

フラットパネルディスプレイ

フラットパネルディスプレイ

1章 フラットパネルディスプレイ (FPD)

ディスプレイは大きくブラウン管と FPD とに分けられる。現在市場で多く使用されている液晶ディスプレイ、電子ペーパー、有機 EL ディスプレイ、プラズマディスプレイなどはフラットパネルディスプレイ (Flat Panel Display) に属している。

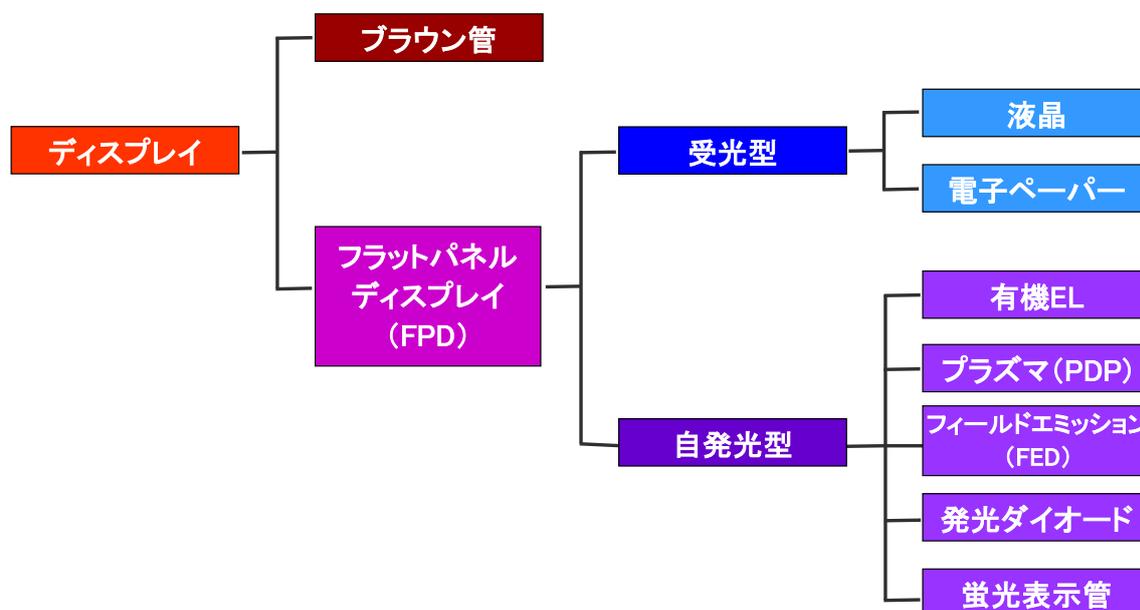


図 フラットパネルディスプレイ

FPD は自分からは発光しない受光型と自分から発光する自発光型に分類できる。受光型は外部光を利用して、画像表示を行うディスプレイであり、液晶ディスプレイがこの受光型の代表格である。液晶のあとを追うプラズマディスプレイや有機 EL ディスプレイは自発光型に属する FPD である。

比較項目 種類	輝度	精細	寿命	大型化	低消費電力	コスト
液晶	△	◎	○	○	◎	○
プラズマ (PDP)	○	○	○	◎	○	△
有機EL	○	◎	△	△	◎	○
FED	◎	○	○	◎	◎	—

図 フラットパネルディスプレイの比較

FPD は現在 3 つの方向で進化している。大画面化は現在のテレビの状況を見れば理解できる。小型、高解像度、高い応答は主に携帯情報端末や携帯電話の用途である。最近の携帯電話は動画コンテンツを見ることも多く、またカメラ搭載型が一般的である。そのカメラも高画質になってきており、それらに対応して残像が少なく、鮮やかな色表示が重要になってきている。また携帯という特性上、周辺回路も含めた小型、軽量、低消費電力、野外でも認識可能な高輝度、落下にも耐えられる構造が重要である。

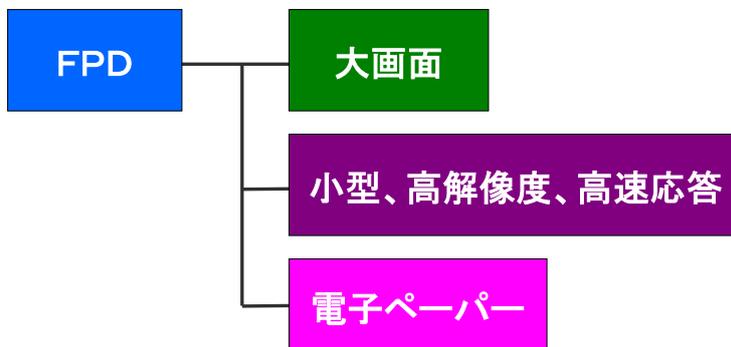


図 FPD の進化

電子ペーパーは紙のように薄くて、電源を切っても表示が維持でき、紙に書かれた情報を紙と同じ感覚で見ることが可能な媒体である。電子ペーパーは省資源の切り札になる可能性がある。以上、FPD の方向性について述べたが、液晶ディスプレイ、有機 EL ディスプレイ、電子ペーパーは別項にて詳説するが、それ以外の FPD について簡単に説明する。

プラズマディスプレイ (PDP) の原理は蛍光灯の小さなものを並べたものと考えられる。ガラス管の中に水銀ガスなどを封入して、これに電圧をかけて、放電現象を起し、このとき発生する紫外線が、蛍光材料に衝突して、発光する仕組みである。PDP の構造は微細な、蛍光灯のようなものが、縦横に並べられたものと考えられることができる。この蛍光灯に相当するものが「放電セル」呼ばれるもので、この内側に蛍光体が湿布された構造となっている。

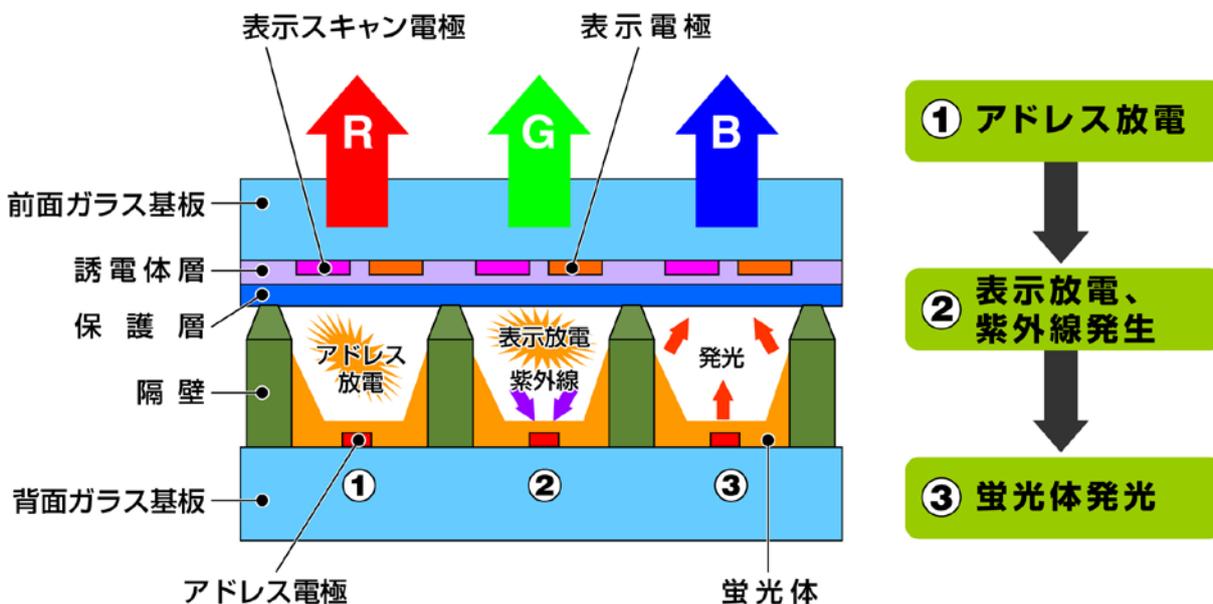


図 プラズマディスプレイの原理

フィールドエミッションディスプレイ (FED) の原理は多数の電子銃から電子ビームを照射して画像表示を得る構造になっている。基本的なしくみはブラウン管と同じである。

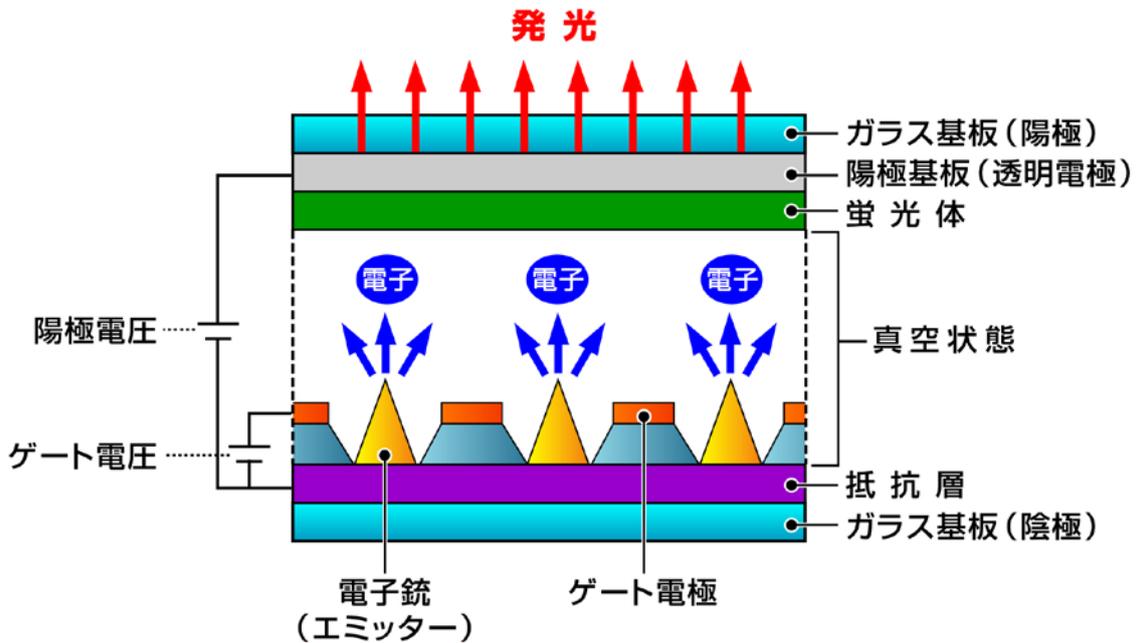


図 フィールドエミッションディスプレイの原理

発光ダイオード（LED）は半導体であり、いわゆるP型とN型の接合部をつくり、ここに通電することにより、電子と正孔が再結合して、エネルギー励起状態になり、発光する仕組みである。近年、青色LEDが開発され、これまで実現が困難であったRGB（赤、緑、青）の3原色がそろい、フルカラー表示への道がひらかれた。LEDは長寿命という特性から、ディスプレイ用途にとどまらず、照明用途としても幅広く利用されている。

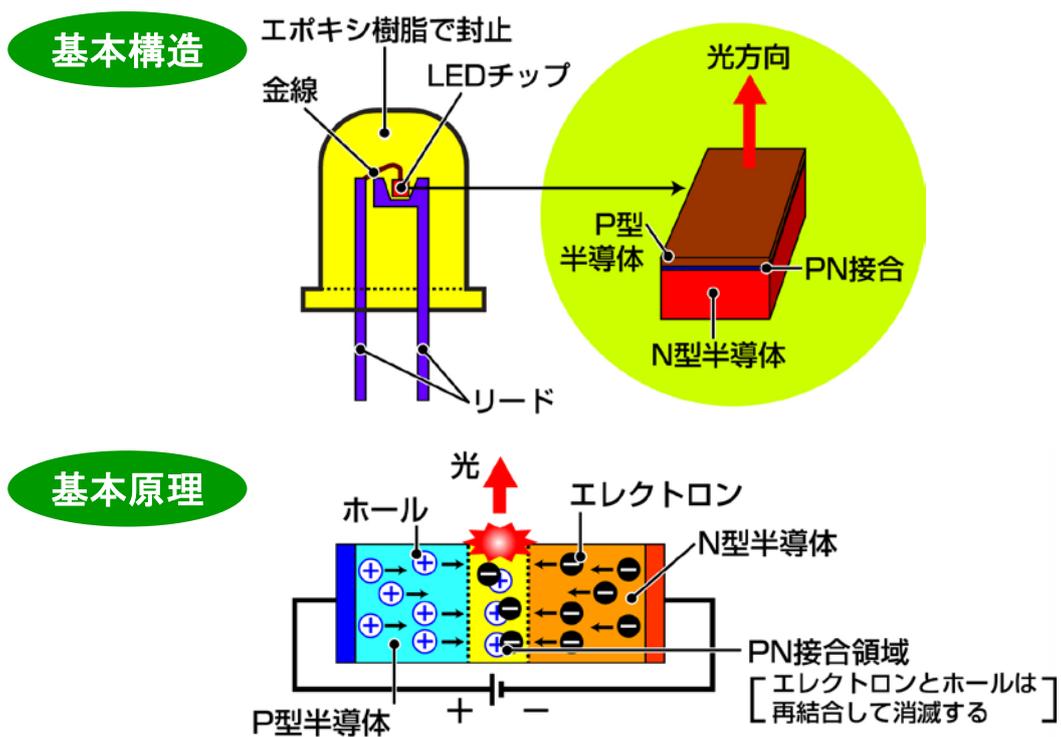


図 LEDの構造と原理

蛍光表示管（VFD）の発光電現は、カソード電極（陰性）を加熱して放出した熱電子をアノード

電極（陽性）に衝突させて、蛍光体を励起させ、それによる発光で表示を行う。特に緑色を主体にした高品位画像が実現できるため、オーディオ機器や家電機器の表示パネルとして利用されている。

