

# 半導体製造用クリーンシステム

## Clean Room System for Semiconductor Manufacturing

LSIの高集積化、高性能化に伴い、半導体の分野ではクリーンルームの重要性が一段と高まっている。しかし、クリーンルームの高度化とともに設備費及び維持管理費は急増する傾向にある。そこで、従来以上の清浄度、温湿度制御性能などをもち、省エネルギー化、設備管理の省力化、信頼性の向上を図ったクリーンシステムの建設が重要な課題となっている。

本稿では、これらのニーズに対応し、0.1 $\mu$ m HEPAフィルタを用い、清浄空間の縮小化、生産装置の発熱利用などを行なうことによって、超清浄、省エネルギー化を図ったクリーンシステム、マイクロコンピュータと電話回線を利用し省力化、信頼性向上を図った総合監視システムなどについて述べる。

八木克人\* *Katsuhito Yagi*  
 鈴木道夫\*\* *Michio Suzuki*  
 倉水 勝\*\* *Masaru Kuramizu*  
 長友宏人\*\*\* *Hiroto Nagatomo*  
 古賀節生\*\*\*\* *Setsuo Koga*

### 1 緒 言

半導体製造工業ではLSIから超LSIへと集積回路の集積度が大きくなるに伴い、製造プロセスの環境条件(温度、湿度、空気の清浄度)が製品の歩どまり、品質及び信頼性の向上に与える影響度は強くなる。これら環境条件を満足させる設備がクリーンシステムである。

LSIの集積度の向上と製造環境に必要な清浄度の関係を図1に示すが、従来のクリーンルームの最高とされたクラス100の清浄度では、最小パターン幅2 $\mu$ m以下の超LSIの製造には問題であることが分かる。また、温湿度に関してもホットプロセスなどの重要工程については、温度精度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 、湿度精度 $\pm 2\%$ の制御を要求される場合がある。また、クリーンルームは単に清浄度、空調システムだけでなく、防災及び管理までを含めたトータルシステムを考慮する必要がある。これらを従来方式のクリーンルームで実現させるには多大の設備費、維持管理費を要することになる。

このように要求される性能は高度化される一方で、設備費、維持管理費の低減が強く求められており、これらの要望を満たす新しいクリーンシステムが重要な課題となっている。

本稿では、これらのニーズに対応したシステムとしてクリーンシステムを中心に、超清浄化技術、省エネルギー化技術、総合監視システムなどについて述べる。

### 2 半導体製造環境の超清浄化

#### 2.1 0.1 $\mu$ m粒子制御の必要性

現在のLSIはMOS(Metal Oxide Semiconductor)64kDRAM(Dynamic Random Access Memory)が主流であり、この製品は最小パターン幅として2~3 $\mu$ mを使用している。また間もなく製品が市場へ出ようとしている256kDRAMでは1.5~2 $\mu$ mの寸法が使用され、その後の1MDRAMでは1 $\mu$ m前後になると予想される。

一方、製造環境に必要な清浄度については、現状ではウェーハ上に付着した異物とLSIの不良とが必ずしも1対1に対応づけられていないので、明解な答を出すことはできない。しかし、歩どまりと信頼性の両面から考えた場合、経験的に最小パターン幅の壱までの大きさの塵埃が悪影響を与え得ると言える。この尺度から考えれば、256kDRAMの製造環

境は0.15~0.2 $\mu$ m以上の塵埃を除去する必要がある。

一方、クリーンルームの空気の清浄化にはHEPAフィルタ(High Efficiency Particulate Air filter)が使用されるが、このフィルタの集塵効率には粒子径依存性がある。従来、集塵効率は0.3 $\mu$ m付近の粒子径で最少になり、それ以下の小さな塵埃に関しては、慣性による衝突分離効果よりもブラウン運動による付着効果のためむしろ向上すると言われてきた。

日立製作所では他に先駆けてレーザを光源に使用したダストカウンタを開発し<sup>1)</sup>、0.1 $\mu$ m以上の粒子の測定が可能になった。レーザダストカウンタでHEPAフィルタの集塵効率を測定したところ、図2の曲線(A)に示すように0.1 $\mu$ mまでは粒子径が小さいほど集塵効率が低下することが明らかになった。

