最新鋭液晶パネル工場向けクリーンルームシステム

高松　武史（たかまつ　たけし）　松木　幹夫（まつき　みきお）　奥田　耕士（おくだ　こうじ）

1　まえがき

クリーンルームは，半導体・液晶表示パネル（以下，LCDという）・電子部品・精密機器などの工業分野および医薬・食品などのバイオテクノロジー分野などに幅広く利用されている。

富士電機は，日本国内および台湾向けLCD工場用クリーンルームシステムとエアシャワー，パスボックス，スモック用クリーンロッカーなどのクリーン機器も提供しており，システム構築者の立場で機器の開発を行い顧客のニーズに対応している。

最近のLCD市場はパソコン，モバイル（携帯電話など）関係の表示装置からテレビ向けに大きくシフトしている。30インチ以上はプラズマテレビで，それ以下はLCDテレビとのすみ分けが一時期なされてきたが，技術の進歩で日本のメーカーから最近65インチの大型LCDテレビが発売されてから，韓国・台湾のLCDメーカーも追随する形で，LCDテレビの大型化に一段と拍車がかかっている。テレビの大型化に伴い，その基幹部品であるガラス基板も大型化され，工場の規模，建物の高さ，装置質量も拡大傾向で，クリーンルームを清浄空間に維持するファンフィルタユニット（FFU）の高風速化など，過去のクリーンルームにはないニーズが高まっている。

本稿では過去のLCD工場向けクリーンルームの技術トレンドから，最新鋭クリーンルームについての顧客ニーズとそれに対応したシステムを紹介する。

2　LCD工場向けクリーンルーム設備のトレンド

図1に富士電機が納入したLCD工場向けクリーンルーム設備のトレンド，**図2**にTFT（Thin Film Transistor）型LCDのガラス基板サイズの変遷を示す。

富士電機のLCD工場向けクリーンルーム設備の歴史は，LCDガラス基板の変遷とともにある。日本でCRTに替わる表示装置としてのLCDが本格的に生産され出したのは1991年ごろからである。

図1は某LCDメーカーへの納入実績に基づくものである。

2.1　第1世代

LCD工場向けクリーンルームでは，当初第1世代と呼ばれる320 mm × 400 mmサイズのガラス基板の生産に際し，初めての生産ラインを構築するうえで，半導体向けの仕様を踏襲した形で，清浄度，対象粒径，温度，湿度，騒音などを決定してきた。また，装置も新規開発される中で，生産レイアウトも試行を繰り返しながら，設備を決定していった。その構成は生産装置の上部に必要とする清浄度を達成するためのクリーンエアを供給する，いわゆる装置組込み型クリーンベンチを配置するものであった。現在では1～2 m級のガラス基板が一般的だが，半導体に比較すれば，第1世代の基板サイズでさえ大型な製品であった。クリーンルーム設備も，鋼板製の構造体で任意にFFUを配置して，それから供給されるクリーンエアの吹出し風速は大きく，清浄空間の平面面積に対するFFUの占有率も比較的高かった。

2.2　第2世代

LCDの用途がパソコンにシフトしていく過程で，第2世代と呼ばれる360 mm × 465 mmのガラス基板が1993年ごろから登場した。

第1世代のクリーンルーム設備と比較して，LCD生産ノウハウが顧客によって高まっていく中で，過剰と思われる仕様を徹底的に排除したものとなった。すなわち，FFUの占有率は第1世代用のそれと比べ約30％減，それを補う形でクリーンエアの吹出し部には拡散用としてのパンチング板が設けられ，準層流システムと呼ばれるクリーンベンチ設備が開発された。

クリーンルーム設備の中で最も高価であるFFUの占有率を少なくすることで，設備のコストダウンを図った。LCDの歩留りが同じと仮定した場合，1枚のガラス基板から取れるパネル枚数を多くすることで，顧客はコストダウンが図れた。

高松　武史

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・交通システム本部クリーンシステム統括部技術第一部担当部長。電気学会会員。

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・交通システム本部クリーンシステム統括部技術第一部課長補佐。

奥田　耕士

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・交通システム本部クリーンシステム統括部技術第一部課長補佐。