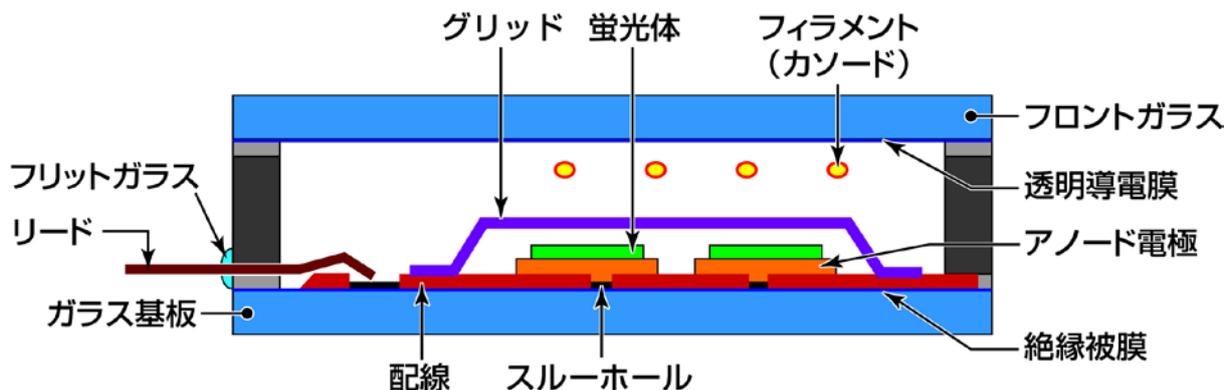


図 蛍光表示官の構造

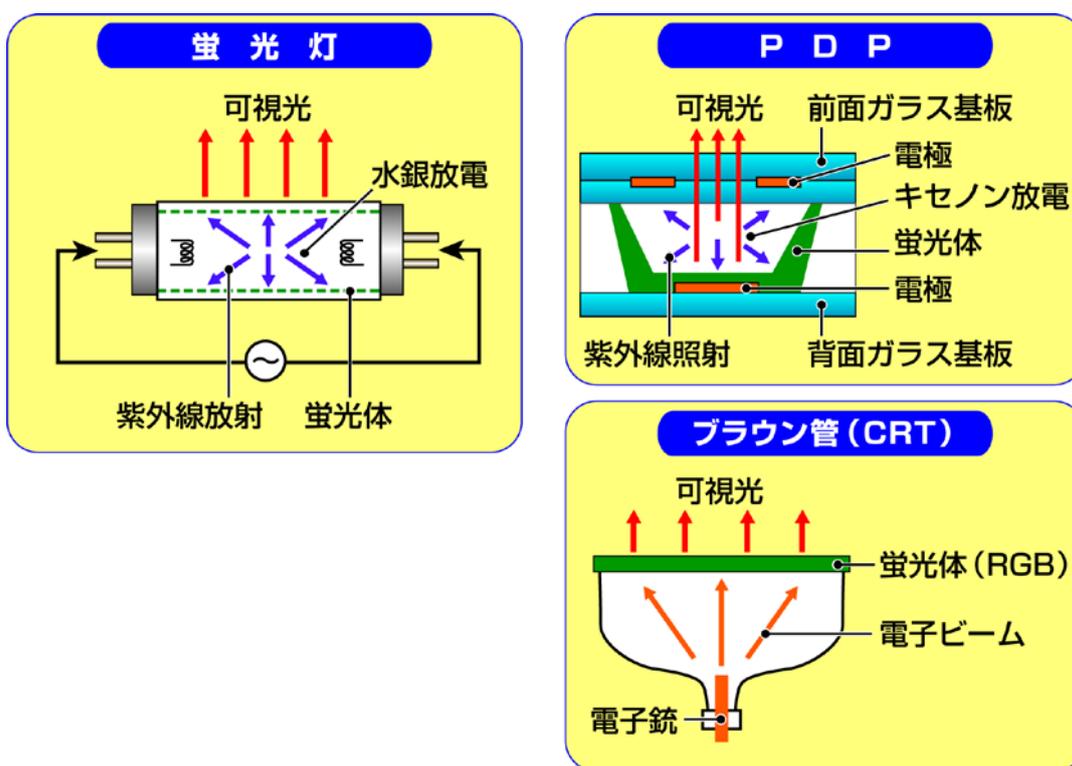


図 蛍光灯、PDP、ブラウン管の発光原理と相違点

2章 液晶ディスプレイ

2-1 液晶とは

液晶は英語で表すと、Liquid Crystal である。Liquidは液体、Crystal は日本では水晶のことであるが、一般的には結晶体を表す。すなわち液晶とは液体と個体の中間状態を意味する。水は熱が加わると氷、水、蒸気とその姿を変えるが、このときの分子の状態は氷（個体）では規則正しく並んでいて高密度である。氷の状態に熱が加わると、分子運動が活発になり、分子の向きがバラバラになり、中密度になる。これが水（液体）の状態である。さらに熱が加わると、分子運動がさらに活発化し、分子の密度が低くなり、蒸気（気体）となる。液体と個体の中間の状態とは分子密度が個体よりは低くなり、流動性が増すが、液体と異なり分子の向きが、一定方向に揃っている状態を言う。

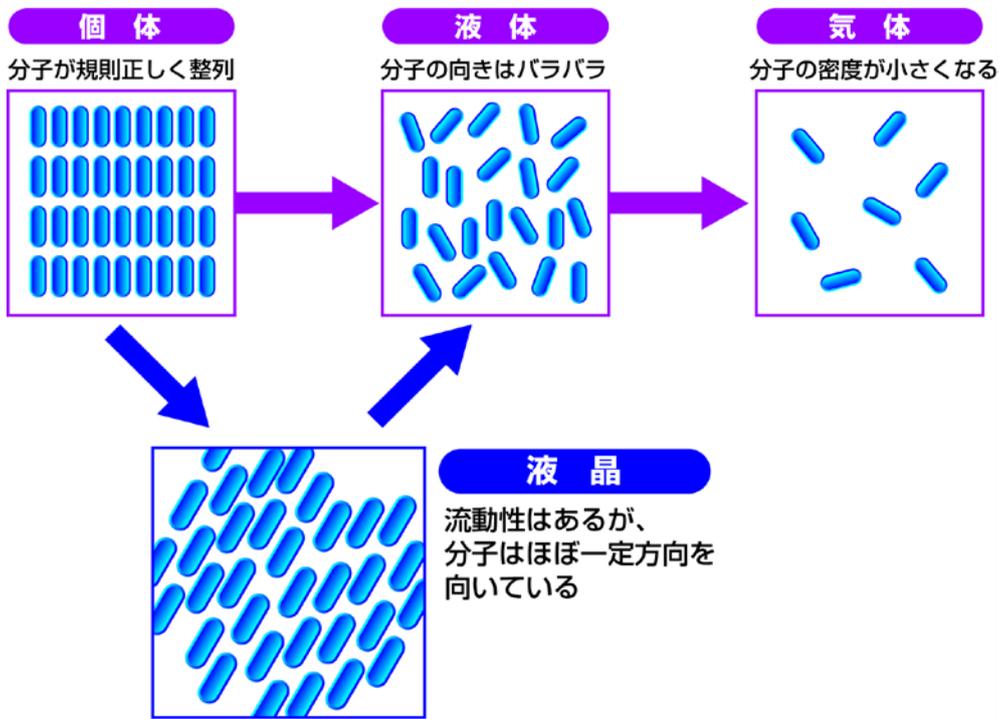


図 液晶とは

2-2 液晶ディスプレイの構造と動作原理

液晶ディスプレイの構造は下方から、バックライト、偏光板（下）、ガラス基板（下）、透明電極（下）、配向膜（下）、液晶層、配向膜（上）、透明電極（上）、透明カラーフィルター、ガラス基板（上）、偏光板（上）の層状構造となっている。

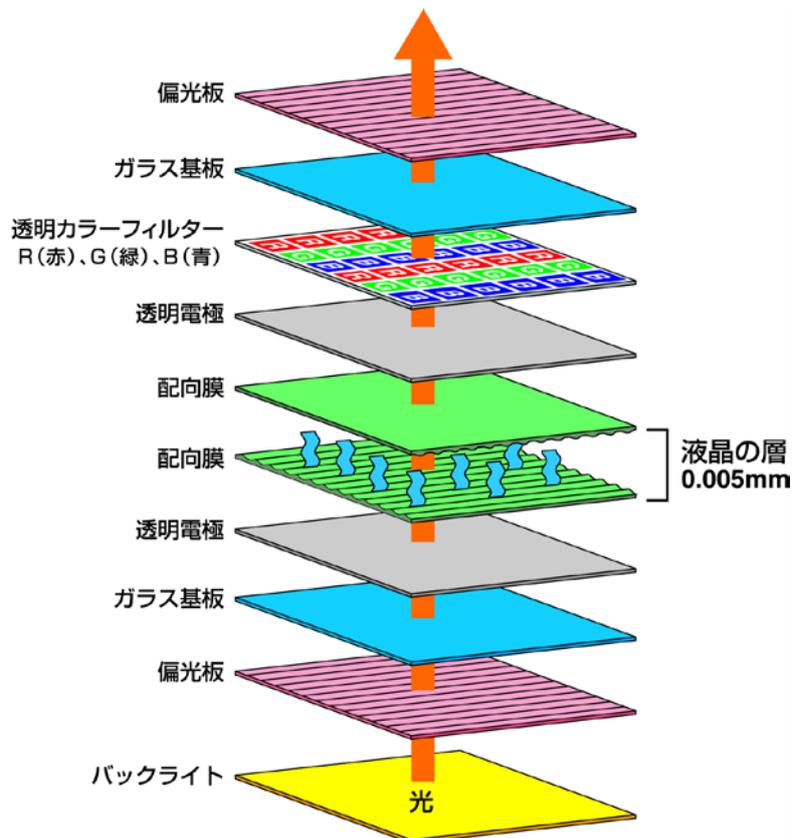


図 液晶ディスプレイの構造

液晶ディスプレイは受光型ディスプレイなので光源を必要とし、その光源をバックライトと呼んでいる。一般的に液晶ディスプレイのバックライトは白色である。偏光板は光学フィルターの役目をし、一方向に振動する光のみを通過させる機能を持つ。上下の偏光板は方向が直角になるように、配置されており、通常の状態では光が通過できない構造になっている。液晶の作用で光の振動方向が 90 度回転した場合には光を通過させることができる。上下の透明電極は電極に電流を流すことで、液晶に電界を生じさせる機能を持っている。上下の配向膜は直接、液晶材料と接し、液晶分子を一定の方向に並ばせる役目をしている。配向膜の表面を一定方向にミゾをつけ、下の配向膜に対して上の配向膜のミゾを 90 度回転させると、液晶分子は下から上に向かって 90 度回転するように並ぶ。カラーフィルターは液晶の表示単位（画素）1つ1つに赤（R）、緑（G）、青（B）の光の3原色を規則正しく配置し RGB の一塊で1つの画素を構成している。当然、カラーフィルターはモノクロ液晶には無い。液晶ディスプレイは多くの層状部分から構成されるが、下の偏光板から上の偏光板までの厚さは約 2mm で、液晶層の厚さは約 0.005mm（5 マイクロメータ）である。

2-3 液晶ディスプレイの分類

液晶ディスプレイは、液晶材料の種類、液晶構造、表示方式、カラー化方式、駆動方式、バックライトの光源、バックライトの構造などの違いによって分類することができる。

液晶は、液晶材料の種類、制御方式、駆動方式、表示方式、カラーフィルターの配列、バックライトの光源、バックライトの構造などの違いにより分類することができる。

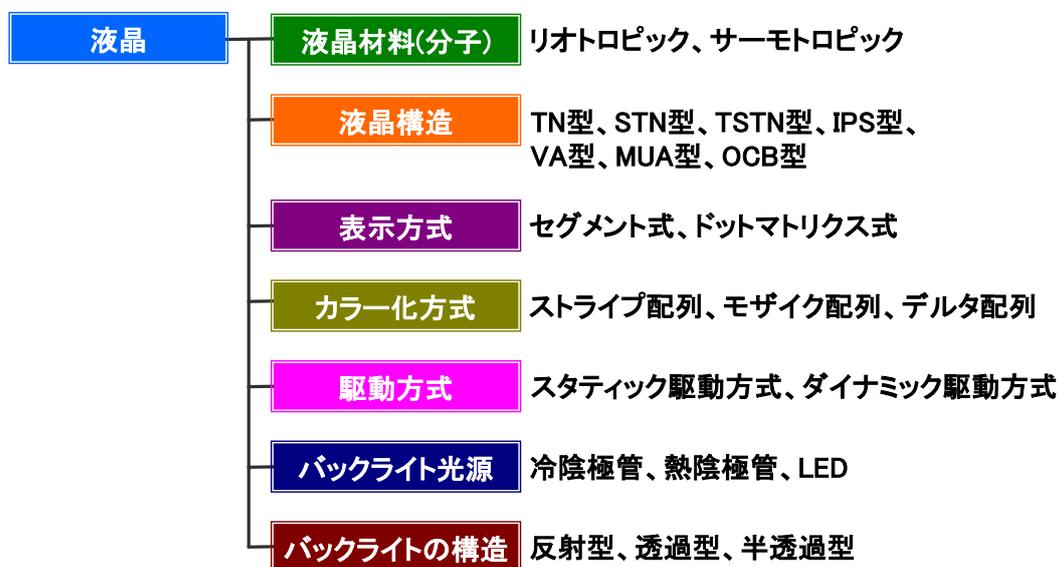


図 液晶ディスプレイの分類

2-4 液晶材料の種類

液晶はサーモトロピック (Thermo-tropic) 液晶とリオトロピック (Lyo-tropic) 液晶に大きく分類でき、サーモトロピック液晶はさらに、コレステリック液晶、スメクティック液晶、ネマティック液晶の3つに分類できる。

