

## 電子ペーパー及びフレキシブルディスプレイの技術概要

### 1. 電子ペーパーおよびフレキシブルディスプレイの概要

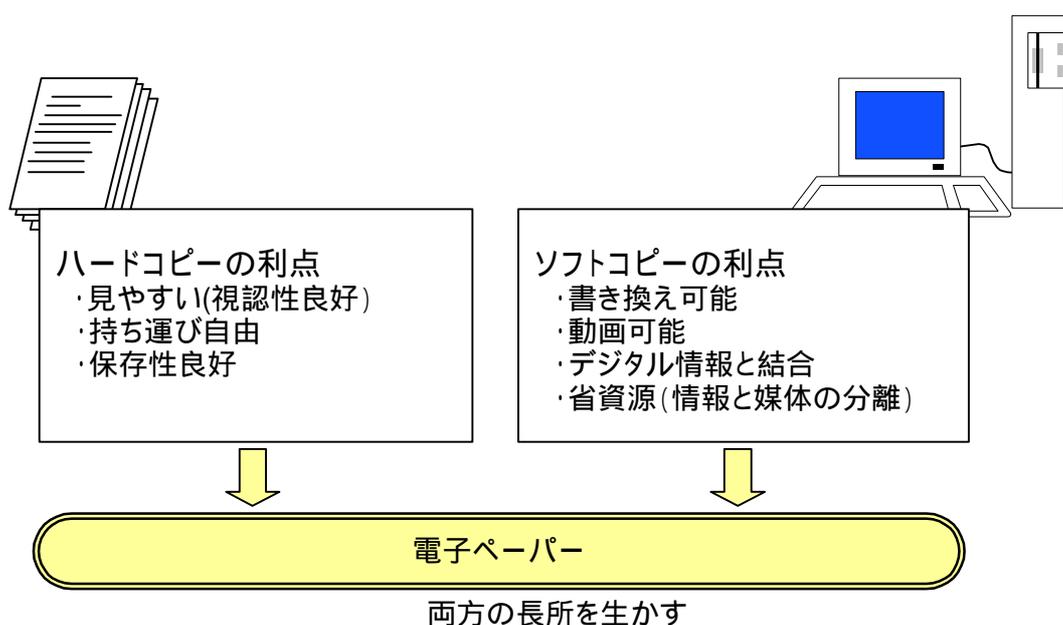
近年、電子ペーパーやフレキシブルディスプレイなど、表示媒体としての「紙」の長所を取り入れることをめざした、新たな電子表示媒体の開発が進められている。現在のパソコン等の表示装置として用いられているCRTやLCDと比較して、表示媒体としての「紙」が持つ特長として、視認性がよく目が疲れにくいことや曲げることができ携帯性に優れていることを挙げるができる。

一般に、紙の方が、電子ディスプレイよりも読みやすく、疲れにくいといわれている。その要因として、紙の方が拡散的な反射特性がある、紙面と画面背景との明るさの差が小さい、表示のちらつきがないなどが挙げられる。さらに、紙では自由な姿勢がとれるが、ディスプレイでは姿勢が固定されるといったことがある。姿勢が固定されると視線は画面に釘付けになり、眼球の筋肉に同じ緊張状態を強いることになる。これが疲れやすさを生む原因のひとつではないかと考えられている。また、人間工学的な側面から紙と電子ディスプレイにどのような差があるのかといった検討もなされており、異なる種類の表示媒体を見たときの脳波の状態を比較した研究も報告されている。

電子ペーパーは印刷物の見やすさ（視認性良好）、持ち運びのフリー性、保存性良好などの従来からある紙ベースのハードコピーのメリットと書き換え可能性、動画可能性、デジタル情報との結合などの電子ディスプレイ（ハードコピーに対してソフトコピーともいわれる）のメリットを合わせ持つ理想的な電子表示デバイスとして期待されている。

図1に電子ペーパーのコンセプトを示す。

図1 電子ペーパーのコンセプト



1990年代後半から米国および日本を中心に、バードコピーの利点およびソフトコピーの利点を生かした電子ペーパーの研究開発が活発に行われるようになり、色々な方式の電子ペーパーが開発されている。電子ペーパーの当面の表示対象は従来の印刷物と同じような文字情報や静止画情報が主な対象である。最近、注目されているのは米 E-Ink 社が凸版印刷と共同で開発したマイクロカプセル型電気泳動方式であり、2004年にはソニーがこの方式の読書端末「LIBRIé」を商品化している。また、松下電器産業もほぼ同時期に液晶方式の電子ブック「Book」を発売している。これらの電子ペーパーは第一世代の電子ペーパーともいわれ、背面板にガラス基板、前面板にプラスチック基材が使用されている。次世代電子ペーパーにおいては基板の材質がガラスやプラスチックからフレキシブルフィルムに変わり、表示デバイスの厚さも 0.5mm以下と現状の液晶ディスプレイ（約 2.0mm）の約 1/4 の薄型になることが期待されている。

フレキシブルディスプレイはペーパー状の薄い表示デバイスで、紙のように丸めたり、曲げたりすることができるものをさす。このようなディスプレイの実現をめざして、フレキシブル有機 EL 素子やフレキシブル液晶素子が開発されている。

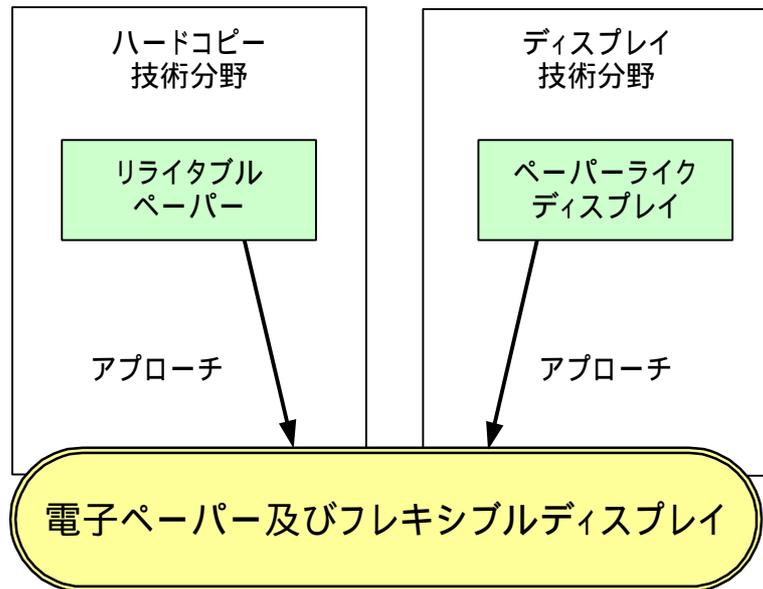
フレキシブルディスプレイは通常のディスプレイに代わって、屋外などのいつでもどこでも見ることができるモバイル・ディスプレイを実現するものとして期待されている。さらにガラス基板の大画面テレビがフレキシブルフィルム基板になることによって、軽量で薄型な壁掛けテレビが可能となり、本格的な壁掛けテレビ時代が幕開くことが期待される。

電子ペーパーおよびフレキシブルディスプレイの技術開発については図 2 に示すように、ディスプレイ技術分野からのアプローチとハードコピー技術分野からのアプローチが考えられる。すなわち、ディスプレイ技術からの発展としてはディスプレイのフレキシブル化、薄型・軽量化によりペーパーライクディスプレイをめざす方向性が、また、ハードコピー技術からの発展としては何度でも書き換えて使用できる表示媒体、すなわちリライタブルペーパーをめざす方向性があり、それぞれの方向から具体的なアプローチがされている。

#### 【電子ペーパーおよびフレキシブルディスプレイの概要の参考文献】

1. 平成 15 年度拡大する電子ペーパー市場と機械産業の取り組みについての動向調査報告書、日本機械工業連合会、ビジネス機械・情報システム産業協会、p95（2004 年）
2. 渡辺弘貴、面谷信、高橋恭介、ヒューマンインターフェースとしてのソフトコピーとハードコピー、Japan Hardcopy 2000 論文集、p97