図1　LCD 工場向けクリーンルーム設備のトレンド

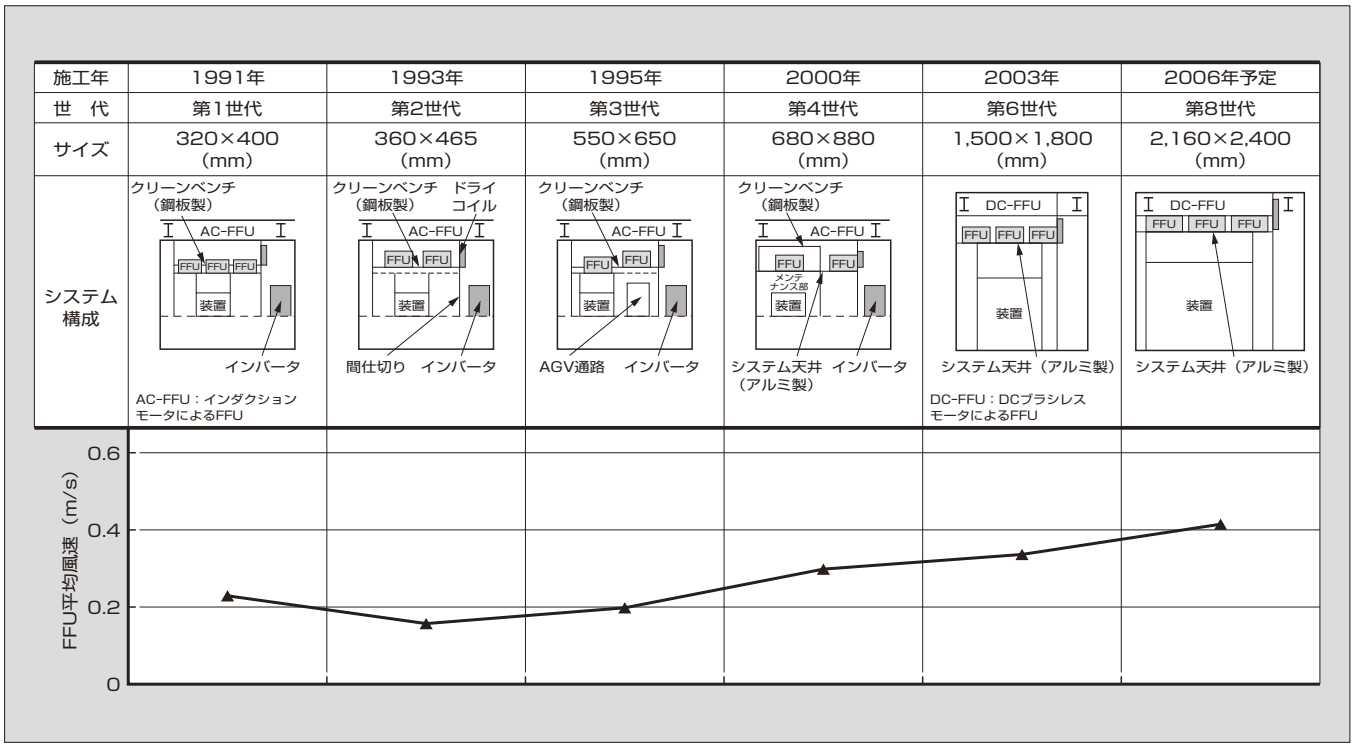


図2　TFT 型 LCD のガラス基板サイズの変遷

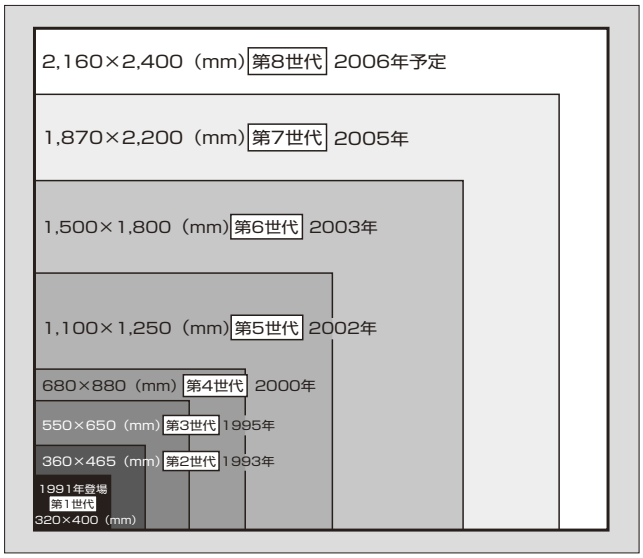
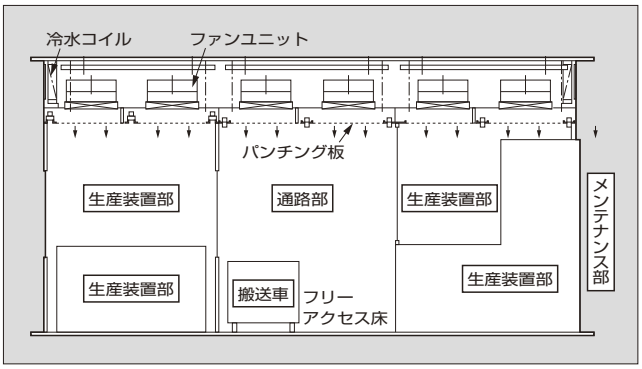


図3　準層流クリーンベンチ設備



2. 3　第3 ～ 4世代

第 3 世代と呼ばれる 550 mm × 650 mm サイズのガラス基板は 1995 年ごろから，第 4 世代と呼ばれる 680 mm × 880 mm サイズのガラス基板は 2000 年から登場した。

クリーンエアの吹出し風速や FFU の占有率も拡大の一途をたどることになる。韓国・台湾製の LCD や STN（Super Twisted Nematic）といわれる安価な LCD が市場に台頭する中，設備のコストダウンとして，標準化推進のために，臭気対策部，LCD 搬送・保管部および作業者が介在するメンテナンス部とにゾーニングし，そのほかはシステム天井と呼ばれるアルミの引抜き材で構築したフレームグリッド上に，FFU とすきまを埋めるブランクパネルを配置した設備とし，生産規模の拡大に対応した。この設備構成を**図 3** に示す。

3　最新鋭 LCD 工場向けクリーンルームの課題と対応

大画面テレビの需要に牽引（けんいん）され，急速にガラス基板の大型化が進み，2003 年には第 6 世代のものが登場した。この世代以降の大画面化に伴う諸課題とその対応について述べる。

3. 1　大規模化に伴う課題