液晶分子は炭素原子を骨格とした、有機分子である。代表的な構造（ネマティック液晶）は 2 個のベンゼン環の両端に、シアノ基とアルキル基が結合している。液晶の状態はベンゼン環（固体特性）とシアノ基（液体特性）の特性によるものである。また、液晶分子は電子双極子という特徴をもち、液晶分子の一方がプラス、もう一方がマイナスの電荷をもち、分極した状態にある。この特性がディスプレイとしての重要な機能を果たしている。すなわち液晶を上下の電極で挟み込み、電極に電圧をかけると液晶のプラス電荷をもつ方がマイナス電極の方に、液晶のマイナス電荷をもつ方がプラス電極の方に向きをかえて、液晶分子が一斉に同じ方向を向くことになる。この性質を利用すれば、電極にかける電荷の大きさを制御することにより、光の透過量を制御することが可能である。

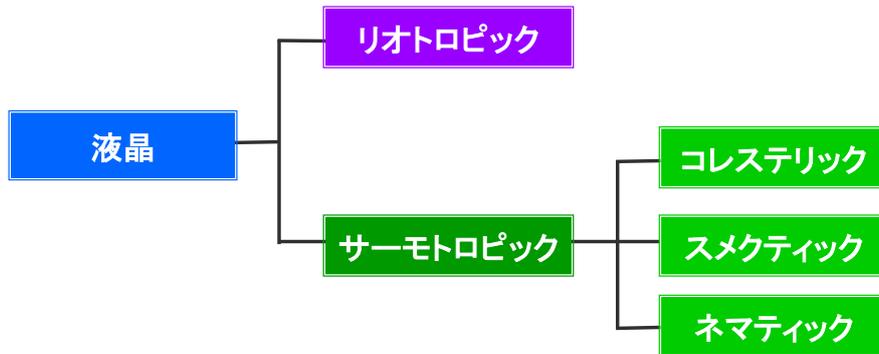


図 液晶材料の種類

液晶状態になる物質は数多くあるが、リオトロピック液晶は水など他の物質を加えると液晶状態になり、サーモトロピック液晶は名前のように、ある一定の温度範囲で液晶状態になる。サーモトロピック液晶のうち、ディスプレイに使われる材料は室温の範囲で液晶状態になる材料が選ばれている。コレステリック液晶は一定方向を向いた分子が層状になっていて、分子の向きが螺旋状に変化している液晶をいう。分子の方向が 360 度変化する層の厚さが、可視光の波長ぐらいの厚さであるため、光を反射し、各層の方向の変化により虹色の干渉色を見ることができる。各層の方向の変化が温度に依存性するため、温度計等に使用される。コレステリック液晶は分子がネマティック液晶より高密度で規則正しく並んでいるので、粘性が高いという特徴がある。ネマティック液晶は分子が一定の方向を向いているが、それ以外の規則性が少ない配列となっており液晶ディスプレイの主流となっている。

コレステリック液晶	スメクティック液晶	ネマティック液晶
<ul style="list-style-type: none"> ●分子は一定方向に層状に並び、それが螺旋状に変化していく ●温度で色が変わるため、温度計に使われる 	<ul style="list-style-type: none"> ●分子は同じ向きにきちんと層状に並び 	<ul style="list-style-type: none"> ●分子は一定方向を向いているが、規則性がなく並び ●液晶ディスプレイに使用

図 液晶材料の構造

2-5 液晶構造

液晶ディスプレイは液晶材料（分子構造）によって 3 種類に分類されるが、さらにそれぞれの液晶の構造によっても分類することができる。現在の液晶材料の主流であるネマティック液晶ではツイストネマティック（TN）型、スーパーツイストネマティック（STN）型、トリプルスーパーネマティック（TSTN）型などに分類することができる。

TN 型は液晶分子が下の配向膜から上の配向膜の間で 90 度ねじれて配置されている液晶である。透明電極に電圧を加えると、液晶分子がねじれて配置されている状態から垂直に立った状態になるため、偏光板と組み合わせることにより光の透過/遮断を制御することができる。TN 型は液晶

ディスプレイの代表的な方式であるが、電圧を加えたとき液晶分子が完全に垂直にはならないため、視野角が狭くなる。液晶ディスプレイの中では最も多く使用され、低電圧、低電力でのコントラスト比が高い。

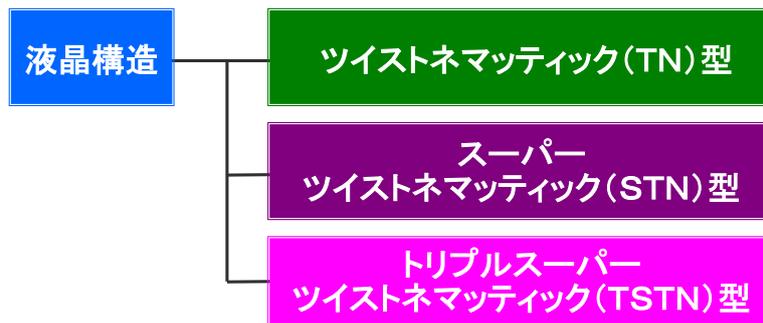


図 液晶構造

TN型は液晶分子が下の配向膜から上の配向膜の間で90度ねじれて配置されている液晶である。透明電極に電圧を加えると、液晶分子がねじれて配置されている状態から垂直に立った状態になるため、偏光板と組み合わせることにより光の透過/遮断を制御することができる。TN型は液晶ディスプレイの代表的な方式であるが、電圧を加えたとき液晶分子が完全に垂直にはならないため、視野角が狭くなる。液晶ディスプレイの中では最も多く使用され、低電圧、低電力でのコントラスト比が高い。

STN型は液晶分子のねじれ角をTN型の90度に対し180度から270度程度にねじったもので、電圧をかけることにより急激に光の透過率を変化させることができるためTN型に比べ応答性が良くなり、コントラストが向上する。しかし、液晶パネルそのものに黄緑や、青紫などの色がついてみえる。TSTN型はSTN型に色補正フィルム(2枚)を追加したものでSTN型の欠点であるパネル表面の着色が補正され、きれいなモノクロ表示が可能である。



図 液晶構造の種類

2-6 表示方式

液晶ディスプレイは液晶材料に電圧をかけ液晶分子の配列を変えることで光の透過量を制御している。光の透過量は加える電圧の大きさによって制御することができる。液晶ディスプレイに文字や画像を表示させる方法は大きく、セグメント方式とドットマトリクス方式に分類することができる。

セグメント方式は表示しようとする文字をセグメントに分割して、そのセグメントの組合せで文字を表示するものである。代表的な使用例は電卓である。電卓は数字を7つのセグメントを使って表示するものである。7つのセグメントでは英字を完全には表示できないためセグメント数を増やす必要がある。画像を表示するためには、表示画面を無数の小さなセル（ドット）に分割して、各セルの光の透過量を制御する必要がある。この方式をドットマトリクス方式という。

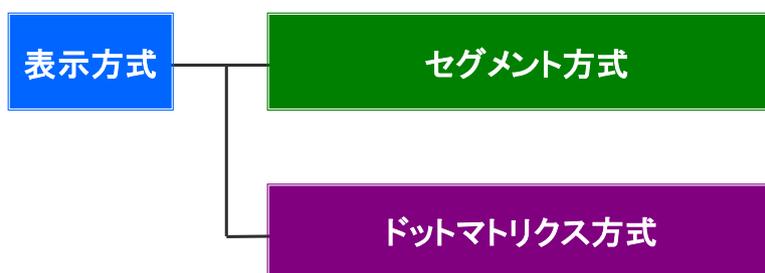


図 液晶ディスプレイの表示方式

このセルの密度を ppi (pixel per inch) で表し、パソコン用の液晶ディスプレイでは 100~130ppi になっている。すなわち1インチ(24.5mm)当たり100~130の画素(Pixel)で構成されているということであるが、最近は200ppiという高密度の液晶ディスプレイも登場している。ppiはdpi(dot per inch)ともいえるが、カラー液晶では3つ(赤、緑、青)のドットで1個の画素を表すため、一般的に液晶ディスプレイ密度はdpiではなくppiを使用する。

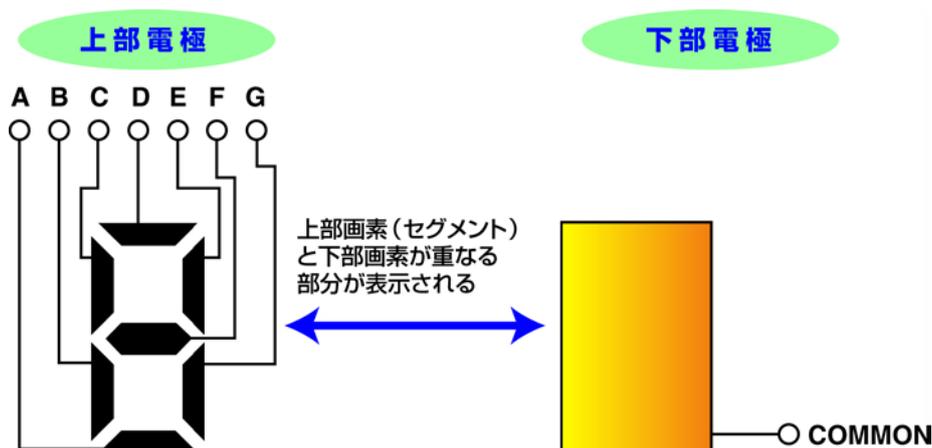


図 セグメント方式

2-7 カラー化方式

液晶ディスプレイの1つの画素はRGB(赤、緑、青)の3つのフィルターをもつ3つのドットから構成されている。バックライトの白色光を、それぞれ(RGB)のドットの液晶分子を制御することにより、それぞれ(RGB)の光の強さを変えることができるので、カラー表示が可能となる。

このように光の3原色を混合して任意の色を作り出す方法を、加法混色という。RGB各色をそれぞれデジタルの8ビット制御を行うと、各色256段階の濃淡を作ることができる。この各色256段階の色を組み合わせることにより16777216色を表示することができる。

カラーフィルターにはRGBのワンセットを3ドットの1画素に対応させている。このフィルターの配列は、ストライプ配列、モザイク配列、デルタ配列の3種類がよく使用されている。

ストライプ配列はパソコンや大型テレビなどでよく使用されている方式で、RGBの各フィルターが横一列に規則正しく配列されている。また縦方向も、垂直方向に同色フィルターが配列され

ている。モザイク配列はデジタルカメラや小型テレビに採用されている方式で、縦方向が、ストライプ配列に対して一色分だけずらした配列となっている。すなわち一列目が RGBRGB で二列目が BRGBRG、三列目が GBRGBR となっている。

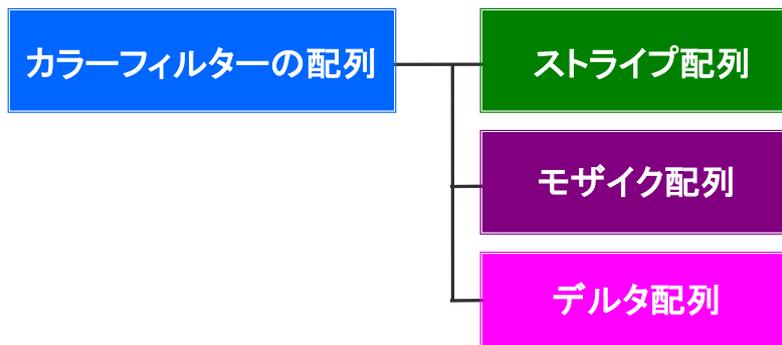


図 液晶ディスプレイのカラーフィルター配列

デルタ配列はビデオカメラに採用されている方式である。モザイク配列は一列目と二列目が 1 フィルター分だけずれているが、デルタ配列は 1 列目と二列目を 1/2 フィルター分だけずらしているものである。RGB の一つの画素が逆三角形の形になっているのでデルタ配列と呼んでいる。