最近の理論では、HEPAフィルタの集塵効率は、粒子径0.1 $\mu$ m又はそれ以下で最小になる点があることを示している<sup>2),3)</sup>。

以上のことから、従来のHEPAフィルタでは今後の超LSIの製造環境で問題となる塵埃の集塵効率が不十分であり、

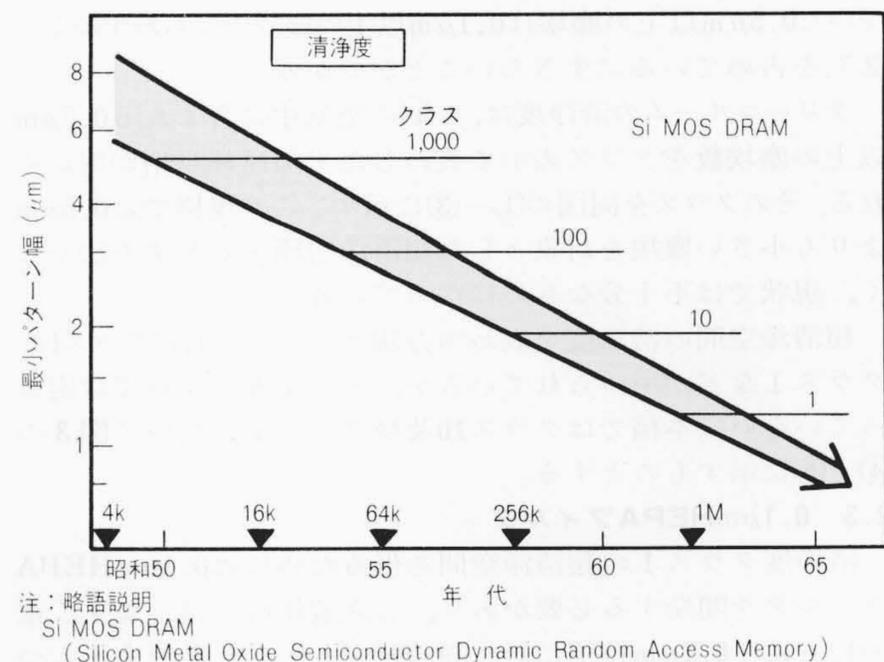
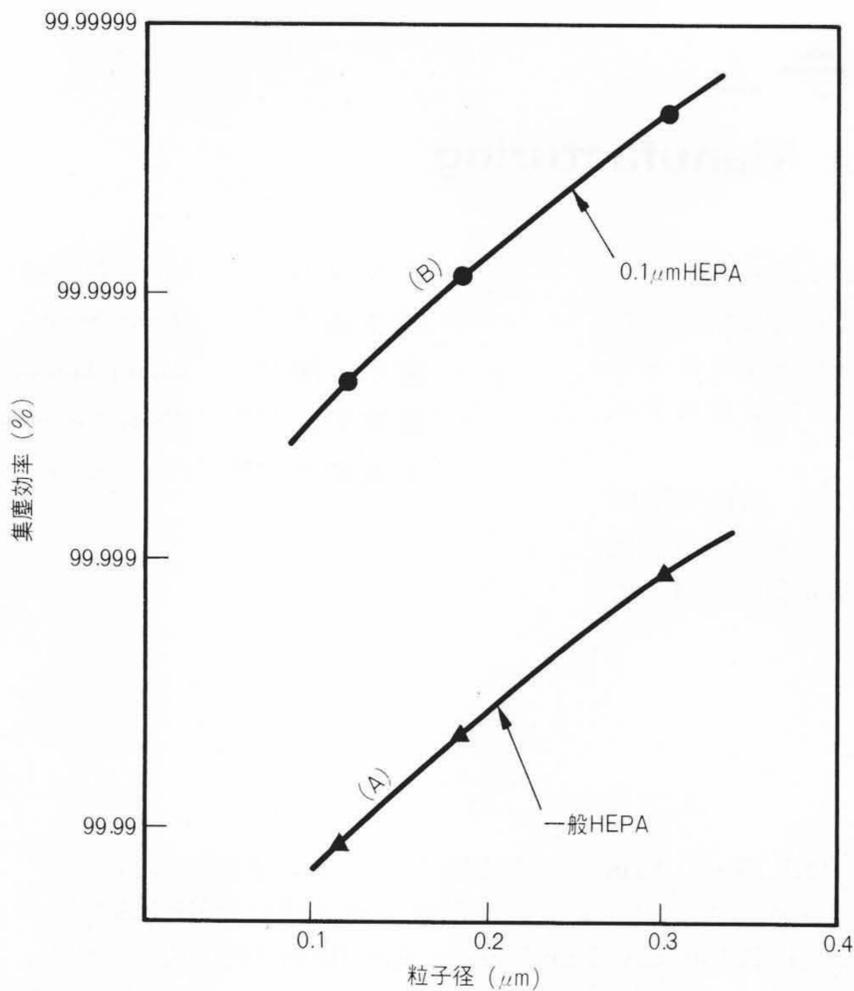


図1 LSIの集積度と必要清浄度の関係 集積度の向上とともにパターン寸法が小さくなり、製造環境に必要な清浄度も高度になる。例えば256kビットDRAM(Dynamic Random Access Memory)の場合はクラス10の清浄度が必要になる。

\* 日立製作所中条工場 \*\* 日立製作所中央研究所 \*\*\* 日立製作所武蔵工場 \*\*\*\* 日立プラント建設株式会社



注：略語説明 HEPA(High Efficiency Particulate Airfilter)

図2 HEPAフィルタの集塵効率特性 HEPAフィルタの集塵効率には粒子径依存性があり、0.1μm付近までは粒子径が小さいほど集塵効率が低下する。

0.1μm粒子までを高効率で集塵するHEPAフィルタが必要不可欠であると言える。

### 2.2 大気中の塵埃分布とクリーンルームの清浄度

レーザダストカウンタによって大気中の0.1μm以上の塵埃分布を測定した結果と、クリーンルームの清浄度規格の関係を図3に示す。塵埃数は横軸の粒子径以上の総数を表わしているが、この結果からクリーンルームの清浄度の対象となっていた0.5μm以上の塵埃は0.1μm以上の塵埃のうちわずか1~2%を占めているにすぎないことが分かる。

クリーンルームの清浄度は、1ft<sup>3</sup>の空気中に含まれる0.5μm以上の塵埃数をクラス表示で表わした米国連邦規格が用いられる。そのクラスを同図の①~③に示す。この規格では0.5μmよりも小さい塵埃を対象とした超清浄空間を表わす方法がなく、現状では不十分なものになっている。

超清浄空間の清浄度を表わす方法として便宜的にクラス10、クラス1などが用いられているが、その定義については定まっていない。本稿ではクラス10及びクラス1について図3の④~⑤に示すものとする。

### 2.3 0.1μmHEPAフィルタ

清浄度クラス1の超清浄空間を得るためには0.1μmHEPAフィルタを開発する必要があるが、日立製作所では、まず二重戸材方式で0.1μm粒子に対し99.99%以上の集塵効率をもつHEPAフィルタを開発した<sup>4)</sup>。しかし、大気中の塵埃数を考えると更に集塵効率を向上させる必要があるが、その後、一重戸材方式で0.1μm粒子に対し99.9995%以上の集塵効率をもち、更に圧力損失が従来のHEPAフィルタと同一で互換性がある0.1μmHEPAフィルタを開発した<sup>5)</sup>。

