- 6) Larson, George C.: Head up Displays in Low Approaches, Business and Commercial Aviation, Dec. (1984), pp. 71, 72, 74, 76-78.
- 7) Banbury, J.R.: Wide Field of View Head up Displays, AGARD Conf. Proc., 1982, (329) 32.1-32.11.
- 8) Swift, D.W.: Diffractive Optics for Avionic Displays, AGARD Conf. Proc., 1982, (329) 31.1-31.8.
- 9) Warwick, Graham: Head up Holograms Show the Way, FLIGHT INTERNATIONAL, 15 Mar. (1986), pp. 26-29.
- 10) Boucek, G. P., Pfaff, T. A. and Smith, W. D.: The Use of Holographic Head-Up Display of Flight Path Symbolism in Varying Weather Conditions, 2nd Aerosp. Behav. Eng. Tech. Conf. Proc., 1983, pp. 103-109.
- 11) Desmond, J. P.: A Holographic Head Up Display for Low Visibility Landing Operations, 2nd Aerosp. Behav. Eng. Tech. Conf. Proc., 1983, pp. 181-184.
- 12) Woodcock, B. H. and Kirkham, A. J.: Holographic Applications in Avionic HUDs, Military Technology, June (1985), pp. 94-97.

—特 集—

フラット・パネル・ディスプレイの動向*1

重 藤 武 昭*2

Key Words: Avionics, Display, Flat Panel Display, Liquid Crystal Display, Man-Machine Interface

1. は じ め に

人間の目は、5感のなかで最も多くの情報量を脳に伝達する機能を有している。ディスプレイは、その人間の目を通して人間と接点をもつマンマシンインターフェース機器であるといえる。したがって、ディスプレイに求められる条件は、情報量の多さ、表示品質の向上、操作性の向上、経済性などであり、人間工学的配慮は、重要な要因である。

最近のフラットパネルディスプレイデバイスの技術動向は、高機能性をもたせるため、大型、高精細、階調、発光効率、コントラストなどの表示品質の向上に最も力が入れていると感じる。昨年9月30日から10月2日まで東京で開催された第6回ディスプレ

イ研究国際会議(The 6th International Display Research Conference)の状況も、フラットパネルディスプレイに関する研究発表が大幅に前回よりも増加している。とくに液晶に関する研究発表件数の増加が顕著で、薄膜トランジスタ(TFT; Thin Film Transistor)による駆動方式が主流を占めている。また、強誘電性液晶、新型ツイスト液晶などの研究発表は、表示品質向上を狙ったものといえる。

本稿では、フラット・パネル・ディスプレイ・デバイスとして、PDP (Plasma Display Panel), EL (Electroluminescence), LCD (Liquid Crystal Display)の技術課題について記述するとともに航空機搭載用フラット・パネル・ディスプレイの実現に最も近いポジションにあるといわれている液晶表示素子を用いたフラット・パネル・ディスプレイに焦点をあて、その技術的考察を記述する。

2. フラット・パネル・ディスプレイの技術課題

フラット・パネル・ディスプレイとして、フルカラー・ドットマトリクスタイプは、もはや一般的といつてよく現在の技術レベルからみるとこれからの技術課題は、高機能性への追求—情報量が多いこと(大型、高精細)、階調機能などによる画像品質の向上—と経済性に向けられることになろう。フラット・パネル・ディスプレイ・デバイスとして、LED(発光ダイオード; Light Emitting Diode), VFD(蛍光表示管; Vacuum Fluorescent Display), PDP(プラズマディスプレイ; Plasma Display Panel), EL(エレクト

著 者 紹 介

重藤 武昭

昭和18年生。兵庫県出身。昭和42年京都工芸繊維大学工学部電気工学科卒業、昭和44年同大学院修士課程修了。同年日本航空電子工業(株)入社。静電容量式液面計測装置の開発を経て、液晶表示素子による航空機搭載フラットパネルディスプレイの開発に従事、現在に至る。航空機事業部第1技術部所属。