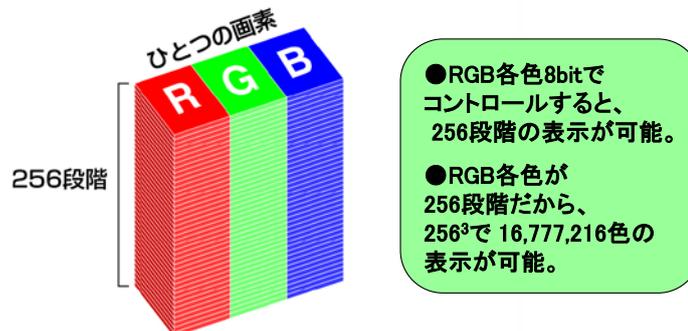
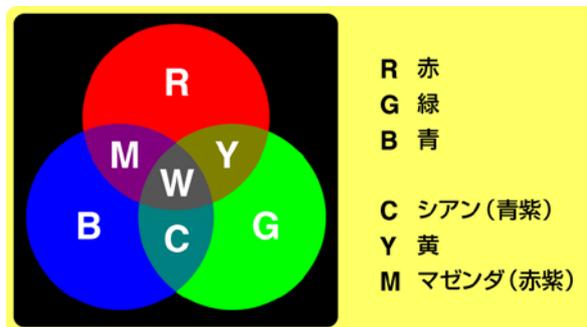


図 液晶ディスプレイのカラー化方式



図 液晶ディスプレイのカラーフィルター配列

2-8 駆動方式

液晶の駆動方式とは液晶に電圧を加えてその透過量を変える原理のことである。液晶の駆動方式は大きくスタティック方式とダイナミック方式に分けることができる。ダイナミック方式はさらにパッシブマトリクス方式とアクティブマトリクス方式に細分化できる。

スタティック方式はセグメント方式の表示方法とセットで用いられている。表示する数字が変化しない限りセグメント画素の電圧が変化しないのでスタティック（静的）と呼んでいる。1つの数字は7つのセグメントで構成されているので、各セグメント電極と共通電極との間に電圧をON/OFFするスイッチが7個必要となる。数字が1桁増加する毎に電極が8個ずつ増加することになる。

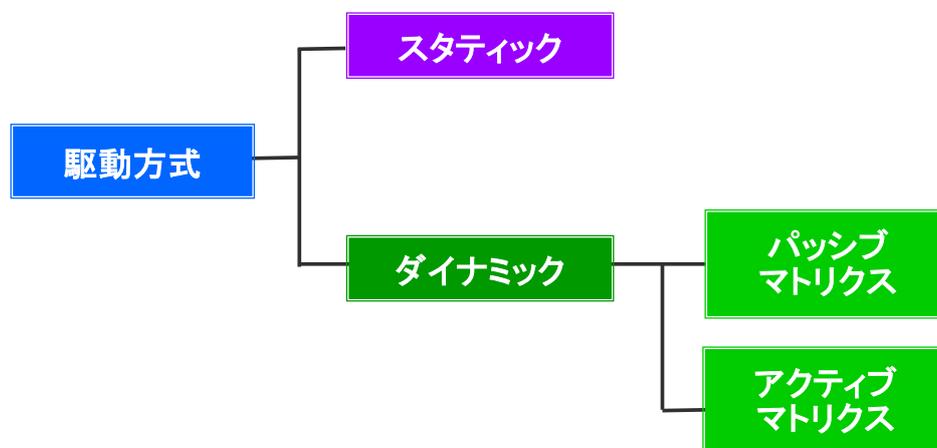


図 液晶ディスプレイの駆動方式

スタティック方式では画素数が多くなると、スイッチの配線が多くなり、配線が困難となる。この欠点を補うためダイナミック方式が考案された。ダイナミック方式一種であるパッシブマトリクス（シンプルマトリクス）方式は液晶の上下の電極に互いに90度で交差する電極を作り、上下の電極の交点にある液晶に電圧をかける方式である。上側（前面）の電極を表示電極、下側（裏面）の電極を走査電極と呼び、順次、走査電極に電圧をパルス的に印加する。このタイミングに合わせて表示電極のスイッチをON/OFFさせることにより、画素の光の透過量を変えることができる。最近の液晶はテレビに見られるように動画を表示するのが常識になっている。動画を表示する場合、物がスムーズに動いているように見せるためには1秒間に60コマ（画面）くらい変化させる必要がある。1コマの表示に使える時間は1/60秒（16ミリ秒）であり、1つの走査電極に割り当てられる時間は走査電極が200あれば1つの走査電極に割り当てられる時間は0.08ミリ秒となる。ところがツイストネマティック型液晶では電圧をかけてから液晶が配向するまでの時間は10ミリ秒でありこれでは動画を表示することができない。この問題を解決するためにアクティブマトリクス方式が開発された。アクティブマトリクス方式は1つ1つの画素に電圧をかける時間を極めて短くし、かつスイッチを切ったあとでも、動きの遅い液晶分子が配向を完了させられるだけの時間、電圧を維持できるようにしたものである。このために、液晶画素の電極に電気を蓄えるコンデンサの役目をもたせるか、コンデンサを画素に並列に挿入するという方法が考案された。そうするとスイッチのほうも、充電、充電の停止、放電、放電の停止と、4段階のスイッチ機能が必要となる。そこで、トラレジスタのもつ増幅機能をスイッチとして使用する方法が考案された。この方式を薄膜トランジスタ（TFT）のアクティブマトリクス方式と呼んでいる。

2-9 バックライトの光源

液晶ディスプレイでは、液晶そのものは発光しないので、液晶の背後に光源が必要である。液晶は光の透過量を制御しているのみで、例えばカメラの絞りのような役割を担っている。バックライトの光源としては冷陰極管、熱陰極管、発光ダイオードなどが使用されている。バックライトは消費電力が少なく、明るく、カラーの色再現に適した（白色）光源でなければならない。

冷陰極管は蛍光灯と同じ原理で発光する。陰極管の両端に電圧を加えて電子を発生させ、それが管内の水銀に衝突し、その衝突により発生した紫外線が管内壁の蛍光塗料に当たって発光する。冷陰極管は現在、最も使用されているバックライト光源である。熱陰極管は蛍光灯と同じもので

ある。冷陰極管に比べ陰極管の両端にフィラメントがあるので光量は大きい、消費電力も大きい。また陰極管は交流で動作するので、携帯用機器では直流を交流に変換するインバータが必要となる。発光ダイオードは小型で低消費電力、長寿命などの利点があり、携帯端末のバックライト光源として広く利用されている。液晶ディスプレイは一般的にバックライトの寿命の方が液晶の寿命より短いので、液晶の寿命はバックライトの寿命で決まる。

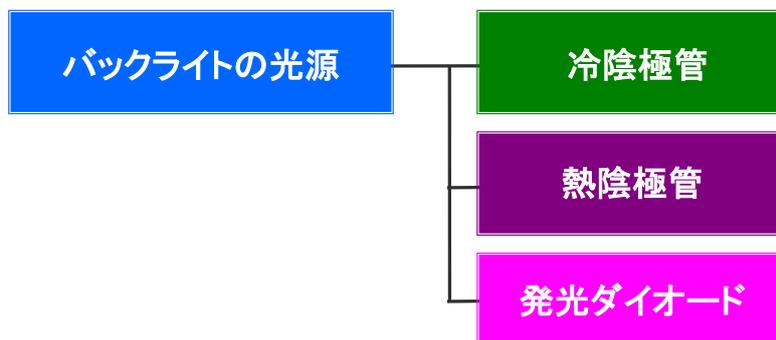


図 液晶ディスプレイのバックライト光源

2-10 バックライトの構造

バックライトは液晶ディスプレイの最下部にあり、薄い透明な板がついている。この板は光源からの光を均一にむらなく、液晶前面に導く役目をしており、光導板と呼ばれている。バックライトの構造は反射型、透過型、半透過型の3種類がある。

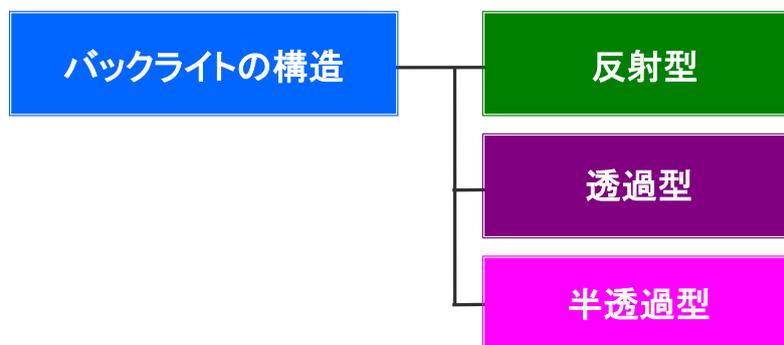


図 液晶ディスプレイのバックライト構造

反射型は液晶ディスプレイの下部に反射板を置き、上面より、液晶ディスプレイの表面に入射した光を反射させて液晶表示を見ることができるようにしたものである。主に電卓や腕時計に用いられている形式である。透過型は液晶ディスプレイの最下部に導光板を置き、その横に光源を置く場合と、液晶ディスプレイの最下部に光源を並べる場合とがある。半透過型は反射型と透過型を組み合わせたもので携帯電話の液晶ディスプレイなどによく使用されている。

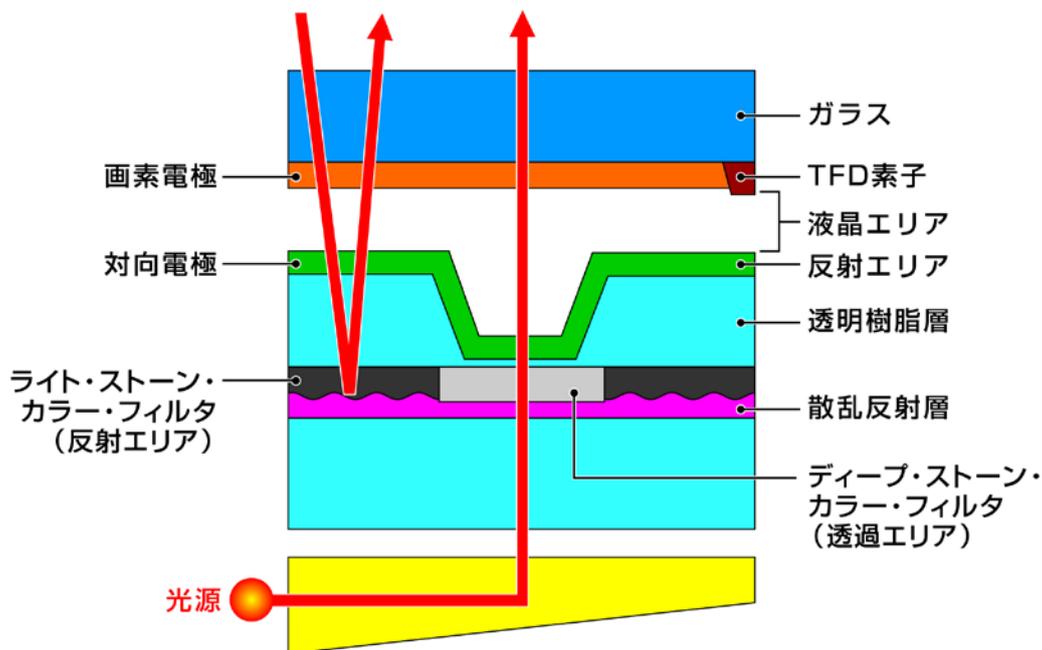


図 液晶ディスプレイのバックライト構造 半透過型

3章 有機ELディスプレイ

3-1 有機ELとは

EL (Electro Luminescence) とは蛍光物質に電圧などのエネルギーを加えた時、発光する現象をいう。ELの特徴は物質そのものが発光するという点で、発光ダイオードと同じである。ELは無機ELと有機ELに大別することができる。無機ELとは無機化合物をガラス基板上に薄膜として蒸着したものである。無機化合物は炭素を含まない化合物である。無機ELは駆動電圧として200Vくらいの交流が必要であるため、特定用途以外はあまり使用されていない。有機ELは有機化合物を電極で挟んでいる構造をもつディスプレイのことである。有機ELは蛍光体がそれ自身で発光可能なため、バックライトの必要がなく、0.7mm程度の厚さにすることが可能である。また有機ELは視野角が広い、低消費電力、応答速度が速い、コントラスト比が良いなどの特徴がある。

3-2 有機ELディスプレイの構造と動作原理

有機EL素子の構造は下側（画像表示面）からガラス基板、陽極、ホール輸送層、発光層、電子輸送層、陰極で構成されており、各層はガラス基板上に真空蒸着などにより薄膜として積層される。

