

# 液晶スペーサの乾式散布技術

Dry Type LCD Spacer Spraying Technology

日清エンジニアリング株式会社 村田 博  
Hiroshi MURATA

## 1. はじめに

液晶ディスプレイ（LCD：Liquid Crystal Display）は1960年代半ばに米国で考案され、1970年代初期の日本で表示装置として商品化された。電卓や腕時計に採用され、ワープロ、ノートパソコン、ビデオカメラ、カーナビ、携帯電話など、軽くて薄い表示パネルとして、その市場は年々拡大し、最近の液晶テレビの普及とスマートフォンの出現によって市場規模はさらに伸びており、近年中には10兆円を越えると予想されている<sup>1)</sup>。

当初、液晶ディスプレイ市場は日本企業が圧倒的なシェアを誇っていたが、後発の韓国、台湾勢の猛追を受け、2000年にはそのシェアは50%を切り、今では10%を下回っている状況である。現在、韓国、台湾、中国の液晶パネルメーカーが熾烈なシェア争いをやっている。

一方、液晶ディスプレイを製造する装置や部材に視点を移すと日本企業のシェアは未だに高く、ものづくりという側面から見れば液晶技術は日本のお家芸であることに変わりない。ブランドは韓国や台湾や中国であっても、それを製造する装置や材料は、その多くが日本オリジナルの技術なのである。

本稿では液晶ディスプレイ製造装置の中で、粉体技術を用いている液晶スペーサ散布装置を紹介し、液晶ディスプレイ製造技術の一端に触れていただく。

## 2. 液晶ディスプレイの原理

液晶は1888年オーストラリアの植物学者ライニツァーによって発見され<sup>2)</sup>、その名の通り液体と固体の中間的な性質を持つやや粘り気のある透明な液状物質である。その分子配列は規則的で結晶

性を示すが、分子の相互作用が固体に比べ非常に弱く、外部から磁界や電界を加えると容易にその分子配列を変える性質を持っている。さらに、液晶は細長い分子構造をしており、分子の長軸方向と単軸方向では光の屈折率が異なるため、分子の配列を変化させることによって光の通り方を容易に変えることができる。この性質を利用したのが液晶ディスプレイである。

液晶ディスプレイにはさまざまな方式があるが、代表的なものに図-1に示す「TN方式」（TNとはTwisted Nematicの略）がある<sup>3)</sup>。この方式はネマティック構造という棒状の液晶分子をラビングという工程によって細かな溝をつけた配向膜に挟み込み、液晶分子が溝に沿って並ぶという性質を利用して90°ねじれた状態で配列する。この状態では、1枚目の偏光板を通った光は液晶部で分子の隙間を進むので90°ねじれて出てくる。2枚目の偏光板は1枚目に対して偏光方向が直角になるように置かれているので、液晶部でねじられた光はこの偏光板を通過することができる（明状態）。この状態で液晶部に電圧を印加すると、液晶分子は電場方向に一様に配列するので、光はねじれる

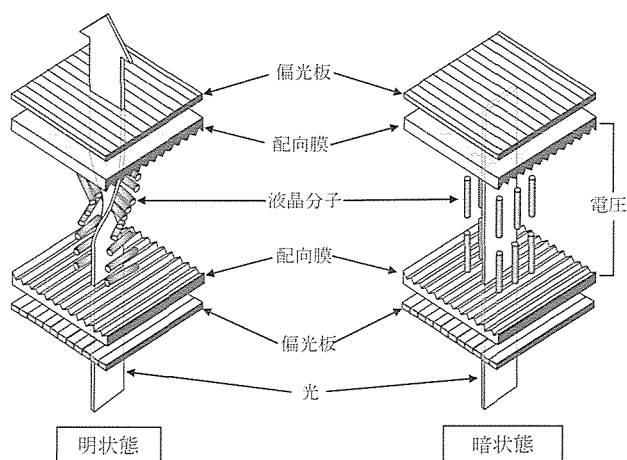


図-1 液晶ディスプレイの原理

ことなく出口の偏光板に達し、ここで遮断される(暗状態)。このような液晶の性質を利用してディスプレイ上の表示の最小単位である画素(ピクセル)のON・OFFを行うのである。