新しい0.1μmHEPAフィルタの集塵効率特性を図2の曲線(B)に示す。また、後述するクリーントンネルに実装して従来

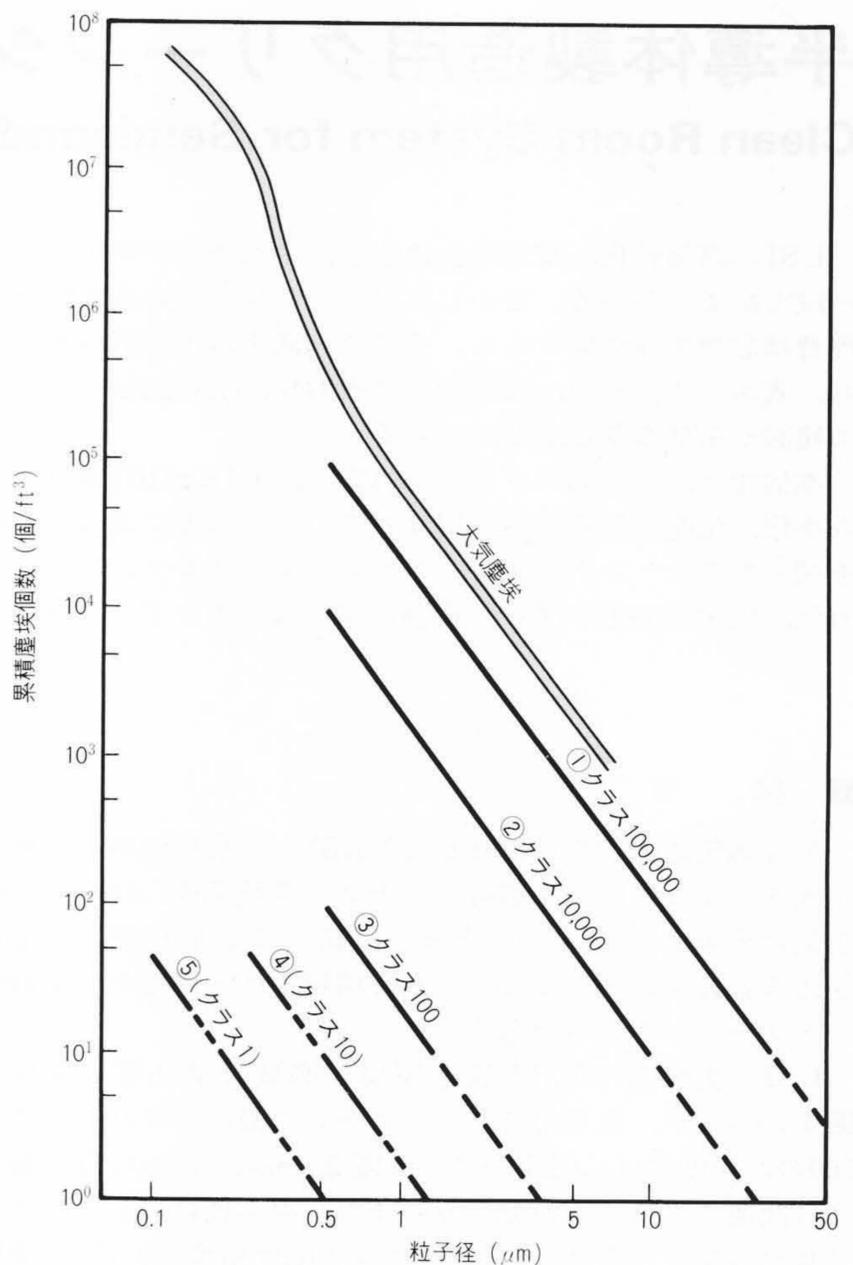


図3 大気中の塵埃分布とクリーンルームの清浄度 クリーンルームの清浄度クラスは、0.5μm以上の粒子径の塵埃個数で表わされる。

のHEPAフィルタと清浄度の比較を測定した結果を図4に示す。この結果から分かるように超清浄空間の清浄度は、従来の0.5μm以上の塵埃数では評価できず0.1μm以上の塵埃数を測定して評価する必要があることが分かる。

## 3 クリーンルームの省エネルギー化

### 3.1 概要

LSIの集積度の向上により製造環境に対する要求が極限に近づいていることは前述したとおりである。超清浄化、温湿度条件の精度向上などは、除塵装置及び空調装置の送風動力の増大や再熱負荷の増大となる。また半導体製造装置でも、装置からの発熱、同装置からの局所排気による外気負荷のため、クリーンルームの除塵、空調系に膨大なエネルギーを要している。

これらの問題点の解決策としてクリーントンネルシステムを開発した。省エネルギー化として具体的に除塵送風動力の低減、生産装置発熱利用空調、最少排気量制御などについて述べる。なお、表1に半導体クリーンルームの空調負荷特性を、図5にクリーントンネルシステムの概略レイアウトを、図6にクリーントンネルの写真を示す。

### 3.2 除塵送風動力の低減

クリーントンネルシステムは、従来のクリーンルーム全体を超清浄空間にする方式に代わってウェーハ処理に必要な空間だけを限定して超清浄化する方式であり、ウェーハ処理工程を数個の関連するブロックにまとめ、ブロックごとに超清