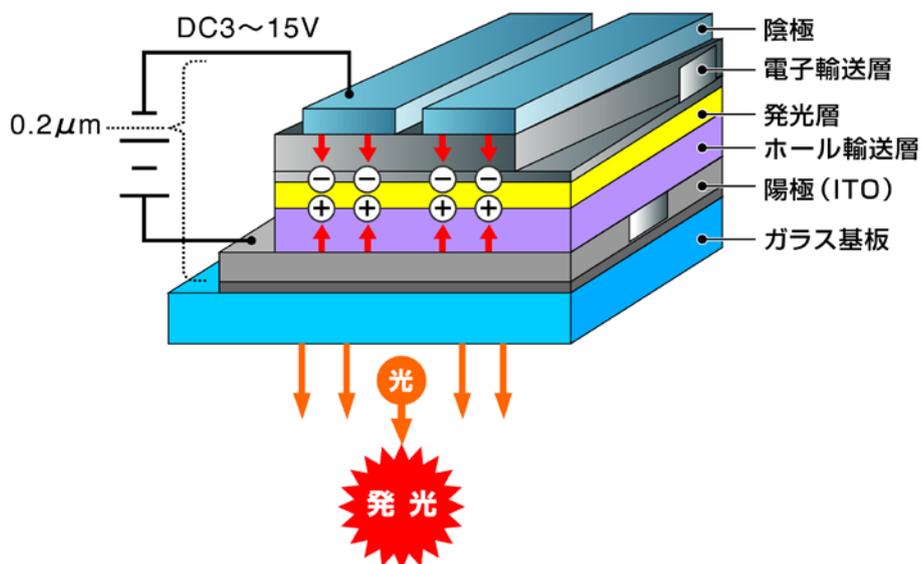


図 有機ELディスプレイの構造と原理

有機化合物は水分や酸素に弱いため、ガラス基板に密封される。陽極のITO (Indium Tin Oxide) とは、液晶でも使われている酸化インジウムの薄膜電極のことである。輸送層というのは、正孔(ホール) や電子の流れをスムーズに移動させる役目を持つ。有機 EL ディスプレイの発光原理は発光ダイオードと同じである。陽極と陰極の間に電圧をかけると陽極では有機分子が酸化され、陰極では有機分子が還元される。有機分子が酸化されると電子が飛び出し、還元されると電子が与えられる。したがって、陽極からは電子がなくなった穴(ホール)、つまり正孔が陰極に向かい、陰極では電子が陽極に向かう。これらの正孔と電子が発光層の中で衝突し再結合する。この再結合時、有機分子がエネルギー励起状態になる。有機分子がエネルギー励起状態になると不安定になるので、直ぐに基底(安定)状態に戻ろうとする。この時のエネルギーが光に変換される。電圧をかけている時だけ発光させることができるので、画素ごとに電圧制御回路を作れば画素ごとに光の量を制御できる。有機化合物の多くは絶縁体であるため電流を流しにくいので薄膜構造にする必要がある。また、有機化合物は電子輸送性をもつものと、ホール輸送性をもつものがあるため、これらの膜を積層して、発行ダイオードと同じような構造をつくると、低電圧で安定した発光が得られる。

3-3 有機ELディスプレイの分類

有機ELディスプレイは有機材料の種類、製造方法、構造、カラー化方式、駆動方式などにより分類することができる。

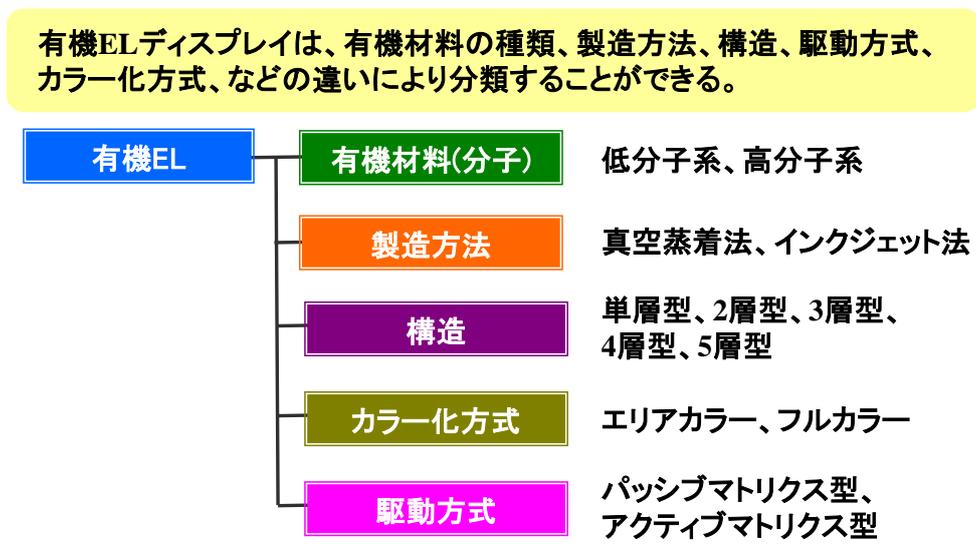


図 有機ELディスプレイの分類

3-4 有機EL材料の種類

有機材料には低分子系(モノマー)と高分子系(ポリマー)の2種類がある。どちらも同じメカニズムで発光するが、分子量の違いで区別されている。だいたい分子量が1000以下のものを低分子系、1000以上を高分子系と分け、低分子系は粉末状態(固体)で使用し、高分子系は溶液状態で使用する。

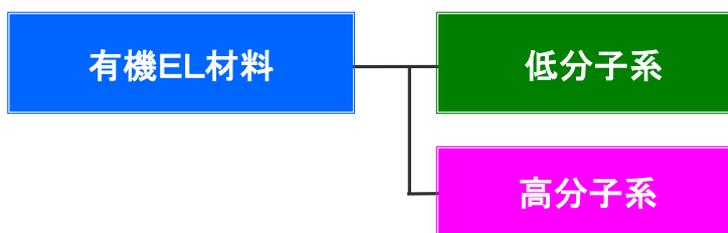


図 有機EL材料の種類

3-5 製造方法

低分子系では成膜法として、真空蒸着法が主流である。この方式により精密な膜厚制御や各種積層、材料の混合が可能である。高分子系では材料をインキ化できるため、スピコーティング法、印刷法、インクジェット法などの湿式成膜法で有機 EL を製造可能である。湿式成膜法は真空装置を必要としないため、低価格、大面積への薄膜形成において真空蒸着法より有利である。しかし、有機材料は水分に弱いため成膜時の制御や、乾燥工程の安定性が重要である。

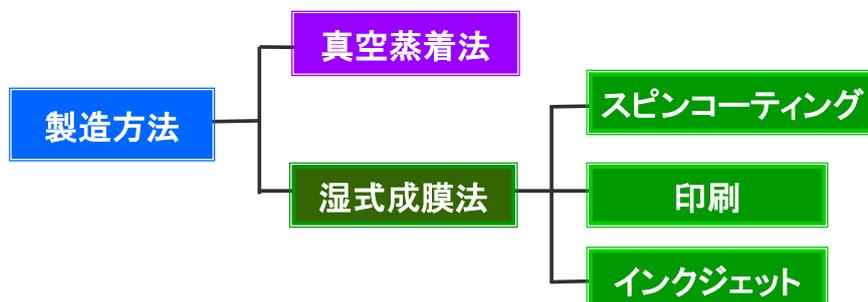


図 有機 EL の製造方法

3-6 有機 EL ディスプレイの構造

有機 EL ディスプレイの構造は簡単に言うと、有機材料でできた発光層を電極で挟んだ構造である。一番簡単な単層型から 2 層型、3 層型、4 層型、5 層型の 5 種類がある。

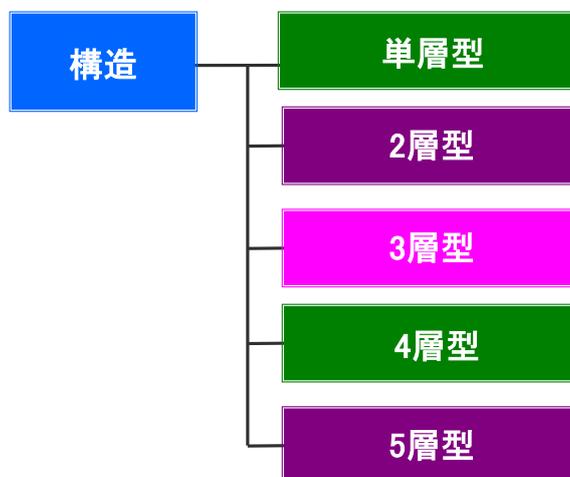


図 有機 EL ディスプレイの構造

単層型は発光層を陽極と陰極で挟んだ構造で、高分子系はこの型が多く、2 層型は単層型にホール輸送層を追加したものである。3 層型は 2 層型に電子輸送層を追加したもので、4 層型は陽極側からホール流入層、ホール輸送層、発光層、電子流入層の 4 層構造にしたものである。低分子系はこの 4 層型が多い。5 層型は 4 層型に電子輸送層を追加したもので低電圧化が可能になっている。

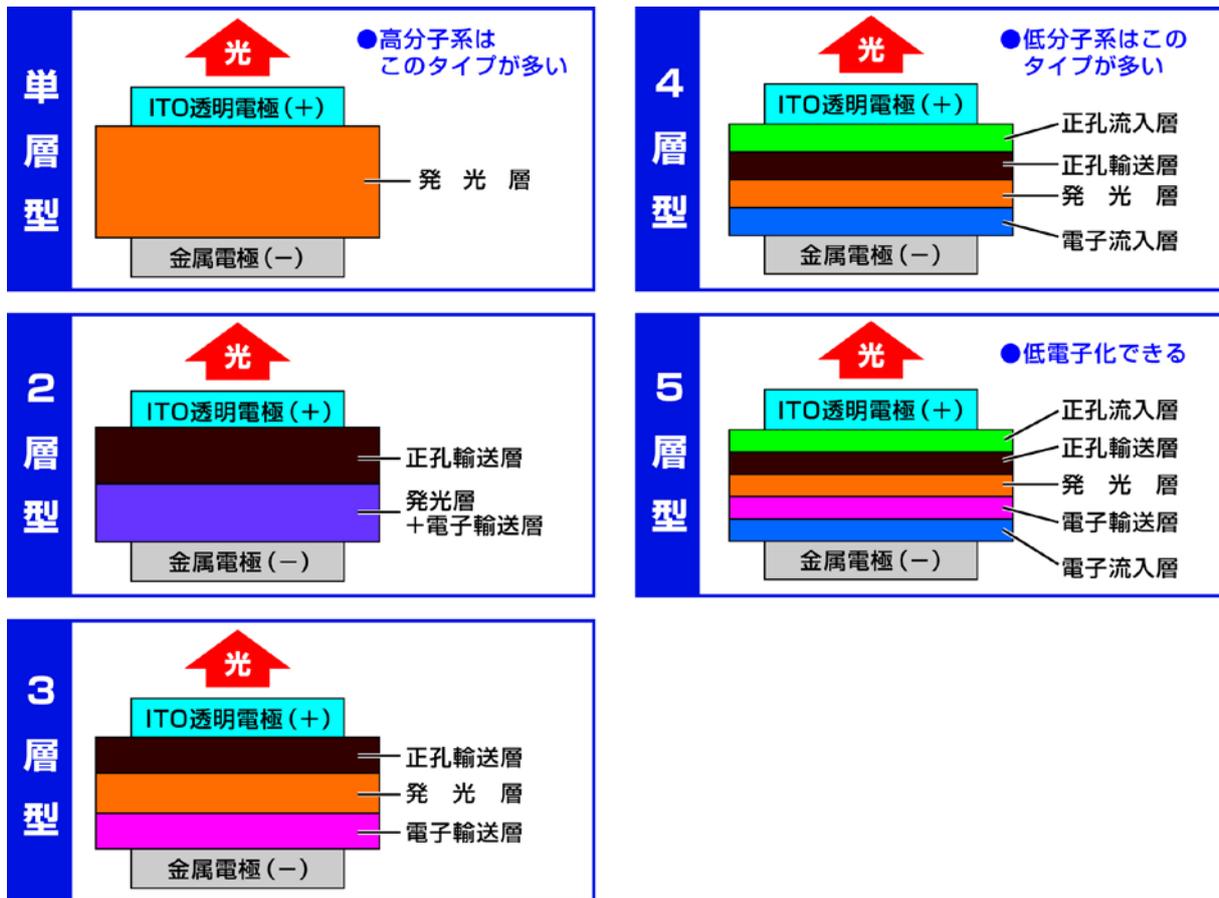


図 有機 EL の構造図

3-7 カラー化方式

有機 EL ディスプレイのカラー化方式は大きくエリアカラーとフルカラーに分けることができる。エリアカラーは1つのディスプレイでモノクロ発光、マルチカラー発光を実現したものである。ここでいうモノクロ発光とは発光材料が単一で発光輝度が濃度の違いのみで表示する方式であり、マルチカラー発光とは発光と発色の場所が区分されていて、各々が異なる色相や輝度で表示する方式をいう。フルカラーは画素の1つ1つが任意の色相や輝度を表示することができるものを示す。液晶ディスプレイのフルカラーはさらにカラーフィルター方式、色変換方式、3色発光方式に分類できる。

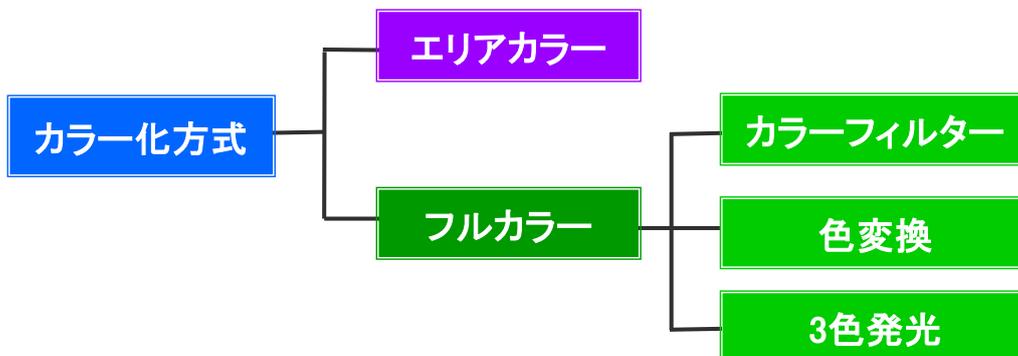


図 有機 EL ディスプレイのカラー化方式

カラーフィルター方式は液晶ディスプレイの場合と同様で、まず有機 EL で白色光を発光させ、それを RGB のカラーフィルターを通してカラー画像を作り出す方式である。色変換方式は発光層で青色を発光

