《5》 メモリー機能のあるディスプレイ(電子ペーパー)

鈴木 明[†]

キーワード 電子ペーパー, メモリー, 粒子移動, 電気泳動方式, コレステリック液晶

1 ま え が き

ここでいうメモリー機能のあるディスプレイとは、電気を遮断しても画像を維持することができ、かつバックライトを用いず、反射型で見えるディスプレイを指す。前者では、省電力に貢献し、後者では、太陽光下でも見やすく、目に優しい。このディスプレイは、後述するようにいろいろな技術、方式が展開されており、ここでは“電子ペーパー”と称す。

図1に電子ペーパーの歴史を示す。多くのプロトタイプや商品が続々と登場、関連技術也多岐にわたり、それぞれ進化している。電子ペーパーは、いろいろな応用展開がなされており、デジタルサイネージもその一つで、その可能性は高そうである。

2 電子ペーパーの技術内容

電子ペーパー技術内容の分類は、表1の左2列に示される。最近の進展度合いから、その技術は、大きく①粒子移動タイプ、②液晶タイプ、③その他の方式に分かれ、下記に、概要を説明する。

(1) 粒子移動

粒子が移動して画像形成、表示するもので、主として、マイクロカプセル型電気泳動方式、マイクロカップ型電気泳動方式、電子粉流体方式が検討されている。

マイクロカプセル型電気泳動方式¹⁾²⁾は、すでに商品化されている。液体中の帯電粒子の電気泳動を利用したもので、透明なマイクロカプセル内の絶縁性液体中に異なる極性を有する黒色微粒子と白色微粒子を入れ、カプセルを挟

図1 電子ペーパーの歴史 (口絵カラー参照)

[†] 株式会社リコー 研究開発本部

"Reflective Display with Memory Effect" by Akira Suzuki (Ricoh Co., Ltd., Yokohama)

表1 電子ペーパー技術分類、および最近のSID/IDWにおける関連発表件数

現象	デバイス	SID					IDW				合計	
		2006	2007	2008	2009	2010	2006	2007	2008	2009		
粒子移動	マイクロカプセル型電気泳動 (Eink)	9	4	7	5	5	5	6	6	4	51	98 (40%)
	マイクロカプセル型電気泳動 (SiPix)	1	0	0	1	2	0	0	2	0	6	
	電子粉流体 (Bridgestone)	2	2	2	1	2	0	1	4	3	17	
	その他 (In-Plane方式含む)	1	1	2	3	3	1	2	4	7	24	
液晶	コレステリック液晶	6	7	8	7	12	4	5	1	6	56	106 (43%)
	ネマチック液晶	2	1	4	1	2	1	3	0	3	17	
	強誘電性	4	2	0	0	1	1	2	0	0	10	
	その他	1	8	3	2	4	1	2	1	1	23	
その他	エレクトロクロミック (EC)	0	1	2	2	2	1	0	1	4	13	42 (17%)
	Electrowetting型 (EWD)	1	1	3	4	6	0	0	2	4	21	
	MEMS	1	0	0	0	3	1	0	1	0	6	
	Others	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	
合計		28	27	31	26	44	15	21	22	33	246	

んだ電極に電圧を印加することにより、粒子を逆方向へ電気泳動させて黒と白からなる画像を表示するものである。

マイクロカプセル型電気泳動方式³⁾は、液体中の帯電粒子の電気泳動を利用したもので、樹脂基板上に作製した「マイクロカプセル」に、白色粒子と着色した液体を充填する構造を採る。マイクロカプセル型と同様に、白色粒子を帯電させ、電荷移動させ、画像を表示するもので、この方式も商品化されている。

電子粉流体方式⁴⁾は、乾式状態で、液体のような振る舞いをする高流動性を付与した“電子粉流体”を表示材料として用いる。白および黒粒子の各々の帯電を利用し、画像を表示させるもので、商品化されている。

(2) 液 晶

表示メモリー性および反射型の特性を有する物で、コレステリック液晶と、ネマチック液晶がある。

コレステリック液晶は、分子配列が一定方向に揃った平面がねじれながら積み重なりあったコレステリック相を示す。電圧を印加するとねじれ軸が基板に垂直なプレーナ状態と基板に平行なフォールコニック状態を取り、電圧パルスの切替えて、色と無色を表示する。この方式により2004年に電子ブックが実用化され⁵⁾、2006年にカラー電子ペーパーのプロト品が紹介された⁶⁾。