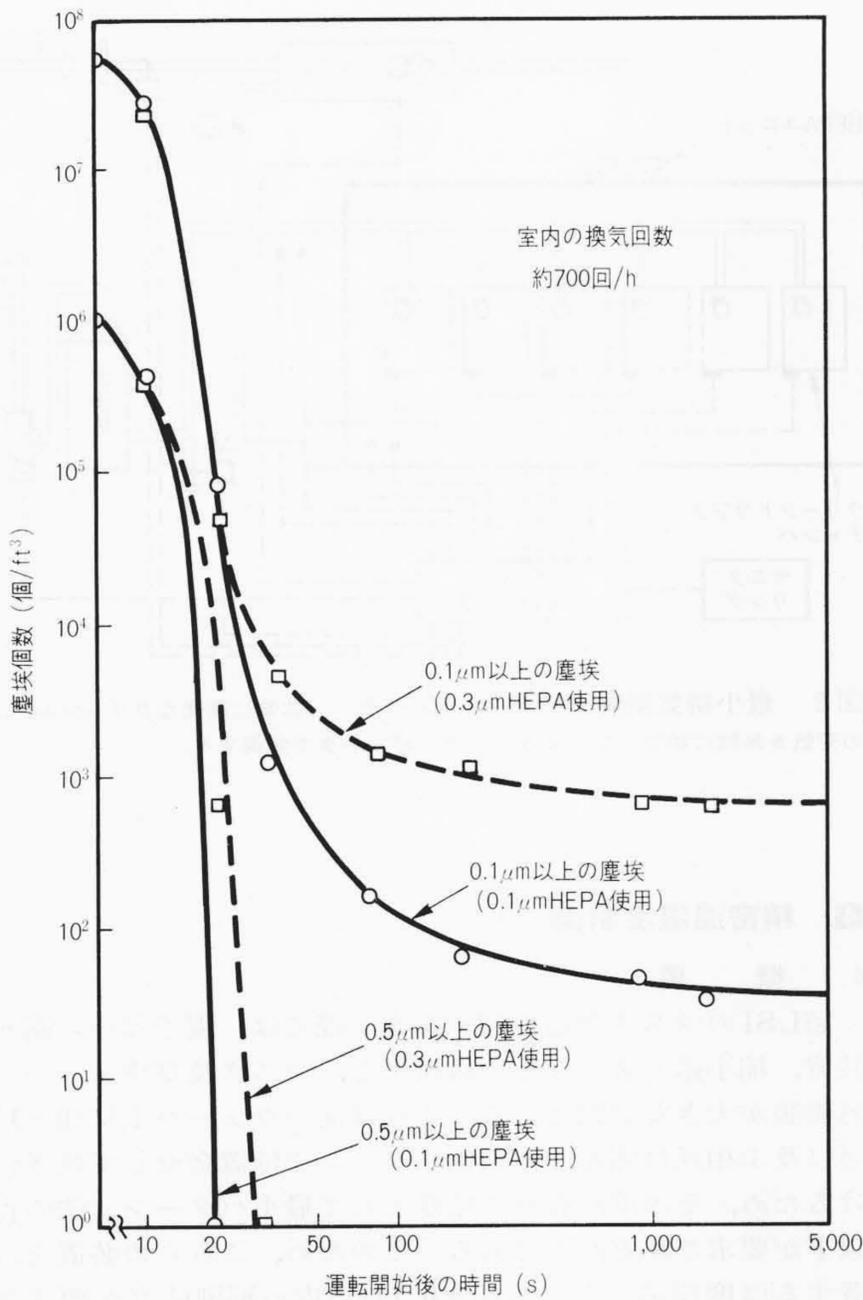


図4 HEPAフィルタの違いによる清浄度比較 超清浄度空間では0.5μm以上の塵埃では評価できず、0.1μm以上の塵埃数を測定する必要がある。

表1 半導体クリーンルームの空調負荷特性 外気負荷が多いのは、半導体生産機器に排気付のものが多いことに原因がある。

負荷項目	冷房負荷kcal/m²h	%
外気負荷	300.9	42.50
生産機器負荷*	204.3	28.85
ファンポンプ負荷	145.1	20.50
建物負荷	30.1	4.25
照明負荷	23.0	3.25
人体負荷	4.6	0.65
計	708.0	100

注：\* 生産機器負荷 負荷率×稼働率=30%  
上記表の数値は、約1,000~3,000m²規模の5工場での平均値を示し、負荷の傾向を見ることができる。

浄作業空間を形成する。また、各々の超清浄作業空間は両側にウェーハ処理域、中央に作業領域を設ける。そして各々の超清浄作業空間は、ウェーハ搬送のための清浄化した中央通路で連結する。このようにウェーハ処理に必要な空間だけをトンネル状に細長く覆った形状になるのでクリーントンネルシステムと呼ばれている。この方式によって超清浄空間の大幅な縮小化が図られ、除塵に必要な動力の低減、それに伴う空調負荷の低減を可能とした。

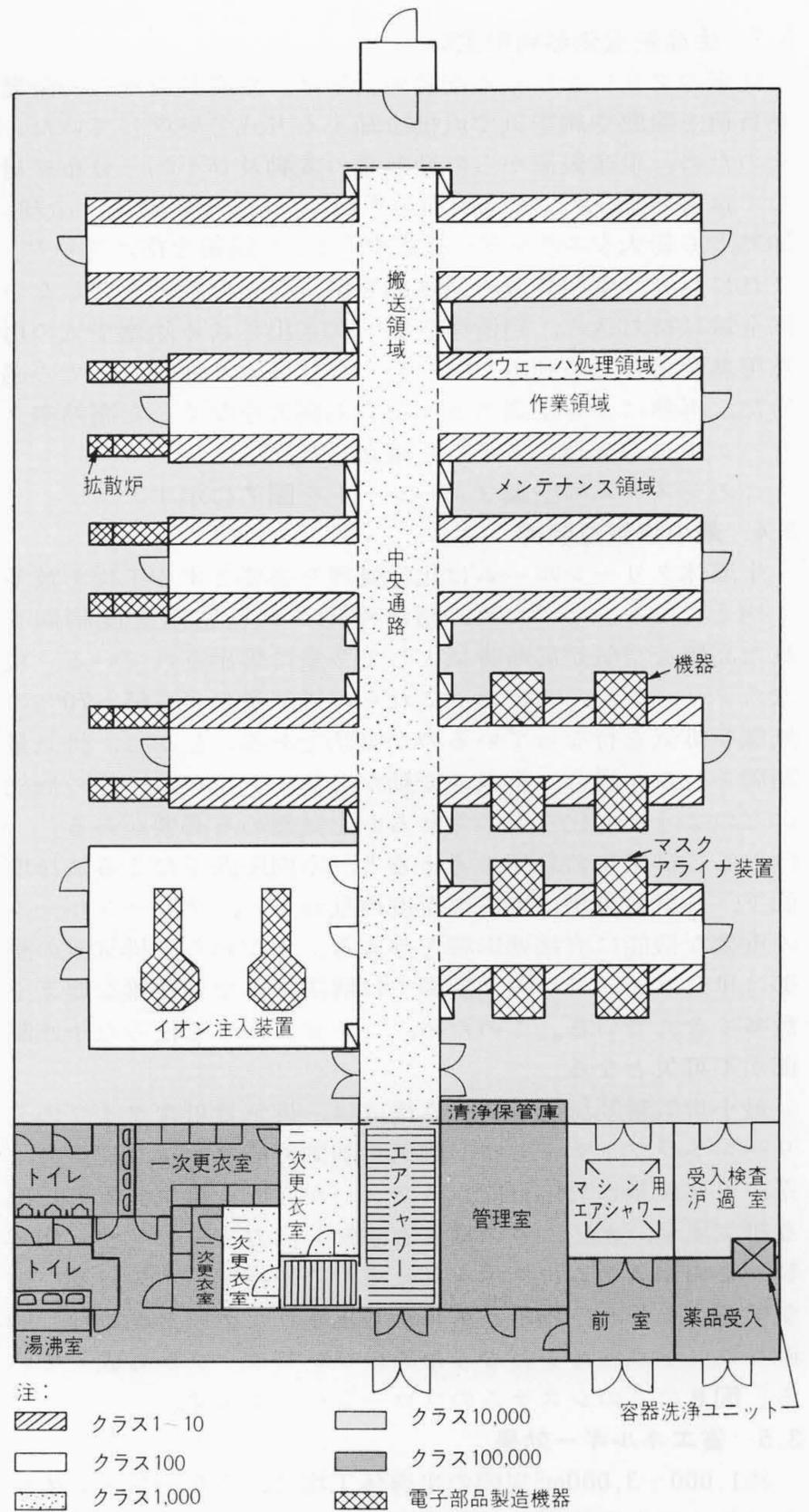


図5 クリーントンネルシステム 各工程ごとにクリーントンネルを用い、それらを中央通路で連結する。各工程ごとに清浄度、温湿度条件などを变化させることができるとともに、清浄空間の縮小化によって省エネルギー化を図ることができる。



図6 クリーントンネルの室内 この写真の例では中央部が平坦床であるが、グレーチング床として気流が床下に流れるようにする方法もある。

### 3.3 生産装置発熱利用空調

従来のクリーンルーム空調の大半は、生産装置からの全発熱負荷を除塵空調空気で直接冷却する方式で処理していた。そのため、生産装置からの発熱量の変動及び不均一分布に対しては再熱ヒータに温度調節を委ねていた。その結果、冷却、加熱とも膨大なエネルギーを費やすという問題を抱えていた。これに対し、生産装置の発熱部を精密な温度制御を要しない保全域に持ち込み、超清浄空間へ吹き出される除塵空気の再熱用熱源としての利用を図った。これにより従来方式での過冷却、再熱による空調エネルギーの損失をなくした高効率クリーンルーム空調システムを確立した。

