総説

色材, 74 [6], 303-307 (2001)

デジタルイメージング技術 —NIP 技術から電子ペーパーまで—

北村 孝司*

1. はじめに

情報のデジタル化によりメディアテクノロジーがその形を変えつつあり、情報技術 (IT) による大きな変革が起きている。とくにネットワークを中心としたデジタル情報の流通は増大し、いつでもどこでもあらゆる情報の収集が可能となる社会が到来しようとしている。オフィスでもいよいよサテライトオフィスや SOHO (スモールオフィス ホームオフィス) が現実のものとなるであろうし、作業の形態も変化している。この情報ネットワーク社会では、文書や画像は電子情報として作成された後、ネットワークを通じて流通配布され紙メディアや電子メディアとして目的に応じた形態で利用されるようになる。このような情報の流通配布 (パブリッシング) と出力の方法が多様化しているのが現状である。ノンインパクトプリンティング (NIP) 技術はオフィスや家庭で紙メディアを出力形態とするハードコピーとして広く利用されるようになった。そして、いまや商業印刷、写真、テキスタイルなどの産業分野にその用途を拡大している。一方、電子情報の流通配布に対応するため情報表示能力の優れた持ち運びの容易な表示媒体が新しいメディアとして要望されるようになり、電子ペーパーの研究開発も進められるようになった。

2. 情報出力とハードコピーの役割

電子情報をローカルネットワークやインターネットで特定な個人あるいは多数の人に同時に配布することが行われるようになった。情報を受け取った人は、情報の種類や出力形態の特徴により選択して利用することになる。その出力形態はディスプレイ、ハードコピーおよび電子ペーパーである。メディアのハンドリング性および情報の書換えを軸にしてこれらの技術を整理すると図-1 のようになる。

a) ディスプレイ

CRT や液晶モニターで文字、静止画および動画を表示して見ることができる。内容の書換えが容易であるため大量の情報

図-1 メディアのハンドリング性と情報の書換え

表示が可能である。しかし、表示の解像度が低い大量の文書を読むことには適していない。また、発光型であるため眼を表示画面に接近した状態での長時間作業では眼が疲労するなどの欠点を有する。

b) 紙メディア

ネットワークやコンピュータに接続されたプリンターにより出力されたハードコピーは、解像度が高くコントラストが高いため読みやすい。また、持ち運びが自由で保存が容易であるが、情報の書換えができない欠点を有する。

c) デジタルペーパー

紙のように持ち運びが容易で、表示する内容が自由に書換えることができる表示媒体。この表示技術は現在研究が進められているが、まだ実用化にはいたっていない。

つぎに、ハードコピーの役割について整理¹⁾してみる。紙メディアとしてのハードコピーは、情報を紙媒体上に容易に固定

〔氏名〕 きたむら たかし
〔現職〕 千葉大学工学部情報画像工学科教授
〔趣味〕 テニス、ドライブ、音楽
〔経歴〕 昭和45年千葉大学工学部印刷工学科卒業、昭和47年同工学部研究科印刷工学専攻修了、昭和47年千葉大学工学部印刷工学科助手、昭和60年同工学部講師、平成1年同工学部情報画像工学科教授、平成9年同工学部情報画像工学科教授、現在に至る。

平成13.4.9受理
Digital Imaging Technology
—Non-Impact Printing and Electronic Paper—
Takashi KITAMURA

* 千葉大学工学部情報画像工学科
千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33 (〒263-8522)

し、可視化する技術として高い評価が与えられている。さらに、自由に持ち運びが可能であり、長期間の保存が可能である特徴をもっている。一方、紙メディアの弱点としては情報量が少ないこと、デジタル環境との双方向性不足、環境負荷が大きいことが上げられている。そして、保管、検索、配布などの大量の情報処理に不便であることや表示内容の変更、切り替えができない、配送時間がかかることなどが指摘されている。これらのことから、オフィス作業のなかでの単純作業である情報の配布、伝達に使用された各種通知文書、連絡文書、伝票などはすでに電子メディアである電子メールに置き換わり、紙メディアに出力することは少なくなった。また、研究報告など部数の少ないものは電子メディアと紙メディアの両方で出力するようになった。一方、製品カタログ、チラシ、チケットなどは紙メディアにプリントアウトして仕事の材料として活用している。つまり、電子情報を電子メディアで確認したあとすぐ捨てるようなものは紙メディアとして出力することはなくなったが、確認後、その画像や文書を利用し、あるいは書き加えるなどの作業が続く内容の時は紙メディアとして出力することが行われる。