液晶ディスプレイは、液晶パネルと呼ばれる液晶をガラス基板で挟み込んだ板状部品と液晶パネルに電気信号や光を供給する駆動回路部品、バックライト部品より構成されている。バックライトの光源としては冷陰極管(CCFL)という細い蛍光管が主として使用されていたが、最近ではLEDが主流になりつつある。

液晶パネルは図-2のように偏光板(厚さ0.2mm程度)、アレイ基板(厚さ0.7mm程度)、配向膜、カラーフィルタ基板(厚さ0.7mm程度)と、これらによって挟まれる液晶層(厚さ3 $\mu$ m程度)、さらに液晶層に厚みを持たせるためのスペーサ(直径3 $\mu$ m程度)より構成されている。

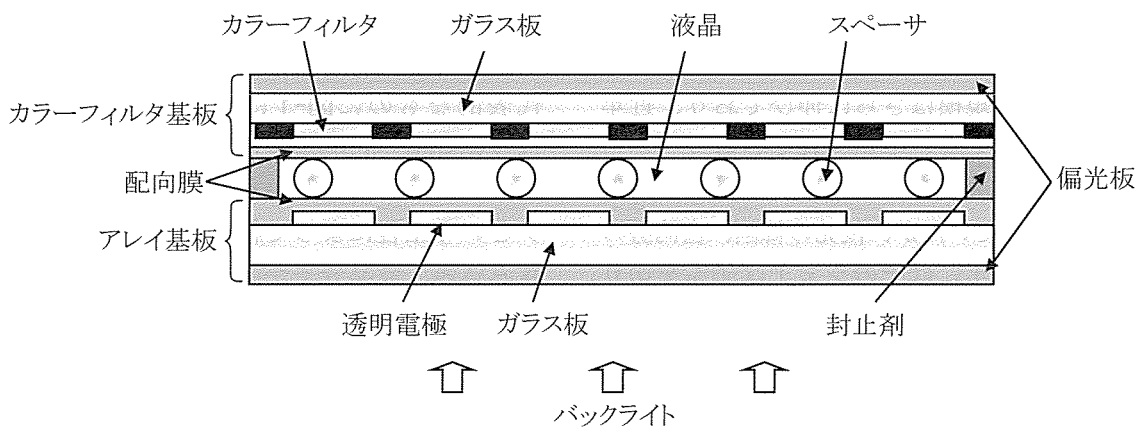


図-2 液晶パネルの断面

### 3. 液晶ディスプレイの製造

#### 3-1 液晶工場

液晶ディスプレイを製造する液晶工場内部は、温度23 $\pm$ 2 $^{\circ}$ C、湿度45 $\pm$ 10%RHに保たれたクリーンルームになっており、天井からはクリーンエアが床に向かって流れ(ダウンフロー)、床は製造機器から発生する微小なゴミ(業界ではパーティクルと呼んでいる)を気流とともに床下に落とし込むために小さな穴が開いている。製造装置に求められる清浄度(表-1)は一般にISOクラス5(FED規格ではクラス100)であり、特にガラス基板が通過するパスライン(床からの高さ)の約1mより上は生産歩留りに影響するパーティクルの発生がないよう留意しなければならない。また、装置の振動も生産歩留りに影響するため、機器類は防振対策が施されている。

表-1 清浄度表

清浄度		パーティクルの粒子径と個数 (個/m <sup>3</sup> )					
ISO 規格	FED 規格	0.1 $\mu$ m	0.2 $\mu$ m	0.3 $\mu$ m	0.5 $\mu$ m	1 $\mu$ m	5 $\mu$ m
ISO クラス1		10	2				
ISO クラス2		10 <sup>2</sup>	24	10	4		
ISO クラス3	クラス1	10 <sup>3</sup>	237	102	35	8	
ISO クラス4	クラス10	10 <sup>4</sup>	2,370	1,020	352	83	
ISO クラス5	クラス100	10 <sup>5</sup>	23,700	10,200	3,520	832	29
ISO クラス6	クラス1000	10 <sup>6</sup>	237,000	102,000	35,200	8,320	293
ISO クラス7	クラス1万	10 <sup>7</sup>			352,000	83,200	2,930
ISO クラス8	クラス10万	10 <sup>8</sup>			3,520,000	832,000	29,300
ISO クラス9		10 <sup>9</sup>			35,200,000	8,320,000	293,000

