

高機能ナノ粒子設計によるペーパーライク電子ディスプレイの開発

Development of “Paper Like -Electronic Display” by Designing Nano-Scale Functionarized Powders

高木 光治

Koji TAKAGI, Ph. D.

(株)ブリヂストン 中央研究所

Unit Leader, Central Research, Bridgestone Co.

要旨

高機能微粒子である“電子粉流体[®]”を表示媒体として用いた全反射型ディスプレイ「QR-LPD[®] (Quick-Response Liquid Powder Display)」を開発している。ここでは、電子粉流体[®]に着目し、特に駆動における重要因子である電気特性に関する材料設計について報告する。さらに、ペーパーライクディスプレイの展開についても紹介する。

1. はじめに

産業界においては種々の高機能微粒子が有効に利用されている。例えば粒子による光学特性変化を利用した光拡散材、粒子内の多孔性を利用した吸着剤、均一な粒径を利用したスパーサー材、マイクロカプセル化による食品、医薬品、化粧品などへの応用、最近では導電・半導電特性、磁性特性などを利用した応用開発も盛んに行われている。その中で、粒子が帯電する特性を利用した応用例も多い。最も規模が大きいものはレーザープリンターやコピー機などの電子写真システムにおけるトナーとしての応用であろう。また、粉体塗料を用いた塗工においても粒子の帯電現象を利用したプロセスとなっている。我々は、帯電した粒子を表示媒体とする新しい電子ディスプレイ (QR-LPD[®]) を開発してきた。¹⁾ 液晶やプラズマなどの発光型のディスプレイとは異なり、入射光の反射によって粒子自身の色彩を視認することで表示を得ることから、紙のように見えることが特徴である。このようなディス

プレイは、本格的なユビキタス時代が到来する中で、いわゆる「電子ペーパー」としての応用が期待されている。QR-LPD[®] においては様々な高分子材料が用いられているが、最も重要な材料は表示媒体として使用される微粒子である。動作は粒子の持つ帯電特性を制御することで行い、また、粒子自身に高い流動性を付与していることから、我々はこの微粒子を電子粉流体[®]と名づけた。ここでは、QR-LPD[®] の概要と動作原理を紹介し、電子粉流体[®] の材料設計を述べると共に、新しいディスプレイの展開について紹介する。

2. QR-LPD[®] の概要

図1にQR-LPD[®] の構成図を示した。パターニングされた透明電極の間に2種類の電子粉流体[®] を封入している。一方は黒色で正に帯電するように材料設計がなされており、もう片方は白色で負に帯電するように設計がなされている。極板間距離を保つためにリブが配設されておりこれによりセルが形成されている。いま、上部電極を負となるように極板間に電圧をかければ、相対的に正に帯電している黒粒子が上部電極に引き寄せられ、図1(a)のように黒表示ができる。逆に、上部電極を正となるように電圧を印加すれば、図1(b)のように粒子が反対側に移動し、今度は白表示となる。セルごとに印加する電圧の極性を制御すれば、自由な白黒表示を行うことができる。図2はその一例である。