○単純作業 情報の配布、伝達 ————— 電子メディア

○複数利用、知的作業 ————— 紙メディア

3. ノンインパクトプリンティング技術

ハードコピーはコピー機による複写からプリンターによるコンピュータの情報出力へとその役目に変化してきた。電子写真、インクジェットおよび熱転写技術に代表されるノンインパクトプリンティング技術の進歩によりハードコピーの画質は向上した。とくに複写機やプリンターのデジタル化によりハードコピーの画質や安定性は大きく向上した。とくにカラーハードコピーは写真画像や印刷画像に相当する画質レベルを実現できるようになった。そのため、オフセット印刷、銀塩写真との競合が進み、ますます高速化、高画質化が求められている。

a) 電子写真

デジタルフルカラープリンターの製品化が進められている²⁾。とくに、高速フルカラープリンターとデスクトップフルカラープリンターの製品発表が相次いで行われている。高速性を実現するために感光体ドラムを4本並べたタンデム方式が多くなり、各種の制御技術により色再現や環境安定性が向上している。さらに、用紙の汎用性を拡大するために中間転写ベルト上に順次画像を重ねた後、用紙に一括して転写する方式が採用されている。この方式によりコート紙や厚紙へのトナー転写を可能にした。また、現像も6.5ミクロンの小粒径トナーを用いることにより画像部のトナー層の厚さを低減し、粒状性や凹凸感を低減している。さらに、デジタルスクリーン生成技術によりスクリーン線数、スクリーン形状、スクリーン角度を自由に変化させることが可能で、しかも機器の動作中に画像濃度の制御、レジストレーション制御を行い色再現および位置精度を向上させている。オンデマンド印刷やショートランカラー印刷の分野の成長が期待されている。

図-2 タンデム型フルカラープリンター

b) インクジェット

インクジェットにはバブルジェット方式、積層ピエゾ方式および連続噴射方式がある。解像度向上のためにインク粒子の少容量化や連続階調再現のために淡いインクを使用することが行われている。また、高速印刷用の連続噴射方式も実用されており、オフセット印刷並みのスピードでカラー印刷が行われている。また、産業用にはカラーブルーフとしての利用も検討されている。一方、小型のプリンターとしての技術も研究されており、モバイルカラープリンターとしても期待されている。

c) 感熱記録、熱転写記録

染料昇華型熱転写方式は写真画像の出力に使用され、デジタル写真の出力として期待されている。半導体レーザーを熱源としたレーザー熱転写はカラーブルーフとして使用され、アプリケーションはコンピュータツープレートおよびオンプレスCTPに利用されている。

いずれの技術も高画質、高速、高安定性を実現し、従来のオフィス用途だけでなく家庭用および産業用としてその利用範囲が大きく広がっている。

4. デジタルペーパー^{3,4)}

a) デジタルペーパーの特徴

デジタルペーパーはデジタル情報の表示媒体で、紙の特徴と書換え可能な機能を兼ね備えたものである。そして、デジタルペーパーはサーマルライタブルペーパー、電子ペーパーおよびペーパーライクディスプレイを包含する言葉として定義される。サーマルライタブルペーパーは加熱により発色および消色を繰り返すことができる媒体であり、ペーパーライクディスプレイは液晶表示デバイスなどを薄膜化したものである。

このデジタルペーパーの具備すべき特徴は以下のようである。

デジタルペーパー：いつでもどこでも読んだり書いたりすることが可能

- ・情報の書換え ————— 文字や画像の書換えが自由にできる。
- ・人間の目に優しい ——— 表示面からの目への刺激が少ない。
- ・ハンドリング性 ————— 薄膜軽量で持ち運びが自由である。フレキシブルである。
- ・画像の保持 ————— 無電力で長時間表示を保持できる。

b) 表示原理

現在、デジタルペーパーとして研究されている技術を表-1

表-1 デジタルペーパーの分類

物質・機能			デバイス	駆動
物理的	分子	光学異方性	積層型コレステリック液晶	電圧
		染料分子配向	2色性染料/液晶・樹脂	電圧, 熱
	粒子	粒子移動	マイクロカプセル型電気泳動 トナーディスプレイ	電圧 電圧
		粒子回転	ツイストボール	電圧
		相変化	透明白濁型リライタブル	熱
化学的	分子	発消色	ロイコ染料発消色リライタブル	熱
		光吸収	フォトクロミック	光
電気化学的	分子	イオン	エレクトロクロミー	電流