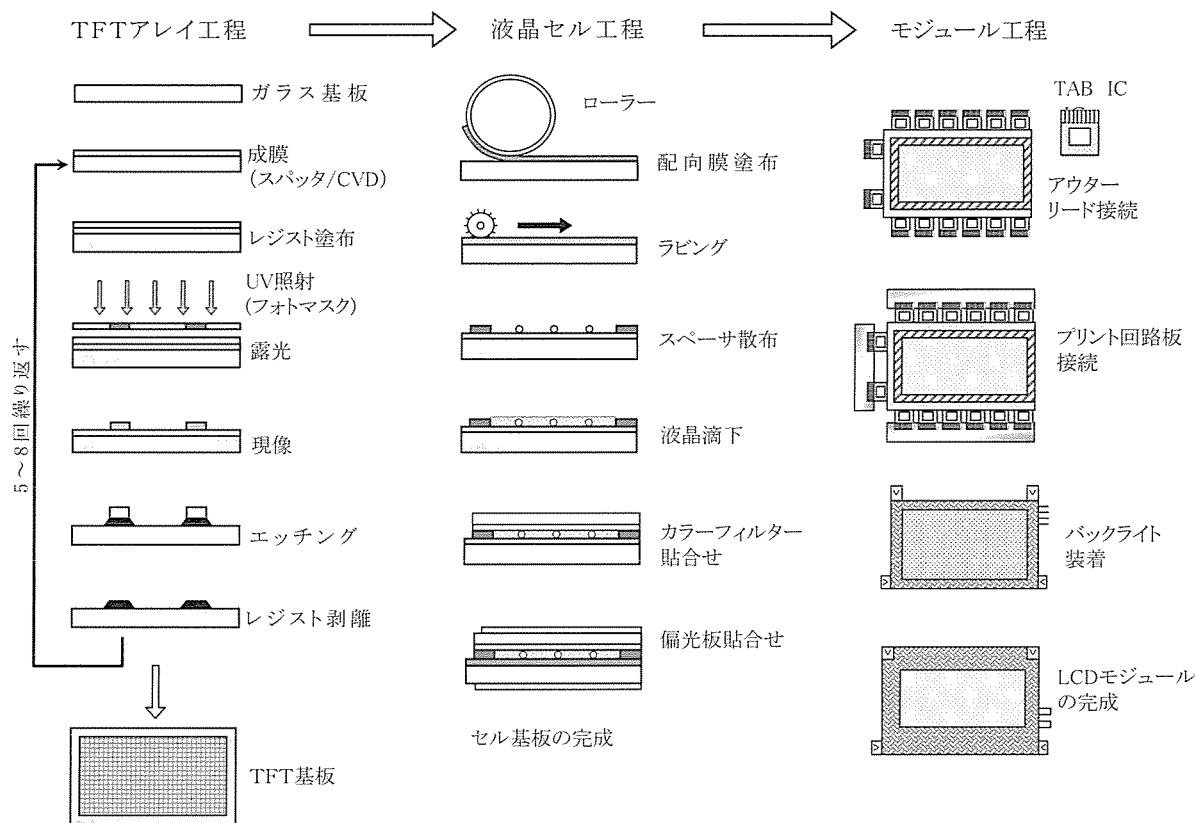


図-3 液晶ディスプレイの製造工程<sup>4)</sup>

### 3-2 製造プロセス

液晶ディスプレイの製造プロセスは複雑であるが、基本的には図-3に示すように、薄膜トランジスタをガラス基板上に多数整列させる TFT アレイ工程、液晶を注入する液晶セル工程、ドライバ IC を取り付けるモジュール工程に大別される。この他にガラス基板上に R (赤) G (緑) B (青) と BM (ブラック・マトリックス) のカラーフィルタを形成するカラーフィルタ工程があるが、これを内製せずにカラーフィルタメーカーから購入する場合もある。

