最新鋭液晶クリーンルームシステムとコンポーネント

The Latest LCD Clean room System and Components

澤田　朋之 Tomoyuki Sawada　　水谷　友範 Tomonori Mizutani　　松木　幹夫 Mikio Matsuki

フラットパネルディスプレイ（FPD）産業を牽引（けんいん）する液晶パネル工場では，生産性向上のためマザーガラスの大型化や高速化によるタクトタイム短縮が進んでいる。世界初の第10世代マザーガラスを用いた最新鋭液晶パネル工場向けに，新方式の気流制御でクリーンルームシステムを垂直立上げした。大型化するクリーンルームに対応した工事体制を築くため，実際のクリーンルームを模擬したラーニングセンタを富士電機内に設置して，工事作業者の入所前教育ができる体制も敷いている。さらに，歩留りを改善しつつタクトタイムを短縮するガラス基板精密温調装置も開発し，納品した。

LCD panel factories which drive the FPD industry are using larger mother glass sizes to improve productivity and are increasing the rate of production to achieve shorter tact times. At a state-of-the-art LCD panel factory, the first in the world to use 10th generation mother glass, we have vertically launched a clean room system that uses a new method of airflow control. To build a system capable of supporting the construction of a larger clean room, a learning center that models an actual clean room has been installed at Fuji Electric, and a system capable of training construction workers before they enter the factory is provided. Fuji Electric also developed and delivered a precise temperature control unit for glass substrates that improves yield and reduces tact time.

1　まえがき

フラットパネルディスプレイ（FPD）産業は，1970～1980年代に電卓でモノクロ液晶が普及し，1990年代にはノートPCへの搭載に加えデスクトップPCのモニタ市場においてCRT（Cathode Ray Tube）からカラーTFT（Thin Film Transistor）液晶パネルへの置換えにより急成長を遂げてきた。2000年代に入り高精細のテレビ用ディスプレイが急速に普及し現在に至っている。FPDには技術的に異なる方式が競合し，大型では，液晶パネルとPDP（Plasma Display Panel），中小型では液晶パネルと有機EL（Electroluminescence）パネルが注目されていた。液晶パネルは“薄型，高画質”の特長を生かすとともに，大型化，視野角，応答性，消費電力などの技術課題を解決し，さらに生産効率の向上による低価格化を実現して，FPDの主流として市場を牽引（けんいん）している。富士電機では，1990年から液晶工場のクリーン化に取り組んできた。現在は大型液晶テレビ用の“G10”と呼ばれる世界初で世界最大の第10世代マザーガラス（2,880×3,130）を用いた最新液晶工場の建設に携わっている。本稿では，その最新液晶工場向けの富士電機のクリーンルーム，エアカーテン，クリーン冷却装置について紹介する。

2　液晶工場の課題

液晶パネル市場は競争が激化し，パネルの大型化と低価格化が急速に進行している。そうした中，液晶工場の各種課題について次に述べる。

2.1　生産効率の向上

液晶パネルメーカーが抱える最大の課題は，いかに投資生産性〔式(1)〕を向上させ製造コストの低減を図るかということであり，解決するために必要な推進項目を次に示す。

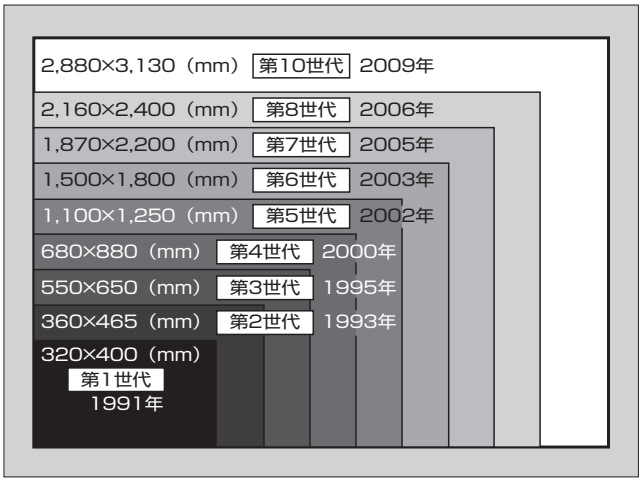
(a)　面取り数の増加（マザーガラスの大型化）
(b)　マザーガラス投入枚数の増加（タクトタイム短縮）
(c)　歩留り向上（クリーン化対策など）

