液晶による投写型カラーキャラクターディスプレイ

三菱電機株式会社 中央研究所 上 田 文 夫
新 居 宏 壬

ネマティック液晶の分子配向を電界で変化させることによるカラーディスプレイの原理を利用する位相一致マトリックスアドレス方式の検討および試作実験を行ない、クロスエフェクトの影響を受けない均一性の良いマトリックスアドレス方式のカラーキャラクターディスプレイが高コントラスト、低電圧駆動で実現できることが明らかになった。

1. ま え が き

近年、液晶の応用に関しては数多くの研究がなされ、特にネマティック液晶は種々のディスプレイ装置への応用や実用化が見られるようになってきた。現在、実用化の主流になっているものは、ネマティック液晶の DSM (動的散乱モード) と呼ばれる電気光学効果を利用したものであるが、閾電圧が不明確なこと、コントラストが低いこと、動作電圧がまだ高いことなどの問題があり、多数の任意のパターンを表示できるマトリックスアドレス方式とする場合、非常に不利となる。

ここでは DSM では得られなかった機能を持つ、新しい電気光学効果^{8)~10)}を利用したマトリックスカラーディスプレイ¹⁾のための新しい駆動方式を提案し、若干の理論的検討を行ない、実験と比較して検討を加えた結果について報告する。

DSM を利用したマトリックスアドレス方式による表示装置についてはいくつかの提案があるが^{2)~7)}、駆動回路が複雑になる、電極本数が増加すると著しくコントラストが低下する、動作電圧が高いなどの問題が残っている。新しい電気光学効果の利用は、このような問題点の多くを解決でき、さらにカラー化が可能であるという大きな特徴を持っている。

本報告では、カラーキャラクターディスプレイの基本となる新しい電気光学効果の原理と特性の概説を 2 章で行ない、3 章で位相一致マトリックスアドレス方式の解析、4 章で試作装置と検討結果について述べる。

2. カラーディスプレイの原理と特性

カラーディスプレイを行なうための液晶セルの構成は

"Projection Type Color Character Display Using Liquid Crystals"
by Fumio Ueda and Hirotsugu Arai (Central Research Laboratory, Mitsubishi Electric Corp., Hyogo)

図1 液晶セルの構造 (断面)
Liquid crystal cell.

図1に示すように透明な In_2O_3 膜の電極をつけたガラス基板の間に液晶がサンドイッチ状にはさまれている。液晶には負の誘電異方性を示す MBBA と EBBA の混合液晶 (大日本塗料 KK に御協力いただいたものである) を使用した。MBBA は液晶セルの壁面に対して分子の長軸を垂直にして一様に配列しやすいといわれており、この混合液晶もセル壁面に対して分子長軸を垂直にして配列している。液晶層厚はマイラーのスペーサーによって定め、 $6\sim 25\mu\text{m}$ の層厚で一様な分子配列が得られた。液晶が接する電極面は電圧印加時にも乱れのない一様な分子配向変化が得られるようにするため SiO_2 膜によるコートがほどこされている。装置の基本的な構成を図2に示す。光源 (白色光) から出た光はレンズ系によって平行光線となり、偏光子で直線偏光となって液晶セルに

図2 カラーディスプレイ装置の構成
Arrangement of color display.

入射する。液晶セルを透過した光は偏光方向が偏光子のそれに対して直角方向になるように配置した検光子を通してスクリーンに投写されるようになっている。

すべての液晶分子は、電圧が印加されていない状態では電極面に対して分子長軸が垂直になるように配列している。この液晶では分子長軸方向が光軸となっており、液晶セルに入射した光は偏光状態に何ら変化を受けず検光子に達する。検光子の偏光方向は液晶セルを透過してきた光とは直角をなしているため、光は検光子を透過せず、スクリーンには到達しない。

液晶セルに電圧が印加されると、ここで使用する液晶分子は分子長軸と直角方向に電気双極子を持つため、その分子長軸は電極面に対して直角方向から次第に傾むくことになる。液晶分子は長軸方向と、それに直角方向の屈折率が異なるため、液晶セルに入射した光は複屈折を受け、セルを通過する際に楕円偏光になる。この楕円偏光と検光子の偏光方向の相互関係によって、透過光波長が選択されることになる。