液晶パネルに使用されるマザーガラスの大きさは第〇世代といういい方で表し、コストダウンを目的として図-4に示すように年々大型化してきている。近年の第10世代では3mを超えるガラスであり、しかも厚さが0.7mmと薄いため、取り扱いには細心の注意が必要である。

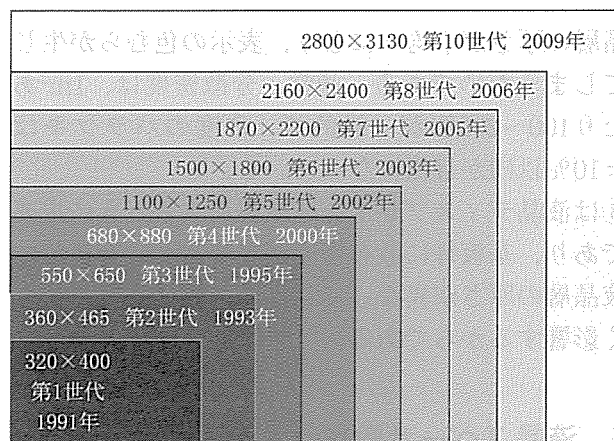


図-4 マザーガラスの推移<sup>5)</sup>

## 4. 液晶スペーサ

液晶スペーサは2枚の基板の間隔を一定に保ち、そこに注入される液晶の厚みを一定にするために必要なギャップ制御粉体で、建物でいえばちょうど柱の役目をしている。このスペーサ粒子には写真-1に示すような球形の樹脂スペーサが多く用

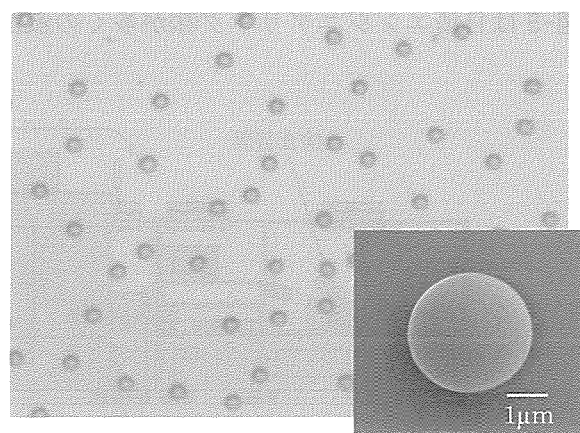


写真-1 液晶スペーサ

いられ、液晶層の厚さに応じて種々の粒径が販売されているが、一般的には3~5 $\mu\text{m}$ のものが用いられている。その粒子径は非常によくそろっており、粒度調整は湿式分級によって行われている。スペーサには、その機能によっていろいろな種類のものがあるが、いずれも数千円/gと非常に高価な粉体である。

スペーサはギャップコントロール粒子として重要な役割を担っているが、一方では液晶の電気光学的な機能を阻害する異物でもあり、なるべく少ない数で安定したギャップが維持できるようにしなければならない。そのためスペーサの散布に関しては次の3つの条件が要求される<sup>6)</sup>。

- ①一次粒子に分散していること
- ②基板内で分散密度が一定であること
- ③基板間の平均分散密度が一定であること

①の条件は、スペーサが凝集しているとその部分のギャップが大きくなってしまったり、数十個集まったような凝集体では一画素を覆い隠してしまうこともあり、表示欠陥を生じやすいという理由からである。

②については、基板内で分散密度に差があると液晶層の厚さが不均一になり、表示の色むらが生じてしまうためである。通常、分散密度は、1 $\text{m}^2$ あたり100~200個が一般的で、密度のバラツキは $\pm 10\%$ 以内が目標になっている。