に示す。物理的あるいは化学的な現象を組み合わせる表示が行われている⁵⁾。

c) デジタルペーパーの形態

デジタルペーパーには2つの形態が考えられる。一つ目の形態は、現在の紙のような取り扱いが可能で文字や画像を何度も書き換えることが可能なリライタブルペーパーである。現在のノンインパクトプリンターでハードコピーを作成すると同じような使い方でこのリライタブルペーパーを使用する。プリンター内ではリライタブルペーパーを給紙すると、はじめに全体を消去し、その後情報の書き込みを行う。使用者は画像の消去を意識することなく、従来の紙と同じように使用するものである。2つ目の形態は、持ち運びが自由な薄膜ディスプレイで長い時間見続けても目が疲れないように反射型表示が好ましい。CPUや半導体メモリを内蔵しており、多くの電子文書や電子ブックをボタン一つで読むことができる。そして、ネットワークへのアクセスが自由にできることが望まれる。

・表示、記録装置分離型

書換え可能な表示層と基紙から構成されるリライタブルペーパーと記録消去用プリンターの組み合わせ。記録消去には、サーマルヘッド、イオンフロー、ピン電極、液晶パネルなど。

・表示、記録部一体型

表示層と制御基盤薄膜を一体化した薄膜ディスプレイ。ボタン操作によりページめくりなどが自由にでき、さらにコンピュータやネットワークからの情報を出し入れできる機能を有する。

d) リライタブルペーパー^{6,7,8)}

リライタブルペーパーは加熱温度により記録と消去することができるリライタブルマーキング技術を利用した薄膜表示媒体である。現在報告されているリライタブル技術としては、透明白濁型リライタブルマーキングとロイコ染料を用いた発消色型リライタブルマーキングがある。いずれも熱記録方式のためサ

図-3 デジタルペーパーの形態

図-4 ロイコ染料を用いた発消色型リライタブルマーキング

ーマルヘッドを用いて記録する。透明白濁型は高分子薄膜の中に脂肪酸の微粒子を分散したもので、110℃以上に加熱すると脂肪酸の溶融により樹脂が膨張する。その後、冷却すると脂肪酸は過冷却状態になり液体のまま存在し、膨張した樹脂が固化する。その後、脂肪酸が固化収縮して多結晶の微粒子となり樹脂と微粒子間に空隙が生まれる。この空隙により光が散乱されて白色に見える。つぎに、80℃から110℃の消去温度範囲に加熱すると脂肪酸は一部溶融し、樹脂は熱膨張して空隙をうめる。この状態で冷却すると透明状態となり画像の消去が行われる。ロイコ染料を用いたリライタブルマーキングは無色のロイコ型染料と長鎖アルキル基を有する顕消色剤との可逆的な発色および消色反応を利用している。サーマルヘッドにより加熱されるとロイコ染料と顕消色剤が反応して発色し、そのまま急冷すると発色状態が保持される。今度は加熱後、ゆっくり冷却すると顕消色剤の長鎖アルキル基の自己凝集作用により相分離がおこり、ロイコ染料と顕消色剤が物理的に分離されて消色する。

e) 電子ペーパー

マイクロカプセル電気泳動^{9,10,11)}

この技術は、米国 MIT および E-Ink 社が研究開発を行っている。透明なマイクロカプセル内にブルーの液体と白色微粒子を入れ、電圧を印加することにより白色粒子を電気泳動させて白と青からなる画像を表示するものである。白色粒子には酸化チタンの微粒子を用い、ブルーの絶縁性液体中で電荷をもち安定に分散している。このマイクロカプセルを ITO 電極付きのフィルム上にシリコン樹脂をバインダーとして塗布する。イオンフロー方式で表面に負電荷パターンを与えると白色粒子はマイクロカプセルの下部へ移動して表面からはブルーの画像を描くことができる。そして、全面に正電荷を与えると白色粒子は

図-5 電気泳動ディスプレイ

図-6 表面駆動型電気泳動ディスプレイ

マイクログラブルの上部へ移動するので表面からは白色となり画像の消去が行われる。また、白色粒子と黒色粒子を絶縁性液体中に分散させ電気泳動させることも研究されている。たとえば白色粒子は負電極側へ、黒色粒子は正電極側に移動するようにしてある。電圧を切り替えることにより、白と黒の表示が可能である。青色の着色液体は濃度が低く高いコントラストを実現するには表示セルを厚くする必要がある。紙のように薄くするとコントラストが低下する欠点がある。この2粒子タイプでは、粒子の着色を利用しているので高いコントラストを実現することが可能である。

