

# 知っておきたいキーワード

## フレキシブルディスプレイ

(正会員) 藤掛 英夫<sup>†</sup>

<sup>†</sup> NHK 放送技術研究所

"Flexible Displays" by Hideo Fujikake (NHK Science & Technical Research Laboratories, Tokyo)

キーワード：プラスチック基板、有機EL、液晶、電気泳動法、電子ペーパー、薄膜トランジスタ (TFT)

### フレキシブルディスプレイとは

テレビ用途などで液晶ディスプレイや有機ELディスプレイの薄型化が進んでいます。さらに、将来的にガラス基板に替わりプラスチック基板が導入されれば、薄くて軽く割れないディスプレイパネルが実現できるばかりか、“曲げる”ことも可能になります。それらは、フラットパネルディスプレイの究極の進化形態として考えることもできます。その一方、電気泳動インクやコレステリック液晶を用いた電子ペーパーの技術開発が加速しています。プ

ラスチック基板を用いたフレキシブル電子ペーパーは、メモリー機能により省電力動作が可能なため、書換え可能な印刷物を目指す取組みです。

これら二つのフレキシブル表示媒体は、それぞれ動画および文字・静止画表示を主として想定するため、求められる機能や表示原理は異なりますが、双方あわせてフレキシブルディスプレイと総称されています。

フレキシブルディスプレイは、新たな視聴形態やヒューマンインタフェースを創出する次世代表示技術として、現在、研究開発が精力的に続けられています。現在、ディスプレイ関連の国

際学会においても、欠かすことができないトピックになっています。

本稿では、まずフレキシブルディスプレイの用途について概説します。次に表示媒体技術として、動画表示のフレキシブル有機ELおよび液晶ディスプレイを解説するとともに、静止画表示の電気泳動インクおよびコレステリック液晶のフレキシブル電子ペーパーを紹介し、さらに、それらを実現するのに必要な基盤技術として、マトリックス駆動技術とプラスチック基板について説明します。

### 新たなディスプレイ用途

プラスチック基板を用いた電子ディスプレイは、薄い、軽い、割れない、曲がるなどの物理的特徴から、携帯・設置・視聴の利便性を飛躍的に高めるため、幅広い用途を生み出すと考えられています。

例えば、ディスプレイパネルの軽量化・フレキシブル化により、小型パネ

ルを壁面に手軽に貼り付けて使用することはもとより、曲面での表示もできます。中型パネルであれば、これまで持ち運びにカバンを必要としてきましたが、巻き取れるようになればポケットに収納して携帯できます。さらに大画面ディスプレイであっても、フレキシブルとなれば、室内に容易に搬入できて据え付けできます。さらに高度な柔軟性が確保されれば、必要な時だけ

引き出して使える直視型大画面スクリーンディスプレイの実現も夢ではなくなります。ディスプレイのフレキシブル化は、画面サイズが大きくなるほど、そのメリットが際立つこととなります。

さらにフレキシブルディスプレイは、表示するさまざまな情報コンテンツに応じて活用されていきます。例えば、表示サイズが大きいほど臨場感が得られる動画用途であれば、

☞ 図1に示すような携帯に便利な巻物テレビの実現により、地上デジタル放送の番組コンテンツを、屋内外をとわずどこでも楽しめるようになります。また、インターネットによる映像配信サービスを、いつでも必要な時に利用することも可能となります。

一方、文字・静止画用途のフレキシブル電子ペーパーは、書換え時しか電力を消費しないため（維持電圧が不要）、省電力が重要視される携帯用途に適しています。小型であれば、ICカード、RFタグなどの表示部として魅力的です。さらに電子ペーパーは、自発光でなく印刷物のように外光による自然な表示ができて疲労が少ないため（照明光に応じて表示輝度が自動調整される）、長時間の読み物に適しており、電子書籍、電子新聞としての実用化が検討されています。いわば、読むディスプレイです。その一方、タイムリーに情報を提示するツールとして、電子ネットワークを用いて情報を実時間で書換えられる電子掲示板、電子ポスタ、電子