させ、その青色光を赤色蛍光体に当てて赤色光を、緑色蛍光体に当てて緑色光を作り、光の3原色をつくる方式である。3色発光方式はRGB色の発光有機材料を、RGBの順に塗りわけ、各々の光を発光させる方式である。

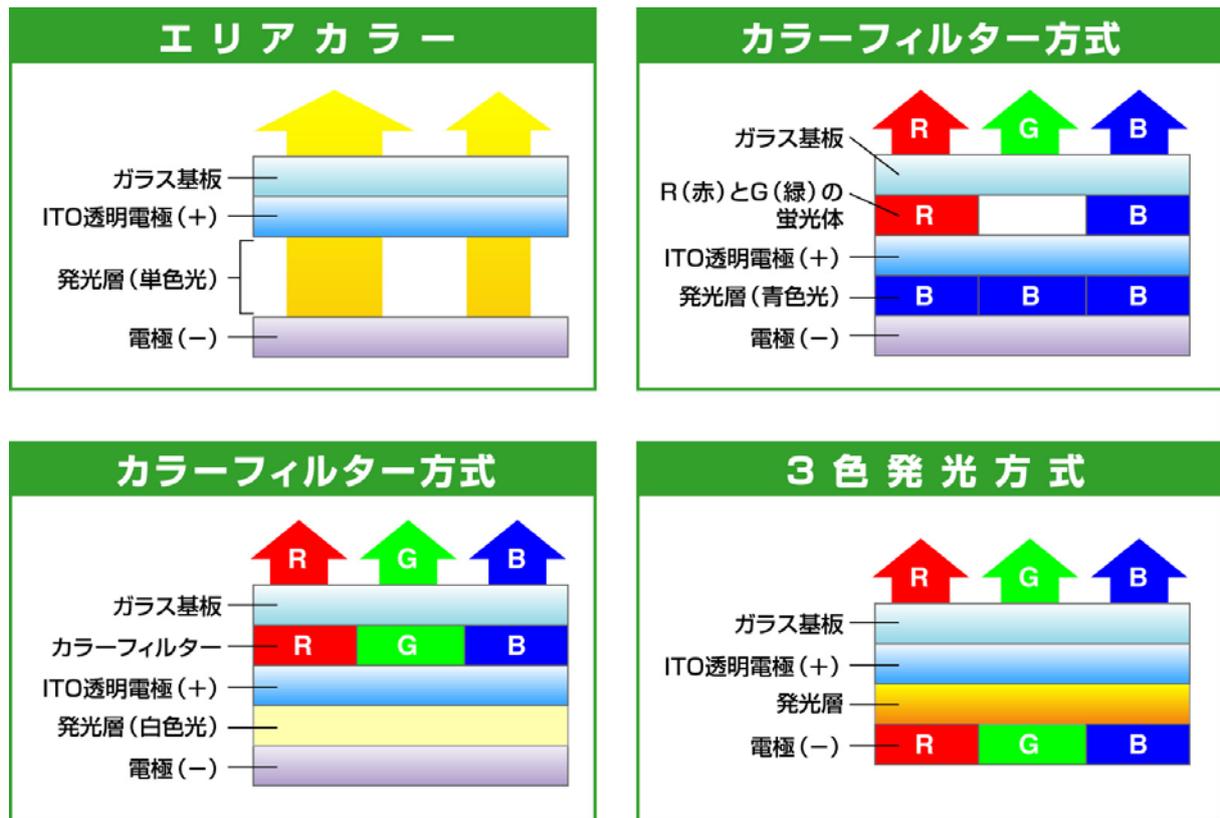


図 有機ELカラー化の方式

3-8 駆動方式

有機ELディスプレイの駆動方式も液晶ディスプレイと同様にパッシブマトリクス方式とアクティブマトリクス方式がある。ただし液晶ディスプレイが電圧をかけるだけで駆動するのに対し、有機ELディスプレイは電流を流す必要がある。

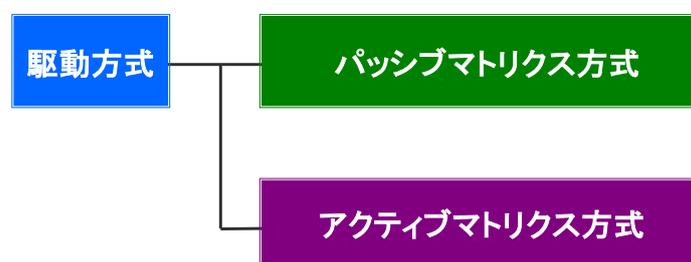


図 有機ELディスプレイの駆動方式

パッシブマトリクス方式は上下電極を90度交差させ上下の電極の交点に当たる画素に電圧をかけて発光させる方式である。パッシブマトリクス方式は低コストであるが、消費電力が大きく、寿命が短い。またパッシブマトリクス方式は配線抵抗の増大により大きい画面は実現が困難である。アクティブマトリクス方式は画素1つ1つに薄膜トランジスタをつけ画素ごとに電流量を制御する方式である。アクティブマトリクス方式はパッシブマトリクス方式に比べて低消費電力でかつ駆動電圧も小さくてよい。したがって寿命もパッシブマトリクス方式に比べて一般的に長い。

4章 電子ペーパー

4-1 電子ペーパーとは

コンピュータの普及により紙不要論が叫ばれたが、情報化の進展に伴い逆に紙の使用量が増加するという皮肉な現象が起きた。最近になって、やっと紙の使用量は減少してきているようである。電子ペーパーは当面、電子ブック、電子雑誌、電子新聞や商業用ポスターなどでの応用を目指した超薄型ディスプレイとすることができる。電子ペーパーはデジタルペーパーとも呼ばれ、書き換え機能、紙のような色のコントラスト、視認性の高さや電源を切っても表示画を保持する記憶性などが要求される。しかし、これだけであれば現在のディスプレイでも実現しているものもある。紙の特性は薄くて、折り曲げ可能な柔軟性にあり、それにもましてコンピュータのマルチウィンドウのような、究極のマルチ画面としての機能が重要である。電子ペーパーは21世紀の「環境に優しい時代」にふさわしい技術であり、その技術の進歩が期待される。

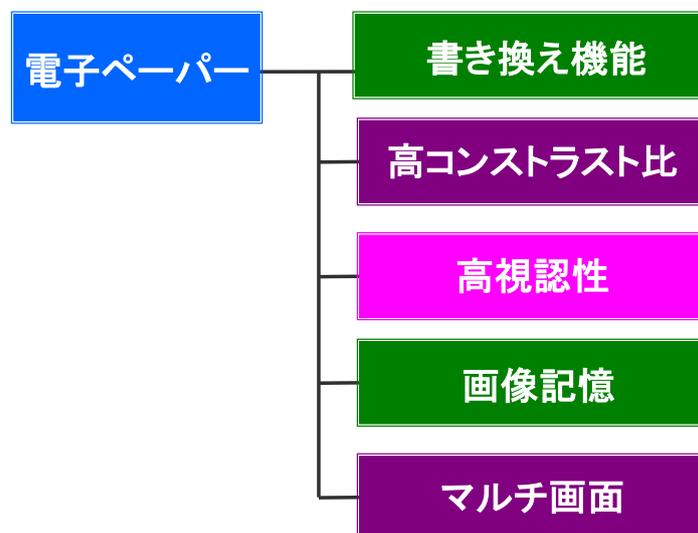


図 電子ペーパーの要件

4-2 紙の特性

紙の重要な特性は高視認性、取り扱いが容易、安全性、証拠/証明機能、安心感や思考のツール機能などがあげられる。紙への印刷物では紙からの反射光は拡散光であり、目に優しい光となっており、見る方向が異なっても見易さが極端に悪くなることはない。長時間画像を見ても疲れな条件は周囲との明るさの差が少ないことがあげられる。紙は受けた光に応じた拡散光を反射するので疲れにくいと言える。紙は一般に薄く、軽くそして手軽に扱うことができる。従って、コンピュータのように一定の姿勢で画像を見る必要がなく、仰向けに寝た状態でも画像をみたり、字を読んだりすることが可能であり、人に優しい媒体と言える。また、重ねる、束ねる、折り曲げるなどの収納の良さもある。

紙への印刷物は一般的に人に対して危険性は無い。人が食べてしまっても健康に大きな障害はほとんど無いと言える。紙は紙幣、入場券、株券、小切手、契約書類など優れた印刷技術により偽造がしにくいものが作れるので証明書としての機能がある。また、契約書類のように朱肉による捺印により、唯一の状態に変化させることができるので証拠機能がある。電子化された情報は情報の改ざんを瞬時に行うことが可能であり、パスワード等の設定により保護されているとはいえコンピュータシステムは内部からの侵入に対して脆弱である。その点、紙の証拠機能は保管場所等に注意すれば、いくつものバリアを設定することが可能であり安心感がある。

紙では文字や絵などを自由に書き込むことができる。例えば、プレゼン資料を作成する場合、直接コンピュータ画面で作成できる人が何人いるのでしょうか？ 紙に書きながら思考を巡らし、修正し、そして閃いたことをさらに書き加えるというサイクルを繰り返しながら完成させることが多いのではないかと。また、複数の紙に書いたものを部分的に切ったり、貼ったりすることも紙ならば簡単に行うことができる。このように、紙は思考のためのツールとして優れた側面を持っている。

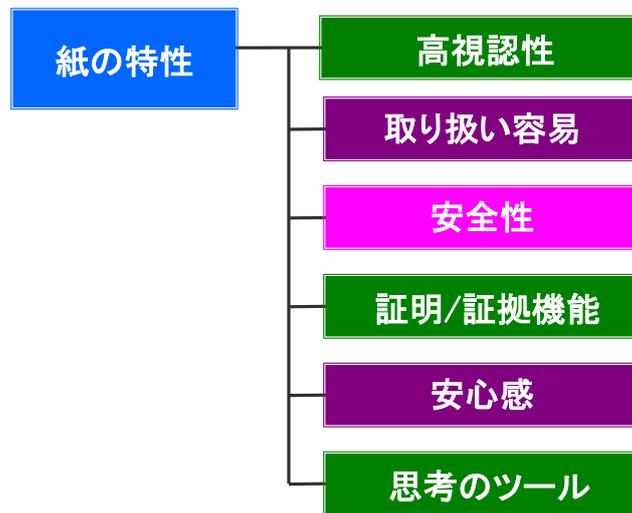


図 紙の特性

4-3 電子ペーパーの分類

フラットパネルディスプレイの分類では電子ペーパーは液晶ディスプレイや有機 EL ディスプレイと別項に分類されているが、電子ペーパーと呼ばれるものの中には液晶技術や有機 EL 技術を利用したものもある。電子ペーパーは大きく、液晶タイプ、有機 EL タイプ、ペーパーライクタイプに分類できる。

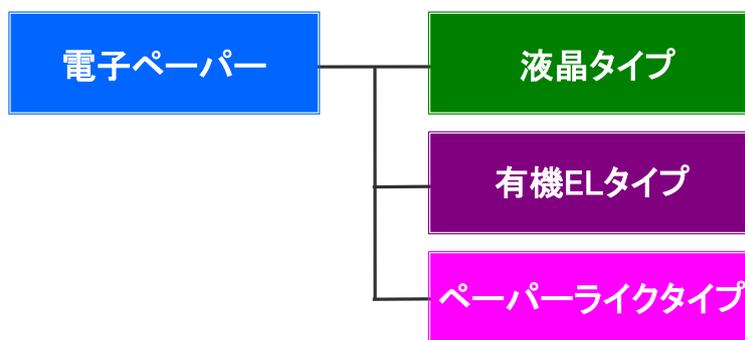


図 電子ペーパーの分類

液晶タイプはさらに、コレステリック型、光書き込み型、高分子分散型に分類でき、ペーパーライクタイプはツイスティングボール型、マイクロカプセル電気泳動型、インプレーン電気泳動型、電解析出・溶解型、サーマルリライタブル型、ドナーディスプレイ型、電子粉流体型などに分類することができる。電子ペーパーは一部商品化されているが、多くは研究段階にあり、これからさらに進歩する可能性をひめている。