このシステムの空調フローシートを図7に示す。

### 3.4 最小排気量制御

半導体クリーンルームは化学処理を必要とする工程を数多く抱えている。このため、超清浄化され精密温湿度制御された高価な空気が局所排気として多量に排出されている。現状のクリーンルームでは、これらの排気量のうち65~70%の無駄な排気を行なっているのが実状である。しかし、排気量制御を行なう場合、排気の変動がクリーンルームの他の機能にどのような変化を生じさせるかを見極める必要がある。一例として排気量の急増を考えると、室内圧低下による清浄度低下、外気量急増による温湿度の乱れなど、クリーンルームの重要な機能に直接悪影響を与える。すなわち、排気量の制御は単にフィードバック制御では解決できない複雑な要素を数多く含んでいる。このため、コンピュータを使った予測制御が不可欠となる。

最小排気量制御のシステム構成は、排気量可変タイプのクリーンドラフトチャンバ、排気量制御可能ファン及びダクト系、可変風量に対応可能なスクラバから成る排気装置と正確な排気風量、差圧、ガス濃度を感知し出力するセンサ、作業員がこのシステムに指示を与えるための指示パネル、及び排気装置、センサ、指示パネルから出されたデータを処理し的確なコントロールを行なうためのコンピュータから成っている。図8にこのシステムのフローシートを示す。

### 3.5 省エネルギー効果

約1,000~3,000m<sup>2</sup>規模の半導体工場では、クリーントンネルシステムに生産装置発熱利用空調及び最小排気量制御を行なった場合、全面ダウンフロー方式クリーンルームに比べ、平均的に空調風量が40%、送風機動力及び空調容量が25%減少し、年間のランニングコストで20%の低減を図ることができる。

