

最近のクリーンルームシステム機器

澤田 朋之(さわだともゆき)

蓑輪 義弘(みのわよしひろ)

河原 裕二(かわはら ゆうじ)

1 まえがき

クリーンルームを構築するために使用される各種クリーンルーム機器は、半導体を中心とした電子機器のめざましい発展とともに厳しい要求を受けている。

最近のスーパークリーンルームでは、超 LSI (Large Scale Integrated circuit) の高集積化・高精密化に伴う加工精度の向上で、粒径 $0.05 \mu\text{m}$ の粒子が 1 ft^3 の空間に 1 個というじんあいの除去を必要としている。また、じんあいのほかに、ケミカルガス対策をはじめ、温度、湿度、振動、騒音、静電気など多くのアイテムを満足させる必要がある。とりわけ、ガス状の汚染物質が製品の歩留りに悪影響を及ぼすというケミカルガス対策は、近年になり急速にその影響が報告され始めたところである。

一方、パーソナルコンピュータ（パソコン）など電子製品の低コスト化にも拍車がかかり、その製造工場の建設費および工場稼動時のランニングコストの低減が製品コストに大きく影響することから、クリーンルーム機器の低コスト化および消費電力の低減に対する要求も厳しさを増している。

ここでは、これらの要求にこたえたクリーンルームシステム機器の納入実績を基に、その技術動向について述べる。

2 ファンフィルタユニット

今日、半導体工場のクリーンルームでは、ファンフィルタユニット（FFU）の採用が主流であり、したがって、FFU はクリーンルームを構成するうえで最も重要なコンポーネントであるといえる（図 1 に FFU の外観、図 2 に FFU の外形図を示す）。例えば、半導体工場における前工程では、通常、約3,000～4,000台の FFU を要し、海外の大規模半導体工場に至っては10,000台を超える台数が設置されることもあり、その重要性がご理解いただけると思う。

FFU はクリーンブースや生産装置に組み込まれて使用するケースも多く見られるが、上記のようなシステム天井方式クリーンルームとして使用する台数が圧倒的に多い。

そこで、FFU 本体に加え、システム天井方式クリーンルームについても紹介したい。

図 1 FFU の外観

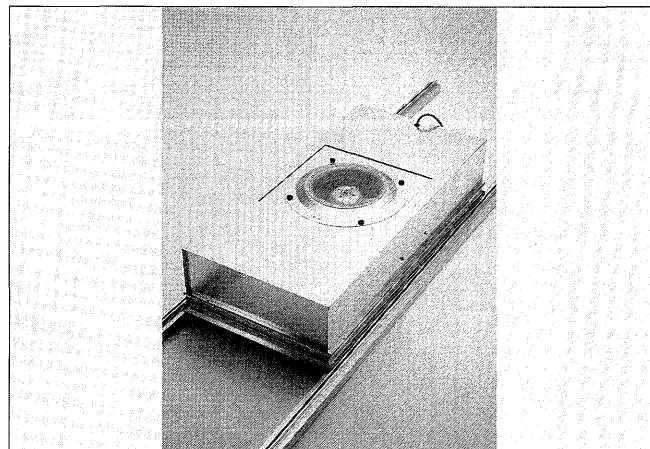
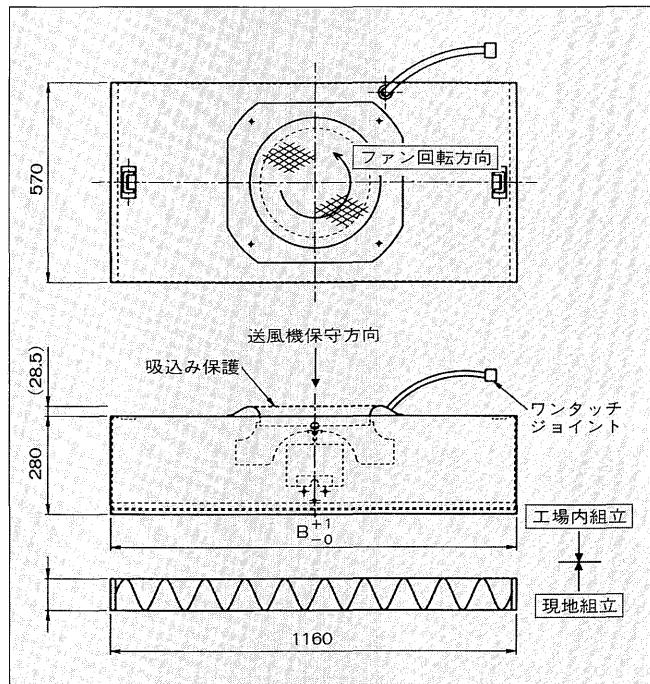