③は液晶ディスプレイを連続製造するときに重要であり、基板毎に散布密度が異なると、基板毎で液晶層の厚さが異なってしまう、製品品質に大きく影響するからである。

## 5. 液晶スペーサ散布システム

### 5-1 散布システム

図-5は日清エンジニアリング株が多くの液晶

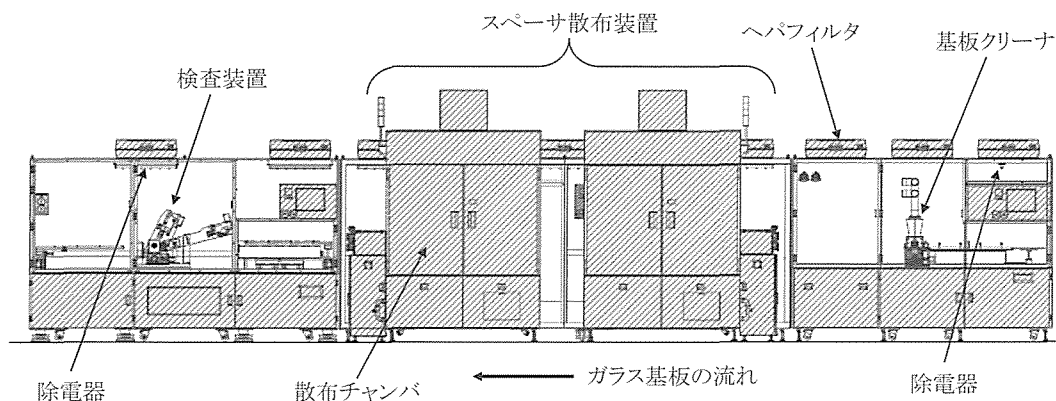


図-5 液晶スペーサ散布システム (日清エンジニアリング)

パネルメーカーに取めている液晶スペーサ散布システムである。上流の基板洗浄工程からコロ搬送されてきた TFT ガラス基板を受け取り、イオナイザーまたは軟 X 線除電器で除電し、基板上のパーティクルを除去しやすくした後、基板クリーナでパーティクルを除去する。クリーナを通過したガラス基板は、基板搬送ロボットで散布チャンバ内に挿入され、スペーサを付着させる。スペーサが散布された基板は散布チャンバからロボットで取り出し、スペーサ検査装置に移動させ、スペーサの散布密度測定を行う。測定後、散布基板は次の工程へ搬送される。

### 5-2 除電器

液晶ディスプレイの製造工程において静電気はトランジスタの破壊やパーティクルの付着を引き起こす原因となるため除電器が各工程において多く使われている。また、スペーサ散布においては、基板の表面電位分布がスペーサの均一散布に大きく影響するため、散布前の除電は充分に行う必要がある。

イオナイザー (写真-2) は放電針と呼ばれる針の先に数 kV の高電圧を印加し、コロナ放電を発生させて空気をイオン化し、発生させたプラス

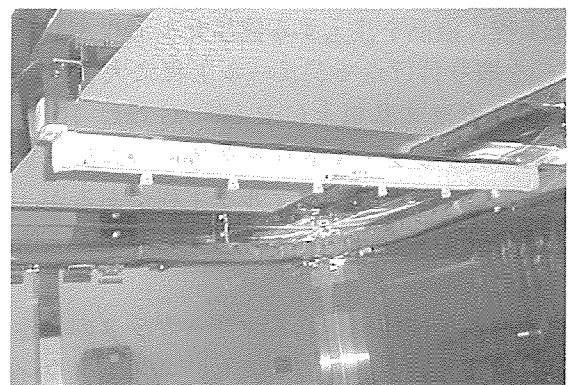


写真-2 イオナイザー

とマイナスのイオンを気流によって帯電物へ吹き付けることで静電気を中和させる。

軟X線除電器（写真-3）は軟X線の照射エネルギーにより帯電物周辺の雰囲気イオンをイオン化させ、静電気を中和させる。イオナイザーに比べ照射範囲が広く、気流は不要で発じんもないため、最近によく採用されている。