中でも，マザーガラスを大型化すると**表1**に示すように面取り数が増えるという効果があり，**図1**のように急速に大型化してきた。この大型化は，クリーンルームを含め工場全体の巨大化につながり，3章で述べる効率的なクリーン環境の確保が求められる。さらに，工場建設のための巨

表1　マザーガラス1枚当たりのテレビ生産数

マザーガラス世代	42型テレビ	65型テレビ
第8世代	8台	2台
第10世代	15台	6台

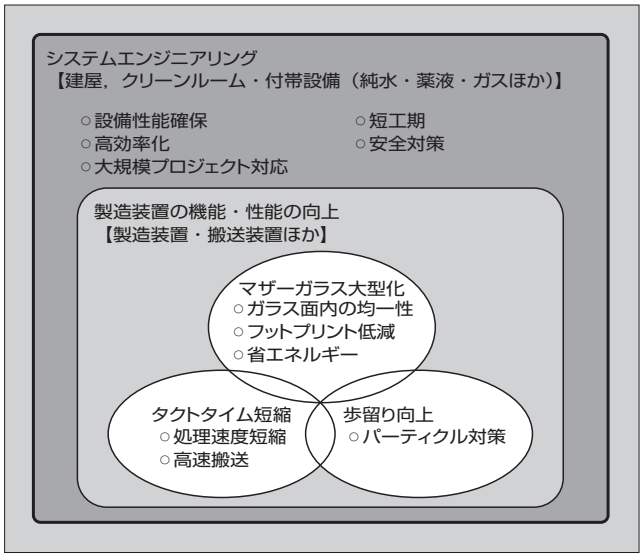
図1　TFT液晶マザーガラス基板の変遷



額な資本投入の早期回収するために，綿密な施工・安全計画を立案・実施して従来にも増して工場の垂直立上げを実現する必要がある。生産効率向上の課題を**図2**に示す[1]。

投資生産性[2]
＝パネル生産量/投資金額
＝（マザーガラス投入枚数 × 面取り数 × 歩留り）
/（アレイ投資 + セル投資 + モジュール投資 +
搬送投資 + 建屋投資 + クリーンルーム投資）……(1)

図2　生産効率向上の課題（投資効率の最大化）



2.2　製造装置の各種課題

液晶工場は，**図3**に示すようにTFTアレイ工程，液晶セル工程，カラーフィルタ工程，モジュール組立工程の4種類から構成されている。各工程には数十種類の製造装置や検査装置を導入している。