図2 電子ペーパー及びフレキシブルディスプレイへの2つのアプローチ



## 2. 電子ペーパー及びフレキシブルディスプレイの用途

電子ペーパー及びフレキシブルディスプレイが最終的に理想型として目指す形は紙のように薄いタイプであるが、第1段階としては視認性を重視して早期実現を図る現実的な対応も考えられている。そして、電子ペーパー及びフレキシブルディスプレイの実現形態としてはシート型のほかにプレート型、巻物型、ブック型が考えられる。プレート型の電子ペーパーは現在のディスプレイを薄くして、コンパクトにした形態である。ブック型の電子ペーパーは見開き2画面タイプや、薄い表示面を何枚か束ねたタイプが想定できる。携帯性という点ではシート型に劣るが、表示面を何枚か束ねたものだと一覧性も期待できる。巻物型は、見たい時に巻き取り部分から表示シートを出して使うタイプで、コンパクト性、ポータビリティの点が期待される。

電子ペーパーおよびフレキシブルディスプレイは電子書籍をはじめ、電子新聞、POP（店内の購買時点での広告）、交通表示、電車中吊り、ポスター、案内板やPDA、携帯電話、ICカード、フレキシブルテレビなど多岐多様な市場で使用されるようになって考えられている。また、将来的にはオフィスや家庭などで幅広く使用されるようになることが期待されている。

電子ペーパー及びフレキシブルディスプレイの用途として、大きな市場が期待される電子書籍、電子新聞、フレキシブルテレビおよびその他の用途について以下に述べる。

### (1) 電子書籍

読書用端末として、2004年に松下電器産業から「Book」が、ソニーから「LIBRIe(リブリエ)」が相次いで商品化された。また、シャープも2004年、読書などを目的にしたペーパー型の液晶端末を3年以内に商品化することを発表した（厚さは1cm未満）。

「Book」はコニカミノルタ社のカイラルネマチック液晶を採用している。単3乾電池2本で約3ヶ月(約80頁/日換算)の読書が可能。16階調グレースケール。解像度180dpi、7.2インチ(XGA1024×768)の単行本サイズ見開き二画面。本体重量520g(乾電池を除く)。当初は、ブルー&ホワイト型液晶での発売だが、今後はブラック&ホワイト型液晶、カラー型液晶への対応を進めていく予定が発表されている。

他方、「LIBRIe」は、米E-Inkが開発したマイクロカプセル型電気泳動方式を使用している。単4乾電池4本で約1万頁を表示可能、4階調グレースケール、解像度約170ppi、6インチ、本体重量約190g(乾電池・カバーを含むと約300g)。180度に近い広視野角を持ち、反射率は約40%、コントラストは10:1で、画像保持には電力が不要のため通常の反射型LCDに比べ1/10~1/100の電力消費になると発表されている。

電子書籍がここにきて俄かに注目されてきた背景には、電子辞書が成功したことも挙げられる。電子辞書は2002年の年間売り上げ台数が300万台とも400万台ともいわれ、紙の辞書の売り上げを上回ったと言われている。さらに中国では教育に力を入れてきているが、教科書用の紙の供給が不足している。この対策として新しいテクノロジーである電子出版を取り入れようという動きが見られる。このように中国では、従来の紙の教科書を電子教科書へ転換することを国家プロジェクトとして強力に推進していると言われている。

では、紙の書籍と比較して、電子書籍にはメリットとしてどんな点があるだろうか。電子書籍には返本がない。品切れがないため、いつでもどこでも、すぐ買うことができる。販売店は在庫を持つ必要がないため保管スペースや在庫管理が不要である。紙の書籍には採算上の点から絶版がありうるが、電子書籍の場合には絶版とする必要がない。このようにメリットも多いが、一方で電子書籍が普及していくための必要条件もある。出版社側からは、コンテンツの不正コピーができないようにセキュリティを確立することが求められる。ユーザー側からは、第一に読みたくなるコンテンツが多数揃っていることや紙に近い見やすい画面を持った端末機器の普及が待たれている。

2003年に電子書籍ビジネスコンソーシアムが設立された。家電メーカー、印刷メーカー、書店、コンテンツ配信業者など19社が発起人になり、電子書籍コンテンツの拡充、促進および普及啓蒙、流通支援などを事業として活動している。2004年時点では、会員となっている企業が84社、製作会社が13社である。これからの電子ペーパー全体の発展が期待される中で注目されている。

## (2) 電子新聞

現在の紙媒体から電子新聞に代ることによって、考えられるメリットを挙げる。紙の使用量が減る。印刷する必要がないため、印刷経費がかからない。トラック輸送などの物流コストがかからない。戸別配達がなくなるためそれにかかる人件費がなくなる。家庭において古新聞の廃棄の煩わしさがなくなる。廃品回収がない。これらによって膨大な資源とエネルギーの節約になる。また地域による情報遅延の問題もなくなる。

表1に日本画像学会技術委員会第7部会により提示された技術的観点で考えられた電子新聞の予想されるロードマップを示す(2003年作成)。

表1 電子新聞のロードマップ

	2005年	2008年	2013年
進歩のポイント	現行技術の組合せ + 軽量化の工夫	フレキシブル化 (フィルム化)	多様化、ユビキタス環境
表示パネル	A5サイズ (見開き A4) 200ppi 静画中心 反射型モノクロ表示 片面のみプラスチック基板 (TFT基板はガラス)	A5サイズ (見開き A4) 200ppi 静画中心 反射型カラー表示 (一部カラー) 両面プラスチック基板 (プラスチック TFT基板)	A4サイズ (見開き A3) 300ppi 動画にも対応 形状は多様化 (雑誌タイプ、ロールタイプ、大型化)
電池寿命	1回の充電で1週間	1回の充電で1ヶ月	無充電 (太陽電池で常時使用可)
情報の入出力	メモリメディア、USB	無線 LAN (家庭内、HotSpot)	ブロードバンド無線 WAN

(出典：川居秀幸、日本画像学会 2003年度技術研究会)

### (3) フレキシブルテレビ

現在、液晶やPDP (プラズマディスプレイ) をはじめとしたフラットパネルディスプレイが大画面テレビとして、実用化されつつあり、さらに有機ELやLEDなど新しい方式によるフラットパネルディスプレイも盛んに開発されている。

次世代のテレビとして、動画対応はむろんであるが、どこへでも持って行ける、ペーパーライクなフレキシブルテレビが期待されている。巻き取った状態で保管され、それを開くことによりいつでもどこでもテレビを見ることができユビキタス時代の巻物型テレビがイメージされている。さらに、大画面化ができるようになると、常時はスクリーンのように巻き取られた状態で壁に掛けられ、テレビを見るときのみ広げた状態で鑑賞するロールスクリーンタイプの壁掛けテレビとして期待されており、本格的な壁掛けテレビ時代の到来が予想される。

### (4) その他の用途

その他の用途として実用化されているものに、スーパーや小売店などのポイントカードやプリペイドカード、医療診察券、アミューズメント施設での利用券などのカード用途がある。また、海外では、小売店の価格表示装置などが販売されている。

この他に、PDA、携帯電話、ポスター、電車中吊り、駅・劇場の案内板、時刻表、POP、荷物タグ、電子カレンダーなど個人、公共、オフィス、流通の幅広い用途に広がる可能性を含んでいる。

### 【電子ペーパー及びフレキシブルディスプレイの用途の参考文献】

#### (a) 電子ペーパーおよびフレキシブルディスプレイの形態

1. 面谷信、紙への挑戦 電子ペーパー、p20 (2003)

### (b) 電子ペーパー及びフレキシブルディスプレイの用途

1. 電子ペーパーの最新技術と応用、シーエムシー、2004年7月、p163、p196
2. 川居秀幸、「電子ペーパーの将来像を考える(その1):電子新聞」、日本画像学会 2003年度第2回技術研究会、p22(2003)
3. 横井利彰、電子ペーパーがわかる本、2003年10月、p29
4. <http://matsushita.co.jp/corp/news/official.data/data.dir/jn040129-2/jn040129-2.html>
5. <http://matsushita.co.jp/corp/news/official.data/data.dir/jn030422-5/jn030422-5.html>
6. <http://www.toppan.co.jp/aboutus/release/article0101.html>
7. 印刷新報、2004年7月19日、p3