生産ラインのガラス基板の搬送・保管部に要求される典型的なクリーンルーム環境は以下のようなものである。

○清浄度：ISO クラス 2 ～ 4
○温度：23 ± 2℃
○湿度：45 ± 10% RH
○騒音：65 dB（A）以下
○振動：2 μm（嫌振架台，床レベル）

清浄度の面では，ガラス基板の大型化に伴って搬送時の発じん・じんあい巻上げが従来に比べ増加することが懸念され，搬送装置が移動する大空間で効果的な清浄度確保を行うことは無論であるが，工場そのものの大規模化で今までにはなかった課題への対応が求められている。

すなわち，次のような課題がある。

(1)　生産装置の荷重増大
(2)　生産装置の大型化に伴う建物高さの増大
(3)　生産装置・空調設備の搬入制約
(4)　建設総投資額の増加

このほかにも生産タクトの短縮，生産装置の価格上昇などがあげられる。

3. 2　課題への対応

(1)　生産装置の荷重増大

生産装置の質量は，1 工程で約 180 t にもなる装置がある。装置メーカーの製作工場から LCD 生産工場までの輸送を考慮し装置の分割はされているものの，その質量は 20 ～ 30 t にもなる。このため，高清浄空間を維持しているクリーンルームの床構造として一般的なグレーチング（床パネルに丸穴または長穴が施され，パーティクルの堆積（たいせき）防止とクリーンエアを床まで層流に保つもの）方式に替わり，耐荷重向上から床スラブ方式が採用されている。床がスラブの場合，床の開口率を変えることはできないため，富士電機では任意の位置でダクトへ強制的にエアを吸い込み排気するファンを開発して，生産装置が稼動している状態で，0.1 μm 以上・ISO クラス 2 の顧客要求仕様をクリアした。