図 2 FFU の外形図



澤田 朋之

クリーンルーム設備、建築付帯設備などのエンジニアリング業務に従事。現在、システム事業本部社会システム事業部技術第二部主査。



蓑輪 義弘

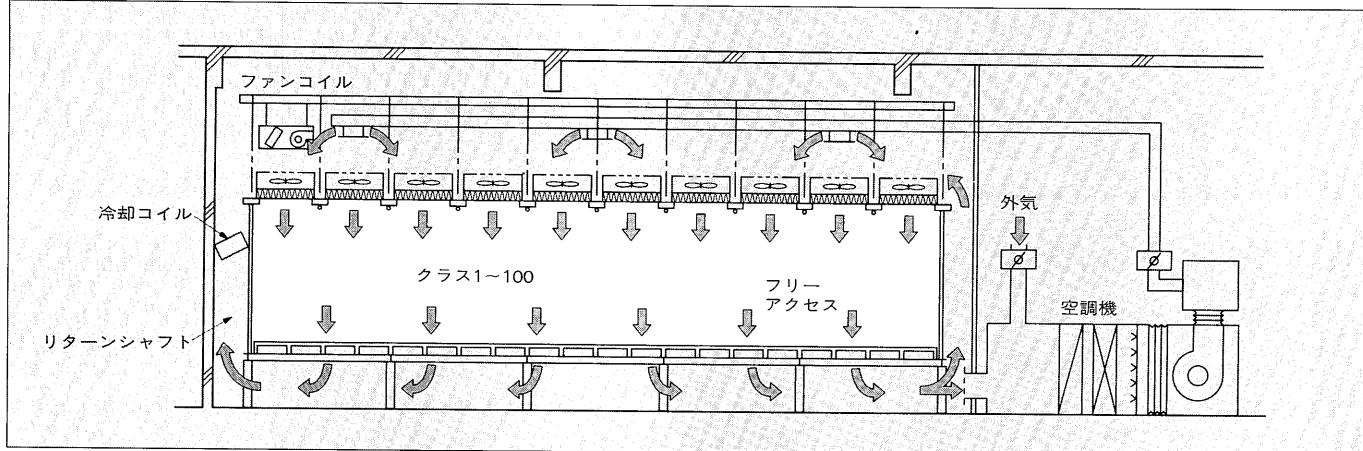
クリーンルームシステムのエンジニアリング業務に従事。現在、システム事業本部社会システム事業部技術第二部主査。



河原 裕二

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、システム事業本部社会システム事業部技術第二部。

図3 クリーンルームシステムフロー図



2.1 FFU の性能

(1) 省エネルギー

前述のとおり、製造工場における使用台数が非常に多いことに加え、年間を通じて24時間運転を続けることから、FFUの消費電力の低減は、工場全体のランニングコストの削減において無視できないことが分かる。この消費電力と密接に関係しているのが、機外静圧である。

(2) 機外静圧

機外静圧とは、クリーンルーム内を循環する清浄空気が移動経路で生じる抵抗のことをいう。例えば、図3に示すようにフリー・アクセス、冷却コイル、リターン・シャフトといったものである。これらは、クリーンルームの有効面積を広く取ろうとすれば、できるだけ少ない面積であることが望まれ、少なくすればするほど機外静圧は大きくなる性質を持っている。また、最近ではケミカルガスを除去するケミカルフィルタをFFUに搭載するケースもあり、FFUへの機外静圧の要求値は増加していく傾向にある。