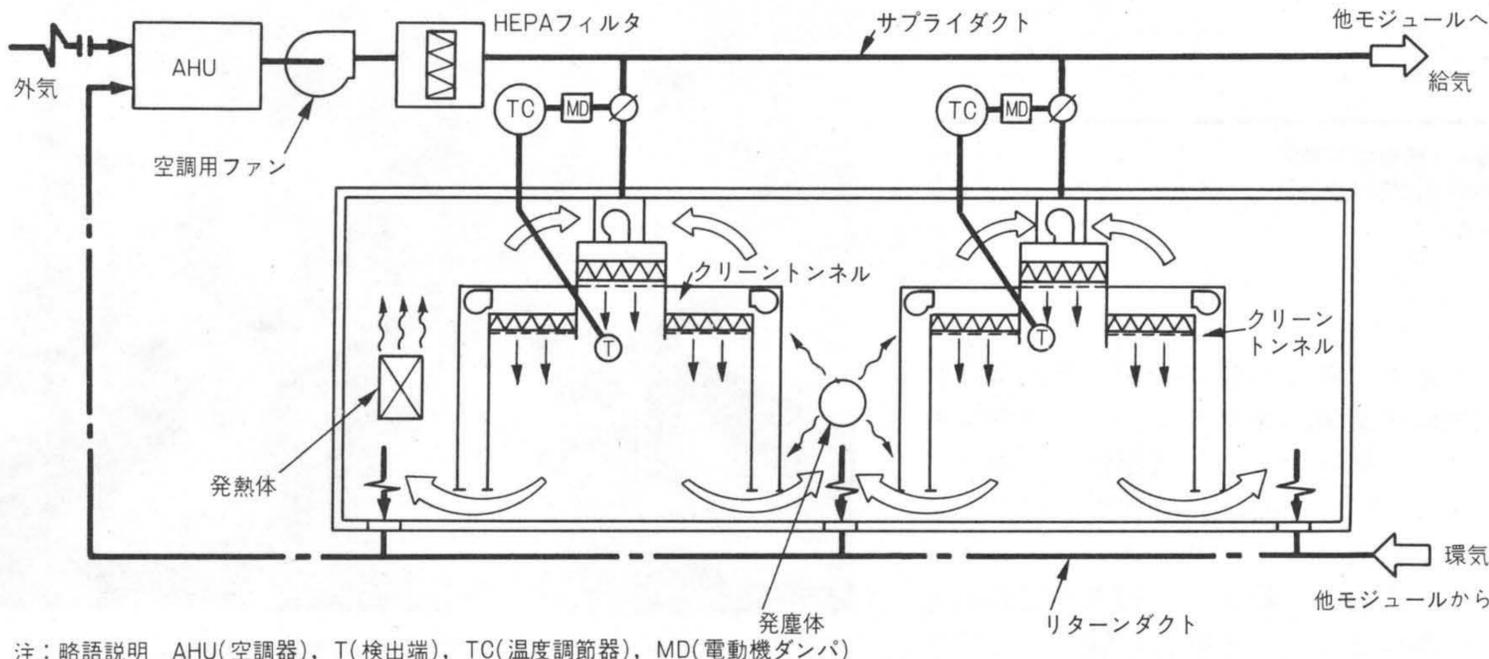


図7 生産装置発熱利用空調のフローシート  
生産装置の発熱部を保全域に持ち込み、超清浄空間へ吹き出される除塵空気の再熱熱源とする。

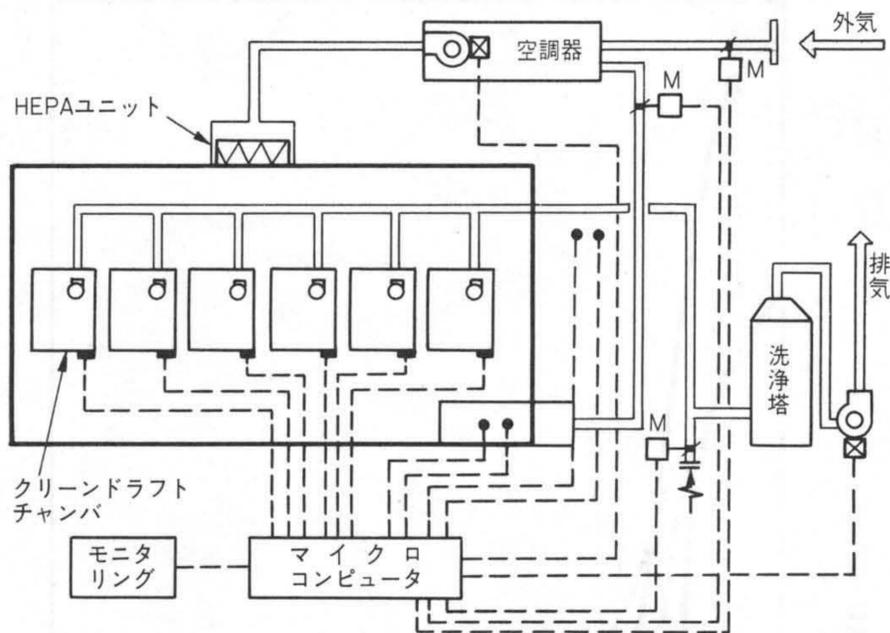


図8 最小排気量制御のフローシート 非常に高価なクリーンルームの空気を無駄に排気しないように、コンピュータで制御する。

## 4 精密温湿度制御

### 4.1 概要

超LSIのマスク製造工程や露光工程では、電子ビーム露光装置、縮小露光装置などの機械系と、マスク及びウェーハの熱膨脹が大きな問題となる。これは同一ウェーハ上に10~15層に及ぶ相互に関連した微細パターンを位置合せして焼き付けるため、その重ね合せの精度として最小パターン寸法の1/10以下が要求されるからである。このため、これらの装置を設置する温度環境としては、±0.1℃以内の制御精度が要求されると同時に、微小塵埃、微振動、微小磁場、湿度も問題となる。このような環境条件をクリーンルームで形成することは困難であり、設備費、運転費が多額となる。このため、装置専用の超精密恒温クリーンチャンバが要求されるようになり、その開発を行なった。

### 4.2 サーマルクリーンチャンバ

サーマルクリーンチャンバの構成は図9に示すように、生産装置を収めるクリーンチャンバ部、超清浄化を行なうフィルタバンク部、初期冷却除湿を行なう冷却ユニット、±0.1℃を制御する加熱ユニット、±2%の湿度制御を行なう加湿ユニット、冷却、加熱された空気と加湿された空気を混合して

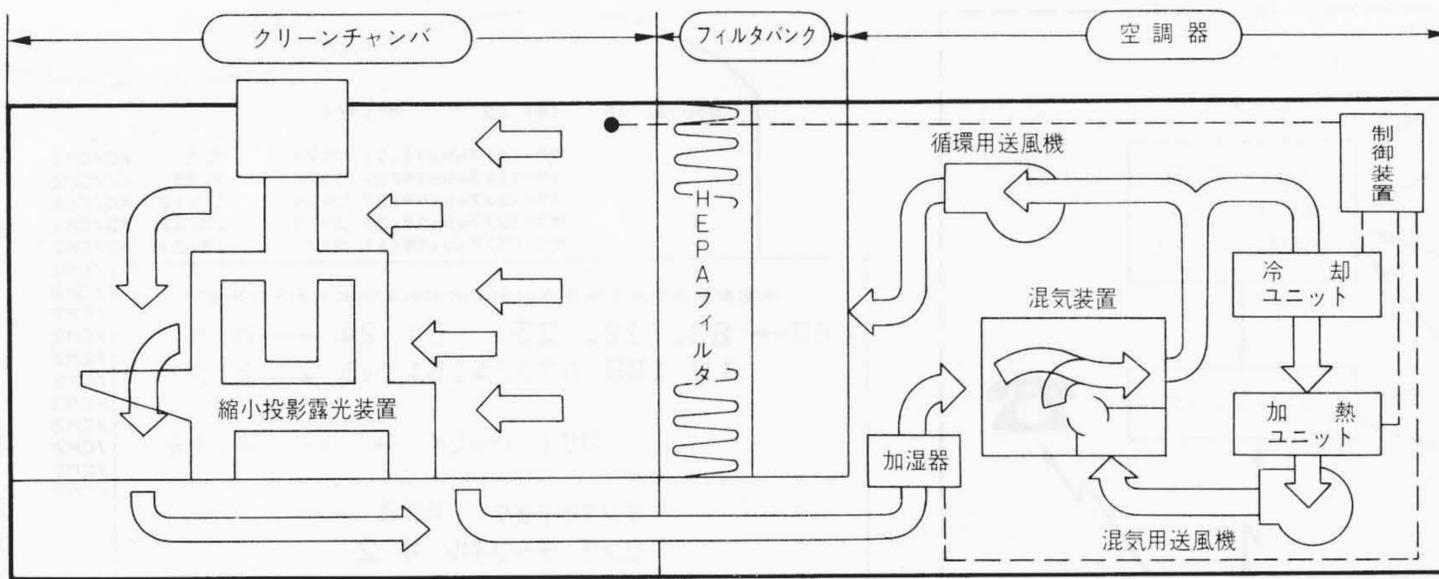
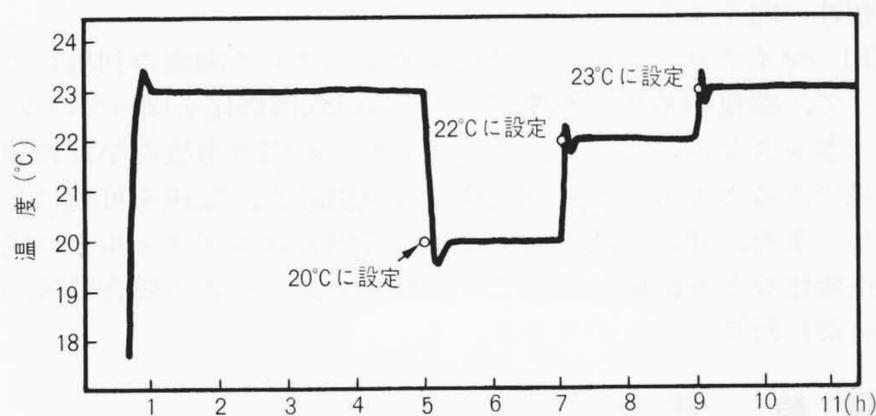