(2)　生産装置の大型化に伴う建物高さの増大

ガラス基板を搬送・保管させる工程以外で，作業者がいるメンテナンス部でクリーンルーム内の階高は，7 ～ 8.5 m にもなる。そのため，以下の課題があった。

○高清浄空間を維持するために換気回数が低下
○高所メンテナンス作業中の安全確保
○照明灯ランプ交換のしづらさ

これらに対し富士電機では，世界最速の吹出し風速 0.8 m/s（通常は 0.4 m/s）の FFU を開発し採用した。これにより FFU の台数を増やすことなく，安価なクリーンルームを提供できた。また，装置のメンテナンス作業中に今までは高所作業にもかかわらず，安全帯を施すフックがクリーンルームの天井面にはなかったが，清浄空間の一部にあるデッドスペースの天井アルミフレームを利用してアイボルトを付けた。作業者はそこに親綱を通し，安全帯を引っかけて安全を確保したうえで，安心して作業することが可能になった。さらに，照明灯のランプ交換のような日常作業にも高所作業車などの重機が必要になるため，安全ルートで移動した後クリーンルーム天井裏から照明器具ごと取り外し，安全にランプを交換できる照明付天井パネルを開発したことなどで，建物の高さに起因する諸問題をクリアした。

(3)　生産装置・空調設備の搬入制約

大型の LCD 工場建設現場では，建築工事，土木工事，空調設備工事と輻輳（ふくそう）しながらクリーンルームの設備工事が進む。その工事現場において，組み立てる部品・部材をジャストインタイムで搬入することが要求される。

富士電機では大型 10 t トラックの荷台スペースを 2 分割にした巨大なパレットに機材を積載し，100 t クラスのクレーンで揚重を行い，搬入の合理化を図っている。

工事建屋内では，機材搬入ルートとその方法に制約を受けており，装置の質量と寸法に応じたクリーンルーム床荷重と天井高を決定した。

(4)　建設総投資額の増加

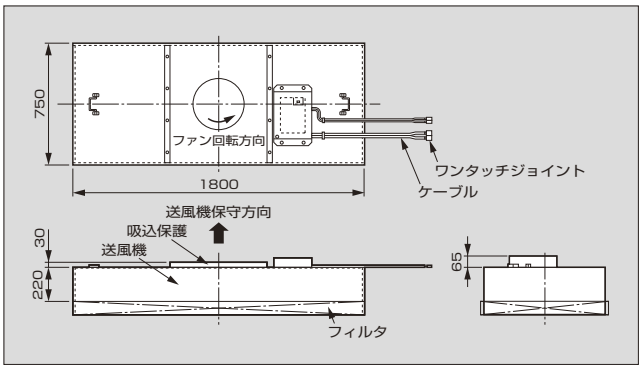
ガラス基板の拡大に伴い生産装置・建築付帯設備にかかるコストも増大している。顧客からのクリーンルーム設備のコストダウン要求に対しては，

○コストパフォーマンスの高い FFU を 20 %（当社従来比）大型化して台数削減（大型化した FFU の外形を**図 4** に示す。）
○シミュレーションを使用した気流解析によるシステムの最適化
○安価な新型表面処理鋼板を内装材として採用

し，清浄度を確保したうえで，この要求に応えるシステムを見いだした。これらを富士電機の工場内に実際のクリーンルームのカットモデルとして構築し，タイプテスト設備とした。

実際のクリーンルームの運用に限りなく近い構成とするために，ローダロボットメーカーともタイアップし，タイプテスト設備内にローダロボットも配置した。ローダロボットは自らパーティクルを発生しやすく，かつ露出した基板を取り扱うため，この稼動状態での発じん・じんあい巻上げ状態での清浄度検証が必要なためである。この設備で事前検証テストを繰り返し，顧客要求仕様である清浄度（0.1 μm 以上・ISO クラス 2）に支障のない範囲で FFU の占有率を低減したクリーンルーム設備の構築が可能となった。

図 4　大型化 FFU の外形



4　クリーンルーム用統合監視制御システム

4.1　クリーンルーム内環境監視制御の動向

クリーンルームには，搬送，空調，電気，特殊ガス，薬液，生産設備などさまざまな監視・制御システムが導入されている。その中のクリーンルーム内環境を監視・制御するシステムは，清浄度監視，FFU 監視制御，空調監視制御とに分けられてきた。清浄度監視，FFU 監視制御については市場のニーズはあるものの費用が高く採用されることが少なかった。そのため，クリーンルーム内の環境監視制御についてはほとんどの工場が空調分野（温度，湿度，気圧）に限定されていた。しかし，交流インバータと AC-FFU の組合せよりも低コストな通信機能付き DC ブラシレスモータ FFU とパーティクルセンサの開発により，FFU 監視制御や清浄度監視システムの採用が容易になってきた。FFU 監視制御システムにおいては，従来とは比較にならないほど機能が細分化され，リアルタイムに FFU 個々の運転状態を知ることができ，クリーンルーム空間の要求に応じ FFU の回転数を任意に設定し，運転することにより約 15％の省エネルギー（当社比）が可能

