距離である無限遠に虚像として表示するためのレンズ等で構成されている。コンバイナは半透過反射板の特性を持ち、パイロットはコンバイナを通して前方の外景と自機情報を重畳して視認することができる。

第2図 HUDの原理図

第3図 地下鉄用HUD

HUDは、航空機だけでなく、乗用車や鉄道車両に実用化されつつある。

現在、鉄道においては輸送量増強の一つとしてスピードアップが考えられているが、高速になればなるほど運転士の前方注視と下方の計器類の確認作業が煩雑になる。そこで、運転士の負荷軽減及び安全性向上の面で、HUDが非常に有効である。首都圏の地下鉄車両にHUDを適用した例を第3図に示す

HUD導入による効果は、航空機同様次のように考えられている。

- ・前方を注視したままでも必要な情報を確認できるため、ヘッドダウン時に生じる、前方未確認時間を減少できる。
- ・従来の計器情報等が前方注視の視野範囲内に表示として現れることから、前方注視時に見落とされたり確認が遅れたりすることなく、認識することができる。
- ・視線移動や眼の焦点調節を減少させることができるため、視覚疲労を軽減できる。

第4図 HMDの構成要素

2.3 ヘッド・マウンテッド・ディスプレイ(HMD)

HMDは、一言でいえば、HUDを小型化してヘルメットに取り付けたものである。

HMDの光学系の基本原理はHUDと同様であり、構成要素は第4図に示すように光学系、表示素子とその駆動電子回路、機構部(ヘルメット等)及びヘッド・モーション・トラッカである。光学系、表示素子はHUDの原理で説明した通りである。機構部は、表示素子と光学系で構成するディスプレイ・ユニットをHMD装着時の頭の大きさや眼の位置に合わせて固定するためのものである。ヘッド・モーション・センサは、HMD装着者の頭の動きに応じたシンボルや画像を表示するために、装着者の頭の位置や姿勢を検出するものである。

HMDの特徴として、装着者の眼の前にレンズで拡大した画像等の情報が表示されるので、広い視野を得ることができる。また、HUDでは前方を見ているときのみ情報を入手可能であるが、HMDは装着者に直接取り付けるので、頭を動かしても常に情報を得ることができる。また、第5図のようにヘッド・モーション・センサを用いると、頭の方角に応じた画像の情報を表示できるので、人間が普段行っている見回すような動作を再現できる。すなわち、視界が広いといえる。

HMDは、人工現実感技術の代表的な視覚提示装置であり、旅客機のコックピット内に人工現実感技術を適用し、情報の提示方法を改善することが考えられている。例えば、外界上に必要な航法支援情報を重ねて表示し、自機の進行空域付近にいる他機の情報や悪天候時に着陸目標地点等を表示する。このようなHMDの適用により、次のような効果が予測され、パイロット・ワークロードの低減を図ることができ、安全性の向上が図れる。

・3次元的に情報表示を行うことにより、パイロッ

第5図 HMDの特徴—広い視界(全周囲で情報入手可能)

トは直感的に状況を把握できる。

・表示器の視野に制限されず、外界に注意を向けた状態で警報等種々の機体システムの状態が把握できる。

また、ウィンドウの無い、従って外界の見えない超音速旅客機(SST)において、HMDとパイロットの頭の動きに連動するビデオカメラを装備することによって、パイロットはあたかもウィンドウを通して外界を見ている感覚で操縦できる。よって、計器だけに頼ることなく、外界を見ることができるので、安全な運行が可能となる。

3. HMDのワークロード効果

HMDの運用方法及び有効性を実際にパイロットにより確認するためにコックピットシミュレータによる評価を実施した。模擬コックピットは、前述のHDD 4台、HUD 1台を装備しており、大型コンピュータを介して模擬フライトを行えるようにした(第6図参

第6図 評価試験状況

照)。

評価は、三菱重工のテストパイロットが本シミュレータ上でHMDを使用した場合、使用しない場合の比較により行い、次のような定性的/定量的データを得た。

- ・機体サブシステム(センサ・システム、フライト・コントロール・システム等)と連動するシステムとすると有効。
- ・警報システムと連動させれば、衝突防止システムとして有効。
- ・スイッチ操作を頭の動きで置き換えられ、パイロット・ワークロードの低減に有効。
- ・特定任務遂行の所要時間は、HMD使用により約40%短縮。

- ・HMD未使用時達成率約90%であったミッションが、HMD使用時100%達成。

このように、HMDがパイロット・ワークロードの低減に有効であることを確認した。

4. おわりに

航空機の性能を決める主要因は、空力、構造(材料)、エンジン等であり、今後もあまり変わらず、益々高性能な航空機が開発されるものと思っている。しかし、これに対しパイロット即ち人間の能力が飛躍的に向上するとは期待できず、パイロット・ワークロードを如何に低減するかが更に重要な課題となると考えられる。

今回、パイロット・ワークロード低減に有効であることを確認したHMDは、21世紀初頭にはセンサ、フライト・コントロール等他の機体サブシステムと統合化された総合システムとして実用化されると考えており、更には3次元表示装置、人工知能応用システム等との統合化によりパイロットのワークロードが大きく変化すると考えられる。

航空機のcockpit設計に携わる者としては、システム技術者、専門機器技術者が一体となってトータル・システムとしての航空機能力向上/安全性向上を図っていききたいと考えている。

参考文献

- 1) 長沢有恒：航空機の計器表示と配列，人間工学，4,1(1968)，pp. 57-63.