看板（デジタルサイネージ）、電子棚札への応用が期待されます。

フレキシブルディスプレイは動画・静止画用途をとわず、その柔軟性が高まっていけば、将来、衣類への装着（ウェアブルディスプレイ）や電子機器・乗り物の外装・ラッピングにも応用が進展すると考えられています。今

後、いつでもどこでもデジタル情報を享受できるユビキタスネットワーク技術が進展すると予想されており、上記のようなフレキシブルディスプレイは、情報化社会のライフスタイルを大きく変えていく可能性もあります。

以下の章では、フレキシブルディスプレイを実現する表示技術を紹介します。

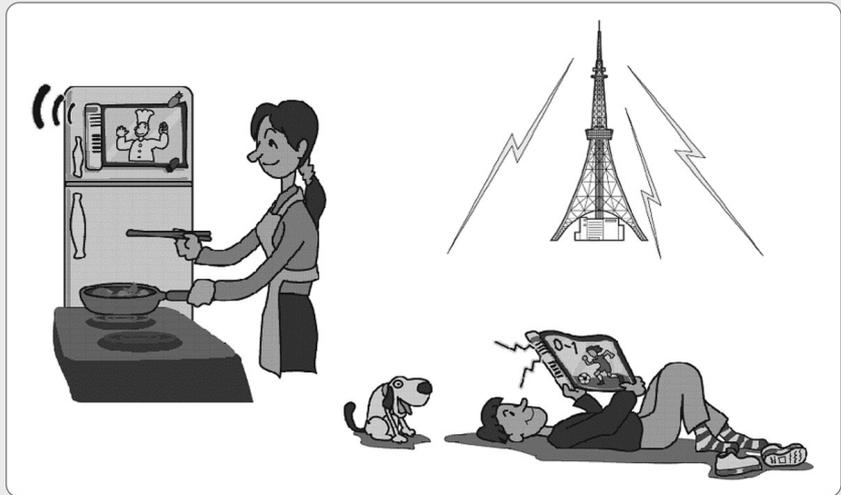


図1 巻物型フレキシブルテレビの使用イメージ

### フレキシブル有機EL

フレキシブル有機ELディスプレイでは、図2に示されるように、1枚のプラスチック基板上に、有機半導体層（発光層、電子/ホール輸送層など）となり、二重結合の $\pi$ 電子が電荷移動を担う）や電極層が積層されます。この場合、陰極および陽極からそれぞれ注入される電子およびホールが、各輸送層を通して発光層で再結合するため、光が放出されます。

有機ELは、固体薄膜の積層構造のため、極めて薄く柔軟なディスプレイパネルを構成できます。そのため、高度なフレキシブル化・薄型化を実現する有力な手段として注目されています。また自発光のため、視野角が広い、表

示動作が速いなどの特徴もあります。

しかし、ガラス基板に比べてガスバリア性の低いプラスチック基板を使用

する場合には、有機半導体を劣化させる水・酸素分子の進入を防ぐため、高度な封止構造が必要となります。

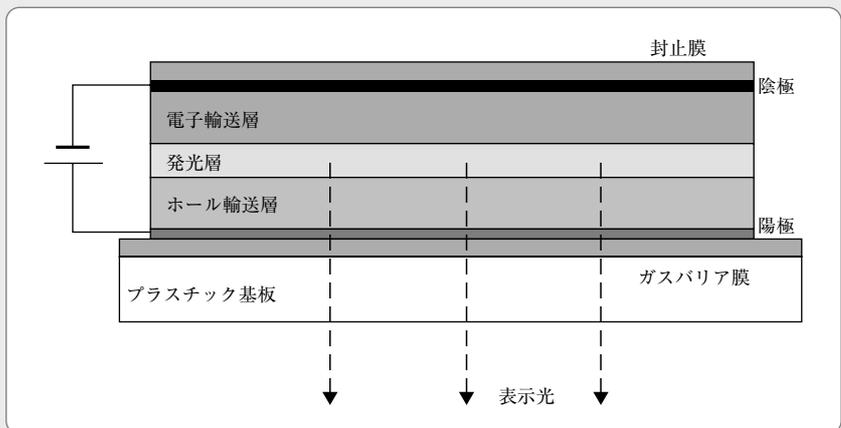


図2 フレキシブル有機ELの表示原理

### フレキシブル液晶

フレキシブル液晶ディスプレイは、**図3**に示すように、液晶をプラスチック基板で挟んだ構造です。細長い液晶分子の向きが一樣化された液晶層に電圧を印加すると、液晶の向きが変わって光学特性が変化します。これにより、バックライトからの照明光が変調されます。フレキシブル液晶の場合、これまでガラスで蓄積されてきた大型製造・高精細化技術が転用できれば、高いパフォーマンスを早期に実現できる可能性があります。