表面電極型液体トナー電気泳動¹²⁾

電子写真用液体トナーを表面に設置した電極間を移動させることに表示を行う方式が報告されている。基盤上に第2駆動電極を設置し、その上に白色の光散乱層を塗布する。その上に、細い第1駆動電極を設置し、さらにその上に透明絶縁層を塗布した表面駆動電極シートと対向電極で構成するセル中に液体トナーを入れる。液体トナーはイソパラフィン系透明絶縁性液体に粒子径1.5ミクロンの顔料微粒子を分散させたもので、トナーは電荷をもっている。いま液体トナーが正帯電と仮定すると、第1駆動電極に負極性の電圧を印加するとトナーは細い電極上に引き付けられる。つぎに、第1駆動電極を正極性に印加するとトナーは第1駆動電極間に付着するために、上部からみると黒く見える。このように電圧の極性を変化させることにより、白と黒の表示をおこなうことが出来る。

ツイストボール^{13,14)}

米国ゼロックス社と3M社は共同でツイストボール方式の電子ペーパーを研究開発している。半球ごとに白と黒に塗り分けられた球形微粒子の向きを電界により制御して白と黒からなる画像を表示する方式である。二色粒子をシリコン樹脂をバインダーとしてフィルム状に塗布してある。粒子の周りにキャビティが形成され、特定の液体で満たされている。粒子表面の白側は負、黒側は正の二色間で異なる電荷が出現し双極子が形成

図-7 回転ボールディスプレイ

図-8 2色性染料/液晶型ディスプレイ

される。このシートの表面に負電荷パターンを与えると粒子が回転して黒半球が上にむき、シートの表面に正電荷を与えると白半球が上に向くので画像を表示できる。

2色性染料/液晶複合膜^{15,16)}

メモリ性を持つスメクティックA液晶に2色性染料を混入したゲスト・ホスト型で液晶に電圧を加えて液晶分子の配列を変化させ、同時に色素の吸収を変化させる方式である。ITO透明電極に液晶、2色性染料と樹脂の混合物を厚さ6ミクロンに塗布してある。はじめは色素がランダムな方向をむいているため灰色を示すが、イオンフロー記録により画像を書き込むと染料が配向して白色画像の記録が行われる。つぎにこの媒体を60°C以上に加熱すると元の灰色状態にもどり、画像の消去が可能である。また、このプロセスとは逆にはじめにコロナ帯電により白色状態にしておき、サーマルヘッドによる熱書き込みによる画像形成も行われている。この技術は東海大学や大日本印刷で研究されている。

液晶/有機光導電複合膜^{17,18)}

コレステリック液晶は無電界でプレーナ配向となり液晶の螺旋ピッチに応じた色光を選択反射する。弱い電界ではフォーカルコニック配向となり光を透過し、その状態を保持できる。そして、さらに強い電界を印加するとプレーナ配向にもどる。この電界による変化を利用して表示と非表示を制御することが出来る。媒体への書きこみには有機光導電膜を積層して液晶層への分圧を制御している。600 dpiのパターンや8ポイントの文字の表示を実現し、さらにA6サイズのフレキシブル媒体を作成した。また、RGB3層を重ねることによりカラー表示が可能であることも報告している。

トナーディスプレイ^{19,20)}

ITO透明電極をつけた2枚のガラス板の間に黒トナーと白色粒子を挟み込んで電圧を印加すると黒トナーが電極間を移動して黒と白を表示することができる。黒トナーには導電性トナーを用い、白色粒子には弗化炭素の滑りやすい微粒子を用いている。ITO電極には電荷輸送層が塗布されており、電極から

図-9 トナーディスプレイ

正電荷をトナーに注入する役目をする。下部電極に接触した黒トナーは電荷輸送層からの電荷注入により電荷をもち、上部電極の負電荷との間のクーロン引力により上部電極に向かって移動する。この時に白色粒子層中を潜り抜けて移動する。上部電極にたどり着いた黒トナーは電荷輸送層を絶縁層としてクーロン力にて付着している。このとき上部からは黒色に見える。つぎに、印加電圧の極性を切り替えると黒トナーは下部電極へ向かって移動し、下部電極上の電荷輸送層に付着する。このとき上部からみると白色粒子がみえるので白色表示となる。このように印加電圧の極性を切り替えることにより黒と白の表示が可能である。