*1 昭和61年11月6日、第24回飛行機シンポジウムにて講演。昭和62年5月28日原稿受理 Flat Panel Display Trends

*2 日本航空電子工業(株) Takeaki SHIGETO

第1表 FPD 主要性能比較表

諸 元	デ バ イ ス		
	PDP	EL	LCD
表示モード	発 光	発 光	受 光
動作電圧(V)	120~300	200	1.5~15
消費電力	○	△	◎
メモリー	可 能	無	可 能
表示サイズ	中~大	中~大	小~大
形状(奥行)	薄 型	薄 型	薄 型
LSI 駆動容易性	△	△	◎

ロルミネッセンス; Electroluminescence), LCD (液晶ディスプレイ; Liquid Crystal Display), ECD (エレクトロクロミック; Electro Chromic Display) 等があるが, LCD, ECD のみが受光形で他はいずれも自発光形である。このうちフラット・パネル・ディスプレイとして実用化レベルに達している PDP, EL, LCD についての主要性能比較表を第1表に示す。一般に受光形のディスプレイは, 消費電力がきわめて小さい特徴を有するとともに応答速度が遅い問題が指摘されているが, 近年この方面の改善が急ピッチで進んでいる。また, 一般にディスプレイの表現能力としては情報量, サイズ, 表示品位等が関係するが, システムとの適合性としてとくに LSI 駆動容易性, 信頼度等は重要である。さらにフラット化, 薄型化は必要不可欠な要素である。

2.1 PDP PDP は, とくに大型表示面積, 大容量のフラット・パネル・ディスプレイの分野に最も有力なディスプレイとしての地位を確保しつつある。それは, ブラウン管がその真空を保つ容積から画像対角寸法で 40 インチが最大であるのに比べて, PDP はそれより大きな表示面積を有するパネルを製作できる利点があるためである。

PDP は, 対向した 2 枚のガラス基板上に電極(厚膜印刷), 誘電体層があり周囲をガラスシールした構造で, 2 枚のガラス基板間(約 100 μm の放電空間を有する)に Ne ガスを主体とした混合ガスが封入されている。PDP は, AC 型と DC 型に大別される。この呼称は, 動作電源の違いによるものであるが, メモリ機能の有無による相違が大きく, メモリ機能をもつ AC 型 PDP では表示ドット数が増加しても, 表示のチラツキ等の表示輝度, 安定性が劣化しないという特徴を有している。表示方法としてメモリ機能がないと繰り返しデータを入力せねばならずそのためドット数が多くなると当然表示デューティが低下し, 輝度の低下, チラツキを招くことになる。したがって, 大型, 高精細 PDP においては, 放電を維持するメモリ機能は必要不可欠といえる。PC (Personal Computer) 等

の電算機端末では, ドットピッチ 0.4 mm, 画素数 512 $\times$ 512 の PDP が, TV 用パネルでは, ドットピッチ 0.5 mm~1 mm, 画素数 160 $\times$ 120 の PDP が先の SID で発表されたが, 今後の技術課題として

大容量化 (大画面化)
多色化
高輝度化 (発光効率の向上)
低価格化

が望まれる。

2.2 EL EL は, ランプ, バックライト用の有機 EL (簡単にいえば硫化亜鉛 ZnS 等の蛍光体粉末をプラスチックに分散させたもの)ではなく, ここではフラット・パネル・ディスプレイ用としての薄膜 EL (TFEL) を取り上げる。

EL は, 基本的には電界効果型発光デバイスであり, ZnS を母体とする薄膜 EL 発光層には通常 10^6 V/cm の電界強度が必要で, ZnSEL 発光層を絶縁膜ではさむ構造がとられる。薄膜 EL の技術の流れは,