液体材料である液晶は、本質的に曲げ疲労はありませんが、液体を安定して保持するデバイス構造が必要です。例えば、プラスチックで挟まれて光変調を担う液晶層の厚みが変わらないよ

うに、変形しやすい両基板を接着するスペーサ柱や壁の形成法が提案されています。

一方、液晶を用いて高コントラストな表示を実現するには、バックライト

などの照明光学系も柔軟化しなければなりません。そのため、LEDのエッジライトを用いたフレキシブル導光板も試作されています。

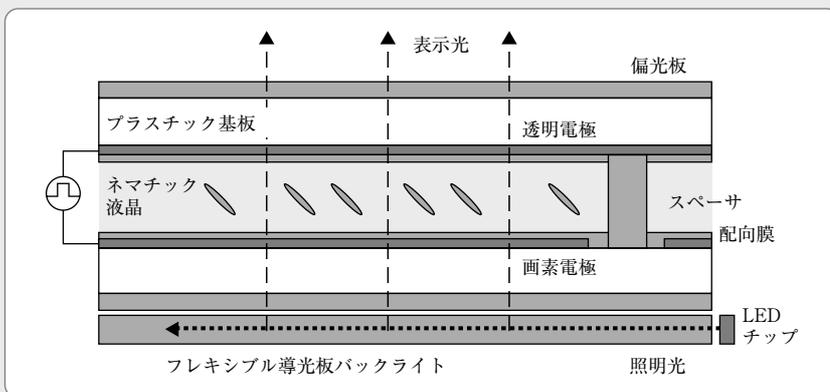


図3 フレキシブル液晶の表示原理

### 電気泳動方式の電子ペーパー

電子ペーパーに適した表示方式として電気泳動インクが知られています。代表的な電気泳動ディスプレイでは、**図4**に示されるように、2種類の顔料が分散された液体マイクロカプセルが樹脂層に固定されています。白および黒の顔料粒子(それぞれ異なる極性に帯電)は、電圧印加時の静電気力により、カプセルの液体内を反対方向に移動します。この時、上部に移動する顔料の光吸収の違いにより、外部からの照明光が変調されます。その表示速度は動画表示に適さないものの、電圧で書換えできる印刷物と言えます。

このような電気泳動インクは、当初、簡易表示の分野に 응용が期待されましたが、昨今、高精細パネルの報告が相次いでいます。さらに、薄いプラスチックフィルム基板を用いた折り込