### 3. 電子ペーパー及びフレキシブルディスプレイの種類

電子ペーパー及びフレキシブルディスプレイは書き換え方式により物理的、化学的、電気化学的、電氣的に書き換えを行う方式群に分類される。物理的な中には光学異方性と染料分子配向のような分子により表示されるもの、電気泳動、粒子移動、粒子回転、相変化のような粒子により表示されるもの、フィルム的一端が移動することにより表示されるものなどがある。さらに、化学的なものとして分子の発色/相変化により表示されるもの、電気化学的なものとして分子の光吸収により表示されるもの、電氣的なものとして電子とホールが結合して自発光により表示されるものなどに分類される。書き換え方式による電子ペーパー及びフレキシブルディスプレイの種類とその動作方式について次ページの表2に示す。

以下の章で、具体的な電子ペーパー及びフレキシブルディスプレイについて樹形図の構成に準じて説明する。

表2 電子ペーパー及びフレキシブルディスプレイの種類

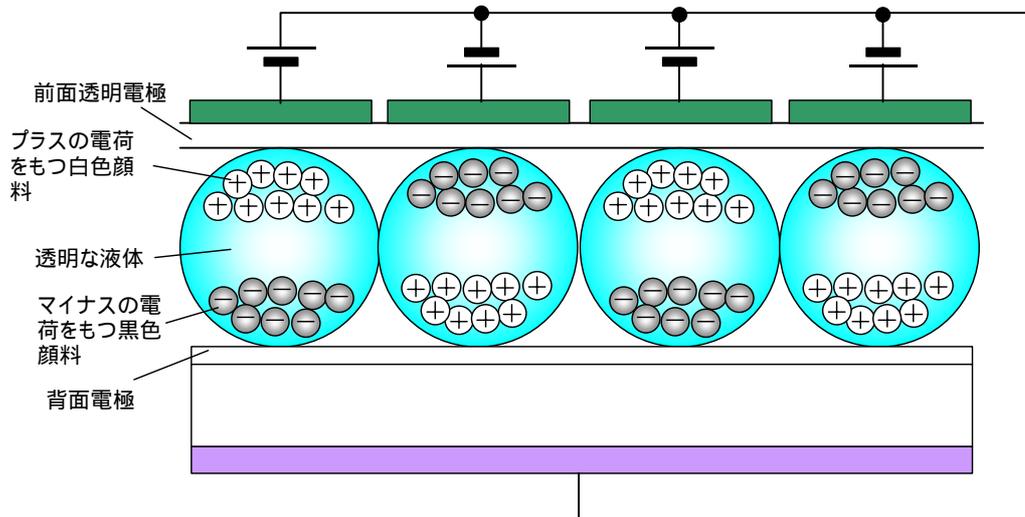
書き換え方式		デバイス	動作
粒子	電気泳動	マイクロカプセル型電気泳動	電界
		水平(In-plane)型電気泳動	電界
		垂直(移動)型電気泳動	電界
	粒子回転	球状ツイストボール	電界
		磁気ツイストボール	磁界
		円柱ツイストボール	電界
	粒子移動	帯電トナー	電界
		電子粉流体	電界
	磁気泳動	磁気泳動型	磁界
		磁気感熱式	磁界 / 熱
	液体移動	エレクトロウェットティング	電界
光散乱 / 相変化	光散乱(透明白濁)	熱	
液晶	光学異方性	コレステリック液晶 / 光導電層	電界、光
		コレステリック液晶	電界
		双安定性ネマチック液晶	電界
		強誘電性液晶	電界
	色素分子配向	2色性色素・液晶分散型	電界 / 熱
フィルム移動	可動フィルム	電界	
発色 / 相変化	ロイコ染料発消色	熱	
光吸収	フォトクロミック	光	
酸化還元	エレクトロクロミック	電界	
	エレクトロデポジション	電界	
自発光	フレキシブル有機EL	電界	

#### 4．電気泳動方式表示デバイス

電気泳動方式は1970年代に松下電器産業の太田らにより発明され、盛んに開発された。その後液晶ディスプレイの実用化とともに電気泳動方式による表示媒体の開発は停滞していたが、電子書籍端末等からの表示技術への要求に適合するものとして、高い反射率と低い消費電力をもつ電気泳動方式が見直されるようになってきた。電気泳動方式は溶媒中に分散された粒子が電界によって移動する電気泳動という現象を利用したものである。現在、電子書籍端末に搭載されて発売されているものは、米国 E-Ink 社を中心に、凸版印刷、ソニー、フィリップスが開発を進めてきたマイクロカプセル型電気泳動方式である。

マイクロカプセル型電気泳動方式は図3に示すように、透明樹脂のマイクロカプセルの中に透明な絶縁性液体とプラスに帯電された白色粒子とマイナスに帯電された黒色顔料を封入し、2つの電極間に電界を印加すると帯電粒子はそれぞれ逆の電位の方向に移動し、白・黒の表示が可能となる。

図3 マイクロカプセル型電気泳動方式の表示原理

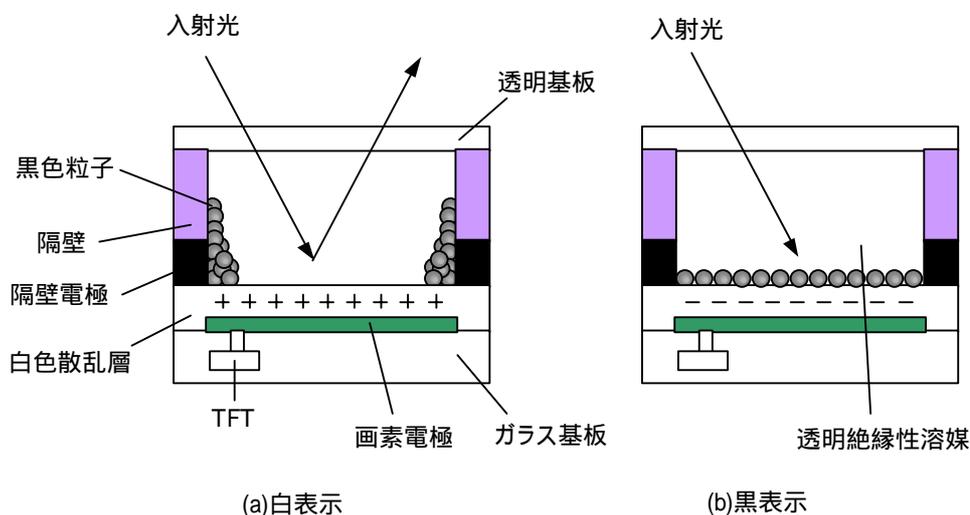


マイクロカプセル型以外の電気泳動方式として、キヤノンなどが開発している水平移動型電気泳動方式と松下電器産業が開発していた垂直型電気泳動方式とがある。

水平移動型電気泳動方式は In-Plane 型ともいわれる。この表示デバイスは観測者サイドから透明基板、帯電泳動粒子が分散した透明絶縁性溶媒、画素を区切る隔壁の表面に電極が形成された隔壁電極（黒色に着色）、入射光を反射させる白色散乱絶縁層、画素電極、ガラス基板という基本的な構成である。帯電泳動粒子は数  $\mu\text{m}$ 、顔料または染料で着色した樹脂からなり、粒子表面には泳動特性を制御する帯電制御層を有する。絶縁性溶媒中には粒子の泳動を安定化させる帯電安定化剤や電極への粒子の付着を抑制する界面活性剤が添加される。黒色の帯電泳動粒子がプラス帯電している場合の表示原理は、まず隔壁電極を共通電極とし、画素電極にプラスの電圧を印加すると、プラス帯電した粒子は隔壁電極側面に集まるために画素電極上の白色散乱層が露出し、観測者サイドでは白表示の画素となる。一方、画素電極にマイナスの電圧が印加されると、粒子が画素電極上を覆うために観測者サイドでは帯電泳動粒子の黒色が観測され黒表示の画素となる。

このように水平移動型電気泳動方式は黒色の帯電粒子が基板面に垂直方向でなく、水平方向に電気泳動することを利用した表示方式である。(図4を参照)

図4 水平型電気泳動方式の表示原理(隔壁電極型)