一般に直交ニコル間に置かれた複屈折性物質を透過してくる光の強度 I は、

$$I = I_0 \sin^2 2\phi \sin^2(\pi d \Delta n / \lambda) \quad (1)$$

となることが知られており、液晶におけるこの電気光学効果による透過光強度もこの式によって求める。ここで I_0 は偏光子との検光子と偏光方向が平行の場合の透過光強度、 ϕ は入射光の偏光方向と液晶の光軸の入射面への投影軸とのなす角、 Δn は複屈折性物質の 2 方向の屈折率の差、 d は複屈折性物質の層厚、 λ は光の波長をそれぞれ表わしている。

ここで述べるカラーキャラクターディスプレイは、前述のように液晶分子の配列方向が電界で変化し、液晶分子の屈折率異方性のため (1) 式の入射光のみ Δn を変化し、透過してくる光の強度や色相が変調されるという原理を利用するものである。

基本的な強度および色相変調の特性を図 3 および図 4 に示す。

図 3 は印加電圧に対する透過光強度の変化を 3 種の波長の光に対して測定したもので、液晶層厚 $6 \mu\text{m}$ 、印加電圧波形は 1 kHz の正弦波である。この図から明らかに、 5 V 弱から短波長側の光が透過しはじめ、電圧

図 3 透過光強度の AC 電圧依存性
Transmitted optical intensity vs AC voltage.

図 4 透過光強度の AC 電圧依存性の駆動周波数による変化
Transmitted optical intensity vs AC voltage.
(Each curve refers to different frequency drive)

を上げると透過光波長は長波長側に变化していく。以下、電圧の上昇とともに (1) 式にしたがって周期的にその透過光強度は变化していく。

肉眼での観測では、最初の透過光が極大になる各波長の光が接近しているため分離できず、白色として観測される。そのため、印加電圧の上昇とともに黒→白→オレンジ→赤→青→緑といった色変化がみられる。

図 4 は印加電圧と透過光強度の関係の駆動周波数に対する変化を示したもので、液晶層厚は $9 \mu\text{m}$ 、光源には He-Ne レーザーを使用したものである。図のように低周波から高周波まで広い周波数範囲で応答し、従来の DSM のように周波数が 1 kHz 前後より高くなると急速にその動作電圧が上昇していくといった現象はみられない。しかし、厳密には高周波になるにしたがって、いくぶん透過光強度が極大、極小になる電圧が高くなる傾向がみられる。また、透過光強度の電圧波形による影響は少なく、実効値のみで定まる。

以上のような特性は直流電圧でも同様に観測されるが、寿命が短くなることから交流電圧使用が望ましい。コントラストは偏光子や検光子の特性により変化するが、He-Ne レーザーを光源にした場合 $10^4:1$ が得られた。応答時間は周波数によってほとんど変化なく、立上りは $2 \sim 0.2 \text{ sec}$ 、立下りは $0.1 \sim 0.2 \text{ sec}$ 程度である。

以上のように、このような分子配向の電界制御を利用したディスプレイは、 6 V 前後の低電圧で色表示ができること、閾電圧が比較的確であること、高いコントラストが得られるなどの特徴があるため、DSM では得られなかった優れたマトリックスアドレス方式によるディスプレイが可能となる。

3. 位相一致マトリックスアドレス

一般に多数多種のパターンを表示する場合、駆動回路をできるだけ簡略化するため X-Y マトリックスアドレ

ス方式の駆動が採用されることが多い。そのため液晶セルの電極はその方向が互いに直交するように配置した帯状の形状（図9参照）とし、各帯状電極に駆動回路を接続して順次走査し、パターンを表示するために必要な絵素（X電極とY電極の交点）のみに電圧を印加するようになっている。

単純なマトリックスアドレス方式の一例は、電圧一致マトリックスアドレス方式と呼ばれるもので、液晶セルのY電極に単純な走査パルス電圧を、X電極に表示パターンの情報を含む信号電圧を加えるものである。