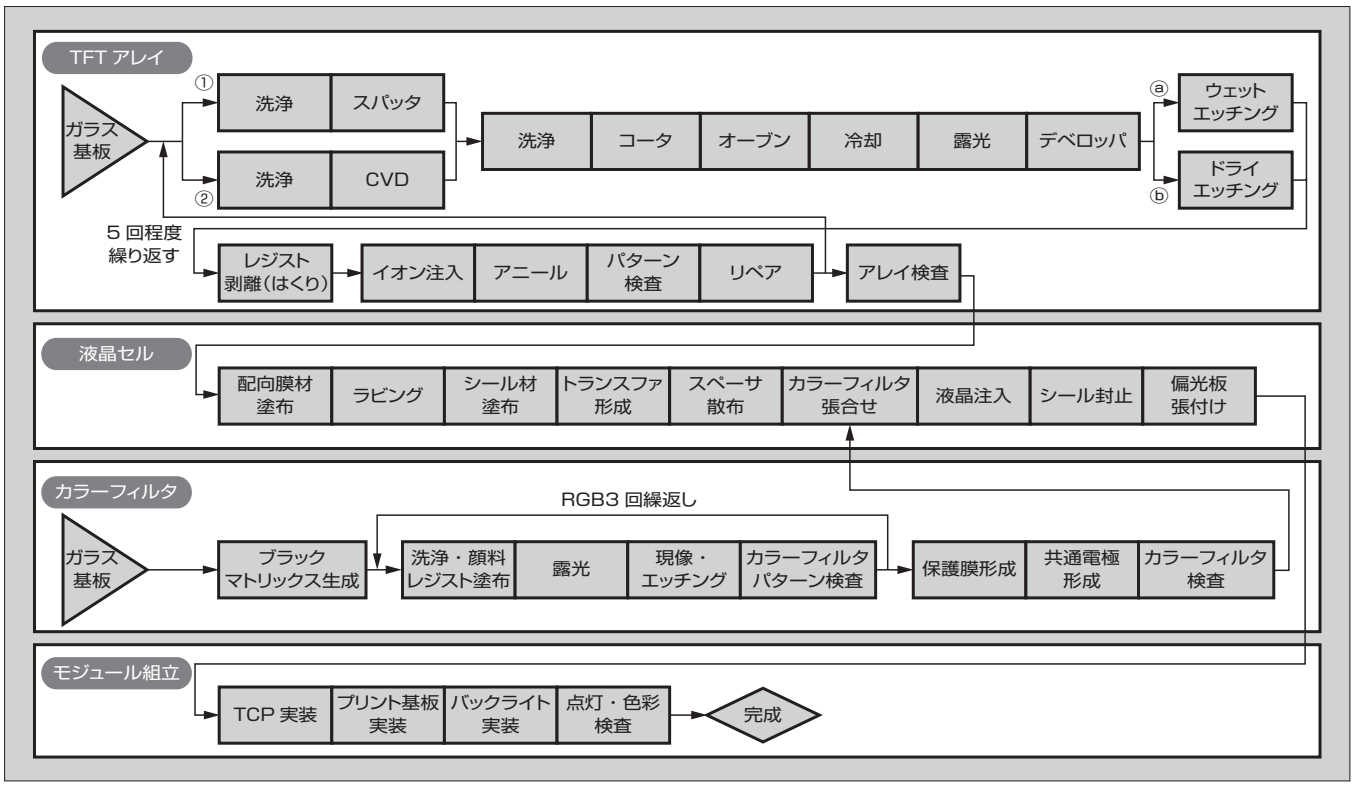
製造装置には液晶パネル生産コストを大幅に削減するために，プロセス技術そのもののイノベーションが常に期待されている。製造装置メーカーの主な課題は次のとおりである。

(a)　製造装置の生産性向上
　①　マザーガラスの大型化対応
　②　ガラス面内の品質の均一性
　③　歩留り改善（パーティクル対策など）
　④　タクトタイムの短縮
　⑤　装置稼動率の向上
(b)　液晶パネルの性能・品質向上へのプロセス改善
(c)　省スペース〔フットプリント（機器が専有するスペース）削減〕
(d)　省エネルギー（ランニングコスト削減）

3　最新液晶工場での富士電機の取組み

富士電機ではこれまで，液晶工場の各生産工程において最適な環境を提供するシステムを提案し納入してきた。特に製造装置の大型化と高速化に伴う発塵（はつじん）の増加は，歩留りの低下を招くことから，その対策に注力する一方，投資生産性向上を視野に局所クリーン化など効率的

図3　各生産工程[3]



な環境提供へのニーズに対応してきた。

3.1　原寸大タイプテストによる検討

ガラス基板が露出状態となる工程のパーティクル対策は，生産性に直結するため非常に厳重な管理が必要である。富士電機では，新液晶工場を事前に評価するための研究棟を新設し，各製造装置メーカーとのタイアップにより，製造装置の評価・改善を行い，世界初の G10 液晶ラインの垂直立上げに寄与した。

(1)　気流改善

図 4 は改善の一例である。改善前のクリーンルーム環境は，目標とする要求仕様を満足していないことが分かった。清浄度を改善するには，クリーンエアの循環風量を増加させることが一般的であるが，輸送用コンテナ 2 段積みほどの大きさの装置が高速移動する空間での清浄度確保は，気流の乱れが大きく，この一般的な方式だけでは不可能である。そこで，次の改善策を施すことで清浄度レベルを大幅に改善し，要求仕様を満足した。