垂直型電気泳動方式は  $\text{TiO}_2$  などの帯電した白色粒子を染料で着色した絶縁性の液体中に分散させて一対の電極間で電圧を印加して表示面側の電極が帯電粒子と反対の電荷をもつようにすると、帯電した  $\text{TiO}_2$  粒子が表示面側の電極にクーロン力で移動・付着して白色表示が観測されるようになる。この状態で電圧印加をやめても白色粒子は静電吸着や分子間力などによって電極上にとどまり、白色表示が保持される。この方式はマイクロカプセルを使用せず、粒子を液体中に分散させ、電気泳動させる方式で、マイクロカプセル方式の原型ともいえる。

マイクロカプセル化は、電気泳動方式の欠点である泳動粒子の凝集や沈殿を解決する効果を有する。また、表示素子の薄型化を図る場合、マイクロカプセル型の中でも白と黒の2種類の着色顔料を使う二粒子系が一粒子系で問題になるコントラストの低下を防ぐための対策として有効である。

【電気泳動方式表示デバイスに関する参考文献】

1. 太田勲夫ら、PROCEEDINGS of The IEEE、61巻、7号、JULY 1973
2. 小倉一哉、面谷信、高橋恭介、川居秀幸、日本画像学会 Japan Hardcopy '99 論文集 p241(1999)
3. 川居秀幸、金江宣彦、工業材料 2000年48巻2号 p38
4. 松田宏、エレクトロニクス 2001年8号 p27
5. Y.Chen et al., Semiconductor FPD World 2001 8 p178
6. J.Ritter, Information Display 12/01 p22
7. K.Shinozaki, SID 02 DIGEST p39
8. T.Piham et al., SID 02 DIGEST p119
9. D.Button, et al., Flat Panel Display 2002, part 6, p187

10. 中西正浩、池田勉、印刷雑誌 2002(85 巻)5 号 p19

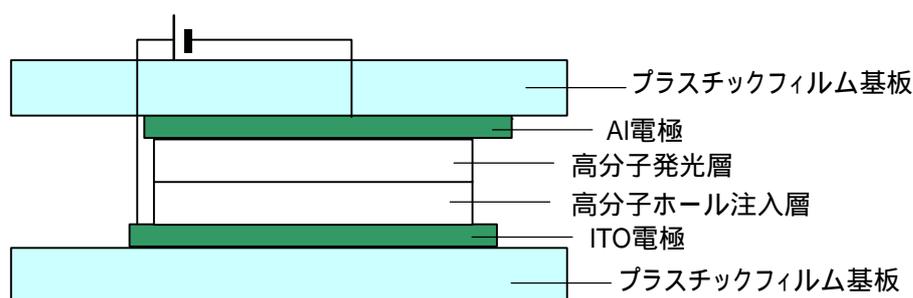
11. 吉澤秀和、機能材料、2002 年(22 巻)、9 号 p36

## 5. フレキシブル有機 EL ディスプレイ

動画対応フレキシブルディスプレイは電子ペーパーと異なり、薄さ、軽さ、屈曲性、低消費電力などの特性のほかに、ガラス基板の LCD や有機 EL ディスプレイに要求される解像度、階調、フルカラー、明るさ、動画表示などの表示特性が要求される。動画対応フレキシブルディスプレイとして、フレキシブル有機 EL ディスプレイやフレキシブル強誘電性液晶ディスプレイが開発されているが、いずれもまだ実用化には至っていない。

フレキシブル有機 EL ディスプレイの基本的な構造は透明電極の付いた透明プラスチックフィルム基板とアルミニウムのような金属薄膜電極の間に高分子発光材料等の発光層を挟んだ構造である。(図5を参照)このフレキシブル有機 EL に使用されるプラスチックフィルム基板は有機 EL の劣化の原因となる酸素や水分を遮断するバリア層が必要とされる。金属電極側のプラスチックフィルム基板は必ずしも必須ではないが、この支持フィルムによって安定性の向上が期待される。

図5 フレキシブル有機 EL ディスプレイの基本構造



フレキシブル有機 EL の発光機構は基本的にガラス基板の有機 EL 素子の発光機構と同様に、外部から電子とホール（正孔）を注入し、発光層においてこれらの再結合エネルギーによって発光中心を励起することで発光する。電荷のキャリア（担体）は化学的にはラジカルアニオン（電子）とラジカルカチオン（ホール）であり、電極 - 有機化合物界面において有機分子に電子を与え、還元してラジカルアニオンを生成し、電極 - 有機化合物界面で電子を奪い、酸化してラジカルカチオンを生成する。この有機化合物の中での電子の移動は隣接する分子間の電子授受によるホッピング機構である。発光材料は高い量子収率を有することや成膜性がよいこと、キャリア輸送性が高いことなどが要求される。発光効率を向上させるために、高分子発光材料や dendrimer 発光材料などが研究開発されている。

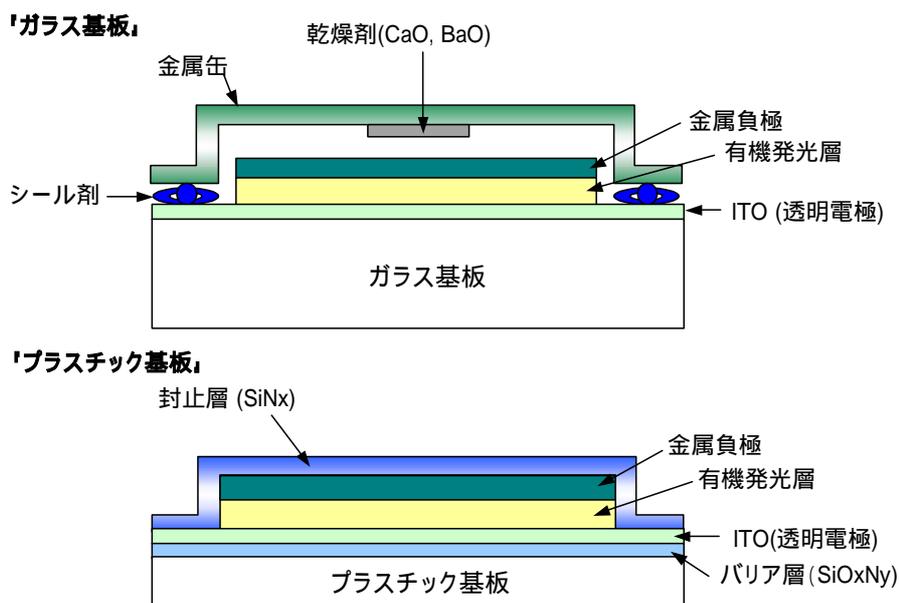
フレキシブル有機 EL ディスプレイの開発にはディスプレイ画素を構成する発光素子とその制御素子を有機デバイスで構成し、ディスプレイのフレーム周波数に適合した発光保持時間を有する有機アクティブ発光素子を開発するとともに、ディスプレイ画素のマトリックス駆動を行う高速 TFT（薄膜トランジスタ）の開発が必要である。フィルム基板は高温に弱いこともあり、フレキシブル有機 EL の駆動用 TFT 基板としてポリシリコン TFT を直接形成する場合には、形成プロセ

ス温度は通常の 400 から 100~150 に低くすることが必要である。しかし、低温でポリシリコン TFT を形成する場合、 $\text{SiO}_2$  絶縁膜の膜質が問題となる。この問題を解決するため、まずガラス基板に TFT を形成し、これを一時基板に転写し、再度プラスチックフィルム基板に転写する 2 回転写プロセスが開発されている。また、低温で TFT が形成できるため、フレキシブル有機 EL の駆動用 TFT 基板として有機高分子を用いた有機 TFT が最近盛んに研究開発されている。

フレキシブル有機 EL の製造において、高分子型有機 EL は塗布法でフィルムにコーティングすることができるので、コストが低減できる可能性が高いと期待されている。また、RGB の 3 色発光材料をインクジェット方式などの加工方法で塗り分けることによってフルカラー化も可能である。

ガラス基板の有機 EL ディスプレイの封止は封止缶や乾燥剤を利用する封止技術が開発されているが、フレキシブル有機 EL においては膜封止による封止技術の開発が必要である。最近、パイオニアにより  $\text{SiNx}$  や  $\text{SiO}_2$  のような無機系材料によるフレキシブル有機 EL におけるバリア膜の研究が行われている。これらのバリア膜は主に水分に対する封止効果が期待されているが、水分への封止性では  $\text{SiNx}$  が優れているが、 $\text{SiNx}$  は透明性に問題があるので、表示サイドに使用できないため、 $\text{SiNx}$  と  $\text{SiO}_2$  の複合膜が検討されている。