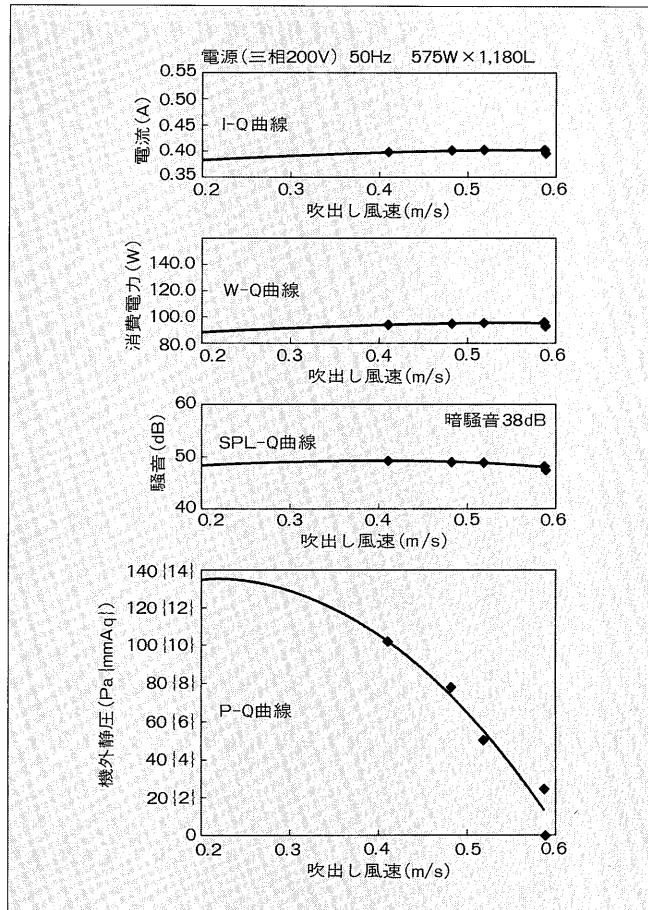
(3) 性能向上のポイント

図4のFFU性能曲線からも分かるように、一般に、機外静圧が増加すると吹出し風速が低減する。したがって、所定の風速を確保しようとすれば、ファンモータのサイズアップは避けることができず、消費電力も増加することになる。重要なことは、可能な限り小形のファンモータを搭載させ、必要な機外静圧を満足させた状態で、いかにして所定の吹出し風速を確保させるかということである。この問題を解決するためには、ファンモータの性能向上だけでなく、FFU内部の微妙な流路形状および送風機の翼部形状の改善も重要な要素となっており、この最適設計により消費電力の低減、騒音の低減、吹出し風速の均一化などが図られる。

2.2 ケミカルガス汚染対策

半導体など最先端電子デバイス製造工場におけるケミカルガスの発生は、外気からはHCl, SO₂, NO₂などの化合物が、また、クリーンルーム内部では製造に使用される酸性ガス、有機系ガスおよび作業者から放出されるアンモニ

図4 FFUの性能曲線



ア、さらには、内装仕上材料であるシリコンシーラント、塗装材などからの揮発性ガスなどがある。しかしながら、これまでのところ、ケミカルガスによる影響についての定量的な報告はまだ少ないため、クリーンルーム建築資材をはじめ、影響のある物質は排除するといった対応をとっているのが現状である。

製造ラインで大量に使用されているFFUについても同様に、ケミカルガス汚染の対策が必要不可欠である。そこで、富士電機では次の対応を行うことで、ケミカルガス汚染の低減に努めている。

(1) 本体材質および内部流路はすべてステンレス鋼製

- (2) 送風機のランナは耐食被覆アルミニウム製
- (3) 電動機は材料分析の結果により選定
- (4) ケーブル材質も分析により支障のないタイプを選定
- (5) 使用部材の脱脂洗浄

2.3 システム天井方式クリーンルーム

(1) 特徴

システム天井方式クリーンルームとは、図5に示すように、FFU本体、特殊アルミニウムフレーム（アルミフレーム）、FFUへの給電システム、照明などで構成されたシステムである。このシステムは次のような特徴を持つことから、半導体工場を中心に現在最も多く採用されている方式である。

- (a) FFUの台数で清潔度の調整が可能
- (b) 将来の高清潔度化が容易に可能
- (c) 生産装置のレイアウト変更への対応が容易
- (d) 空調動力の低減による省エネルギーが可能
- (e) シールレス工法でケミカルガス対策が可能
- (f) 短工期での施工が可能