(a)　ピストン効果低減による乱流抑制
(b)　発塵源の特定と局所除塵
(c)　気流の巻き上がり防止構造の採用
(d)　エアカーテン採用

(2)　エアカーテン

清浄度レベルの異なるエリアを物理的なパーティショ

図 4　クリーン化対策と効果の推移

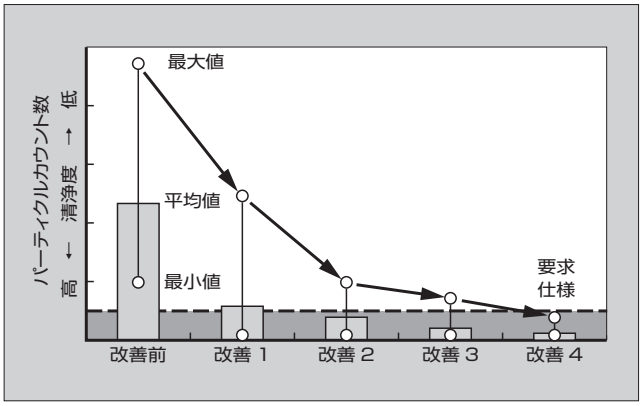
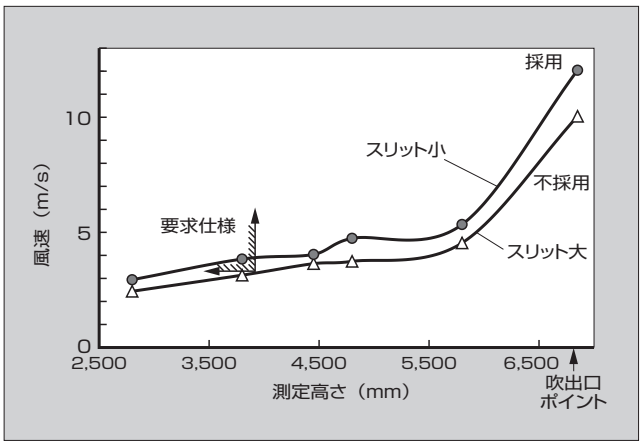


図 5　エアカーテンスリット評価



ンなどで区分することが一般的である。しかし，液晶工場では大型マザーガラスの受渡し部など物理的遮断が困難なケースが多く発生する。そこで，富士電機独自の大型 FFU（ファン フィルタ ユニット）に専用スリットを組み合わせ，ガラス基板のパスラインにおいて遮断効果が得られる風速を確保（**図 5**）することで，総延長 8 km にもおよぶシャッタレスの区分を可能とした。