しかし、このような方式はプラズマディスプレイや発光ダイオードのように非常に明確な閾電圧をもつものを除いて、そのクロスエフェクト（各絵素が容量的に結合している）のため選択点の絵素に電圧が印加されたとき、まわりの非選択点にもいくらかの電圧が印加されることになり、表示パターンの明るさのむらやコントラストの低下など、その画質を著しく低下させる現象が生じる。

2章で述べたような新しい電気光学効果を用いて、マトリックスアドレス駆動を行なうディスプレイはすでに試みられている^{11)~13)}。たとえば、マトリックス電極のY電極に走査電圧 $V_{(p-p)}$ を、またX電極側に信号電圧 $V_{(p-p)}/2$ を印加するようにしたものであるが、この方式は電位が3値をとるため回路が複雑になり、さらにコントラストに対する最適な駆動条件が考慮されていないため、Y電極数が数十本以上になると、選択点と非選択点の絵素に印加される電圧の差が非常に小さくなり、表示パターンのコントラストが急速に低下するといった問題があった¹⁴⁾。

ここで述べる新しいマトリックスアドレス方式は、位相一致マトリックスアドレスと名づけるもので、前章で述べた新しい電気光学効果の特徴を生かし、クロスエフェクトによる影響を全絵素間で完全に一様化することによって画質の低下を防止するとともに、コントラストを

図5 5×7マトリックス電極セルによるパターン表示の例
Display pattern. (5×7 elements)

最大にするような駆動電圧の設定を行なえるようにしたものである。位相一致マトリックスアドレスは、実効的なクロスエフェクトを均一化するため架空のアドレスを行なう期間をもたせ、その間に論理を反転した電圧を加え、各絵素に加わる電圧の実効値が一定の値になるようにしたものである。これによって均一性の良いマトリックスカラーディスプレイを実現できることになる。

ここでは具体的な5本×7本のマトリックス電極セルを用いて“M”という文字を表示した場合について、各電極に印加すべき電圧波形を定め、代表的な絵素について、そこに印加される電圧の実効値を求め、選択点の絵素にその位置に関係なくまったく同じ電圧の実効値が印加されること、また非選択点の絵素についても同様の結果になることを示す。

図5は5本×7本のマトリックス電極セルで“M”という文字を表示したもので、そのときの電極および絵素に印加される電圧波形を図6に示す。ここでは“M”を表示する斜線部分の絵素に高位の電圧の実効値が印加され、他の絵素に低位の電圧の実効値が印加されるようにしようとするもので、文字と地とは異なった色で表示することができる。図6の $e_{X1} \dots e_{X5}$ は、図5のX電極 $X_1 \dots X_5$ に印加すべき電圧波形であり、 $V_{2(p-p)}$ のパルス電圧からなる。一方 $e_{Y1} \dots e_{Y7}$ はY電極 $Y_1 \dots Y_7$ に印加すべき電圧波形で、 $V_{1(p-p)}$ のパルス電圧からなる。

(注) e_{Yj} の平均値レベルと e_{Xi} のそれは一致させてあるので
 $e_{Xi} - e_{Yj}$ は純粋な交流となる。

図6 駆動電圧波形
Waveform of drive voltage.

る。また ex_2-ey_2 と ex_1-ey_1 および ex_2-ey_2 と ex_1-ey_1 は “M” を表示したときの選択点絵素および非選択点絵素のうちの代表的なものについての電圧波形を示したもので、上記の X および Y 電極に印加される電圧波形によって決定されてしまう。図 6 で T は周期であり、液晶の応答より短くしてある。

このような電圧波形を基にして、“M”のパターンを表わしている部分の絵素（図 5 の斜線部分の絵素）に加わる電圧の実効値 E_H は、

$$E_H = \left(\frac{1}{T}\right)^{1/2} \left\{ \left(V_1 + \frac{V_2}{2} - \frac{V_1}{14} \right)^2 \frac{T}{14} + \left(\frac{V_2}{2} + \frac{V_1}{14} \right)^2 \frac{T}{2} + \left(\frac{V_2}{2} - \frac{V_1}{14} \right)^2 \left(\frac{T}{2} - \frac{T}{14} \right) \right\}^{1/2} \quad (2)$$