電極基板間は液体などを含まず空気のみが封入されている。よって、粒子は極板間の電界がある値を超え

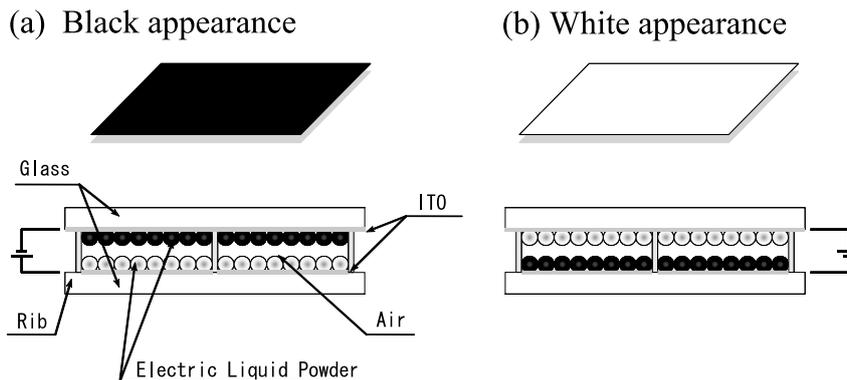


図1 QR-LPD[®]の模式図

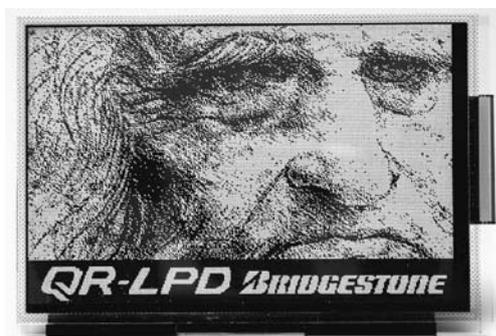


図2 QR-LPD[®]の表示例

たところで気中を飛翔することになる。このために粒子の飛翔速度は非常に速く、光学的な計測では表示が切り替わる時間は0.2m秒程度であった。また、粒子が飛翔する電圧には明確な閾値を有し、これによりTFTを用いない単純なパッシブ駆動方法を採用することが可能となっている。粒子は自身の帯電に起因する鏡像力により電極に付着し続けることが可能であり、表示を保持するために電圧の供給を必要としない。さらに、表示は粒子の色そのものを見ることから視野角依存性はほとんどなく、また紙のような白さを再現することが可能である。以上のことからQR-LPD[®]は下記の特長を有していると言える。

- ①紙のような視認性と白さを再現できる。
- ②応答速度が速い。
- ③画像保持特性があるため消費電力が低い。
- ④簡単なパネル構成であるため低コスト化が期待できる。

3. 電子粉流体[®]の駆動原理と帯電設計の考え方

粒子が電極基板間を飛翔する原理をグラフ化したものが図3である。²⁾ 粒子には様々な力が働いており、

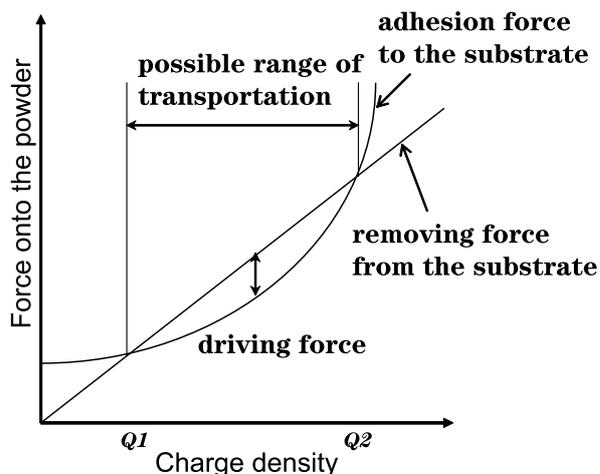


図3 粒子飛翔原理の模式図

大別すれば粒子の帯電に起因する力と帯電とは無関係な力となる。まず、粒子の帯電量に関与しない力としては、分子間力や液架橋力などによる粒子と基板の付着力が挙げられる。さらに、帯電した粒子には鏡像力が働くから粒子と基板間の付着力は図3における2次曲線として表すことができる。ここでY切片となるのが粒子帯電に関与しない付着力である。いま、極板間に電界を印加した場合には、粒子の帯電量に応じたクーロン力が作用し粒子には極板から引き剥がす力がかかる。この力は図3における原点を通る直線として表される。この図において、電界によるクーロン力が粒子-基板間の付着力を上回った際に粒子の飛翔が起こることになる。ここで重要なことは、粒子の帯電量が大きすぎても小さすぎても飛翔は起こらず、最適な駆動を達成するためには、粒子を最適な帯電量に制御しなければならないということがわかる。