図 6 有機 EL 素子のデバイス構造



#### 【フレキシブル有機 EL ディスプレイの参考文献】

1. C.W.Tang et al., J.Appl.Phys., 65, 3610 (1989)
2. J.Kido et al., Appl.Phys. Letter, 63, 2627 (1993)
3. 時任静士ら、ディスプレイアンドイメージング、5巻、p307 (1997)
4. H.Sirrihaus, N. Tessler and R. H. Friend, Science, 280, 1741 (1998)
5. A. Bodabalapur, Z. Bao, A. Makhija, J.G.Laquindaum, V.R. Raju, Y. Feng, H.E.Katz and J. Rogers, Appl. Phys. Lett.,73, 142, (1998)
6. K.Kudo. D.X. Wang, M. Iizuka, S. Kuniyoshi and K. Tanaka, Synth. Metal, 111, 11 (2000)

7. M.S.Weaver et al., Information Display 2001年 5, 6月号 p26
8. 宮寺 敏之ら、月刊ディスプレイ 01、7月号 p11
9. 中村 全克、電子材料 2002、7月号、p26
10. C.E.Fores et al., SID02 DIGEST p1092
11. J.A.Nichols et al., SID02 DIGEST p1368
12. K.Kudo. S.Tanaka, M. Iizuka and M. Nakamura, Thin Solid Films, 330, 438 (2003)

## 6. 液晶表示デバイス

元来紙などに印刷されたハードコピーは反射光によって文字・画像が認識されているが、液晶表示方式の電子ペーパーも「紙のように薄くて、軽い」を実現するために、基本的にはバックライトを使用しない反射型液晶による表示方式が使われる。通常の LCD では表示素子と駆動装置が一体化されているが、電子ペーパーの場合には表示素子と書き込みや消去のための駆動装置が一体化されている場合と別に設置される場合がある。液晶表示型電子ペーパーとして、コレステリック液晶と高分子分散型液晶が使用されることが多い。

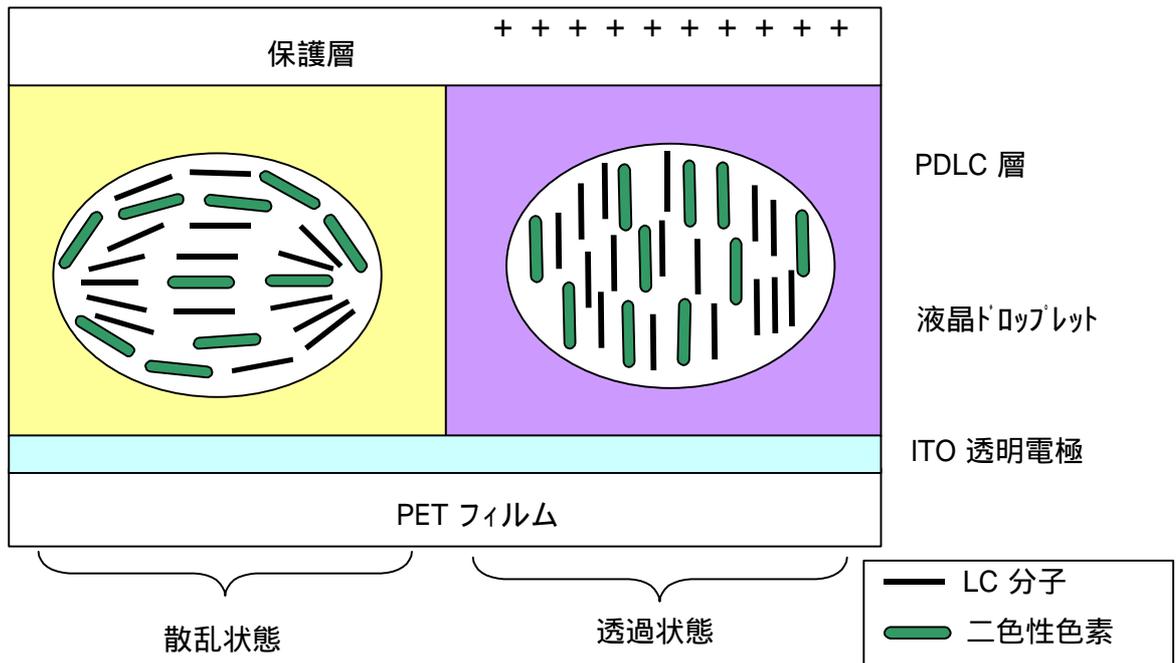
光アドレス型液晶表示素子は内面に透明電極をもつ 2 枚の透明基板の間に光吸収層を介して可視光を選択的に反射するコレステリック液晶表示層と光照射(書き込み)によるインピーダンスが変化する有機光半導体 (OPC) 層を積層した構造である。

コレステリック液晶表示素子は、コレステリック液晶の 2 つの異なる分子配向を利用して表示を行う。液晶分子は短いピッチの螺旋形状を有しており、この螺旋構造により特定の光が反射される。螺旋軸がセル方向に向いている状態 (プレーナ) では、特定の波長の光を反射して白を表示させる。一方、螺旋軸がセル内に横向きになっている状態 (フォーカルコニック) では、光は透過し基板の黒色が表示される。

高分子分散型液晶表示素子はポリマー中に液晶が分散された構造をしている。高分子分散型液晶表示素子は液晶の屈折率と液晶が分散している高分子の屈折率をうまく適合させることにより、散乱 (白濁) と透過 (透明) 状態を制御することができる。高分子分散型液晶表示素子には、ゲスト - ホスト型 (図 7 を参照) とポリマーネットワーク液晶がある。

フレキシブルディスプレイとして、フレキシブル強誘電性液晶ディスプレイが開発されている。ポリマー繊維と強誘電性液晶の複合膜を透明電極付プラスチックフィルムによって挟んだ構造で、このデバイスを偏光板ではさみ、電圧を印加すると光変調が生じ、表示が可能となる。ここで、一定方向に伸びたポリマー繊維のネットワーク構造が柔軟なフィルム基板を支える役目を果たしている。

図7 高分子分散型液晶表示素子の表示原理（ゲスト-ホスト型）



【液晶表示デバイスの参考文献】

( a ) メモリー型及び高反射率型液晶表示デバイス

1. 吉川宏和、面谷信、高橋恭介、1999年日本液晶学会討論会 p264(1999)
2. 有沢等、Japan Hardcopy 2000 論文集 JH200017A p89
3. 藤沢宣ら、電子情報通信学会 信学技報、EID2001-131、2号(2002年)
4. 関根等、液晶、第6巻 3号 p290 (2002)
5. 三田 恒正、印刷雑誌 2002、85巻、5号、p13
6. S.P.Gorkhaili et al., SID 02 DIGEST L-1 p1004
7. 植田秀昭、O plus E, 25巻、3号 p296 (2003)
8. 高橋泰樹、都甲康夫、電子ペーパーの現状と実用化への課題、p15 (2002年)

( b ) フレキシブル強誘電性液晶表示デバイス

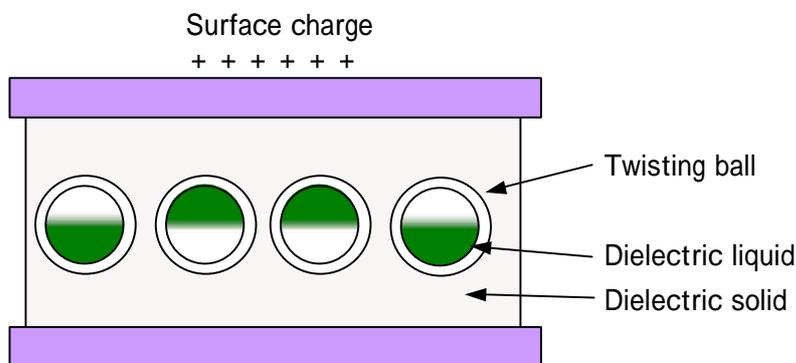
1. D. Devis et al., SID 98 DIGEST p901
2. 藤掛等、月刊ディスプレイ 02 5月号 p23(2002)
3. P.Slikkerveer et al., SID 02 DIGEST p27
4. R.Penterman et al., SID 02 DIGEST p1020
5. 藤掛等、液晶 第7巻 1号 p59(2003)