(2) 特殊アルミフレーム

富士電機では、FFU本体に加え特殊アルミフレームについても独自に開発を進めている。

このアルミフレームは天井面にFFUを設置するために使用するものであるが、そのほかに、照明器具、搬送レール、防災機器などの取付けが容易にできるような形状としている。この特殊アルミフレーム（図6）の内部は、配線ケーブルのルートとして使用が可能で、現地施工の簡略化、

図5 システム天井構成例

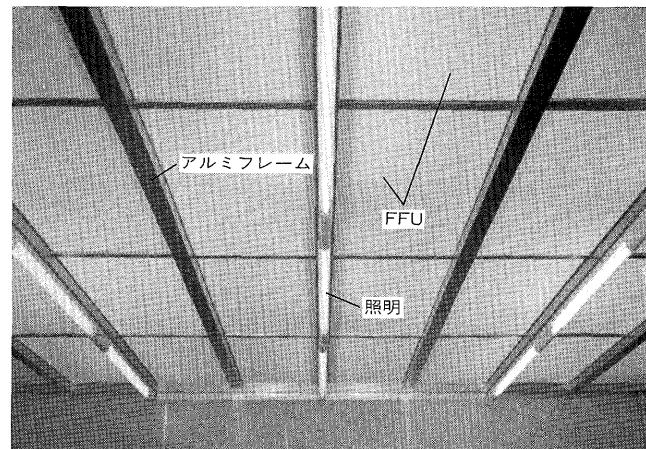
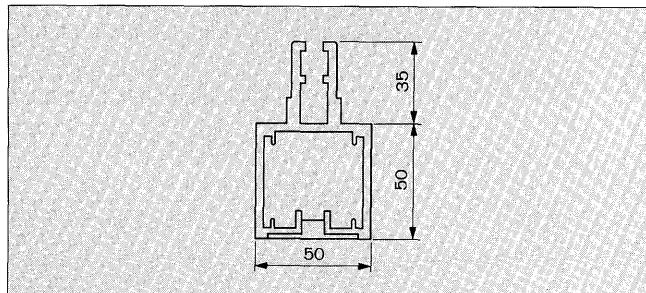


図6 アルミフレームの外形図



工事コストの低減を図っている。また、アルミフレームの組立精度の向上を考慮し、専用金物も開発、納入している。

(3) 給電システム

給電システムは、数千台のFFUに電源を供給する以外に、故障したFFUを検索するシステムのほか、インバータによる風速制御、夜間と休日にFFU稼働台数を制限するスケジュール管理などのメニューを用意している。

2.4 生産装置・クリーンブース組込形

システム天井方式に対し、さらに局所的な高清潔空間を実現するため、生産装置・クリーン立体倉庫・クリーンブースなどの上部および側面にFFUを組み込む方式である。この使用方法では機外静圧はほとんど問題とならないほど低いことが一般的であるが、小形化、薄形化への要望が多く、これらへの対応を進めているところである。

③ 超精密サーマルクリーンチャンバ

電子・精密分野の加工精度の向上に伴い、周辺温度の変動によるデバイスおよび生産装置の伸縮が製品の歩留りに大きく影響を及ぼすことから、恒温環境を作り出すサーマルクリーンブースやサーマルクリーンキューブをこれまでにも数多く納入してきた。

従来のサーマルクリーンブース、サーマルクリーンキューブの性能は、 $23^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 程度であった。しかし、光学系レンズなど、加工精度の向上が著しい分野では、 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ の温度変動が生ずると、「製品の微細な位置合わせの際、生き物のように動いてしまう」とのことから、目標 $\pm 0.02^{\circ}\text{C}$ の超精密サーマルクリーンチャンバが必要となった。以下にその内容について実施例に基づき紹介する。

3.1 概要

超精密サーマルクリーンチャンバは、周囲および天井に断熱パネルを施し、外部の熱変動の影響を最小限にした室内に設置されている。超精密温度調節（温調）を行っている空間は、約 $4\text{m} \times 4\text{m} \times 3\text{m}$ （幅×奥行×高さ）であり、この内部を $23^{\circ}\text{C} \pm 0.02^{\circ}\text{C}$ （目標値）に制御している。