(3)　クリーン冷却装置の採用

高清浄度を必要としない工程でのクリーン化は，いかに

図 6　従来方式とクリーン冷却装置とのシステム比較

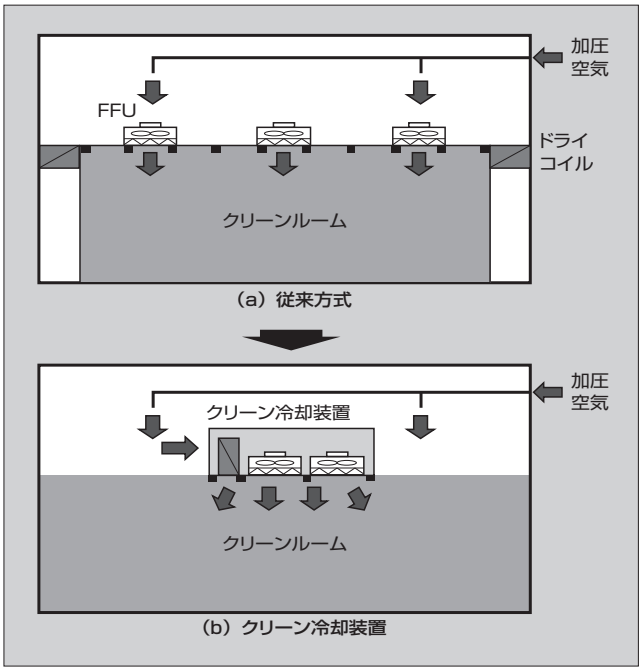


図 7　クリーン冷却装置の外観

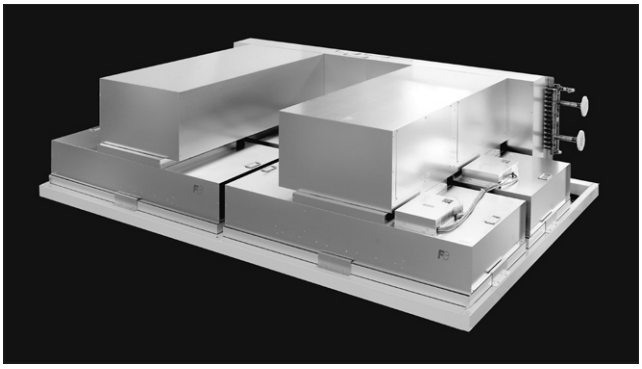


表 2　クリーン冷却装置の仕様

項　目	仕　様
集塵率	0.3 μm　99.99% 以上
処理風量	200 m^3/min
冷却能力	16.3 kW （14,000 kcal/h）
騒　音	70 dB（A）
質　量	420 kg
電　源	3Φ　200 V　50/60 Hz

効率良く要求を満足させるかが重要であり，大規模化する工場では施工面も含めて総合効率を向上させる取組みが必要である。ここでは，クリーン冷却装置の採用について紹介する。

液晶工場におけるクリーンルームでは，清浄度の確保とともに製造装置からの発熱を除去する機能を併設している。これまで，天井，FFU，ドライコイルから構成していたクリーンルーム〔**図 6**(a)〕をクリーン冷却装置のみで同等の機能を満足させようとするもの〔**図 6**(b)，**図 7**〕で，短工期で施工工数も大幅に削減でき，クリーンルーム内の有効スペースの拡大にも寄与する。

表 2 にクリーン冷却装置の仕様を示す。本装置は清浄度が ISO クラス 6 程度において 1 台で 100 m^2 のエリアがカバーできる。清浄度の回復特性は**図 8** に示すとおり，24 分で要求仕様を満足することを確認した。また，実際の採用に当たっては，製造装置の温度冷却を考慮しながらの設置が必要となることから，**図 9** のようなシミュレーション結果をベースに設置位置を決定している。

3. 2　施工管理

クリーンルームの実装面積は，世界的にも例を見ない大規模なものとなり，工期短縮のため複数の工区を同時に施工する必要があることから，G10 の最新鋭液晶パネル工場建設ではピーク時で約 500人/日の作業人員を要した。

こうした状況において，安全，品質，工期の確保に対してどう対処するか，それぞれ事前準備を強化し，現地対応を実施した。

(1)　安全の確保

製造装置の大型化に伴い，クリーンルーム実装面積の増大や天井高さの増加などにより施工時の危険リスクが高くなる。特に天井内は，クリーン機器，動力制御盤，温調用ドライコイルなどが設置されており，この中での作業は墜落災害や落下事故のリスクが高くなる。そこで，設計段階から，メンテナンス導線，親綱，安全ネットの設置場所を計画するなど，安全対策を強化した。

現地工事中は，天井内での安全作業を監視する要員を専任化し，天井内の安全パトロールを定期的に実施することで安全を確保した。また，富士電機川崎工場内に“ラーニングセンタ”（**図10**）を設置し，液晶工場内での施工開始前にクリーンルームの構成，天井の構造，天井内の危険箇所，安全対策などを実体験することにより，関係者の“危険”に関する理解の向上に努めた。

(2)　品質の均一化

液晶工場のクリーンルームは，工程や製造装置によってカスタマイズする必要があり，フレキシブルな施工が要求される。基本的な清浄度や温度などの性能確保に加え，大規模な構造物を構成する材質，強度，耐腐食性，アウトガスに対する低ボロンフィルタの採用，危険物エリアにおける耐火基準の対応など検討箇所は多岐にわたっている。