み型ディスプレイも開発されています。

同様な粒子移動型の電子ペーパーとしては、電荷を帯びた合成樹脂の超微粒子を、液体でなく気体中で高速移動させる電子粉流体方式も提案されていま

す。なお、電気泳動法や電子粉流体のカラー化では、光損失の大きなマイクロカラーフィルタを使用せざるをえないため、明るさやコントラストの向上が求められます。

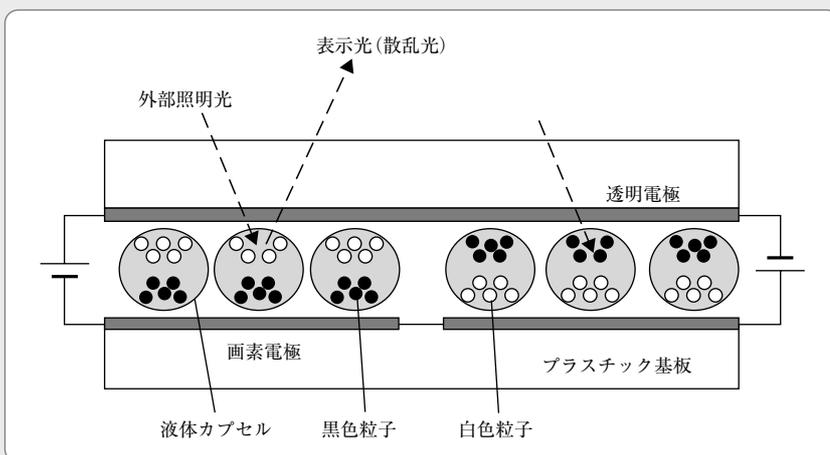


図4 電気泳動インクを用いた電子ペーパーの表示原理

### コレステリック液晶の電子ペーパー

他の有力な電子ペーパー技術として、**図5**に示すように、分子がねじれて並ぶコレステリック液晶方式があります。液晶自体のねじれ構造により、外光が反射されて表示動作が得られます。電圧を印加しない場合、液晶のねじれ軸が基板に対して直立しており、ねじれピッチに応じた波長の入射光が反射されます。一方、電圧を印加した場合、ねじれ軸が横方向に倒れて反射しなくなります。これらの2通りの状態はメモリー性を伴うため、書換え時のみ電圧を印加すればよいことになります。

液晶のねじれピッチは、ねじれを誘起する添加剤の濃度で自在に制御できるため、任意のカラー表示が可能です。

さらに、選択波長の異なる液晶層を3層重ねることにより、フルカラー化も可能となります。

なお、コレステリック液晶のプラス

チックパネルでは、接着型スペーサ柱や液晶のマイクロカプセル化により液晶層の厚みが安定化されます。

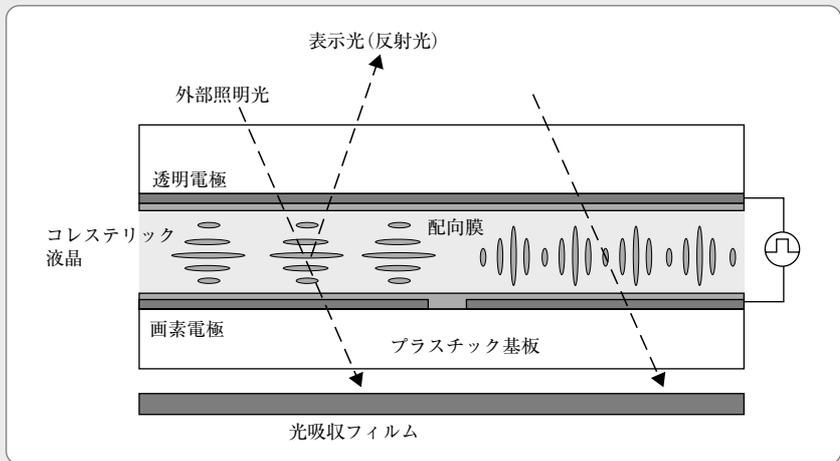


図5 コレステリック液晶を用いた電子ペーパーの表示原理

### マトリクス駆動技術

上記のような表示媒体を縦横方向のマトリクス電極により駆動する場合において、高輝度・高コントラストな画像表示を得るには、薄膜トランジスタ(TFT)が必要となります。すなわち、電圧走査時に非選択時であっても駆動状態を維持するTFTを、ガラスに替わるプラスチック基板に実装しなければなりません。

耐熱性に劣るプラスチック上に低温形成するTFT用半導体として、伸縮性に優れて基板から剥がれにくい有機半導体が注目されています。**図6**に示す有機TFTの構造では、ソース・ドレイン電極間に電圧を印加した状態で、ゲート電極に電圧を印加すると、有機半導体に電荷が注入されてソース・ドレイン間に電流が流れます。

有機半導体の中でも、非晶質シリコンなみの高い移動度を示す有機半導体

としてペンタセンが知られており、ディスプレイパネルの試作が進んでいます。また、ペンタセンの真空蒸着法に対して、有機溶媒に溶けて容易に印刷可能な高分子半導体(ポリチオフェン系など)も開発が急がれています。