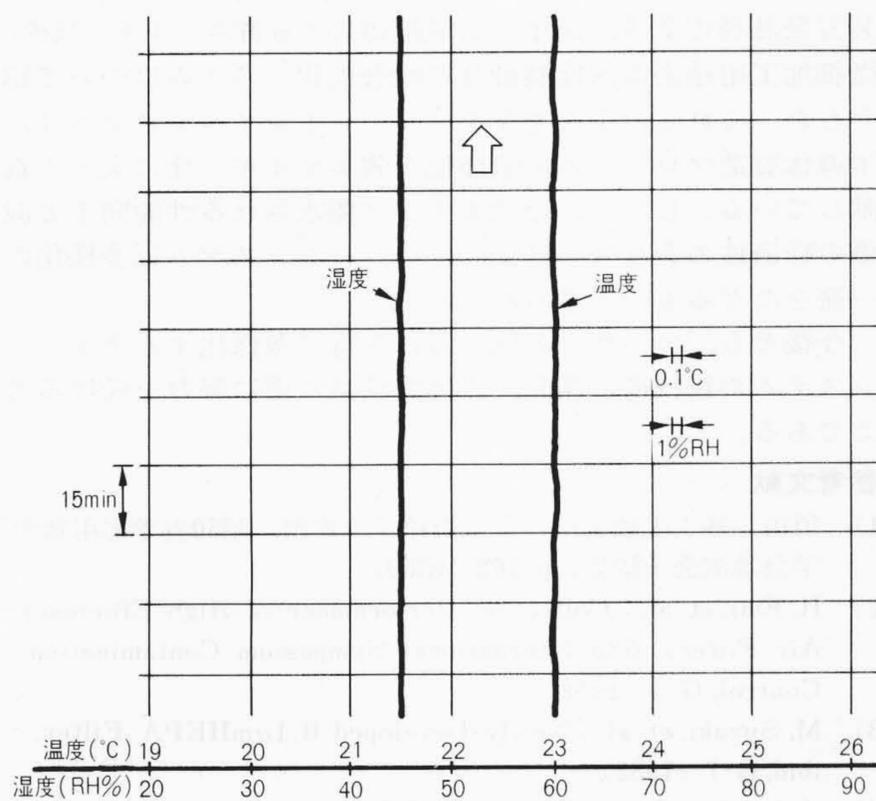
図9 サーマルクリーンチャンバの構成 再熱及び加湿空気を混気装置で十分に混気し、精度及び分布を向上させている。

超精密温湿度制御空気とする混気装置、この空気をフィルタバンクへ送り込む循環用送風機、冷却、加熱、加湿をコントロールする制御装置によって形成されている。

サーマルクリーンチャンバの特長は、温度制御空気と加湿制御空気の混気を確実にこなう独自の混気方式を採用したこと、応答速度の速い制御性の優れたドライスチーム発生器の開発によってチャンバ内で温度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $\pm 2\%$ の保証を可能としたことである。図10に温湿度データを示す。



(a) 温度制御性能



(b) 温湿度制御性能

図10 サーマルクリーンチャンバの温湿度制御性能 温度精度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 、湿度精度 $\pm 2\%$ を保証している。

## 5 クリーンルーム総合監視システム

### 5.1 概要

従来のクリーンルームの監視は、空調運転の自動化と空調設備の異常監視が中心であった。しかし、最近のクリーンルームの性能向上、安全及び防災の重要性の高まり、省エネルギー管理などの新しいニーズの発生から総合的監視の必要性が生じている。ただし、クリーンルームの特殊性として内部装置の更新及びレイアウト変更が頻繁に行なわれる。これらに対応するには従来の固定化された監視システムでなく、端末局又はセンサ単位の変更が容易に安価で行なえる柔軟性に富んだシステムが必要である。これらのニーズに対応するため、マイクロコンピュータと電話回線を利用した低価格で柔軟性に富むクリーンルーム総合監視システムについて述べる。

### 5.2 システム構成と機能

本システムは図11に示すように、マイクロコンピュータを中心としたセンタ局と、センタ局と端末局の間を制御するネットワークコントローラ(構内専用電話交換機)、及びセンサの信号やデータを収集しセンタ局に送信するための端末局並びにセンサ群から成っている。また、これらのセンタ局、ネットワークコントローラ、端末局は、電話回線で各々接続されている。本システムでは1台のセンタ局に最大39台の端末局を接続することが可能であり、センサの種類としては、アナログ入力、デジタル入力の2種類のセンサが接続可能である。更に、センタ局からの指令によって端末局からデジタルの出力も可能である。

センタ局は、端末局からのデータを受信し判断処理の後、ディスプレイ及びプリンタに結果を出力し、警報の発令、あるいはオペレータの指示によって端末局又はセンサ単位の切離し、接続、データ収集などを行なう。また、計測点、被監視設備の登録、削除、その他システムの運転管理は、すべてコンピュータと対話形式で容易に行なえる。図12にセンタ局の構成例を、図13に出力例を示す。

端末局は、マイクロプロセッサを中心にRAM(Random Access Memory)、ROM(Read Only Memory)、回路及び入出力インタフェースなどから成っている。入出力は、デジタル入力、アナログ入力及びデジタル出力が可能で、端末局1個で合計48チャンネルの入出力が可能である。特に、センサからの異常信号を検出するデジタル入力部は、ノイズによる誤動作を防止するためのノイズリダクションが行なわれている。また、検出された異常についてはセンタ局がこれを受信し、確認指令がオペレータから出されるまでこれを保持し、