となり、絵素位置に関係なく同じ値となる。

同様に斜線部分以外の絵素の電圧の実効値 E_L は、

$$E_L = \left(\frac{1}{T}\right)^{1/2} \left\{ \left(V_1 - \frac{V_2}{2} - \frac{V_1}{14} \right)^2 \frac{T}{14} + \left(\frac{V_2}{2} + \frac{V_1}{14} \right)^2 \frac{T}{2} + \left(\frac{V_2}{2} - \frac{V_1}{14} \right)^2 \left(\frac{T}{2} - \frac{T}{14} \right) \right\}^{1/2} \quad (3)$$

となり、絵素の位置に関係なく一定の値となった。

以上の結果、5本×7本のマトリックス電極液晶セルを用いた場合、表示パターンがいかなる場合でも上述と同様の結果になることが容易に確認でき、新しいこの液晶の電気光学効果による光の透過強度の変化が電圧の実効値のみに依存するという特性から、この位相一致マトリックスアドレス方式の採用により、色や明るさがクロスエフェクトによって乱されることのない良好なパターンを得ることが可能であることがわかった。

一般に M 本× N 本のマトリックス電極セルで上記のような電圧波形を印加した場合、同様の考え方によって選択点絵素の電圧実効値 E_H は、

$$E_H = \left(\frac{1}{T}\right)^{1/2} \left\{ \left(V_1 + \frac{V_2}{2} - \frac{V_1}{2N} \right)^2 \frac{T}{2N} + \left(\frac{V_2}{2} + \frac{V_1}{2N} \right)^2 \frac{T}{2} + \left(\frac{V_2}{2} - \frac{V_1}{2N} \right)^2 \left(\frac{T}{2} - \frac{T}{2N} \right) \right\}^{1/2} \quad (4)$$

となり、また非選択点絵素の電圧実効値 E_L は、

$$E_L = \left(\frac{1}{T}\right)^{1/2} \left\{ \left(V_1 - \frac{V_2}{2} - \frac{V_1}{2N} \right)^2 \frac{T}{2N} + \left(\frac{V_2}{2} + \frac{V_1}{2N} \right)^2 \frac{T}{2} + \left(\frac{V_2}{2} - \frac{V_1}{2N} \right)^2 \left(\frac{T}{2} - \frac{T}{2N} \right) \right\}^{1/2} \quad (5)$$

となり、おのおのの絵素は位置に関係なく同じ電圧実効値となる。

ここで E_H と E_L の比 (E_H/E_L) の最大値 K_m を与える V_1 と V_2 の関係を(4)式および(5)式から求めると、

$$V_1 = \{N/(2N-1)^{1/2}\} V_2 \quad (6)$$

図 7 K_m (最大実効電圧比) と走査線数との関係
Maximum derivation of effective overdrive vs number of lines.

となり、このときの K_m (最大実効電圧比) は

$$K_m = \{(\sqrt{2N-1}+1)/(\sqrt{2N-1}-1)\}^{1/2} \quad (7)$$

となる。

この K_m は選択点の絵素に印加される電圧の実効値と非選択点の絵素に印加される電圧の実効値との比の最大値を示すもので、具体的には K_m が大きいほど、表示パターンを高いコントラストで出しやすいことになる。そして K_m を最大にするには V_1 および V_2 を(6)式を満たすように設定しなければならないことになる。また K_m は Y 電極の本数 N のみで定まってしまうことが(7)式からわかる。

図 7 は Y 電極本数と K_m-1 (最大比過剰実効電圧) との関係を示したものである。 K_m-1 は、

$$K_m-1 = \left(\frac{E_H-E_L}{E_L} \right)_m \quad (8)$$

であるから、具体的には非選択点絵素に対する電圧実効値よりどれだけ高い電圧実効値を選択点絵素に印加するかを示すパラメータとなる。

図 7 および図 3 から、液晶層厚が $6\mu\text{m}$ で Y 電極本数が 10 本以下なら、黒地にカラーパターンの表示はもちろんのこと、 E_L が閾電圧より高くなるようにすれば、カラーの地に別のカラーでパターンの表示を行なうことも可能である。電極本数が 50 本になると黒地に白のパターン表示は可能であるが、それ以外では相当コントラストは低下すると考えられる。電極本数をさらに増せば良好なパターンの表示は不可能になると思われる。