## 7. その他の方式の表示デバイス

その他の方式の表示デバイスとして、ツイストボール方式、粉体移動方式、サーマル方式などがある。

電気泳動方式が帯電粒子を電極間で移動する方式であるのに対し、ツイストボール表示方式は2色に塗り分けられた帯電球体や円柱状素子を電界や磁界によって回転させて表示する方式である。図8に示すように、球状ツイストボール方式は半球面ごとに色（たとえば白と黒）と帯電状態が異なる10～100 $\mu\text{m}$ の球径のボールが一对の電極に挟まれた透明な絶縁性シートの中に埋め込まれる。2色ボールはボール径よりも少し大きめのキャビティ内のシリコンオイルのような絶縁性液体中に支持されており、直接絶縁性シートとは接触していないため、電圧印加すると帯電している2色ボールが回転し、半球面のどちらか一方が観測される。回転したボールは電圧を解除しても静電吸着などによりキャビティの壁に固定され、一定の状態が維持される。印加電圧の極性を変えることにより2色ボールに逆の回転を与えることで異なる色を表示することができる。円柱状ツイスト方式は円柱状透明樹脂の鞘の中に帯電状態が異なる白、黒の2色の樹脂が芯構造で埋められている。電圧を印加すると、ツイストボールと同じように円柱が回転して白色、あるいは黒色を表示することができる。この方式はさやエンドウ型表示方式ともいわれる。また、電界方式で帯電したツイストボールを電圧印加で回転・駆動する代わりに磁性を帯びた2色ボールを磁石によって回転駆動することで2色表示を行う方式を磁気ツイストボール方式という。

図8 ツイストボールの構造と原理



粉体移動方式表示デバイスには帯電トナー型表示方式と電子粉流体方式がある。前者は帯電したトナー粒子を電界によって移動させて文字や画像を表示する方式である。この表示素子是一对の電極基板にはさまれた空間にお互いに異なる光学特性（白、黒の色）と帯電特性をもった2種類の絶縁性粒子が封入されており、基板と基板の間は空気などの気体である。表示面側の基板は透明電極と透明基材からなり、基板内面に付着した粒子を外部から基板を通してみることができる。後者においてトナーの代わりに使用される電子粉流体は白色で、粒体と粉体との中間的な性質を示す。浮遊状態になるとかさ密度が10倍近くまで増加して高い流動性を持ち、電気に敏感に反応して帯電時には粒子同士が反発する性質がある。電子粉流体は高速応答性、高反射率、広視野角、低消費電力、メモリー性をもった材料で液晶に代りうる電子ペーパー用材料として注目されている。この表示デバイスの構造は簡単で、電子粉流体自体のコストも液晶に比べて安いといわ

れている。

サーマル方式表示デバイスには、発色方式と光散乱方式がある。前者はこれまで感熱記録紙で使用されているロイコ染料の発色現象を利用し、熱的にコントロールすることによって書き換え可能な表示ができる。ロイコ染料は単独では無色であるが、酸性物質の顕色剤と結合すると、化学構造が変化して発色する化学変化タイプである。後者は熱による相分離、または相変化により透明状態と白濁状態を可逆的に変化させることで光散乱や屈折率、透過率の変化を利用する物理変化タイプである。たとえば、室温で高分子中に脂肪酸結晶があっても、空隙がないため光を透過して透明である。この状態で加熱すると、高分子がガラス転位点以上となり、脂肪酸結晶が融解するが、この状態で急冷すると樹脂は固化するが、脂肪酸は過冷却となりすぐに結晶化せず、しばらくしてから結晶化する。この結果、光が散乱されて白濁状態となる。

上記以外のその他の方式の表示デバイスとして、エレクトロデポジション方式、可動フィルム方式、エレクトロクロミック方式、エレクトロウエット方式、磁気泳動方式などが開発されている。

エレクトロデポジション方式表示デバイスは、白色のTiO<sub>2</sub>粒子を分散させたゲル状の固体電解質にヨウ化銀を溶解させておくことで、電極間に電圧を印加すると、電気化学反応によって固体電解質の中に溶解していた銀イオンが表示側の透明電極上に析出し、黒色表示となる。逆に、反対の電位を印加して析出した銀を固体電解質に溶出させると、白色のゲル状固体電解質による白色表示が得られる。この方式の特長は高い反射率を示すことである。

可動フィルム方式表示デバイスは、かわら屋根状に並べられた白インクが塗られたフィルムの隙間から黒インクが塗られたフィルムを出し入れする方法である。この表示方法は黒インクが塗られたフィルムの代わりにシアン、マゼンタ、イエローのフィルムを隙間から出し入れすることによる減法混色方式によってカラー表示も可能である。

エレクトロクロミック方式表示デバイスは透明電極に染料を吸着させ、両電極から電解質溶液を通して電圧を印加して有機染料を電氣的に可逆的に酸化・還元状態にすることにより発色させる方法である。

エレクトロウエット方式表示デバイスは、画素となる着色オイルに電圧をかけることによって表面張力を変化させ、着色オイルを変形させて表示させる方法である。構造は、基板、透明電極、疎水性絶縁膜、着色オイル、水などからなる。電圧をかけない状態ではオイルの色が表示され、電圧をかけるとオイルが変形（移動）して基板の白が表示される。電気泳動と比較して応答速度が高速で、反射率も高い。カラー化はカラーフィルタを使用して実現する。

磁気泳動方式表示デバイスは、セルまたはカプセルの中に白色の顔料を懸濁させ、そこに磁性粉を入れ磁界によって磁性粉を移動させて表示させる方法である。技術的には開発時期の早いものであるが、解像度やコントラストが低い、長時間の印字保持は難しいなど問題点が多い。しかし、近年、磁気泳動とサーマルプリンター技術を組み合わせた磁気通電感熱方式が開発された。これは、樹脂フィルムで挟まれ固化した層状のワックスに磁性粉を閉じ込めたペーパー状のメディアに対し、サーマルヘッド又はマトリックス電極と磁界を組み合わせたプリント方法によって表示、消去を行う。カラー化の可能性も示されている。

## 【その他の方式の表示デバイスに関する参考文献】

### ( a ) ツイストボール方式表示デバイス

1. N.K.Sherdon, Japan Hardcopy, ' 98、p83 ( 1998 )
2. 齊藤 真樹、日本画像学会誌 第 28 巻 2 号 (1999) p57
3. 松田 宏、エレクトロニクス 2001 年 8 月号 p27
4. B.Peas, H.Devis, SID 02 DIGEST p228
5. Electronic Journal 2002 年 11 月 p99

### ( b ) 粉体移動方式表示デバイス

1. 河野 修、Semiconductor FPD World 2002 8 号 p35
2. T.Kawai et al., SID02 DIGEST L4/1017

### ( c ) サーマル方式表示デバイス

1. 堀田吉彦、電子写真学会誌、35 巻、3 号、p148(1996)
2. 花田 秀美、日本画像学会誌 第 38 巻 第 2 号 (1999) p57
3. 筒井恭治、月刊ディスプレイ 02、5 月号、p12 ( 2002 )
4. <http://www.uchida.co.jp/tsushin/nl/nl-o/o051.html>

### ( d ) その他の方式の表示デバイス

1. 小林範久、日本画像学会誌、38 巻、2 号、p122(1999)
2. M.W.Miles, SID 00 DIGEST p32
3. 菅原 淳、コンバーテック 2000 8 号
4. K.Shinozaki, Proceeding of SID, 33 巻、1 号、p39(2002)
5. 日経マイクロデバイス 2002 7 月 p68
6. H.Petterson et al., SID 02 DIGEST p1123
7. Semiconductor FPD World 2003 3 月 p42
8. R.A.Hayes, B.J.Feenstra, Nature 425, p383(2003)
9. <http://inetgw.shinsho.co.jp/TMpaper/>

## 8 . 電子ペーパーおよびフレキシブルディスプレイの材料

### ( 1 ) 電極材料

陽極材料には、透明電極である ITO 電極が最も一般的に使用される。光透過率が高く、電気抵抗が低い材料である。ITO 以外の材料としては、インジウム亜鉛酸化物 ( InZnO ) や共役系の導電性ポリマーが使用される。InZnO は非晶質の材料であり、今後の研究開発によっては次世代の陽極材料となりうる。また、共役系の導電性ポリアニリンやポリエチレンジオキシチオフエンとポリスチレンスルホン酸からなる導電性高分子 ( PEDOT/PSS ) も ITO 電極の代替材料としての可能性が考えられている。この導電性ポリマー ( PEDOT/PSS ) は水溶液から製膜することができ、プラスチック基板を使用したフレキシブルな電子ペーパーなどに適している。