- (1) 大容量化
- (2) 低価格化
- (3) フルカラー化

の方向に進んでおり, (1)の大容量化については, ドット数 640 $\times$ 512 が開発されコンピュータ用端末ディスプレイのレベルを満たしたことにより, この方面の市場が期待されている。(2)の低価格化については, 主として誘電体の改良による低電圧化と発光層の高効率化が行われているが駆動方法として完全対称交流電圧駆動が必要で約 200 V の高い駆動電圧を要することから高耐圧半導体の低価格化が必要不可欠である。一方, 歩溜り向上の面では, 徐々にその成果がみられ, コスト的には当初の 1/3 程度になったといわれている。(3)のフルカラー化については, 緑, 赤が既に輝度において実用レベルに達しているものの, 青色発光についての開発が依然解決されるべき課題として残っている。

今後の EL は, これらの技術の流れとともにパネル自身へのメモリ機能の付加による高解像度, 大容量表示パネルの実現であろう。

2.3 LCD LCD は, 受光形のディスプレイとして実用化されている唯一のデバイスといえる。この現在盛んに話題を集めている液晶は, 19 世紀後半に見いだされ, 幾多の研究の盛衰を繰り返してきている。この液晶 (Liquid Crystal) とは, 分子の占める位置および分子軸の方向が固体結晶に見られるような (三次元空間で) 完全な規則性をもつ状態と, 通常の等方性液体に見られるような不規則な状態との中間状態を示す物質をいうが, 簡単にいえば, 液晶とは, 液体と結

第2表 液晶の電気光学効果

晶体の中間の性質を示すものといえる。

2.3.1 分子配列からみた分類¹⁾ 液晶物質は、その分子が細長い棒状、平板状をしており、その分子配列により3種類が存在している。

ネマティック液晶 (nematic)

コレステリック液晶 (cholesteric)

スメクティック液晶 (smectic)

これらの液晶の性質を簡単にいうと次のとおりである。

ネマティック液晶は、その分子位置に規則性はないが、分子軸が全体として一方向に向いている秩序をもっている。

コレステリック液晶は、分子軸がねじれている(カイラル)ものまたはネマティック液晶にカイラルな分子を混合したものをいう。

スメクティック液晶は、配列が上記2者に比べて、より規則正しく層をなしている。層の面内では、分子の位置に規則性がないが、面に直角な方向には規則性をもっている。したがって、一方向に対し分子位置の規則性を保ち、分子軸は全体として一方向に向いている秩序をもっている。

2.3.2 電気光学効果¹⁾ 液晶分子は、形状、誘電率、屈折率および導電率に異方性をもつ物質である。こうした物質に電界を加えると、液晶分子軸の配列遷移、液晶分子の流れを伴う不安定現象が生じる。これらが原因で電界の加えられた液晶の光学的性質が変化する。これを一般に液晶の電気光学効果 (electro-optic-effect) と呼ぶ。第2表に液晶の主要な電気光学効果を示す。液晶ディスプレイは、液晶に対してその一部に電界をかけるとその部分だけ、たとえば偏光した光が90度回転したり、透明になったり、不透明になったりする。すなわち、液晶が光のスイッチの役割をすることを利用したものである。

2.3.3 表示器としての分類 LCDの基本構成により分類すると

透過形

反射形

投影形

に大別される。透過形は、照明光源を表示パネルの後方(背面)に配置し、光源からの光の強度を表示パネ

ルで変調することにより表示するものである。反射形は、外部(周囲)光で表示面全体を均一に照明できるような比較的小面積の表示器に用いられ、背面あるいは背面電極に反射板を配置し、液晶層を透過した光が反射板に当たり、その反射光が外部にそのまま透過するものとセグメントなどでさえぎられ透過しないものとのコントラストにより表示するものである。また、投影形は、表示パネルをスライドのように光学系で拡大し、スクリーンに投影する表示方式で、大型表示に適用される場合が多い。