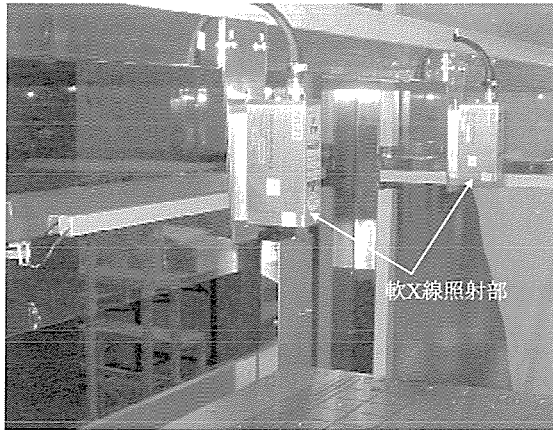


写真-3 軟X線除電器

### 5-3 基板クリーナ

基板クリーナ（写真-4）はガラス表面に付着しているパーティクルを吹き飛ばしながら吸引する大きな掃除機である。原理は図-6に示すように高圧ブロワからの清浄空気をクリーナヘッドの狭いスリットからガラス基板に吹きつけてパーティクルを除去し、スリットの前後に開口した広めのスリットから吸引する空気循環式クリーナである。除去されたパーティクルはブロワの排気側に設置されたヘパフィルタで捕集される。高圧タイプのブロワを使用する場合は、排気側空気温度が上昇するため冷却器を用いる場合がある。ガラス基板とクリーナヘッドの隙間は1~2mmで調整されており、ガラス基板は吸着テーブルに吸着されて通常150mm/secでクリーナヘッドの下を移動する。

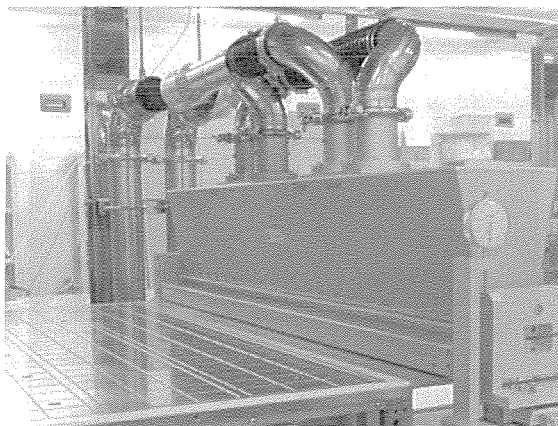


写真-4 基板クリーナ

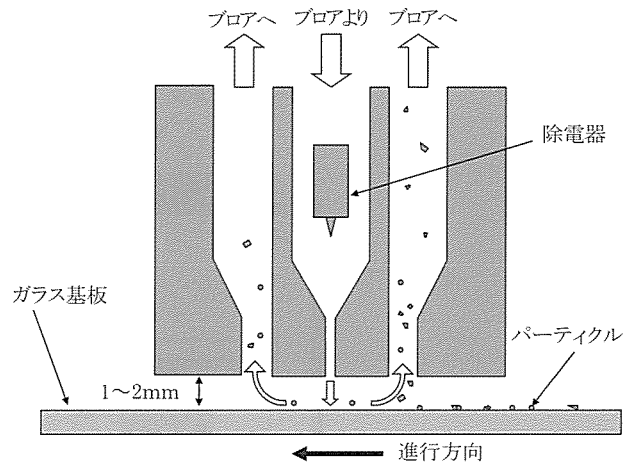


図-6 基板クリーナの原理

このタイプの基板クリーナは歩留り向上のため、いわゆるゴミ取り装置として他の工程でも多く使われている。

### 5-4 ガラス基板搬送ロボット

液晶パネル製造工程の中で装置として多く使用されているのがガラス基板搬送ロボット（写真-5）である。清浄度はISOクラス4（FED規格ではクラス10）に対応している。通常、ガラス基板はテーブルからの多数のピン（特殊樹脂製の丸棒）によって持ち上げ、その隙間にフォーク状のロボットハンドが挿入し、ハンドに吸着して移送する。大型基板になるとハンドは軽量化のためにカーボンファイバで製作されている。



写真-5 ガラス基板搬送ロボット（ダブルハンドタイプ）

### 5-5 液晶スペーサ散布装置

液晶スペーサ散布装置は図-7に示すようにスペーサを微量定量供給するフィーダユニット、スペーサを一次粒子に分散する細管、スペーサを均一にガラス基板上に散布するノズルユニット、ガラス基板を吸着して固定する散布テーブル、スペーサが外部に漏れないようにした密閉容器の散布チャンバ、ガラス基板を出し入れする基板搬送ロボッ