ネマチック液晶の中に、BTN (Bistable Twisted Nematic) 等の双安定モードは、書込み、消去という動作により、ある一つの電圧で暗状態、明状態を実現することができる。Bistable Nematic方式として開発された⁷⁾。

(3) その他の方式

電気化学方式としては、イオン現象のエレクトロクロミック方式と、濡れ現象を利用したエレクトロウエットング方式がある。

エレクトロクロミック方式は、二酸化チタンナノ粒子に吸着したビオロゲンの酸化還元反応を利用したものを開発し、商品化している⁸⁾。一方、テレフタル酸誘導体による3原色発消色ができるカラーエレクトロクロミック方式が研

究されており、報告されている⁹⁾。

エレクトロウエットング方式は、電子濡れ現象を利用する。電圧を印加すると電気濡れ効果のために水が絶縁層と濡れ始め、着色された油層が端へ移動し、電圧オンオフで、着色、無色の画像の表示ができる¹⁰⁾。表示の応答速度も10msと速く、動画表示も可能であり、商品化されている。

さらに、光干渉を利用したMEMS方式があり、現在は、携帯サイズのディスプレイに商品化している¹¹⁾。

3 最近の開発動向

(1) SID/IDW動向

電子ペーパーに関する技術発表が多い学会として、アメリカのSID (Society for Information Display)、および日本のIDW (International Display Workshops) が挙げられ、両学会とも、最近電子ペーパーの発表件数が増大し、盛り上がり認められる(表1)。

技術内容の内訳を見ると、大きく粒子移動と液晶が双壁で主流である。粒子移動の中心は、カプセル型電気泳動方式と電子粉流体(LPD)方式であり、両方式の進展が目立つ。一方で、新たにIn-plane電気泳動方式が登場し発表も増えてきているのが注目される。液晶方式の方は、コレステリック液晶方式とネマチック液晶方式である。最近は、その他のエレクトロクロミック (EC) やエレクトロウエットング (EWD) 関連の発表件数も多く、目立ってきている。いずれも高画質カラー化を狙ったものである。

前記コンファレンス、併設する展示会を含め、全体的な動向、大きな流れは、高画質カラー化とフレキシブル化である。本稿では、デジタルサイネージにとって重要な高画質カラー化に絞って解説する。

(2) 高画質カラー化

2007～2009年に紹介されたカラー電子ペーパーとしては、粒子移動のカプセル型電気泳動方式、コレステリック液晶方式が登場した(図2)。しかし、いずれも白反射率が25%以下で、暗く視認性が充分でなかった。粒子移動方式は、

図2 現状カラーe-Paper (口絵カラー参照)

白反射率は30%~40%あっても、カラーフィルタを付けると半減してしまう。したがって、最近の開発動向は、カラーフィルタなしで、明るく、鮮明に表示させる方式、In-planeタイプ(In-plane電気泳動方式、Electrowetting方式)、さらにエレクトロクロミック方式が望まれ、検討されてきている。

① In-plane電気泳動方式

セル内下部に数か所の電極を配置し、粒子を平面で移動させる方式が提案されている。全体を覆えばマゼンタ画像、端だけに集まれば白色になり、白反射率は、60%以上は得られるという。フルカラーは、各色2粒子を2層重ねることにより得られるという¹²⁾。同様に、In-plane電気泳動方式で3原色重ねることにより、減法混色法で、フルカラーが達成できると提案している¹³⁾。また、In-planeとVerticalのハイブリッド方式も提案されている。ハニカム電極で微細な下部電極を多数配置し、電界で下部にマゼンタ色粒子を集めると透過し、上面ベタ電極*に集めるとマゼンタ色画像が形成され、白反射率は60%以上得られるという¹⁴⁾。ただし、いずれも単色、またコンセプトのみで、まだフルカラーのプロトタイプまでは、登場していない。

② Electrowetting方式(EWD)

本方式は、電子ペーパー応用として、商品化が加速された。3原色による3層重ねのフルカラーを提案しているが、現在は実用的な白黒画像上へのカラーフィルタ付で、6インチカラー電子ペーパープロトが完成し、SID2010にて展示された。これは動画も可能で、電気泳動方式との差別化で、注目されている(図3)¹⁵⁾。