図 5　統合監視制御システムの全体構成

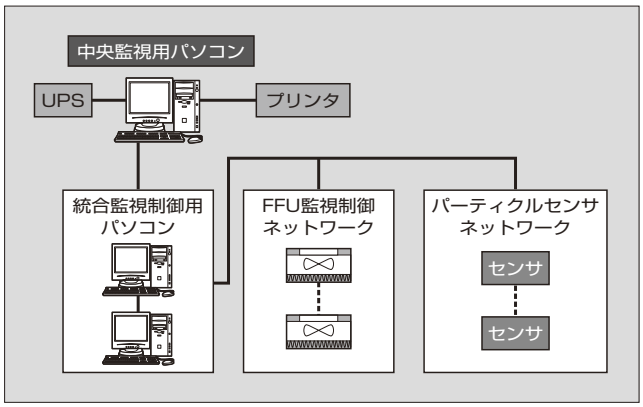


図 6　統合監視制御システムのローカル機器構成

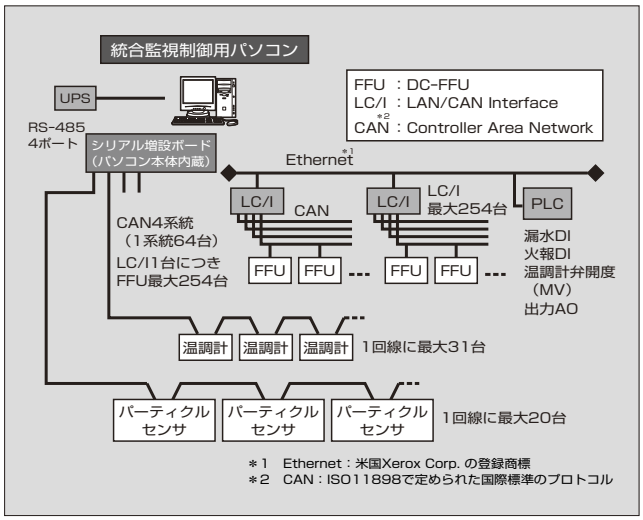


図 7　統合監視制御システムの画面イメージ

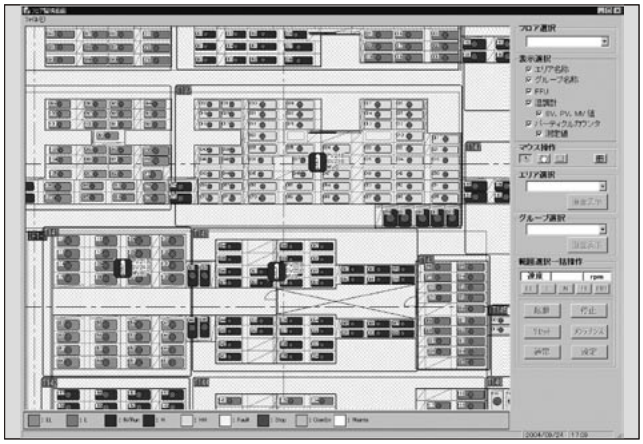


表 1　統合監視制御システムの機能構成一覧

機能分類	機能名称	機能概要
監視表示	システム系統監視画面	LC/I，FFUの接続・故障・動作台数および接続状態を表示 温調計からの温度を表示 パーティクルカウンタからの清浄度を表示
	FFUグラフィック表示	フロア/エリア/グループをグラフィック形式にて表示 運転，停止，故障，速度，保守を色替え表示 FFUの回転数・温度を表示
制　御	発停操作	FFUリスト表示画面から，FFUを「個別」「複数一括指定」「グループ一括」「エリア一括」「フロア一括」「全体一括」で，回転数を指定して発停操作
	温調計操作	温調計のリモート設定
	温調計弁開度出力	温調計の弁開度出力をPLC経由でAO出力
アラーム履歴表示	警報履歴	最大1万件表示，最大3年分保存（発生中警報からグラフィック画面遷移）
	操作履歴	機器を操作したユーザー名とともに，操作履歴を最大3,000件保存・表示
	警報音	警報の発生にて，アラーム音鳴動（故障ランクごとに鳴動パターン設定）。出力デバイスは「内蔵ブザー」「サウンドカード」のいずれか
設　定	ユーザーパスワード設定または変更	「管理者」「オペレーター」「ユーザー」の各種権限を持ったユーザーの登録または削除と，パスワード（半角8文字以内）の設定または変更
トレンドグラフ	清浄度，温度，回転数のトレンドグラフ	「温調計SV値，PV値，弁開度値」「清浄度」のトレンドグラフ表示〔中速（5分）：1,000点，低速（10分）：2,000点〕
そ の 他	漏水アラーム	漏水検知にて警報発生
	フロア，エリア，グループの設定	CADで作成した図面を背景にして，フロア，エリア，グループをグラフィカルに設定 各デバイス（FFU，温調計，パーティクルカウンタ）の設定位置の変更，削除，追加 FFU回転数の警報しきい値の設定と保存 清浄度の警報しきい値設定と保存 温度の警報しきい値設定と保存
	警報通知ロック	「統合監視制御用パソコン」から「中央監視用パソコン」への，警報通知の一時ロック・解除
	画面ハードコピー印字	画面のハードコピーを印字
連動制御	火災連動制御	火災報知器からの信号にて「火報連動設定されたFFU」を自動停止
	UPS連動制御	UPSからの停電信号に連動してパソコンを安全にシャットダウン