2.3.4 駆動方式 液晶パネルの駆動方式は、能動素子を用いるアクティブマトリクス駆動とスイッチング素子(能動素子)を使用しない単純マトリクス駆動に大別される。前者は、高解像度、大容量表示に適しているが、大画面化が容易でないといわれている。また、後者は、大画面化は比較的容易だが、高解像度、大容量表示は困難といわれている。

現在の液晶ディスプレイは、壁かけテレビに代表される薄型表示器に向けて、大型・高解像度化を目指している。また、液晶ディスプレイは、2枚の透明電極間に液晶材料という誘電体を封入したコンデンサ構造である。したがって駆動源に対して容量性負荷であると同時に方向性のない素子である。この方向性のない容量性素子であるため、ドットマトリクス表示の場合、表示しようとする画素を交点とする電極に電圧をかけても他の非点灯画素にもほぼ同等の電圧が発生してしまい、いわゆるクロストーク現象が起り表示品質が劣化する。したがって、大型化、高解像度化を目指す場合、画素数が多くなり、クロストーク現象が発生しやすくなり、これを解決することが最大の課題の一つとなっていた。この解決方法として各画素毎に能動素子を設けるアクティブマトリクス方式が最も効果的であることから、この方面の研究が盛んに行われてきた。能動素子としては、ダイオード、電界効果トランジスタ(FET: Field Effect Transistor)の2通りがある。ダイオードによる駆動では、製造プロセスの容易性などトランジスタ方式に比べて多くの特徴を有しており、クロストーク現象を解決できるが、ダイオードの接合容量が大きいためパルス印加後の電圧の減衰が速く、十分なコントラストが得られず大型化、高解像度化に伴う数十万、数百万個といった画素数を駆動できない可能性もある。トランジスタ方式の駆動等価回路¹⁾を第1図に示す。図において、走査電極 X_i が選択され、 FET_{i1} , FET_{i2} , ..., FET_{iN} が導通状態になると信号電極 Y_1 , Y_2 , ..., Y_N に画像信号に応じて電圧が印加される。この電圧によりコンデンサ C_{i1} , C_{i2} , ..., C_{iN} は充電され、液晶(LC)を励起する。走査が他

第1図 FETを用いる駆動方法

の電極に移っても ($FET_{i1}, \dots, FET_{iN}$ は OFF 状態になる), コンデンサに充電された電圧で液晶は励起状態を持続する。再び走査電極 X_i が選択されると, 画像信号に応じて $C_{i1}, C_{i2}, \dots, C_{iN}$ は充電され直す。このとき, 画像信号のない場合コンデンサは放電し, 液晶は励起状態をとめる。このように多数の液晶に瞬時の信号電圧印加であるにもかかわらず, 次の信号電圧がくるまで印加されたままとなる。したがって, 時分割方式でありながらつねに信号電圧が印加された状態である。このことが大画面化, 高解像度化を目指した時, 能動素子として TFT が選択されたゆえんであろう。

2.3.5 カラー化 液晶表示でカラー表示するには, 種々の方法がある。

- (1) カラー偏光板
- (2) ゲスト・ホスト (G/H)
- (3) カラーフィルタ

カラー偏光板の色の種類は, 赤, 青, 緑, 紫, マゼンタ等があり, 1枚の偏光板で2色以上のものもある。

ゲストホスト型液晶は, ホストである液晶のなかに, 方向によって吸収度の異なる2色性色素をゲストとして溶かし込む。これに電界を印加することによって, 液晶分子が回転し, そりに伴って色素が回転するので光の吸収が変化することを利用している。したがって, TN型液晶とG/H型液晶を比較した場合, 一般にTN型は2枚の偏光板を用いるのに対し, G/H型では, 偏光板は1枚(あるいは使用しない場合もある)を使用するので, G/H型は明るく視角が広いといわれている。