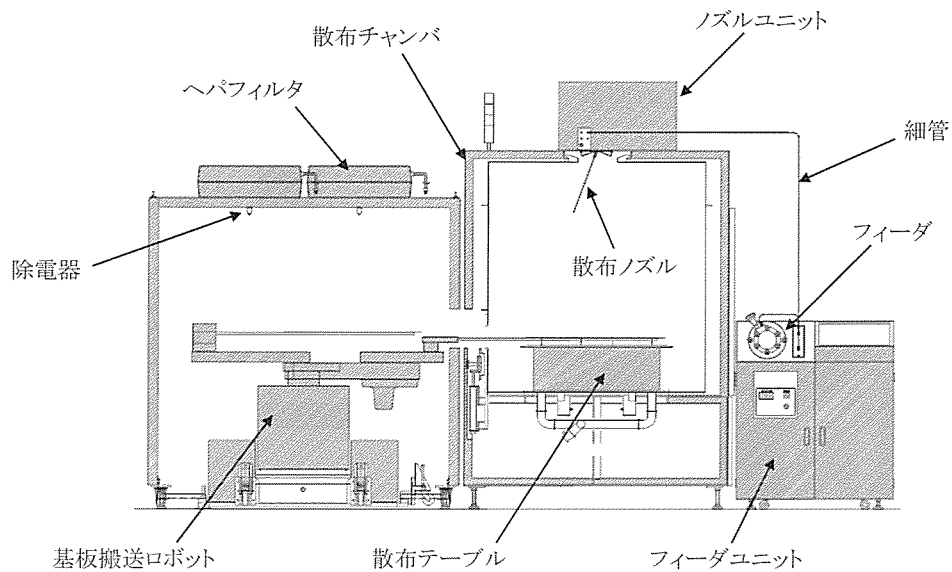


図-7 液晶スペーサ散布装置

トから構成されている。

フィーダ（写真-6）内に投入されたスペーサは、ロールと呼ばれる金属円筒の側面に彫られた細かい溝に充填される。フィーダは密閉構造になっているため、外部より供給される窒素ガスによってスペーサは溝から飛散し、ガスとともに細管内に移動する。スペーサの飛散量（散布量）はロールの回転数と回転時間（散布時間）でコントロールする。フィーダ部ではロール溝から如何に定量性良く細管内にスペーサを供給するかが、散布密度の均一性に大きく影響する。

細管内に供給されたスペーサは高速気流によって細管内を移動し、細管内壁と接触したりバンド部で衝突したりして分散しながら散布ノズル部に到達する。細管の途中にはスペーサ濃度計があり、ここで細管内を移動するスペーサの濃度を監視し、フィーダ異常やスペーサ不足の警報を出すようになっている。

ノズル部では散布ノズルをジグザグに動かし、ちょうどペンキをスプレーガンで塗るのと同じよ

うにガスとともに基板の上にスペーサを吹き付ける。

ノズルから出たスペーサは細管内で分散と同時に細管内壁との摩擦によって帯電しているため、散布チャンバ内空間で再凝集することなくテーブル上に置かれた基板に向かって吹き付けられる。スペーサは帯電しているため、静電気力で基板に付着し、すぐには放電しないのでスペーサ同士が反発し合い、再凝集することなく分散して付着する。

### 5-6 散布密度検査装置

スペーサが散布された TFT ガラス基板は CCD カメラ（写真-7）によって測定視野  $1\text{mm}^2$  に存在するスペーサの個数を写真-8 のように二値化処理（スペーサは白、それ以外は黒）して計測し、 $1\text{mm}^2$  あたりの密度計測を行う。CCD カメラは基板サイズによって設置台数が異なるが、通常は  $100\text{mm}$  間隔で置かれ、基板を断続的に動かし、静止している  $0.1$  秒間で測定する。基板上の数百箇所をサンプリングして測定し、平均値、最大値、最小値、変動係数を表示するとともに、各データ