ついで、Pforzheim大学/ADT(独)のEWDで、別電極を持つ貯蔵部に移動させ、メモリー性を持たせ、白反射率は70%以上が得られるという。低解像度、低SW速度であるが、大面積カラーサイネージ用途には適合しそうである¹⁶⁾。

③ エレクトロクロミック(EC)方式

EC方式はフルカラー化への適用性が注目されており、研

図3 Liquavista/Electrowetting方式(口絵カラー参照)

究・開発が盛んで、報告例も増えている。特に3原色3層重ねで、リアルフルカラー表示の可能性が示されている¹⁷⁾。ただしEC方式は、いずれも化学反応が故、安定性、メモリー性に課題が残る。

以上のように、高画質カラー化狙いで、主流の粒子移動や液晶以外の新たな方式が、活発に検討されてきており、今後注目、期待される所である。

4 デジタルサイネージ応用例

デジタルサイネージ応用例は、下記が挙げられる。

(1) 電子棚札

液晶方式、電子粉流体方式やコレステリック液晶方式が使用され、主に食品名と価格が表示される(図4)。中央管制塔で管理し、適時無線で情報を送り置換える。頻度はそれ程多くないので、切替え速度は遅くても良く、かつ数字表示がメインなので、モノカラーでも充分である。従来、サーマル紙のラベルが使用されており、その置換であるので、低コストを要求され、その課題が一番大きい。

(2) 情報掲示板

コレステリック液晶タイプ、電気泳動方式や電子粉流体方式が使用され、各々災害報知板、ニュース報知板、バス時刻表等の案内板になっている(図5)。いずれも、書換え頻度は少ないので、無給電で画像保持性ができる電子ペーパーには最適である。また、反射型のために、太陽光下でも見やすいので、アウトドア用途が多い。

(3) 電子POP・広告

液晶方式、電子粉流体方式、電気泳動方式が使用され、各々ショーケース広告、旅の広告、雑誌表紙POPになっている(図6)。この辺になると、ある意味で、目立つことや派手さが要求され、カラー化が必須になる。現状では、暗い画像で不満足のため、前記した高画質カラー化が重要課

* パターンニングしていない共通電極。

図4 電子棚札(ESL)(口絵カラー参照)

図5 情報掲示板(口絵カラー参照)

図6 電子POP/広告動向(口絵カラー参照)

図7 生産工程指示書(口絵カラー参照)

題になろう。

(4) 生産工程指示書

図7の生産工程指示書用途では、ネマチック液晶、電子粉流体方式が使用されており、意外に着目されている。従来の自動車業界で使用されているカンバン方式に置換えができる可能性があり、市場規模は大きそうである。しかし

ながら、数は出ても、従来の印刷紙やサーマル紙の置換えなので、それなりの低コスト化が要求され、最大の課題となる。

表2 電子ペーパー技術電子POP/広告応用検討表

No	項目	電子POP	電子広告(屋内)	電子広告(屋外)	大型屋外広告
	利用目的	店頭表示	店内/オフィス/公共ポスター広告	屋外公共ポスター広告	屋外大型広告看板
	現状	紙印刷POPが主流。一部メーカー持込みで動画POP表示用小型液晶モニタの設置も進んでいる。	紙印刷ポスターが主流だが、PDP・液晶ディスプレイを使ったデジタル広告・ASPの市場浸透が進んでいる。	紙印刷ポスターが主流	印刷物が主流。一部大型LED画面での動画広告が普及
	応用分野別パネル機能要件				
1	画面サイズ	7インチ～A3	A3～A0	A2～A0	A0以上
2	解像度【PPI】	100～150PPI	100～300PPI	100PPI程度	25～100PPI
3	色数	8～16色		4,096～32,000色	
4	視認性(白反射率)【%】	25%以上		30～50%以上	
5	温度耐久性【℃】	-20～+40℃	0～+40℃		-30～+70℃
6	書換え耐久性【回】		1～3万回程度		3～10万回程度
7	書換え速度【秒/画面】	1秒速度		数秒速度	
8	フレキシブル	不要		軽量・耐衝撃性必須	
9	パネル価格【¥/Inch】	1K¥/Inch		640K¥/A0	
	応用製品が求められる要件				
10	コンテンツ配信機能	オフライン/赤外線/無線		無線・携帯通信	
11	間接照明		不要		要(夜間照明)
12	双方向入力【I/F】(タッチパネル等)		不要	一部要(案内板等)	不要
13	給電機能(バッテリー等)	ボタン電池		専用バッテリー/AC電源	AC電源
14	その他付帯機能			メモリー/自動捲り機能	
	既存ディスプレイとの差別化要素				
15	技術応用の優位性	高視野角・省電力 低温動作・設置容易性	高視野角・省電力 災害時掲示板対応可	反射型・高視野角・省電力 災害時掲示板対応可	反射型・高視野角・省電力 密閉性・災害時掲示板対応可
	応用製品普及の鍵				
16	市場普及時期	2010年～		2012年～	2015年～
17	市場普及時期の理由	カラー視認性の改善		白反射率・色再現性向上 多階調安定制御	
18	市場普及の要因	低価格化	低価格化・反射率向上		低価格化・反射率向上 フレキシブル化