以上が駆動原理であるが、実際のパネル内では粒子は常に飛翔、摩擦、放置を繰り返す。パネル内粒子の

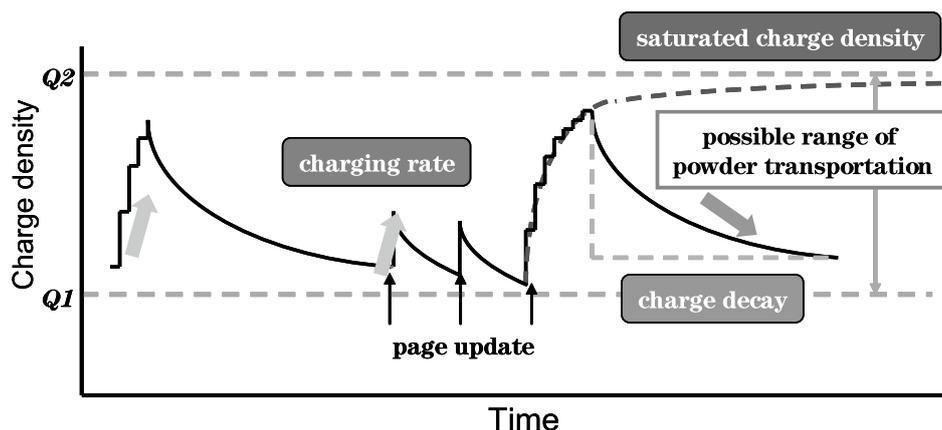


図4 QR-LPD[®]に用いられる粒子における帯電量変化の模式図

帯電量変化を模式的に表した図を図4に示した。表示を行う際、粒子は飛翔に伴う衝突・接触などにより摩擦帯電が起こり、帯電量は増加する。一方、保管時など放置した場合には粒子の帯電量は減衰することが避けられない。このように粒子の帯電量は常に変化し続けると考えた方が良い。図3で述べたように粒子が駆動できる帯電量の範囲は限られているから、あらゆる状況下においても帯電量を最適な範囲に収まるようにすることが重要である。この点が粒子の帯電特性設計において最も重要な考え方である。我々は図4より次の3つの帯電パラメーターを設定して材料設計に活かしている。

- (1) 飽和帯電量 (2) 帯電速度 (3) 電荷減衰速度 (電荷保持率)

4. 電子粉流体[®]の材料設計

電子粉流体[®]は高分子樹脂を主体としており、粒径は約10 μm としている。粒子の電子顕微鏡写真の例を図5に示した。表示のための駆動をスムーズにするためには粒子の流動性を高くする必要がある。流動性に最も寄与するのは粒子表面であり、接触面積を少なくして付着力を低減させるために、表面にナノレベルの凹凸を設けることが有効である。その実現手法としては種々の方法が考えられるが、例えば、ナノスケールのシリカや酸化チタンなどの金属酸化物を粒子表面に付着させることや(図5-(b))、粒子重合時に多孔質化させる手法(図5-(c))、表面を化学処理することにより凹凸を付与させる方法(図5-(d))などが用いられる。