陰極材料には仕事関数の小さな金属、合金が用いられる。アルカリ金属、アルカリ土類金属、及び第 Ⅱ 族金属が考えられるが、比較的安定で安価なマグネシウムが広く使われている。ただし、マグネシウム単独では酸化されやすいので酸化防止のために銀や銅を加えている。

## (2) 基板材料

フレキシブルな電子ペーパーなどには、透明性と機械的強度を持った透明プラスチック基材が適している。基材としてポリエチレンテレフタレート、ポリカーボネート、ポリエーテルスルホンなどの熱可塑性ポリマー、または、有機溶媒に可溶なアクリル系ポリマーが使われる。

## (3) 表示デバイスの表示材料

### マイクロカプセル材料

米 E-Ink 社に代表されるマイクロカプセル型電気泳動方式の材料について取り上げる。マイクロカプセルの材料には、ゼラチン - アラビアゴム、または尿素 - ホルムアルデヒド樹脂が使われている。O/W 型エマルジョン重合によってマイクロカプセルを作製する。マイクロカプセル化には分散微粒子の比重とマイクロカプセル内に封入される絶縁液体の比重のコントロールが重要といわれている。

### 帯電粒子

電気泳動方式に使用される帯電粒子のうち、白色粒子はサブミクロンサイズの  $TiO_2$  微粒子やアルミナ微粒子が用いられている。黒色粒子としてトナー粒子様のものもが使われている。

### 絶縁性流体

マイクロカプセル型電気泳動方式の絶縁性流体には、脂肪酸炭化水素やドデシルベンゼン等の非水系溶媒が使われ、水平型電気泳動方式にはイソパラフィンが使われている。ツイストボール方式のキャビティ内に封入する絶縁性流体にはシリコンオイル等が使われている。

## (4) フレキシブル有機 EL ディスプレイの表示材料

### 発光材料

発光材料には、大別して高分子系、低分子系がある。このほかに近年、 dendrimer を発光材料に応用する研究も行われている。

高分子発光材料としては、蛍光性のポリ(p-フェニレンビニレン)(PPV)や 系共役高分子系のポリフルオレン(PF)材料がある。これらの高分子材料では置換基を導入させることによってキャリア輸送性を制御することができるため、様々な高分子化合物が合成されている。またこれらと異なる系として、ポリビニルカルバゾール(PVK)などの蛍光色素含有(分散)高分子材料がある。高分子溶液に蛍光色素を溶解し、スピンコート法などで陽極上に膜形成させ良好な特性が得られている。

低分子発光材料としては、ペリレン(青)、キナクリドン(緑)、クマリン(緑)、DCJTb(赤)などが代表的な化合物である。発光層として形成する手段は通常、蒸着法が用いられている。

金属錯体としては、トリス(8-キノリノラト)アルミニウム錯体( $Alq_3$ ; 緑)、ビス(ベンゾキノリノラト)ベリリウム錯体( $BeBq_2$ ; 緑)、ビス(8-キノラト)亜鉛錯体( $Znq_2$ ; 黄)、フェナントロリン系ユーロピウム錯体( $Eu(TTA)_3(phen)$ ; 赤)などがある。



2004年に独立行政法人 産業技術総合研究所、株式会社日立製作所および財団法人 光産業技術振興協会が、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構の支援・援助を受けて、有機 TFT を用いた高精細カラー液晶ディスプレイの試作に成功した。

液晶表示素子を作製する工程でのプロセス負荷を最低限に抑えることができる塗布保護膜を開発することによって、小さいサイズの有機 TFT でも高い精細度を実現できるようになった。また、電極の形状に工夫を凝らし、有機半導体と電極の界面に発生する接触抵抗を大幅に低減することができ、有機 TFT の性能を向上させることができるようになった。この劣化防止と高性能化の技術開発によって有機 TFT サイズの小型化が可能となり、電子ペーパーを低コストで提供できる技術として、有機 TFT の実用化が期待されている。

【電子ペーパーおよびフレキシブルディスプレイの表示材料の参考文献】

1. 電子ペーパーとフレキシブル FPD、東レリサーチセンター、p66 (2003)
2. 特許流通支援チャート「有機 EL 素子」、p5 (2002)
3. 日経先端技術、No.49、2003.11.13号、p13
4. 佐藤佳晴、有機 EL 材料とディスプレイ、シーエムシー、p258 (2001)
5. 榎田年男、権泰善、電子材料 2003、12月号、p73
6. [http://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2004/pr20040802/pr20040802.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2004/pr20040802/pr20040802.html)

9. 電子ペーパーおよびフレキシブルディスプレイの要求特性

電子ペーパーおよびフレキシブルディスプレイは用途によって、優先される研究開発の目標が異なる。例えば、電子新聞、電子書籍用の電子ペーパーは視認性、書き換え性、記録保持性、可搬性、薄型性が重要視される。カラー表示や加筆性は次の段階の開発目標と考えられる。一方、屋外で使うポスター、案内板、時刻表などは、カラー表示や耐久性（紫外線、温度変化、湿度など）大型化に重点が置かれる。重要度はその用途によって異なるが紙と同等の視認性が最も優先される開発目標である。電子ペーパーの達成目標を表3に示す。

表3 電子ペーパーの達成目標

分類	項目	達成目標
基本機能	視認性	印刷物レベルの見やすさ
	書き換え性	消去・再書込み可能
	像保存容易性	維持エネルギー不要が理想
	書込みエネルギー	小さいほど望ましい
付加機能	加筆性	表示面に加筆可能
	加筆情報取り込み	表示情報に即時取り込み
	カラー表示	フルカラー表示
取扱い性	可搬性	持ち運びができる
	薄型性	紙の厚さが理想
	屈曲性	紙状に折りたためるのが理想

(出典：面谷 信、紙への挑戦 電子ペーパー)

動画対応フレキシブルディスプレイではペーパーライクなテレビがターゲットになる。そのため、動画対応フレキシブルディスプレイは通常のテレビ用ディスプレイに対する要求性能と同様の高速応答速度、フルカラーといった特性が要求されるほかに、持ち運びのために丸めたりできるように屈曲性や折り曲げ強度などのフレキシブルな機械的特性が要求される。

次に、表示品質、コントラスト、応答速度など、要求特性について述べる。

#### (1) 表示品質

紙に匹敵する見やすさという点から、現在は新聞紙の反射率 50~60%、コントラスト比 10:1 程度を目標にして技術開発が行われているといわれている。

可動フィルム方式、サーマル方式(発色型)、エレクトロデポジション方式は 70%以上の高反射率を実現している。サーマル方式(発色型)は基材が紙の場合で約 70%、TiO<sub>2</sub>を練り込んだ PET の場合で約 80%を達成している。エレクトロデポジション方式は、透明電極のすぐ下に白色の TiO<sub>2</sub>粒子を分散させた固体電解質があるため、白色表示のときに外部からの光を反射しやすい構造になっていて高い反射率を得ることができる。

一方、液晶方式については反射率を上げることが最大の課題といえる。ポリマーネットワーク型液晶は液晶層中に特殊な高分子によるネットワーク構造を形成させたもので、ポリマーネットワークの作用により液晶分子の配列が不規則な状態を誘起して光を散乱させ「白」を表示する。ポリマーネットワークの表面構造には、微粒子連結構造と平滑構造があり、反射率は平滑構造の方が高い。また、ポリマーネットワークの網目サイズにも大きく依存している。反射率はポリマーネットワーク構造の他に液晶の複屈折率( $n$ )やセル厚にも左右される。複屈折率の増加に伴い反射率は高くなる。また、セル厚を増すと反射率が高くなるが、それに伴って駆動電圧も上がるためにセル厚を上げる方法にも限度がある。

コントラストについては、帯電トナー型、エレクトロデポジション型が高いコントラスト比を実現している。帯電トナー型は着色した粒子を直接見ることになるので、液晶系に比較して高いコントラスト比を得ることができる。