3.2 機器構成と制御方式

このチャンバを構成する機器は次のとおりであり、図7に示すように超精密温調を行っているエリアに隣接して設置されている。

(1) 温調ユニット（図8）

ヒータ1、ヒータ2、コイル1、コイル2を搭載し、超精密温調エアを供給する装置である。ヒータ1では 23°C 前後で戻ってくるリターン空気を 25°C に制御している。次に、この空気はコイル1で 15°C まで冷却され、その温度制御は冷水流量をバルブ制御することで行われている。ヒータ1は、このコイル1の制御用バルブをなるべく一定状態とし微細な制御をさせるために設置している。

次に、超精密サーマルクリーンチャンバ内の温度を一定

図7 超精密温調サーマルクリーンチャンバのレイアウト

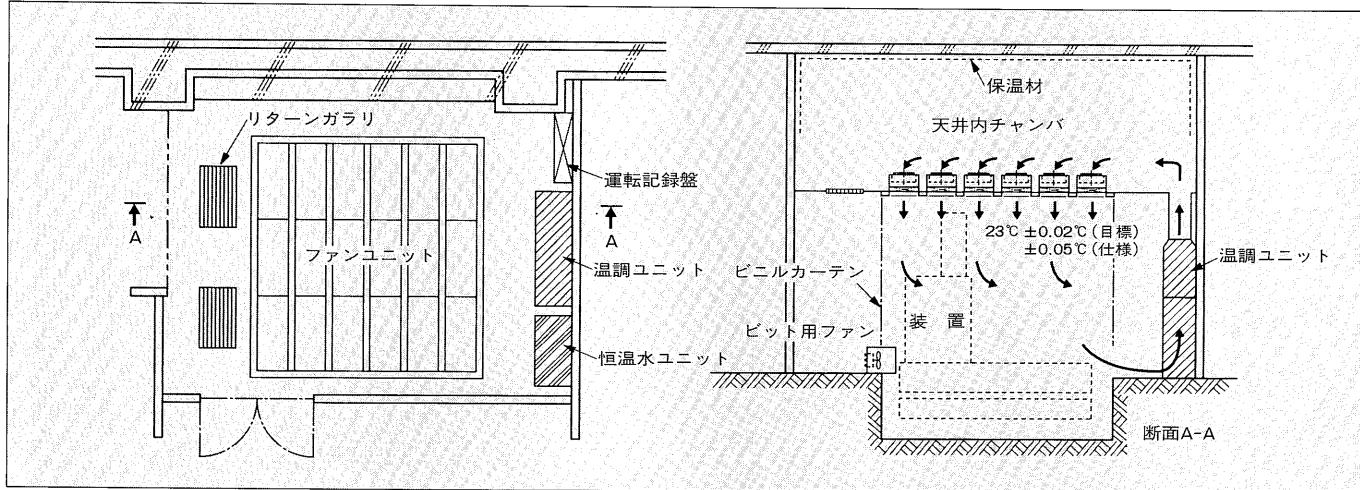
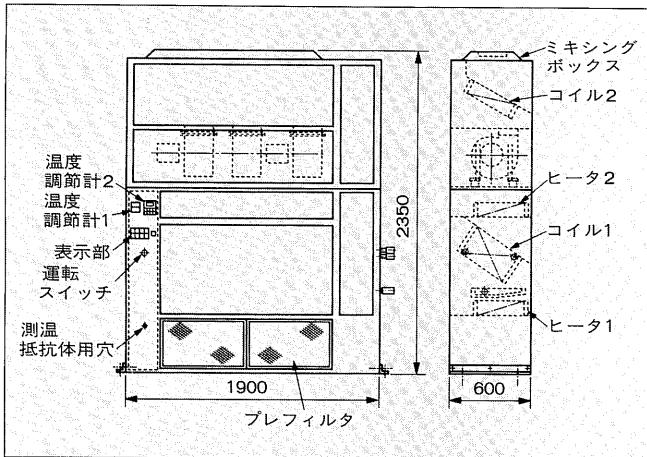


図8 温調ユニット



にするため、ヒータ2の出力をコントロールしている。このヒータ2を通過する空気は、ヒータ1およびコイル1により、すでに安定しているため、ヒータ2の出力もほぼ一定で精密制御を行えることから、温度精度が一定の空気の供給を可能としている。