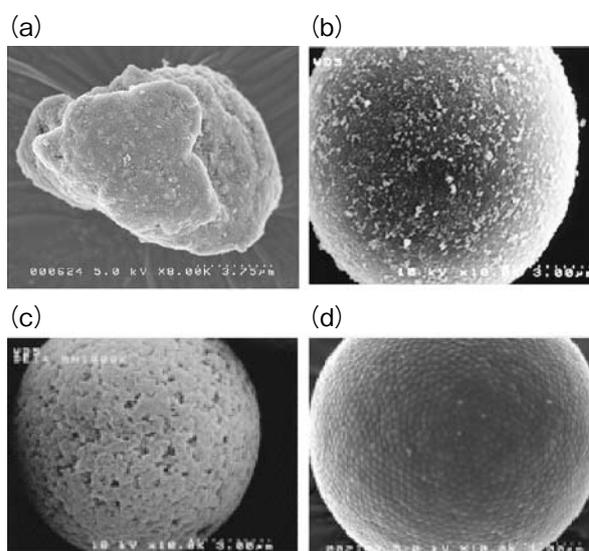


図5 粒子のSEM画像例
(a) 粉砕品 (b) 重合品 (c) 多孔質品、
(d) 表面処理品

5. 帯電特性の評価方法

最適な材料設計を行うためには前述した3つの帯電パラメーターを精度良く評価することが必要である。ここでは一般的に用いられる評価方法を紹介する。

(1) 飽和帯電量、帯電速度

粒子の帯電量測定においてはブローオフ法と呼ばれる手法が一般的に用いられる。³⁾ 10 μm 程度の粒径の粒子帯電量を測定する場合、約150 μm 程度の鉄粉キャリアとある一定の比率で混合し震とうさせることで摩擦帯電を起こす。摩擦帯電した混合物をファラデーケージ内に仕込み、気流で粒子のみを吹き飛ばすことでその帯電量を計測する仕組みである。震とう時間を

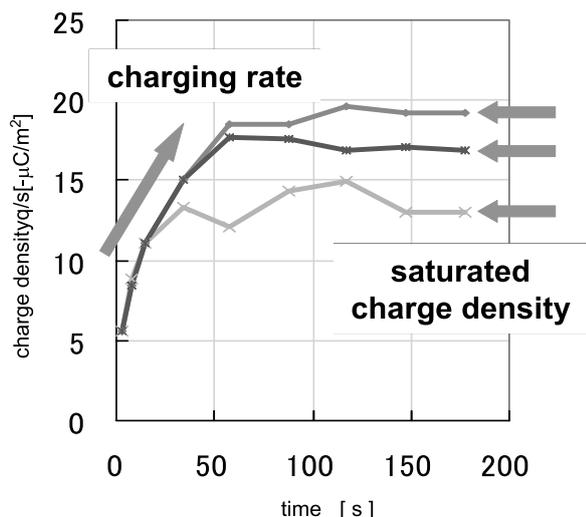


図6 ブローオフ測定結果の例

制御して摩擦帯電量を計測すれば、帯電速度と飽和帯電量を求めることができる。図6に測定結果の一例を示した。帯電量の立ち上がりが帯電速度に相当し、平衡となった帯電量が飽和帯電量となる。

(2) 電荷減衰速度（電荷保持特性）

電荷保持特性を計測する手法は明確には確立されていないが、ここでは熱刺激電流計測法を紹介する。⁴⁾ この手法は、帯電させた粒子を精密に昇温させた際に漏洩してくる電荷を微小電流量として計測する方法である。これによれば、帯電電荷の安定性が評価でき、また電荷がトラップする部位の推定やトラップ深さの議論などを行うのに大変有効な手法である。測定結果の一例を図7に示した。ここでは粒子Aより粒子Bの方が漏洩電流は高温側に観測されており、電荷保持特性は粒子Bの方が有利であることが推察された。その他、電荷減衰速度を直接観測する方法として、粒子の帯電量の変化を表面電位計で直接計測する手法もある。⁵⁾ 電荷減衰速度に関しては、粒子の帯電のさせ方やサンプル量、初期帯電レベルなどにより結果が異なる場合があり、正確な評価のためには明確な標準化を行うことが重要である。