しかし図 8 に示すように、透過光強度と電圧の関係は液晶層の厚さで大きく変化するため、たとえば $25\mu\text{m}$ まで液晶層を厚くすれば、 Y 電極本数が 300 本程度になっても黒地に白のパターンを良好なコントラストで表示しようと期待でき、非常に多数のパターンを表示することも充分可能であると考えられる。もちろん電極本数を少なくすればカラーパターンの表示も可能である。

図 8 透過光強度の AC 電圧依存性の液晶層厚による変化
Transmitted optical intensity vs AC Voltage.
(Each curve refers to different liquid crystal cell gap)

4. カラーキャラクターディスプレイ装置の試作および検討

3章において提案，検討した位相一致マトリクスアドレス方式の評価を行なうため，具体的なキャラクターディスプレイ装置を試作し比較検討を行なった。

試作装置の系統図を図9に示す。液晶セルは5本×7本のマトリクス電極構造をもつもので，キイボード入力によって数字および文字の表示を行なうものである。キイボードからの表示キャラクター指定入力によりキャラクターパターンメモリーのうちの特定のパターンメモリーが，Y電極に印加される走査信号に同期して選択され，その出力がゲート，アンプを通してそれぞれのX電極に線順次方式で印加されることによって，キイボードで選択されたキャラクターパターンが液晶セルに表示される。

図 9 5×7 マトリクス電極セルを用いた表示装置の構成
Block diagram of character display device.

液晶セルの層厚は $9\mu\text{m}$ のスペーサーを用いて定めたが，干渉法⁷⁾によって測定した実際の液晶層厚は約 $12\mu\text{m}$ であった。電極寸法は X 電極が $1\text{mm}\times 8.8\text{mm}$ ，Y 電極が $1\text{mm}\times 6.2\text{mm}$ の带状で，有効表示面積は $8.8\text{mm}\times 6.2\text{mm}$ である。

表示部分は色むらを生じさせないようにするため，液晶層厚のむらをできるだけ小さくする必要があり，十分な工作精度が必要となる。現在有効表示面積が最大 $40\text{mm}\times 40\text{mm}$ 程度のものまで製作可能である。なお，本装置の駆動周波数（図6の周期 T ）は 1.4kHz とした。

写真1はこのカラーキャラクターディスプレイ装置によるカラーパターンの一例で，(6)式から求められる最大コントラストを得るための設定電圧の関係，

$$V_1 = 1.95V_2 \quad (N=7) \quad (9)$$

にほぼ近い $V_1=16\text{V}$ ， $V_2=8\text{V}$ に設定し，黒地に緑色のキャラクターパターンを表示したもので，スクリーン上に $20\text{cm}\times 30\text{cm}$ の大きさに拡大投写されたものである。 V_1 および V_2 の設定電圧を(4)式および(5)式に代入して E_H および E_L の値を求めると，それぞれ $E_H \approx 6.5\text{V}$ ， $E_L \approx 5\text{V}$ となり，非選択点の絵素(地の部分)はほぼ閾電圧が印加されることになり，透過光強度は0に近く表示色は黒となる。また選択点の絵素(パターンを表示している部分)は，その透過光特性から 6.5V の印加電圧で緑色が透過することがわかる。この結果は実際のパターンを表示したものとよく一致しており，3章において検討した位相一致マトリクスアドレス方式は優れたカラーキャラクターディスプレイを実現しうることがわかった。

なお V_1 および V_2 の設定電圧を下げてゆけば E_L はさらに低くなり， E_H も低下してゆくの，透過光特性から，黒地に青や赤といったパターン表示も，もちろん可能である。また設定電圧を上げてゆけば，着色した地

写真 1 文字表示の例 (5×7)
Character display.

写真 2 文字表示の例 (80×160)
Character display.