視角特性については、どの方向からでも均一に見えることが望ましい。紙はどのような角度で入射した光も拡散的な反射特性によって、あらゆる角度にほぼ均一に反射する性質を持つ。この性質により、紙の印刷物はどの方向から見ても変わらない良好な視認性を持つ。電気泳動方式、ツイストボール方式、トナー型、エレクトロデポジション型、サーマル方式、フレキシブル有機 EL は、液晶ディスプレイでいわれるような視野角の問題はなく、その点では視認性に優れている。

表 4 に各方式による反射率とコントラストの比較を示す。

表4 各方式による反射率とコントラストの比較

	反射率 (%)	コントラスト
マイクロカプセル型電気泳動方式 [E-Ink]	35	8～10：1
液晶表示型（光書込み方式） [富士ゼロックス]	25	4：1
液晶表示型（ポリマーネットワーク型液晶） [大日本インキ化学工業]	35	16：1
粉体移動方式（帯電トナー型） [富士ゼロックス]	41	20：1
粉体移動方式（電子粉流体方式） [ブリヂストン]	41	10：1
可動フィルム [東芝]	70	15：1
サーマル方式（発色型） [リコー]	70	-
エレクトロデポジション型 [ソニー]	73	20：1
新聞紙	50～60	10：1

### （2）応答速度

粒子移動系は液晶等と比べ応答速度が遅いことが弱点となりやすい。電気泳動方式の応答速度は100ミリ秒といわれており、液晶の10～30ミリ秒と比較すると1桁遅い。動画や静止画の高速なスクローリングに対しては対応が難しい。実用化されているE-Ink社のマイクロカプセル型電気泳動方式の応答速度は150ミリ秒である。粒子移動系の中でも電子粉流体方式では、粒子が液体ではなく空気中を移動するために応答速度が飛躍的に向上し、0.2ミリ秒という高速応答性を実現している。これは液晶より2桁速く、動画への対応が可能である。

エレクトロデポジション型は一般に応答速度が遅いと言われている。応答速度は表示部からの集電部の設置の仕方に影響され、表示部面積に対して集電領域が長くなればそれだけ応答速度が速くなる。また、セル抵抗を小さくすることによって応答速度を上げることも可能であり、電解質に高分子固体電解質を採用しイオン移動度を高めることで、応答速度を50ミリ秒まで上げている。エレクトロウェットティング方式は10ミリ秒と液晶並の応答速度を実現しており、原理的には動画にも対応できる速さである。

フレキシブル有機ELは応答速度がマイクロ秒レベルと高速であるため、動画表示にも充分対応することができる。

### （3）メモリー性

メモリー性は電子ペーパーにおいて重視される機能の一つである。電子ペーパーは電源を切断しても表示が保持されることが望ましい。反射型でないタイプの液晶ディスプレイは表示のための照明電力が必要となるため、バッテリーを内蔵しなくてはならないのでその分、重量が重くなり携帯性が悪くなる。同様にフレキシブル有機ELも一定時間同一画像を表示するために相当の消費電力が必要であり、メモリー性の点から電子書籍端末等にはあまり向かないとも考えられる。

#### (4) フレキシブル性

紙のメリットである扱い易さを考えると、曲げたり、丸めたりできる要素も重要である。ポスターや案内板のような用途では、曲げることができれば丸い柱にも貼ることができる。さらに持ち運びのために丸めたりできれば便利である。

また、表示媒体の形態的な特性が人間の知的判断を伴う文書読解作業のしやすさにどのように関わっているかという点に関し実験した例がある。その中で、紙が読むための表示媒体として必ずしも絶対的ではないという注目すべき結果が報告されている。実験では、厚み、重さなどを変えた素材（塩ビ、PET、アルミ、ゴムなど）で表示媒体を作成し、読みやすさ、快適感の評価を行っている。結果は紙が最も読みやすいのではなく、少しコシ（剛性感）のある形態のものが読む作業に適していると報告されている。このような結果を踏まえてフレキシブルディスプレイを開発することが重要である。

#### (5) 耐久性（寿命）

電子ペーパーは、繰り返し使用できることが特長であるため耐久性も重要である。例えば、ポスター、案内板、時刻表など屋外での使用が目的であれば、温度、湿度、紫外線などの環境要因も考慮しなければならない。これらの影響で表示が不安定になったり、表示デバイスの表面が劣化してしまうことは避けなければならない。表示デバイスを落としたり、持ち運びによる振動などで破損させた場合、ケガをしないように、また有毒物質や引火性の溶剤が漏れたりしないような対策も必要である。また、動画対応のフレキシブルディスプレイでは、通常のテレビと同様に5万時間程度の寿命が求められるものと考えられる。

#### (6) 低消費電力

表示保持に電力を使用しないこと、駆動のための電圧が低いことが低消費電力につながる。電子ペーパーは、何百回、何千回と書き換えて使用するため、低消費電力化は重要である。

#### (7) カラー表示

現在開発中の電子ペーパーは、モノクロ表示レベルのものが多いが、技術的にはカラーフィルタを重ねればカラー化も可能である。バックライトを使用しない反射型パネルでは、カラーフィルタを載せる前の状態で十分な明るさがないと、カラーフィルタによって表示が暗くなってしまう。マイクロカプセル型では、カラーフィルタの一つの画素を3つの領域に分け、赤、緑、青のストライプの組を整列させる。3色それぞれの下のマイクロカプセルを白、黒、灰色と制御すれば、フルカラー化が実現できる。In-Plane型においても同様のカラー化が可能と考えられる。光アドレス型コレステリック液晶では、コレステリック液晶の誘電特性を変えたものを3層構成して、それぞれの層に対応した電圧駆動パターンを用意する。層ごとの書込みを制御することで8色表示が可能であると報告されている。

## ( 8 ) 動画表示

電子ペーパーは当面、静止画表示が開発目標に設定されているが、将来的には動画表示も重要な性能になってくると予想される。ただし、用途によっては静止画表示で充分であり動画表示までは要求しないものもある。技術的には応答速度を速めれば動画にも対応できると考えられる。

## ( 9 ) 加筆性

加筆性は電子ペーパーの付加機能としての要素が強く、当面は必須のものではない。ペンなどの筆記用具で表面に手軽に書き込みができれば、紙の特性により近づけることができる。さらにその情報をデジタルデータとして自由に編集できるようになればより望ましいが、これはかなり高度な目標である。

### 【電子ペーパー及びフレキシブルディスプレイの要求性能の参考文献】

1. マイクロカプセル型電気泳動方式：檀上英利（凸版印刷）電子ペーパーの最新技術と応用、p105（2004）シーエムシー
2. 光書込み方式：S.Yamamoto, H.Kobayashi, T.Kakinuma, T.Hikichi, N.Hiji, T.Ishii, Y.Harada, M.Koshimzu, K.Maruyama, T.Niitsu, T.Suzuki, D.Tsuda, H.Arisawa(Fuji Xerox Co., Ltd.), pp362-365, SID 01 Digest, 2001
3. ポリマーネットワーク型：日経先端技術、2003.9.8、No.45、p14
4. ポリマーネットワーク型：藤沢宣、林正直、丸山和則、中田秀俊、相沢政男、米原祥友（大日本インキ化学工業株）電子情報通信学会技術研究報告 VOL 101 NO.645、25～30頁、2001年
5. 帯電トナー型：三田恒正（富士ゼロックス株）月刊ディスプレイ 2002、5月号、p6
6. 電子粉流体：連載ペーパーレス社会の夢、IP&Technology ダイヤモンド社、2003/9、p4
7. 可動フィルム：菅原淳、Richard Lang（株東芝）コンバーテック、2000年8月、p6
8. サーマル方式：筒井恭治（株リコー）電子材料、2003年4月、p49
9. サーマル方式：連載ペーパーレス社会の夢、IP&Technology ダイヤモンド社、2003/10、p4
10. エレクトロデポジション型：Kenji Shinozaki(Sony Corporation), SID 02 Digest, pp.39-41, 2002
11. エレクトロデポジション型：篠崎研二（ソニー株）フラットパネルディスプレイ 2003 戦略編、p228
12. 新聞紙の反射率及びコントラスト比：Kenji Shinozaki(Sony Corporation), SID 02 Digest, pp.39-41, 2002

以上