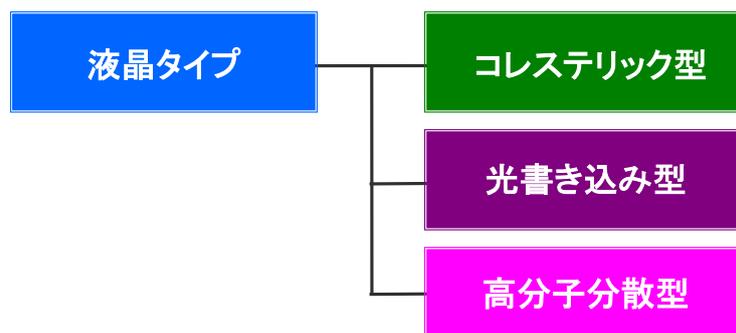


図 電子ペーパーの分類 液晶タイプ

4-4 コレステリック型（液晶タイプ）

液晶材料のうちコレステリック液晶は分子がネマティック液晶より高密度で規則正しく並んでおり、粘性が高いという特徴がある。電子ペーパー向けの液晶はバックライトが不要な反射型で紙と同様な明るさ、紙のように薄い構造、無電力（超低消費電力）などの特性が必要である。この要求特性に最もマッチした液晶がコレステリック液晶である。コレステリック液晶の構造は分子の層状構造であり、各々の層の分子配列が螺旋状になっている。この螺旋状構造は螺旋ピッチに応じて光の色が変化する。コレステリック液晶に電圧を印加しない状態では、螺旋ピッチに応じた特定色（例えば白）を選択的に反射し、特定色を表示する。（反射率が高い状態）液晶に弱い電圧を印加した場合は光を透過し電圧を取り去っても状態を保持する。（反射率が低い状態）この状態で弱い電圧を何度印加しても状態は変化しない。さらに高い電圧を加えたあと、電圧を取り去ると元の状態（電圧をかけない状態、反射率が高い状態）にもどる。この電圧制御によりデータ表示を行う。

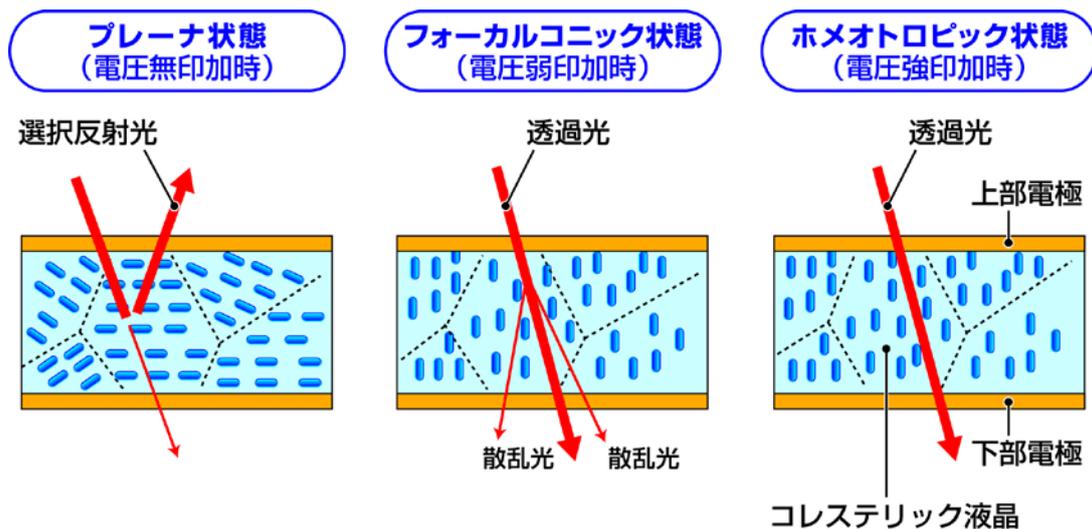


図 コレステリック液晶の光学特性

4-5 光書き込み型（液晶タイプ）

光書き込み型の構造は画像表示面側から、基材フィルム（上側）、透明電極（上側）、コレステリック液晶層、散乱光吸収層、有機光導電層、透明電極（下側）、基材フィルム（下側）の層構造となっている。

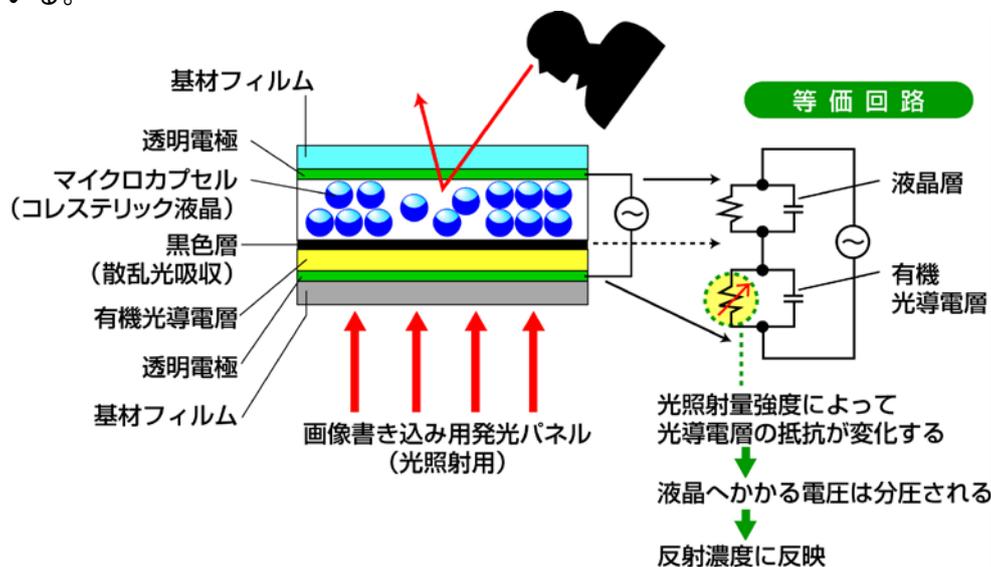


図 光書き込み型電子ペーパーの断面構造と原理

コレステリック液晶層はコレステリック液晶をマイクロカプセル化したものの集合体になっている。有機光導電層は光の量に応じて導電率が変化する性質があり、コレステリック液晶にかかる電圧を光の量に応じて変化させることができる。書き込み原理は画像が表示された画面などの上にこの電子ペーパーを乗せ、この状態のまま、交流電圧を短時間印加することで、画像各部の光の量に応じた電圧をコレステリック液晶にかけ画像を保持する。この方式は画像を直接コピーするという操作で画像を保持するため、通常のコピー機とよく似ている。

4-6 高分子分散型（液晶タイプ）

高分子分散型の構造は画像表示面から、ガラス基板（上側）、透明電極（上側）、高分子材料層、透明電極（下側）、ガラス基板（下側）の層構造となっている。高分子材料層は高分子材料（ポリマー）の中にネマティック液晶の粒子を均一に分散させたものである。電圧をかけない状態では液晶がランダムに並んでいて、散乱状態となり光を遮断する。電圧をかけた状態では液晶分子が配向して、非散乱状態となり光を透過させる。原理的に偏向板や配向膜が不要なため、シンプルな構造となっている。

4-7 フレキシブル有機ELタイプ

フレキシブル有機ELタイプの基本的原理は有機ELと同じである。フレキシブル有機ELタイプは曲げたり、丸めたりすることが可能な薄型にするために有機EL層を0.1μm程度の厚さにしている。このため、基板の表面粗さを数nm以下にする平滑性が要求される。また、有機ELは水分や酸素と触れると劣化し黒点が急速に拡大するため上下の絶縁層の密封性能が重要である。

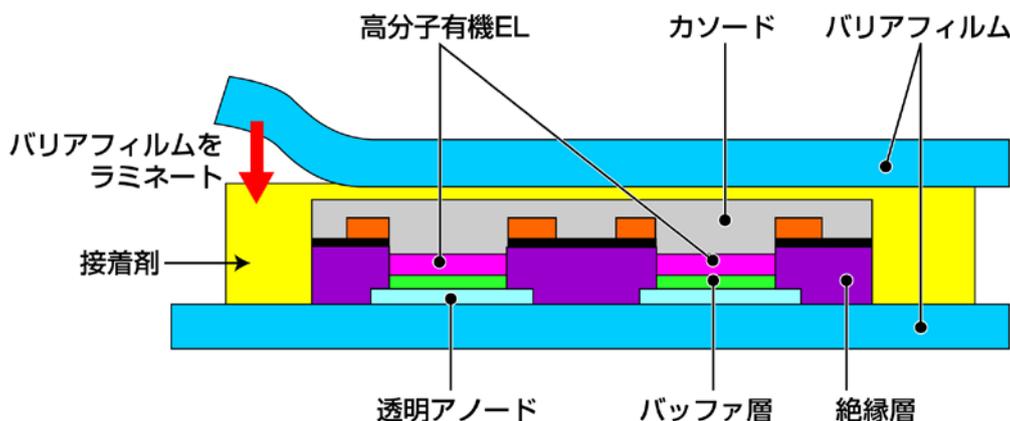


図 フレキシブル有機ELタイプの構造

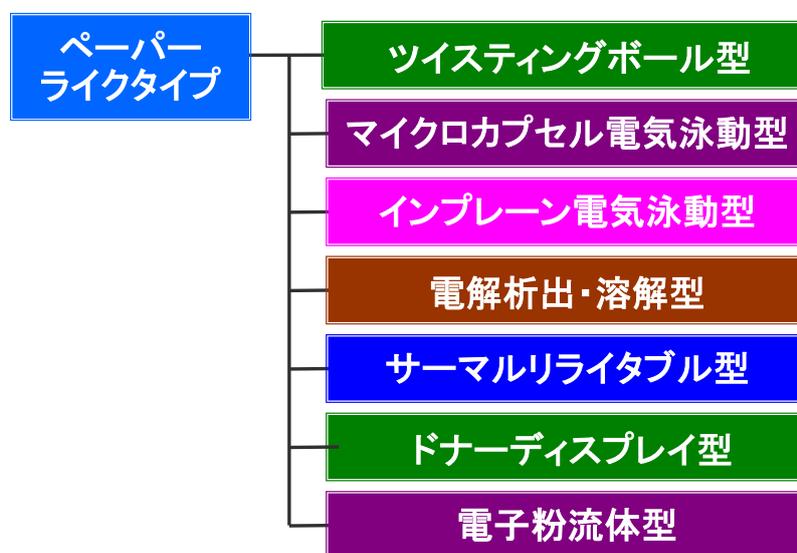


図 ペーパーライクタイプの分類

4-8 ツイスティングボール型

ツイスティングボール型の構造は透明なプラスチックの間にオイルを満ち、その中に球体を満ちた構造となっている。球体は半球ごとに二色に塗り分けられ、かつ、帯電しているので、上下の電極間に電圧を印加することにより、色の方向を制御できる。この球体が画素の役割をし、画像を表示することができる。

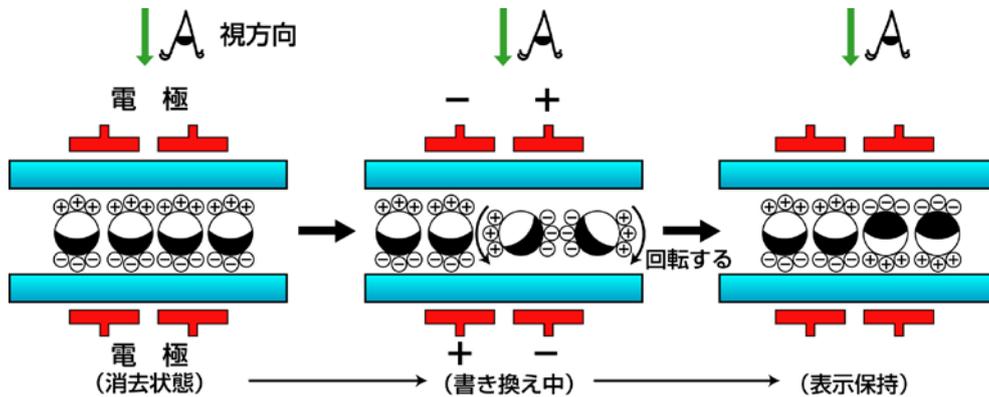


図 ツイスティングボール型

4-9 マイクロカプセル電気泳動型

マイクロカプセル電気泳動型はマイクロカプセルの透明な液体中に黒色（マイナス電荷）と白色（プラス電荷）の粒子を封入し、それを挟む上下の電極に電圧を印加することにより画像を表示する。上側電極（透明電極、画像表示面側）をプラスにするとマイナス電荷を持った黒色粒子が集まり黒く見える。反対に上側電極をマイナスにするとプラス電荷を持った白色粒子が集まり白く見える。駆動方式として、薄膜トランジスタ（TFT）を使用したアクティブマトリクス方式により、一つ一つの画素を制御することができ、画像を表示することができる。実際の製品は透明電極付の上側樹脂基板に印刷方式でマイクロカプセルをコーティングする。そのマイクロカプセルをコーティングした前面板を駆動回路が形成されている下側基板にラミネート接着して作られている。マイクロカプセル電気泳動型ディスプレイの厚さは 0.5mm 程度まで薄くなってきている。