5. まとめ

21世紀のネットワーク時代には、各メディア間の競争が激しくなると同時に共存融合という形態となり技術の多様化が進むことが予想される。ハードコピー分野ではノンインパクトブリッジングが従来の印刷、写真の分野を包含するようになるが同時に電子メディアとの競争が激しくなりそうである。ノンインパクトブリッジング技術をさらに高度化し、ハードコピー分野での技術革新をさらに進めると同時に電子メディアとの融合をはかる電子ペーパーの実現が期待されている。

文 献

- 1) 北村孝司：“デジタルイメージング概論”，日本画像学会第5回NIP技術講習会“デジタルイメージング技術の基礎から応用まで”（2000）。
- 2) 高木 純：“Color DocuTech 60のコンセプトと現状”，日本画像学会シンポジウム“電子写真の印刷への進出は今？”予稿集，（2000）。
- 3) 塩田玲樹：“デジタルペーパー”，日本画像学会技術研究會予稿，pp. 26-30（1998）。

- 4) 面谷 信：“デジタルペーパーのコンセプトと研究動向”，日本画像学会1998年度第2回技術研究会予稿，pp. 1-9（1999），面谷 信：“デジタルペーパーのコンセプトとシナリオ”，日本画像学会2000年度リライタブル・エレクトロニックイメージング研究会予稿，p. 35-44（2000）。
- 5) 北村孝司：“電子ペーパーの概要とトナーディスプレイ”，高分子学会2000-4印刷・情報記録・表示研究會予稿集，pp. 1-4（2000）。
- 6) 堀田：“リライタブルマーキング技術の最近の動向”，電子写真学会誌，Vol. 35, No. 3, p. 148（1996）。
- 7) 諸星，堀田，杉山，小堀：“高分子/長鎖低分子分散型リライタブル熱記録媒体の消去温度幅制御”日本画像学会Japan Hardcopy '99, pp. 217-220（1999）。
- 8) 花田：“ロイコ染料型リライタブルマーキングによるディスプレイへの応用”日本画像学会Japan Hardcopy '99, pp. 225-229（1999）。
- 9) B. Comiskey, J. D. Albert, H. Yoshizawa, J. Jacobson：“An electrophoretic ink for all-printed reflective electronic displays”，*Nature*, 394, 16, July, p. 253（1998）。
- 10) 川居，金江：“マイクロカプセルを用いた電気泳動ディスプレイ”日本画像学会Japan Hardcopy '99, pp. 237-240（1999）。
- 11) 吉澤秀和：“電場応答型マイクロカプセルインクの創製”，高分子学会2000-4印刷・情報記録・表示研究會予稿集，pp. 5-6（2000）。
- 12) 貴志悦郎：“In-Plane型電気泳動ディスプレイの開発”，日本画像学会2000年度リライタブル・エレクトロニックイメージング研究會予稿，p. 11-18（2000）。
- 13) N. K. Sheridan：“The Gyricon as an Electric Paper Medium”，The Imaging Society of Japan, PPIC/JH'98, pp. 83-86（1998）。
- 14) 津田：“デジタルペーパー Gyricon”，日本画像学会1999年度第2回技術研究會予稿，p. 12（1999）。
- 15) 関根，馬場，齊藤：“液晶/高分子複合膜を用いたリライタブル媒体”日本画像学会Japan Hardcopy '99, pp. 221-224（1999）。
- 16) 吉川，面谷，高橋：“ゲスト・ホスト型液晶の表面駆動によるデジタルペーパーの検討”，日本画像学会Japan Hardcopy '99, pp. 245-248（1999）。
- 17) 有澤，小林，小清水，柿沼，原田，丸山，馬場：“コレステリック液晶を用いた電子ペーパー 有機感光体による光画像書き込み”，日本画像学会Japan Hardcopy 2000, pp. 89-92（2000）。
- 18) 原田，氷治，津田，有澤：“コレステリック液晶を用いた電子ペーパー 積層型カラー表示層の外部電極制御”，日本画像学会Japan Hardcopy 2000, pp. 93-96（2000）。
- 19) 趙，菅原，星野，北村：“新しいトナーディスプレイ(1)”日本画像学会Japan Hardcopy '99, pp. 249-252（1999）。
- 20) 趙 国来，星野勝義，北村孝司：“電界中における粒子移動を利用した反射型電子ディスプレイ(1)表示原理と表示特性”，日本画像学会誌，第39巻，第4号，pp. 408-413（2000）。