6. QR-LPD[®]の展開

紙のような視認性を特長として、QR-LPD[®]は電子棚札や情報表示板などの製品に展開されている。また、今後の用途拡大における市場の高いニーズとして

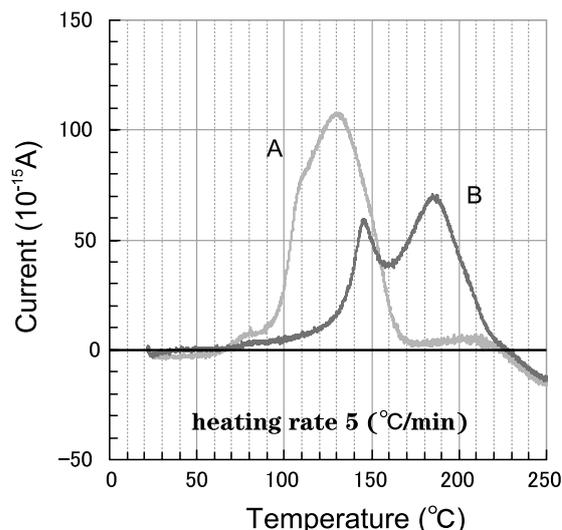


図7 TSC測定結果の例

カラー化とフレキシブル化が挙げられる。QR-LPD[®]はその特長を活かすことで、これらニーズに応えることが可能である。

(1) カラー化

カラー化の実現には2つの方法がある。ひとつは粒子自身に色をつけたカラー粒子を用いる方法と、もうひとつは白黒粒子のパネルにカラーフィルターを設ける方法である。前者においては電子粉流体[®]の顔料を変更することで実現できる。この方法によれば、粒子の色そのものを視認することが出来るので、明るく鮮明なカラー表示を行うことができる。QR-LPD[®]では表示の一部を赤などの色調にしたエリアカラー品や、背景の色を変更するなど意匠性の高いディスプレイを提案している。カラーフィルターを用いた手法においては、基本的に3画素でひとつの色を表示することやフィルターを通して表示を認識するために、反射率の低下は免れないが、階調表示と組み合わせることでフルカラー表示が可能となる。これによれば、写真画像の再現が可能となり、新しい用途の開拓が期待できるものである。

(2) フレキシブル化

電子ペーパーやモバイル化を想定した場合、フレキシブル化が重要な開発課題である。フレキシブル化はガラス電極基板を樹脂基板に変更することによって実現できるが、これに伴い、あらゆる部材に可とう性を持たせることが必要である。さらに、製造プロセスの



図8 フレキシブル化 QR-LPD[®]

確立も重要な課題であり、低コスト化のためにはロール to ロールのプロセスが欠かせない。QR-LPD[®]はその構造がシンプルであり複雑な工程を必要としないことから、ロール to ロール製造プロセスによるフレキシブルパネルの製造に適していると考えている。図8にフレキシブル QR-LPD[®]の試作品を示した。

7. まとめ

高機能微粒子である電子粉流体[®]を表示媒体として用いた新しいコンセプトの全反射型ディスプレイ QR-LPD[®]を紹介した。粒子の帯電特性を制御して電氣的に粒子を移動させることで表示を行うものであり、粒子材料の最適設計が最も重要な開発課題である。微粒子の帯電現象はまだまだ不明な点が多いが、ナノレベルでの材料設計と精度の高い評価解析を行うことで安定した特性を発現できるように開発を推し進めている。カラー化、フレキシブル化などの技術とあわせて、将来においては「電子ペーパー」という新しい製品を世の中に広く提供して行きたい。

参考文献

- 1) 田沼逸夫：日本画像学会誌, 46, 372-384 (2007).
- 2) K.Takagi, N.Kaga, I.Tanuma：Novel Type of Bistable Reflective Display (QR-LPDTM) and Material Design of Electronic Liquid Powder, Proc. NIP23, pg. 624. (2007).
- 3) 日本画像学会誌, 37, 461-470 (1998).
- 4) M. Ikegami, and K. Ikezaki：Journal of Electrostatics, 51, 117 (2001).
- 5) M.Takeuchi, K.Kutsukake, T.Sugihara：Thermally Stimulated Current and Thermally Stimulated Charge Decay Measurements in Toner Layers, Proc. NIP21, pg561. (2005).

Captions

- Fig. 1 Schematic diagram of the operational principle of QR-LPD[®]
- Fig. 2 An example of an image of QR-LPD[®]
- Fig. 3 Schematic figure of the theory of powder transportation
- Fig. 4 Schematic figure of the charge retention of the powder applied to QR-LPD[®]
- Fig. 5 SEM images of powder examples. (a) pulverized type, (b) polymerized type, (c) porous type, (d) surface treatment type
- Fig. 6 Example of the results of Blow Off measurement
- Fig. 7 Example of the results of TSC measurement. Powder sample A, B
- Fig. 8 Flexible type QR-LPD[®]