最後のコイル2は、コイル内部に水を満たしているだけであり、コイルに水を流すことは行っていない。これは、これまでのサーマルクリーンブースで見られた、細かな温度変動を極力抑えるために搭載したものである。

(2) 恒温水ユニット

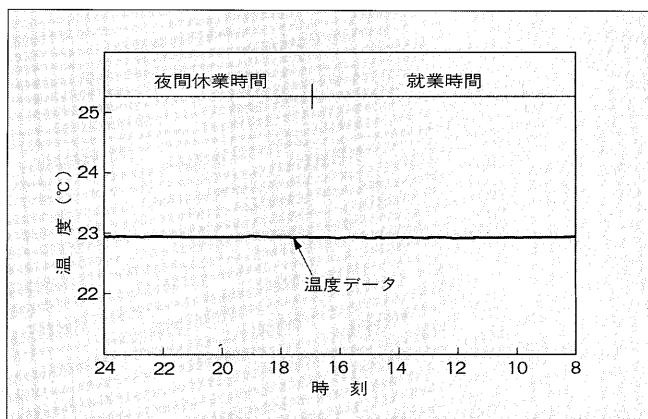
恒温水ユニットは、温調ユニットのコイル1に循環する冷水を供給する装置であり、その冷水温度は実測値で約±0.5°C以内に制御されている。前述のとおり、コイル1の制御バルブを一定の開度で、コイル出口の空気温度を安定させるためには、コイルに供給する冷水温度も安定させる必要があり、恒温水ユニットの採用によりこのことを実現している。