一方，作業員の増加に伴い，作業方法，作業手順，クリーンに対する理解度などに起因する品質のばらつきも大きな課題となっている。そこで，次の対策を実施し，技術，

図 8　清浄度回復特性

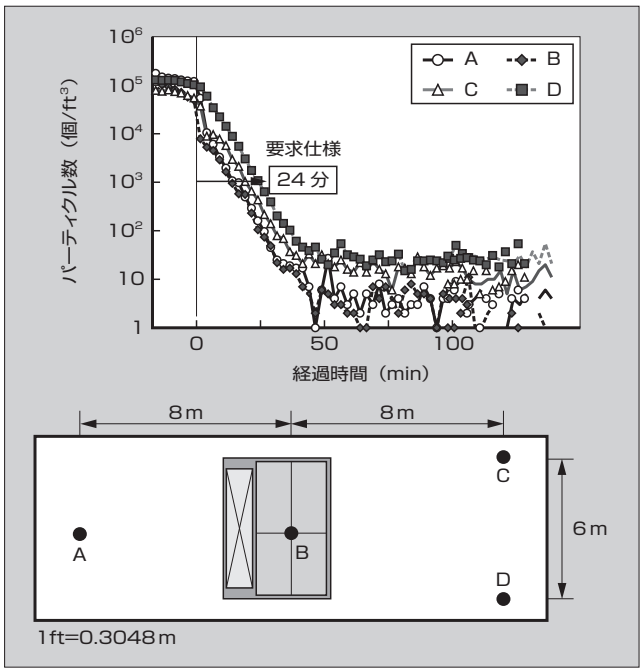


図 9　温度分布シミュレーション

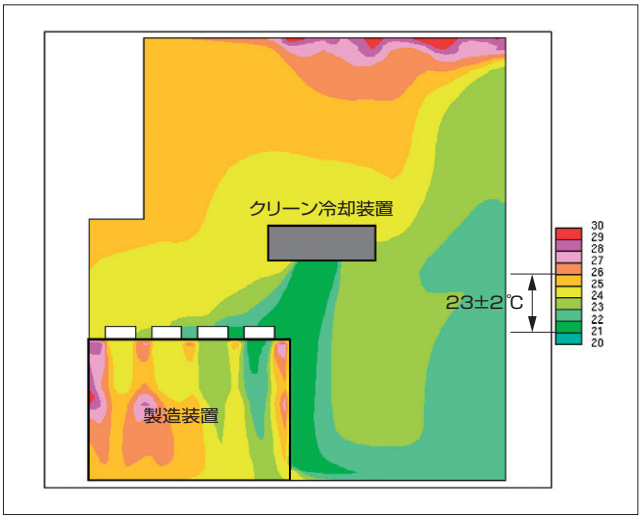


図 10　ラーニングセンタ

図 11　ガラス基板精密温調装置の外観

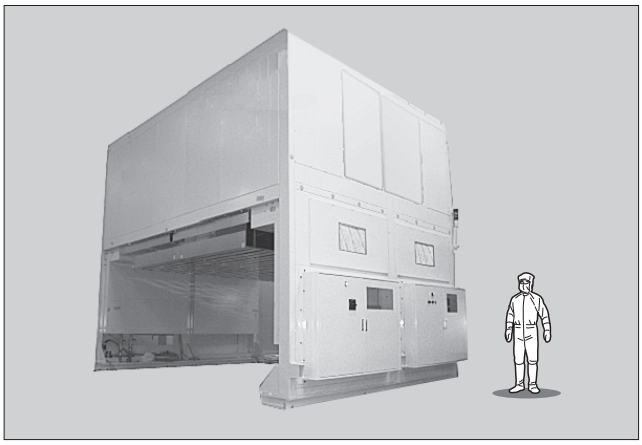
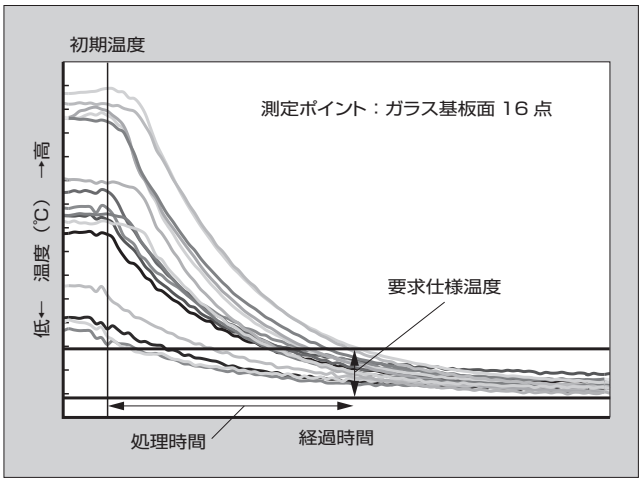