に異なった色でパターンを表示することも可能となる。

写真 2 は電極数が 80 本×160 本のマトリックス電極セルを用いた大画面のカラーキャラクターディスプレイ装置を用いて表示されたパターンの一例で、このような多数の電極数を有するものでも優れたカラーパターンを表示することが可能である。

5. む す び

ネマティック液晶の分子配向を電界で制御することにより光の透過強度を変化させることができる新しい電気光学効果の利用と、新しい位相一致マトリックスアドレス方式の採用により、DSM では不可能であった優れた機能をもつカラーキャラクターディスプレイが実現できた。この方式によるディスプレイはさらに、

- (1) 駆動電圧が低い
- (2) 駆動回路が簡単である
- (3) コントラストが高い

など、DSM 方式より優れた特徴がみられる。しかし欠点としては、

- (1) 一様なカラー表示のためには精密なセル工作技術が不可欠である
- (2) 視角がせまい
- (3) 応答が遅い
- (4) 正確な電圧設定が必要である

などが考えられ、今後の改良がまたれる。

このようなディスプレイ装置の特性から、投写型の大画面表示として適していると考えられ、信頼性の高い液晶セルが容易に得られるようになれば、大画面のカラーキャラクターディスプレイ装置として非常に有用なものが実現できると思われる。

終りに、本研究に対して多くの御助言をいただいた東北大学 和田正信教授に深く謝意を表します。

また本研究を進めるにあたって御鞭達、御助言をいただいた当所 伊吹部長、甲斐主任研究員、液晶セルおよび回路製作で御協力いただいた当社生産技術研究所 樋野課長、弘中副課長はじめ諸氏に厚く御礼申し上げます。

(昭和 48 年 4 月 4 日受付、昭和 48 年 8 月 1 日再受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) 上田, 新居: ネマティック液晶によるカラーディスプレイ, 画像工学コンファレンス, 東京 (1972)
- 2) B. J. Lechner, et al: Liquid Crystal Matrix Displays, Proc. IEEE, **59**, 11 (1971) 1566
- 3) J. G. Grabmaier, et al: Liquid Crystal Matrix Displays Using Additional Solid Layers for Suppression of Parasite Currents, Mol. Cryst. Liq. Cryst., **15** (1971) 95
- 4) P. J. Wild, J. Nehring: Turn-On Time Reduction and Contrast Enhancement in Matrix-Addressed Liquid-Crystal Light Valves, Appl. Phys. Lett., **19**, 9 (1971) 335
- 5) C. R. Stein, R. A. Kashnow: A Two-Frequency Coincidence Addressing Scheme for Nematic Liquid-Crystal Displays, Appl. Phys. Lett., **19**, 9 (1971) 343
- 6) C. H. Gooch, J. J. Low: Matrix-Addressed Liquid Crystal Displays, J. Phys. D: Appl. Phys., **5** (1972) 1218
- 7) 高田ほか: 液晶マトリックス表示について, 信学会電子装置研資料, ED-72-12 (1972)
- 8) H. Mailer, et al: Effect of Ultrasound on A Nematic Liquid Crystal: Appl. Phys. Lett., **18**, 4 (1971) 105
- 9) M. F. Schiekkel, K. Fahrenschon: Deformation of Nematic Liquid Crystals with Vertical Orientation in Electrical Fields, Appl. Phys. Lett., **19**, 10 (1971) 391
- 10) R. A. Soref, M. J. Rafuse: Electrically Controlled Birefringence of Thin Nematic Films, J. Appl. Phys., **43** (1972) 2029
- 11) M. Hareng, G. Assouline, E. Leiba: Liquid Crystal Matrix Display by Electrically Controlled Birefringence, Proc. IEEE, **60** (1972) 913
- 12) G. Assouline, M. Hareng, E. Leiba: Liquid Crystal Display with Electrically Controlled Birefringence, Elec. Lett., **8**, 2 (1972) 45
- 13) M. F. Schiekkel, K. Fahrenschon: Multicolor Matrix-Displays Based on The Deformation of Vertically-Aligned Nematic Liquid Crystals Phases, SID Symposium (1972) 98
- 14) A. R. Kmetz: Liquid Crystal Display Prospects in Perspective, IEEE Conf. Display Devices (1972)