となった。清浄度監視においては，製品歩留りに直結するパーティクルを常時監視することにより，製品歩留りとの関連性を把握することが可能となってきた。また，顧客の品質管理（清浄度をどのように管理しているのか→従来は係員が測定器を使い，そのつど計測）を担う役目を果たすようになってきている。

4.2　富士電機の統合監視制御システムの特徴

富士電機のクリーンルーム用統合監視システムの構成を**図5**，**図6**に，画面イメージを**図7**に，機能一覧を**表1**に示す。

このシステムの大きな特徴は下記の2点である。

(1)　従来，別々であったFFU監視制御機能，清浄度監視機能，空調監視制御機能を集約した統合監視システムで提供することにより，運用管理の向上，機器・配線費用の低減を可能にした。

(2)　クリーンルームの装置レイアウト変更は非常に多い。従来はその変更に伴いソフトウェアの変更を要したが，マウス操作により簡単に機器の追加・削除を可能とし，また，監視画面上の配置図にはクリーンルームの配置CAD（Computer Aided Design）図面を用いることができ，ソフトウェアの作成・変更作業を大幅に低減させた。

4.3　監視制御システムによる省エネルギー対策

クリーンルームは，一般の工場と比べて多大なエネルギーを消費しており，そのエネルギーを大幅に削減しなければならない。そこで，清浄度と温度を監視してFFUの回転数や冷水量などをフィードバック制御するシステムの開発に取り組んでいる。

今後さらに省エネルギー化したクリーンルームを構築し，顧客の期待に応えることを目指している。

5　あとがき

2003年には，LCDがテレビ用として急速に拡大している。テレビ用途としてのLCDは，単に文字・画素を表示しているパソコンと比べ，ドット不良も許されず，技術的にはるかに難しい。大規模LCD工場向けクリーンルームはイニシャルコスト，ランニングコストの大幅な低減を求められる中，富士電機はガラス基板へのパーティクル付着防止を主としたクリーンルームの技術開発を長年にわたり進め，その構築に企画段階から参画して顧客のニーズに合わせたクリーンルームシステムを設計・製作・施工・保守管理まで一貫して担当している。富士電機のクリーンルーム技術は，製品歩留りに直結する生産条件ノウハウという重要なポジションにあり，さらなる進化を目指して技術開発を進め，LCDを含む電子産業の発展に寄与していきたい。

参考文献

(1)　峰岸裕一郎ほか．製薬関連クリーンルームシステム．富士時報．vol.70, no.8, 1997, p.412–417.

e-Front runners

＊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。