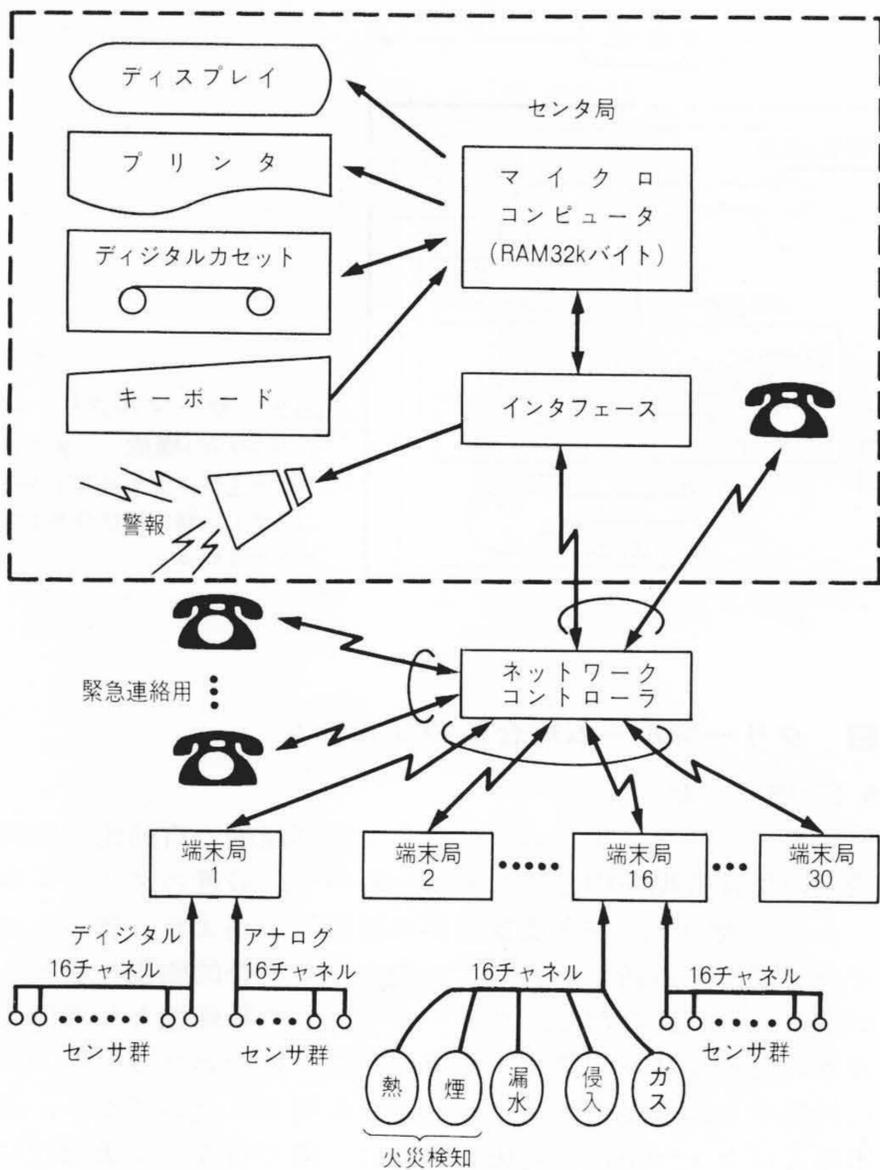


図11 総合監視システムの構成 センタ局と端末局をネットワークコントローラで接続することによって、端末局の追加、削除などを容易に行なうことができ、柔軟性が高い。



図12 センタ局の構成例 マイクロコンピュータ、ディスプレイ、プリンタ、デジタルカセット及びモデム、回線インタフェースから成っている。

異常検出の脱落を防止している。

ネットワークコントローラは、最大40回線の制御を行なうことができる。また、本システムの信頼性を左右する重要な機能をもっているため、バッテリーバックアップ方式によって停電の回避を図っている。

### 5.3 特長

本システムの特長は次に述べるとおりである。

- (1) システム構成の柔軟性が高く、端末局の追加、削除、被監視装置の追加、削除が容易に行なえる。
- (2) ノイズリダクション、データの脱落防止など、ハードウェア及びソフトウェアに各種の対策を行ない、システムの信

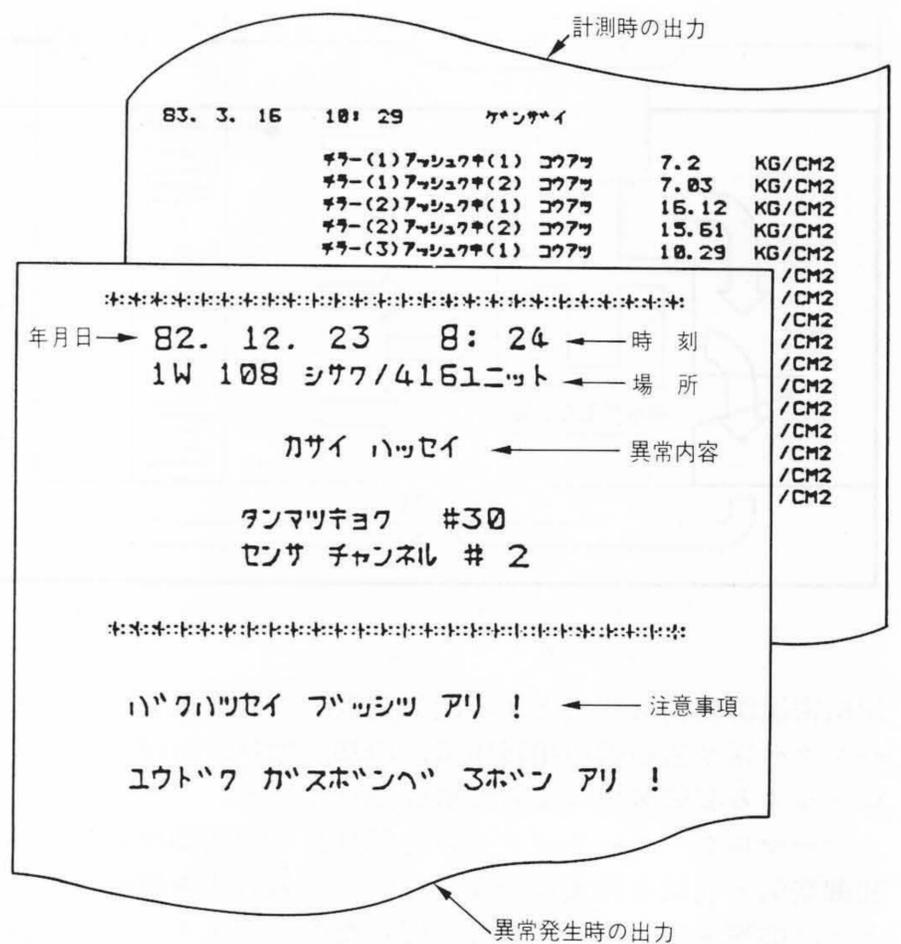


図13 センタ局の出力例 定時計測時と異常発生時の出力例を示す。

頼性の向上を図っている。

- (3) マイクロコンピュータ及びディスプレイ画面の利用によって、監視パネルが不要でシステムの低価格化を図っている。
- 本システムによって、クリーンルーム内の事故を早期に発見できるとともに、計測業務でも遠隔計測、監視を可能にした。また、計測点数の増加によって例えばエアフィルタの圧損変化などを的確に把握でき、クリーンルームの総合監視を適切に行なうことができる。

## 6 結 言

以上、0.1μmHEPAフィルタの開発状況と必要性、クリーントンネルシステムを中心とした除塵送風動力の低減、生産装置発熱利用空調、最小排気量制御による省エネルギー技術、微細加工用精密温湿度制御及び総合監視システムについて紹介した。これらの中心をなすクリーントンネルシステムは、半導体製造プロセスの超清浄化と省エネルギー化に大きく貢献している。しかし、今後ますます要求される性能向上と設備の経済性の兼ね合いにより、クリーンシステムは多様化の一途をたどるものと思われる。

今後とも、ユーザー各位の助言を得て多様化するクリーンシステムの新技術の開発、設備費低減に更に努力を続ける考えである。

### 参考文献

- 1) 須田, 外: 光散乱法による微粒子の検出, 昭50春季応用物理学学会講演会予稿集, p. 162 (昭50)
- 2) H. Emi, et al.: Collection Performance of High Efficiency Air Filters, 6th International Symposium Contamination Control, G-4 (1982)
- 3) M. Suzuki, et al.: Newly Developed 0.1μmHEPA Filter, ibid, G-7 (1982)
- 4) 小山, 外: 最近の無塵無菌化技術, 日立評論, 64, 2, 5~10 (昭57-2)
- 5) 高橋, 外: サブミクロン粒子捕集と除じん性能について, 空気調和と冷凍, 23, 2, p. 114~120 (昭58-2)