カラーフィルタ方式は, 赤(R), 青(B), 緑(G)の三原色のカラーフィルタパターンによる方法で,

RGBの組合せで黒を含めて8色のマルチカラーとなり, さらにRGB各色にレベル(階調)をもたせることによりフルカラー(総天然色)化が可能となる。

3. 航空機搭載用フラットパネルディスプレイ

現代およびこれからの航空機においては, 航空機の性能向上ならびにミッションの高度化, 複雑化に伴い計器の数および情報量が増えてくることは明らかである。航空計器は, 航空機の安全運航のため, クルーのワークロード軽減に果たすべき役割は大きく, したがって航空計器の機能向上, 性能向上はいうまでもなく, それ以上にマンマシンインターフェース機器として重責を担っている。

航空計器特にディスプレイは, 他の搭載電子機器と同様に高信頼性であり, 温度, 高度, 振動, 衝撃などの耐環境性に優れていることはもちろんであるが, マンマシンインターフェース機器として次の事項に留意する必要がある。すなわち, ディスプレイは, 他の計器よりも情報量が多く, 広範囲であるだけにパイロットにその表示内容あるいは指示がいかに正確に伝達されるかが大きなポイントとなる。このような観点から, 同一系統の計器を統合し, 一つの計器に多種のデータを総合表示して指示させることが重要となる。統合計器はパイロットの注意力の分散を防ぎフライトクルーに対して必要な情報を一度に, すばやく, 正確に与えることが可能である。この結果, 適切な判断, コントロールがきわめて短時間のうちに実行できる。

このようなコックピットディスプレイの実現には, デジタルコンピュータによるデータ処理の自動化, 高速化が必要不可欠である。

この代表的な計器として, おもに姿勢指示とフライトディレクタを統合したADI (Attitude Director Indicator) と方位と航法関係のデータを一つにまとめて指示するHSI (Horizontal Situation Indicator) がある。これら機械式統合指示計器においては, もはや構造的視覚的に限界に近く, さらに増加する情報量に対応できなくなってきたおり, そこでCRT (Cathode-ray Tube) の出現により電子式統合指示計器の時代を迎えた。

電子式統合指示計器は, デジタルコンピュータと航法装置を組み合わせたデジタル表示システムで, 必要な情報のみの表示が可能となり, シンボル, 色, 表示方法の変更はソフトウェアで対応でき, そのときの飛行状態で今後の状況を予想(経路, 速度など)するなど柔軟性に富む。ARINC 725 (Aeronautical Radio Inc.) では, EFIS (Electric Flight Instrument System: 電子式飛行計器システム) と称され, その代表

第2図 統合化表示例

的なものがEADI (Electric Attitude Director Indicator: 電子式姿勢指示器)であり、EHSI (Electric Horizontal Situation Indicator: 電子式方位指示器)である。これらは、正に統合化表示器であるが、これをさらに一歩進めると第2図のようになると考えている。

これらの統合化表示器は、CRTのテレビで代表される視認性、高輝度などの特徴を発揮している。一方CRTで指摘されている奥行寸法、重量などの改良点は、機体メーカーなどで強く要望されており、コックピットディスプレイにおけるフラットパネルディスプレイ化の方向を明示している。

4. おわりに

従来の機械式に代わって、現在CRTによる電子式統合指示器が多く採用され始めているが、このCRT

も改善を要求されている事項がいくつかある。それは、重量の軽減、奥行寸法の縮小、信頼性向上、太陽光下における視認性の向上および消費電力の低減などである。これらすべてを満足するのがフラット・パネル・ディスプレイによる電子式統合指示器でなければならない、液晶ディスプレイによってこれが達成されることは、ほぼ確実であろう。

これからのフラット・パネル・ディスプレイは、これらの改善を果たした上でさらに表示品質の改善、高輝度化、低価格化に加えて、多様化、高度化に向けて激しく、厳しい競争が展開されるだろう。

参考文献

- 1) 佐々木昭夫：液晶エレクトロニクスの基礎と応用、オーム社、1983。