一方で、著者が所属する日本画像学会・電子ペーパー部会では、「電子ペーパーの将来像を考える(その3)」でデジタルサイネージ用途を検討した。その検討表を表2に示す。応用例としては、電子POP、電子広告(屋内)、電子広告(屋外)、大型屋外広告を挙げ、議論している。結局、市場普及の要因は、①低価格化、②反射率向上(明るい見やすいカラー化)、次いで③フレキシブル化であった¹⁸⁾。

5 む す び

現在、デジタルサイネージとしては、バックライト付液晶ディスプレイが主流であるが、高消費電力、高価格で問題がある。そのために、メモリー性があり、電池1個で5年持つといわれる電子ペーパー、ECOフレンドリーでさらに低コストが期待される電子ペーパーの出現が望まれる。またこれらは、視野角も広く、見えやすく、太陽光下でも見える利点がある。

ただし、その商品は、現在は白黒画像中心であるが、カラー画像品質は、まだ不満足である。したがって、当面は、シンプルな電子棚札や生産工程指示書等の用途が一番のようだ。今後さらに応用展開させるためには、目立たせるサイネージの役目として、明るい見やすいカラー化の開発が期待される。

(2010年10月29日受付)

〔文 献〕

- 1) B. Comiskey et al: "Nature", 394, 16, 253 (1998)
- 2) 川居幸幸：日本画像学会第1回フロンティアセミナー，pp79-86 (2002)
- 3) R.C.Liang et al., Proc. IDW02, pp1337 (2002)
- 4) 田沼逸夫：日本画像学会2004年度第3回技術研究会（新イメージング材料に関する研究会），p20-23 (2004)
- 5) 早川佳弘：日本画像学会第2回フロンティアセミナー，p.4 (2004)
- 6) 吉原敏明ほか：FUJITSU, 57, 3, p.302-306 (May 2006)
- 7) C. Joubert, J. Angels et al. SID05 Digest, 1766-1769 (2005)
- 8) D. Corr：日本画像学会2005年度第4回技術研究会（電子ペーパー研究会），p7-14 (2005)
- 9) Y. Goh et al, IDW/AD'05, 895 (2005)
- 10) R.A. Hayes, B.J. Feenstra: "Nature", 425, p383-385 (2003)
- 11) J.B. Sampsell：SID2007 Business Conference, ppBC-8/1 (2007)
- 12) K-M H. Lenssen et al., SID2008 Digest, p685-688 (2008)
- 13) A. Henzen et al., Proc. IDW'09, p533-536 (2009)
- 14) Jong-Souk Yeo et al., SID2010 Digest, p1041-1044 (2010)
- 15) Johan Feenstra et al., SID2010 Digest, p480-483 (2010)
- 16) K. Blankenbach et al., Proc. IDW'09, p1385-1388 (2009)
- 17) 平野茂伸，八代徹ほか：日本化学会・第89春季年会2B1-15 (2009)
- 18) 鈴木薫：日本画像学会2009年度第3回技術研究会（電子ペーパー研究会），p52-59 (2010)

すずき あきら
鈴木 明 1972年、千葉大学大学院修士課程（印刷工学専攻）卒業。同年、リコー（株）入社。NIP関連技術のプロセス、材料の研究開発に従事。1991年より、サーマルリライタブルペーパー商品事業推進。2004年より、電子ペーパー、プリンテッドエレクトロニクス関連技術の研究および企画を担当し、現在に至る。