図 12　ガラス基板表面温度分布



現地管理にとどまらず，工場，協力業者，物流倉庫に至るまで役割を明確にし，品質向上に努めた。

(a)　施工マニュアルの整備

(b)　内装分科会の開催（部材の選定，施工方法など）

(c)　工場出荷前の立会検査の徹底

(d)　技術，現地管理要員による完成検査の実施

(e)　各種教育の実施（新規入所教育，クリーン教育，天井内教育など）

(3)　工期の厳守

大面積を従来と同じ工期で，垂直立上げするために，プロセスごとに施工管理体制を強化して，きめ細かい工程管理ができるようになった。特に製造装置の搬入にリンクした複雑な工程計画に対しても綿密な対応ができるようになり，計画どおりの施工と性能の確保ができた。また，新方式であるクリーン冷却装置の導入に対し，搬入据付け専用の特殊リフタを開発するなど，施工効率の向上を図った。

3. 3　プロセス製造装置対応

富士電機の新しい取組みとしてプロセス製造装置の開発，商品化にも力を入れている。ここでは，最新のガラス基板精密温調装置を紹介する。

(1)　概　要

フォトリソグラフィ工程は，ガラス基板上に高精度の微細パターンを焼き付ける。マザーガラスの大型化は基板上の微細な温度ムラによる局所的な熱膨張・収縮が基板上に焼き付ける微細パターンの精度への影響が無視できず，表面温度を精度良く均一化することが求められている。本装置は露光工程に至る直前に，レジストを塗布したガラス基板の表面温度分布を短時間で均一化させる装置である。**図 11** に本体の外観を示す。

(2)　特　徴

(a)　ガラス基板表面温度の急速な均一化

表面温度を急速に均一化させるためには熱伝達率をいかに高めるかがポイントとなる。本装置では，高い熱伝達率と低圧損を両立させるための新流路設計を行い，ガラス基板面に均一に風を接触させることを可能とした。

また，温度の面分布向上を目指し，多点温度制御によりガラス基板面に精密に温度調整した空気を吹き付ける方式を採用した。**図12** にガラス基板表面温度測定結果を示す。測定には常温での性能および応答性の高い白金測温抵抗体を使用し，測定ポイントは基板面内の 16 点で行った。高温で装置内に投入したガラス基板が，所定の処理時間で所定の温度に収束していることが分かる。

(b)　省スペース・省エネルギー

新流路設計の採用で，低圧損での空気循環が可能となり，送風機の台数低減とサイズダウンとを実現した。その結果，機械室部分をコンパクトにまとめることができ，フットプリントの低減に寄与した。

これら送風機動力の低減に加え，不要な熱負荷の進入を抑制する流路構成とするとともに，部分的な過冷却，過加熱を抑制するための攪拌（かくはん）構造も採用し，消費電力削減も実現した。

4　あとがき

液晶パネルの価格はここ数年で 1/4 程度までになってきたことから，大型テレビは新興国も含め急速に普及し，世界のテレビ出荷量は現在の 1 億台から数年後には 3 億台にまで拡大すると予想されている。

急速に変化する液晶市場において，富士電機は長年にわたり“クリーン化技術”を開発し続けてきており，新たにプロセス製造装置分野において精密温調技術を生かしたプロセス改善にも寄与することができた。これまで，企画，設計，製造，施工，保守まで一貫して対応してきた経験を生かし，今後，さらに富士電機が得意とするクリーン＆サーマルを核とした技術革新で社会に貢献していく所存である。

参考文献

(1)　横幕博行，澤田朋之．クリーンシステム技術の現状と展望．富士時報．2005, vol.78, no.6, p.457–461.

(2)　生垣展ほか．液晶ディスプレイ製造装置実用便覧．株式会社

サイエンスフォーラム. 1993-4.
(3)　石橋健夫ほか. 半導体・液晶ディスプレイ　フォトリソグラフ技術ハンドブック. REALIZE. 2006-1.

水谷　友範

クリーンルームシステムのエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社産業プラント事業本部第二統括部Ｓプロジェクト部長。

澤田　朋之

クリーンルームシステムのエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社産業プラント事業本部第二統括部技術第一部長。

松木　幹夫

クリーンルームシステムのエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社産業プラント事業本部第二統括部技術第一部主査。

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。