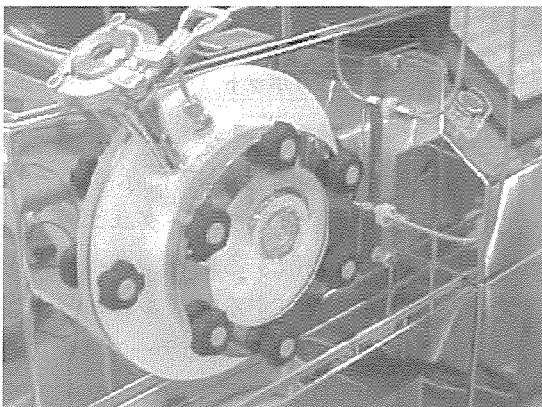


写真-6 スペーサ・フィーダ（商品名：ディスパミューR）



写真-7 散布密度検査装置

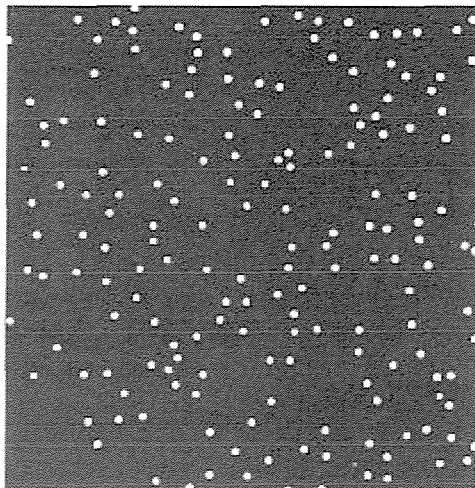


写真-8 スペーサの散布密度

は工場内のネットワークを介してCIM (Computer Integrated Manufacturing) システムに接続され、システム内のデータベースに蓄積される。測定が終了した基板は、スペーサ表面を熱で溶かしてガラス基板にスペーサを固着させるベーキング工程に搬送される。以上で液晶スペーサ散布工程は終了となる。

## 6. おわりに

現在、液晶スペーサの散布技術は、少量多品種の小型液晶パネルには用いられているが、液晶テレビのような大型のパネルには使われていない。フォトリソグラフィ技術が進歩し、カラーフィルタ工程で柱状スペーサを形成できるようになったため、大型で大量生産するパネルにはスペーサ付きのカラーフィルタを用いている。

冒頭にも述べたように、液晶ディスプレイの製造という側面では、海外企業の積極的な投資によって日本の影が薄くなりつつあるが、製造装置や材料は未だに日本の重要な輸出品となっている。しかし、韓国、台湾、中国は国策として装置や材料の国産化を着々と進めており、油断できない状況である。技術はいつかは追いつかれ、そのスピードは速くなってきている。液晶ディスプレイの製造技術は日本のお家芸であり、これを他国に持っていかなければ、我々技術屋はさらなる技術の改良と新技術の開発に注力しなければならない。

## 引用文献

- 1) “2010液晶関連市場の現状と将来展望” 富士キメラ総研 (2010)
- 2) 沼上 幹：“液晶ディスプレイの技術革新史”、白桃書房 (1999)
- 3) “カラー液晶ディスプレイにおける低コスト化・無欠陥化・歩留り向上技術”、技術情報協会 (1992)
- 4) 大田 勲夫監修：“液晶パネル製造プロセス技術”、トリケブス (1993)
- 5) 澤田 朋之、水谷 友範、松木 幹夫：“最新鋭液晶クリーンルームシステムとコンポーネント”、富士時報、83(2) (2010)
- 6) 村田 博、石戸 克典、有賀 伸哉：“スペーサ散布装置”、2006 LCD 工場・装置・設備、電子ジャーナル、p. 237-240 (2005)



むらた ひろし  
村田 博  
日清エンジニアリング(株)  
常務取締役 技術管理部長

〒350-1175 東京都中央区日本橋小網町14-1  
TEL : 03-3660-3089 FAX : 03-3660-3098  
E-mail : muratah@mail.ni-net.co.jp