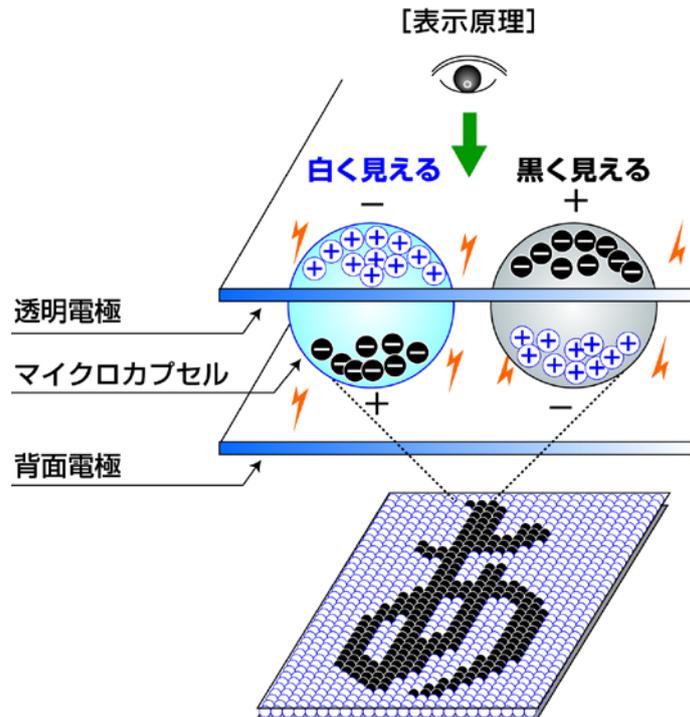


図 マイクロカプセル電気泳動型

4-10 インプレーン電気泳動型

インプレーン電気泳動型は上下のプラスチックフィルムの中に帯電した着色粒子を散布し、このプラスチックフィルム上の着色粒子に電界をかけ面内分布を電気的に変化させて画像を表示するものである。インプレーン電気泳動型の構造は上側（画像表示面側）から上側基板、絶縁性透明液体層、着色泳動粒子、上側電極、白色散乱層、下側電極、下側基板となっている。着色泳動粒子がプラスに帯電している場合は上側電極にマイナス電圧を印加すれば着色泳動粒子は上側に吸着し白色散乱層の影響で画面は白く見える。上側電極にプラス電圧を印加すると、着色泳動粒子は上側電極に反発し、上側電極のない下側電極部に吸着し、画面は黒く見える。上側電極間が一画素に相当し約 $120\mu\text{m}$ ピッチとなっている。

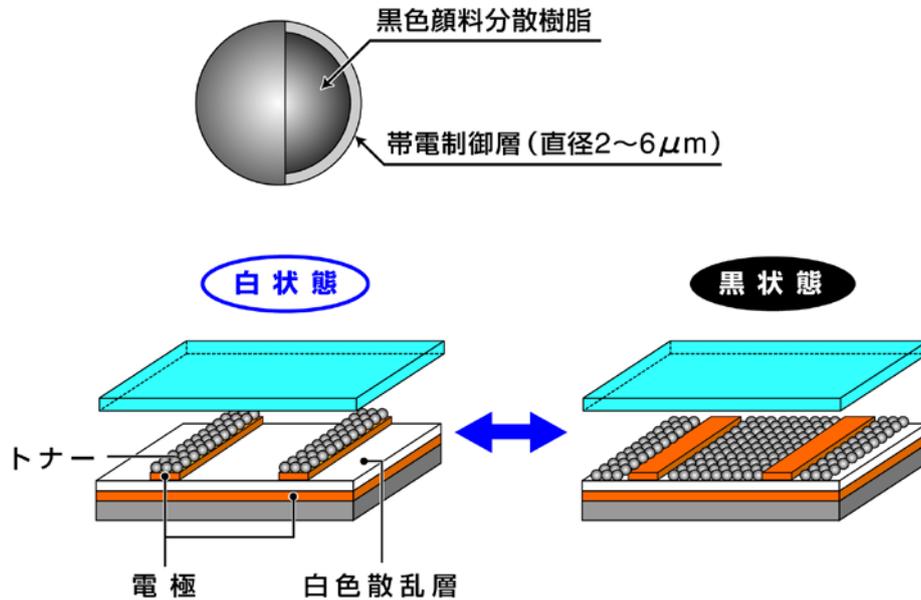


図 インプレーン電気泳動型

4-11 電解析出・溶解型

電解析出・溶解型の基本的な構造は上側（画像表示面）と下側の二つの電極間に電解質を満たした構造となっている。下側の電極は銀で作られている。上側と下側の電極間に電流を流さない時は上側の透明電極を通して電解質を見ることになる。電解質には二酸化チタンを混ぜておくと、画面は白色となる。上側電極をマイナス、下側電極をプラスにすると下側電極から銀イオンが上側電極に析出し、この銀が黒く見えるため画像を表示することができる。反対に上側電極をプラス、下側電極をマイナスにすると上側電極に析出した銀が下側電極に戻り画面は白く見える。

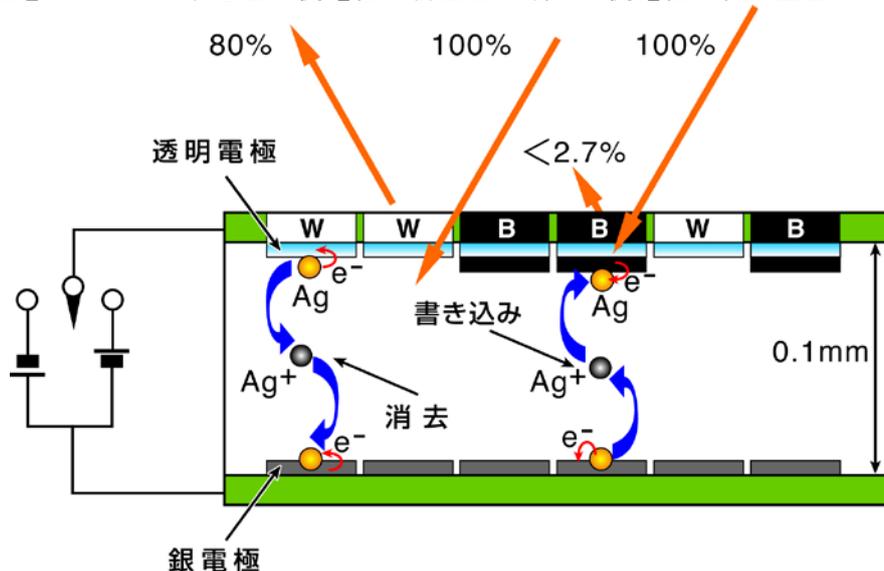


図 電解析出・溶解型

4-12 サーマルリライタブル型

サーマルリライタブル型はリライタブルペーパーともよばれている。サーマルリライタブル型の構造は上側（画像表示面）から保護層、可逆発色記録層、基材層、バック層の層状構造となっている。保護層は外部からの物理的な力や紫外線から可逆発色記録層を守る役目をもっている。可逆発色記録層はロイコ染料と顕色剤から構成されリライト機能を実現している。基材層は一般的には紙でできているが、PET などの折れにくく、耐水性のある素材を使用することもある。バック層は用途に応じて磁気記録のための層となる。サーマルリライタブル型の原理は感熱紙によく似ている。感熱紙の場合は加熱された所が非可逆的变化をし、黒くなるものが一般的である。これに対しサーマルリライタブル型はロイコ染料と顕色剤を反応（酸化）させることにより発色し、その後の熱の加え方を変えることにより消色（還元）させることができるような可逆変化を可能にしたものである。消色したロイコ染料を加熱（約 180 度）すると、ロイコ染料と顕色剤が反応し熔融状態となり発色する。この状態のまま急冷すると、ロイコ染料と顕色剤は反応した状態で結晶となるので発色の状態を保持する。発色状態のロイコ染料と顕色剤を再度加熱（約 100 度）し、今度はゆっくり冷却すると、元の消色状態にもどる。以上のような原理で現在は 300～400 回程度のリライトが可能になっている。

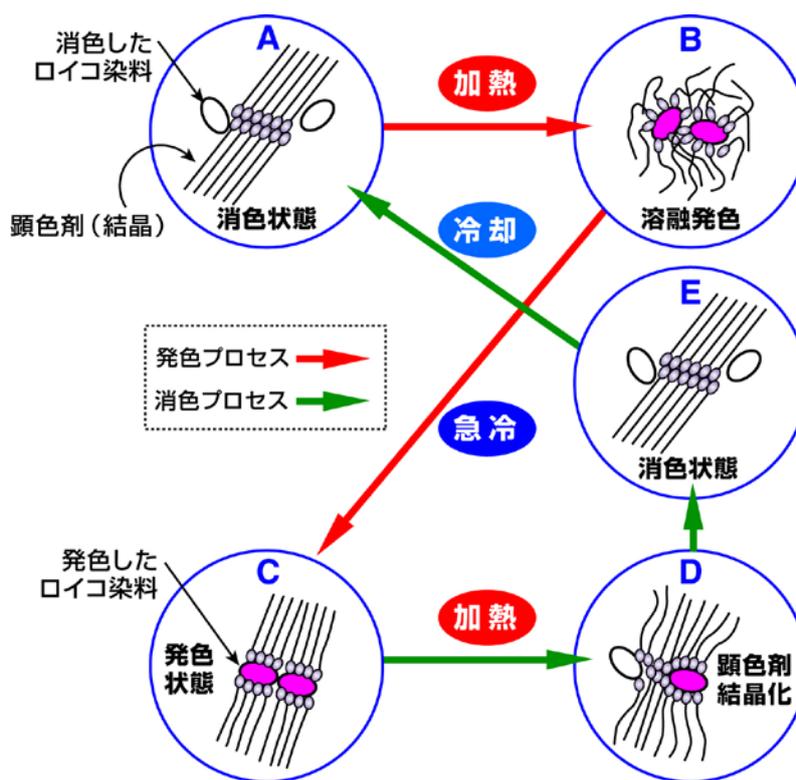


図 サーマルリライタブル型

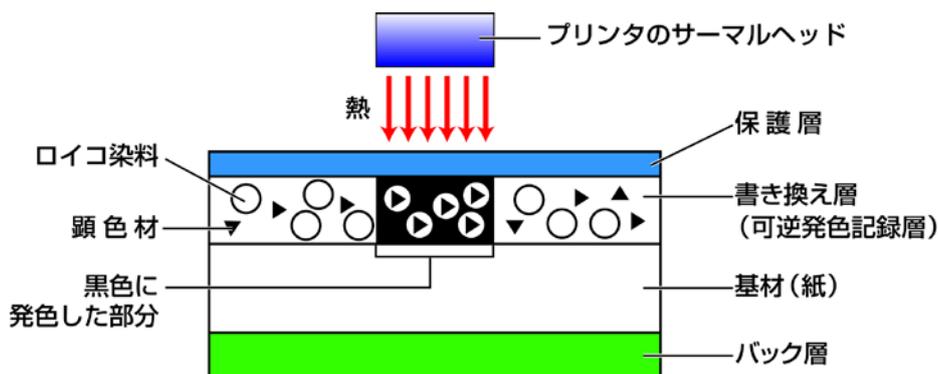


図 サーマルリライタブル型の構造

4-13 トナーディスプレイ型

トナーディスプレイ型は電子複写機に用いているトナー（着色絶縁性粒子）を利用したもので、その構造は上側（画像表示面）から、上側透明基板、透明電極、絶縁層（上側）、空気層、絶縁層（下側）、電極（下側）、下側基板の層状構造となっている。トナーディスプレイ型の原理は色が異なり、その電荷が反対の絶縁性粒子（トナー）を空気層中に封入し、上下の電極間に電圧をかけ、一方の絶縁性粒子を上側に、もう一方を下側に集めることにより画像を得るものである。画像の書き込み時は電圧を印加するが、電圧を取り去ってもその状態を維持する。

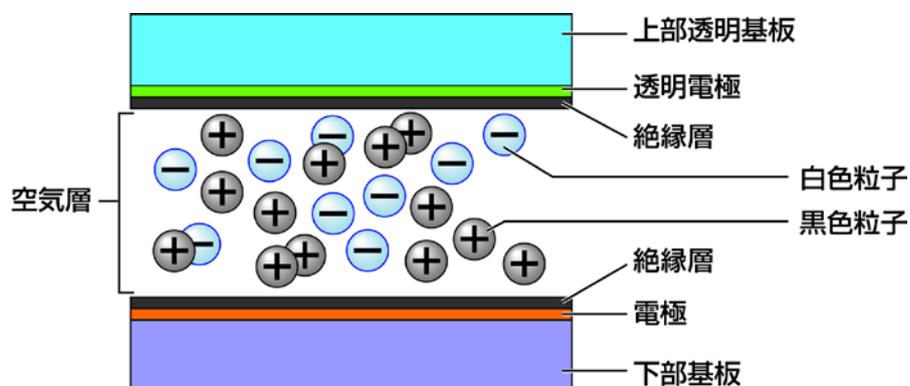


図 トナーディスプレイ型

4-14 電子粉流体型

電子粉流体型は高分子ポリマー（白色）の微粒子を加工することにより流体化し、この高分子ポリマーを電極間に封入し、上下の電極間に電圧を印加することにより、画像を表示するものである。

	液晶・有機ELタイプ	ペーパーライクタイプ
薄さ (フレキシブル性)	△	◎
データ書き換え	◎	○
見やすさ (視認性)	○	◎
消費電力	△	◎
可搬性	○	◎
カラー化	◎	△

図 電子ペーパー技術の比較

引用文献:「電子ペーパーがわかる本」 工業調査会
引用文献:「液晶のしくみ」 ナツメ社
参考文献:「図解でわかる「液晶」のしくみ 」はる出版
参考文献:「液晶・PDP・有機 EL 徹底比較」 工業調査会
参考文献:「有機 EL ビジネス最前線」 工業調査会
参考文献:「これがディスプレイの全貌だ！」 かんき出版
参考文献:「最新ディスプレイ技術の基本と仕組み」 秀和システム
参考文献:「液晶ディスプレイ工学入門」 日刊工業新聞