フレキシブルディスプレイにも、これまで確立されてきた非晶質/多結晶シリコンTFTを適用するアプローチも精力的に続けられています。例えば、

シリコンやゲート絶縁膜の成膜温度を低減した直接形成法や、無機基板上で作製したTFTアレイをプラスチック基板上に写し取る転写法が試みられています。さらには、高移動度(非晶質シリコンに比べて1桁以上)で低温形成の透明酸化半導体も、フレキシブルディスプレイへの応用が期待されています。

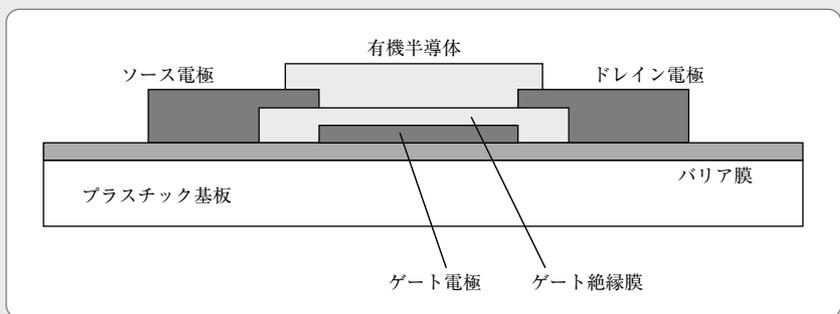


図6 有機TFTの基本構造

## プラスチック基板

プラスチック基板に求められる条件には、透明度(散乱や吸収がなく透明)、表面平坦性、寸法安定性、ガスバリア性などがあります。すでに光学特性や平坦性は一定のレベルに達しているため、現在、寸法安定性が最も重要視されています。すなわち、ディスプレイパネルの作製に必要な微小画素(TFT、電極、配線、カラーフィルタ、ブラックマトリックスなど)の形成工程(フォトリソグラフィ)に耐えられるよう

に、加熱時に熱膨張係数が小さく、溶媒に対しても膨潤しない基板材料が求められています。

実際のパネル試作には、厚みが数十～200 $\mu\text{m}$ 程度の硬質基板が使用されています。有機ELや電子ペーパーには、熱膨張係数の小さな基板材料(ポリエチレンナフタレート、ポリエーテルサルフォンなど)が多用されています。その一方、液晶の用途では、光学異方性が生じにくい基板(ポリエーテルサルフォン、ポリカーボネートなど)が用いられます。

このように現在は、寸法安定性の高い硬質基板を使用せざるを得ないのですが、パネルの柔軟化には柔軟で弾性のある基板が望まれます。それらの相反する条件を満足するため、今後、複合構造による基板開発も必要と思われる。その一方、ガスバリア性や寸法安定性の課題を抜本的に克服するため、金属(ステンレス)フォイル基板を用いた有機ELや電子ペーパーのパネル開発も進展しています。

## 今後の展望

高画質のフレキシブルディスプレイを実現するには、表示媒体とプラスチック基板の特性を整合させていく取組みが必要です。また、現状の試作フェーズから、実用化に向けて進展させるには、個別のディスプレイ用途に応じて求められる表示サイズや柔軟性(曲げ耐性)を見定めていかなければなり

ません。

将来的にフレキシブルディスプレイは、すべてのパネル部材が有機材料で構成されることが望ましく、それに適した作製技術を開発する必要があります。例えば、プラスチック基板を巻き取りながら、印刷法により画素を形成していくロールツーロール工程は、生産性・量産性の高い将来の製造法として期待されています。

印刷製法は、既存のフラットパネルディスプレイの大面积化・低コスト化にも貢献するとともに、製造時の省エネルギー技術としても有望視されています。フレキシブルディスプレイの部材・製造分野は、まだ研究段階ではありますが、インパクトの大きな次世代技術として積極的に開拓していく必要があります。

(2009年3月30日受付)



藤掛 英夫 1983年、東北大学工学部通信工学科卒業。1985年、同大学院修士課程修了。同年、NHK入局。長野放送局を経て、1988年、同放送技術研究所に勤務。以来、液晶材料、フレキシブル液晶ディスプレイ、液晶光学デバイスの研究に従事。現在、同所材料・デバイス主任研究員。工学博士。正会員。