(3) FFU

超精密空調エリアに空気を導入しているのがFFUであり、温調ユニットで制御された空気とリターンガラリからのリターン空気の混合空気を室内に供給している。

(4) 断熱パネル

図9 性能試験の結果



天井面および壁面は断熱パネルで覆われており、室外の温度変動の影響を遮断し、室内温度の安定化を図っている。

(5) 制御盤

制御盤には、FFUの吹出し風速を制御するインバータと温度モニタおよび記録計が搭載され、室内環境の制御および記録を行っている。

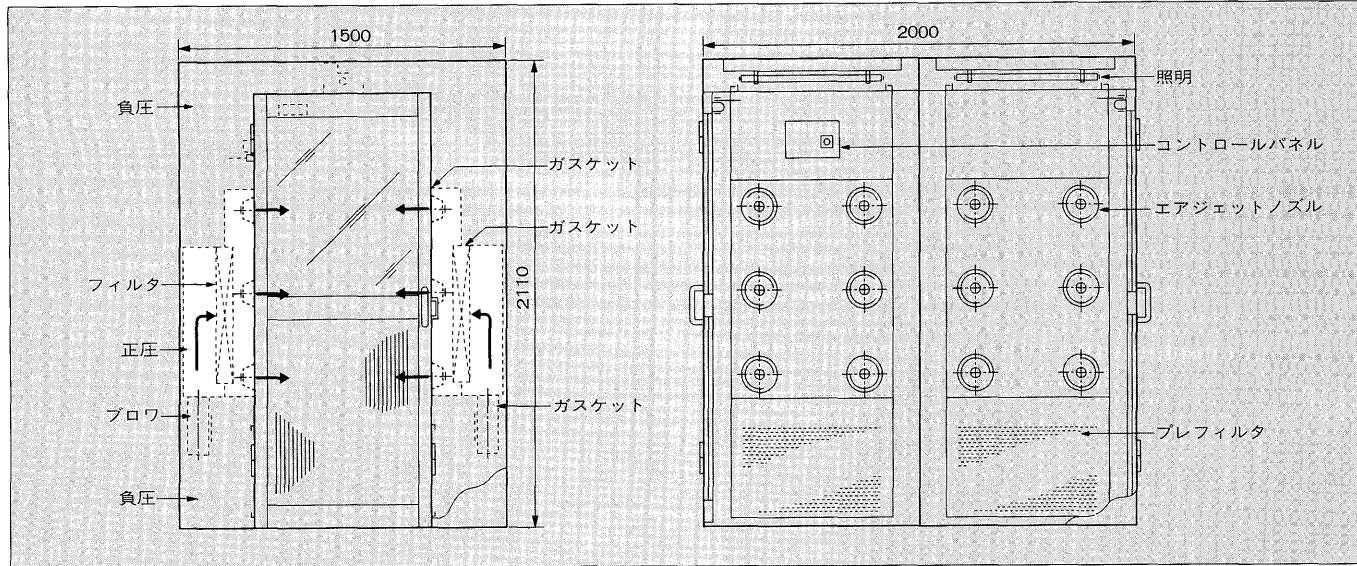
3.3 性能

図9に示すように、23°C ±0.02°Cの目標をほぼクリアする結果が得られており、実際の使用においては、さらに精度の向上を図るために、照明をすべて消し、必要最小限の人員のみの入室とし、室外から研究装置をコントロールすることで、チャンバ内の温度変動要素を排除し、運用している。

3.4 今後の精密温調機器

今回紹介した超精密温調機器は、従来のサーマルクリーン機器の温度精度を向上させたものであり、加工精度のさらなる向上により、今後もこうした需要は見込まれると考えられる。また、最近では温度のレベルが常温ではなく50°C、100°C、300°Cといった高温で、かつ、温度の安定化が必要なサーマルクリーン機器の要求も増え始めており、今後もこうした需要は伸びていくものと思われる。

図10 ケミカルガス対策エアシャワーの外観図



4 ケミカルガス対策エアシャワー

すでに述べたとおり、ケミカルガスによる汚染が注目されつつあることから、クリーンルームの入口に設置されているエアシャワーについても、ケミカルガス対策の要求を受けている。そこで、こうした対策を施したエアシャワーについて以下に紹介する。

4.1 概要

エアシャワーは、クリーンルームの出入口に設置されるクリーン機器であり、クリーンルーム内の汚染低減を目的としている。その具体的な機能は、クリーンルームに入る従業員や搬入物資のじんあいを除去すること、また、クリーンルームと外部とのエアタイトである。このエアシャワーからケミカルガスが発生した場合、クリーンルーム内にそのケミカルガスが導入されることになり、本来の目的を十分に果たせない結果となってしまう。そこで、本章では、この問題を解決するため、ケミカルガスの発生源を除去したケミカルガス対策エアシャワーについて紹介する。

4.2 構造

(1) シリコンコーティング材の除去

エアシャワーにおけるケミカルガスの発生源は、主に、シリコンコーティング材やガスケット類である。従来のエアシャワーでは、周囲のすき間にはすべてのシリコンコーティング材が使用されており、エアシャワーからの空気の漏れを防止していた。これに対し、ケミカルガス対策エアシャワーでは、図10に示すとおり、正圧となるエリアを最小限にとどめ、また、エアシャワー本体の外周に面した部分はすべて負圧とした。このことで、エアシャワー本体から外部への空気の漏れをなくすことができ、外周部で使用して

いたシリコンコーティング材はすべて取りやめることを可能にした。

(2) ガスケット

エアシャワー内のガスケットは、HEPA (High Efficiency Particulate Air) フィルタ取付部、送風機取付部、窓外周部で使用されており、これらはすべてケミカルガスを発生する物質であることが、調査の結果明らかになった。そこで、ケミカルガス汚染上ほとんど問題とならないガスケットに統一することで、改善を図ることにした。

4.3 今後のエアシャワー

今回は構造の改善と、問題となる物質の一掃を図り対応したが、今後はケミカルフィルタ搭載形エアシャワーなどにより、さらにケミカルガス制御を強化したタイプの需要などが見込まれる。

5 あとがき

半導体では300mmウェーハといった大口径化が、また、液晶ディスプレイにおいても大面積化が進み、これに伴い、生産装置も大型化している。このことは、クリーンルームも大規模化することを意味しており、当然、建設コストも増大する。そこで、これまでのように部屋全体を高精度空間にするのではなく、デバイスのじんあい汚染が防止できる最小限の局部清浄化が進むと考えられる。また、ケミカルガスなど、これまで影響のなかった環境条件が、新製品の歩留りに影響を及ぼすことが予想される。今後、各種クリーンルームシステム機器の開発において、これらの新しいニーズを的確に導入した対応が必要であり、これまで以上に製造工程と密着した製品づくりが要求されると思われる。



*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。