

スーパークリーンルーム

Super Clean Room

従来のクリーンルームは、室内浮遊じんあい(塵埃)を低減させることが目標であった。ULSI時代のスーパークリーンルームでは、 $0.1\mu\text{m}$ 以下の微小粒子を対象とした除塵技術が要求されるとともに、ウェーハに付着する粒子の発生源を低減させる総合的なクリーン化が重要となる。

本報告では清浄化を総合的に考え、まず装置内発塵、ユーティリティ、気流分布を重視したスーパークリーンルームに要求される性能について述べる。次いで微小粒子除去の基材となる $0.05\mu\text{m}$ 用HEPAフィルタ、パーティクルカウンタの開発、床開口率分布による気流分布の改善、ユースポイントで純度を保証する施策によるユーティリティの質の向上に触れる。これらの改善によりULSI時代に対応するスーパークリーンルームの設計が行なわれている。

1 緒言

LSI産業は歩留まり産業とも言われ、高品質、低価格のLSIを生産するには歩留まりを上げることが絶対条件である。ところが不良原因の約 $\frac{2}{3}$ は顕微鏡による外観不良と称する直接又は間接的な異物付着による汚染である。そのためLSI製造現場は、常にその時点で得られる最高の清浄度環境を保つ努力が払われている。

最近のスーパークリーンルームは、HEPA(High Efficiency Particulate Air)フィルタの性能向上、換気回数を多くした垂直層流構造を採用することで室内浮遊粒子量を低減し、米国連邦規格で規定した最高の清浄度よりも更に優るクラス1～10の清浄度を達成している。

しかし、今後は清浄度を浮遊粒子数でなく付着粒子数で評価する方法も併用されるようになり、従来とは異なる発塵管理が必要になってくる。

ここでは2章でスーパークリーンルームを取り巻く幾つかの問題点について述べ、3章以下で新開発技術について説明する。

2 スーパークリーンルームの問題点

LSIの性能向上は、微細加工プロセスの進歩によるところが大きい。それを主力製品であるMOS(Metal Oxide Semiconductor)形DRAM(Dynamic Random Access Memory)の集積度の年代推移で整理すると図1のようになる。縦軸にはメモリ製造に使われるプロセスの最小加工寸法を用いている。この際、製品の不良原因になる最小異物径は、従来から経験的にプロセス最小加工寸法の $\frac{1}{10}$ と言われているので、この寸法も同図中に記入してある。すなわち、今後のLSI製造環境では $0.1\mu\text{m}$ 以下の微小な異物でも有害欠陥になる。

図2は室内環境中の浮遊粒子数と粒子径の関係を示したものであり、 $0.5\mu\text{m}$ 以上の粒子総数で環境の清浄度を定義する、いわゆる米国連邦規格209b²⁾のクラス100～1万の図である。しかし、最近のLSI製造環境は、同図中に破線で示したクラス1～10の清浄度を達成している。今後は更に除去対象粒子径が $0.05\mu\text{m}$ ぐらいまで小さくなるので、除去対象粒子の総数を

鈴木道夫* Michio Suzuki
中島 登* Noboru Nakajima
斉木 篤** Atsushi Saiki
八木克人*** Katsuhito Yagi
須田 匡**** Kyoo Suda

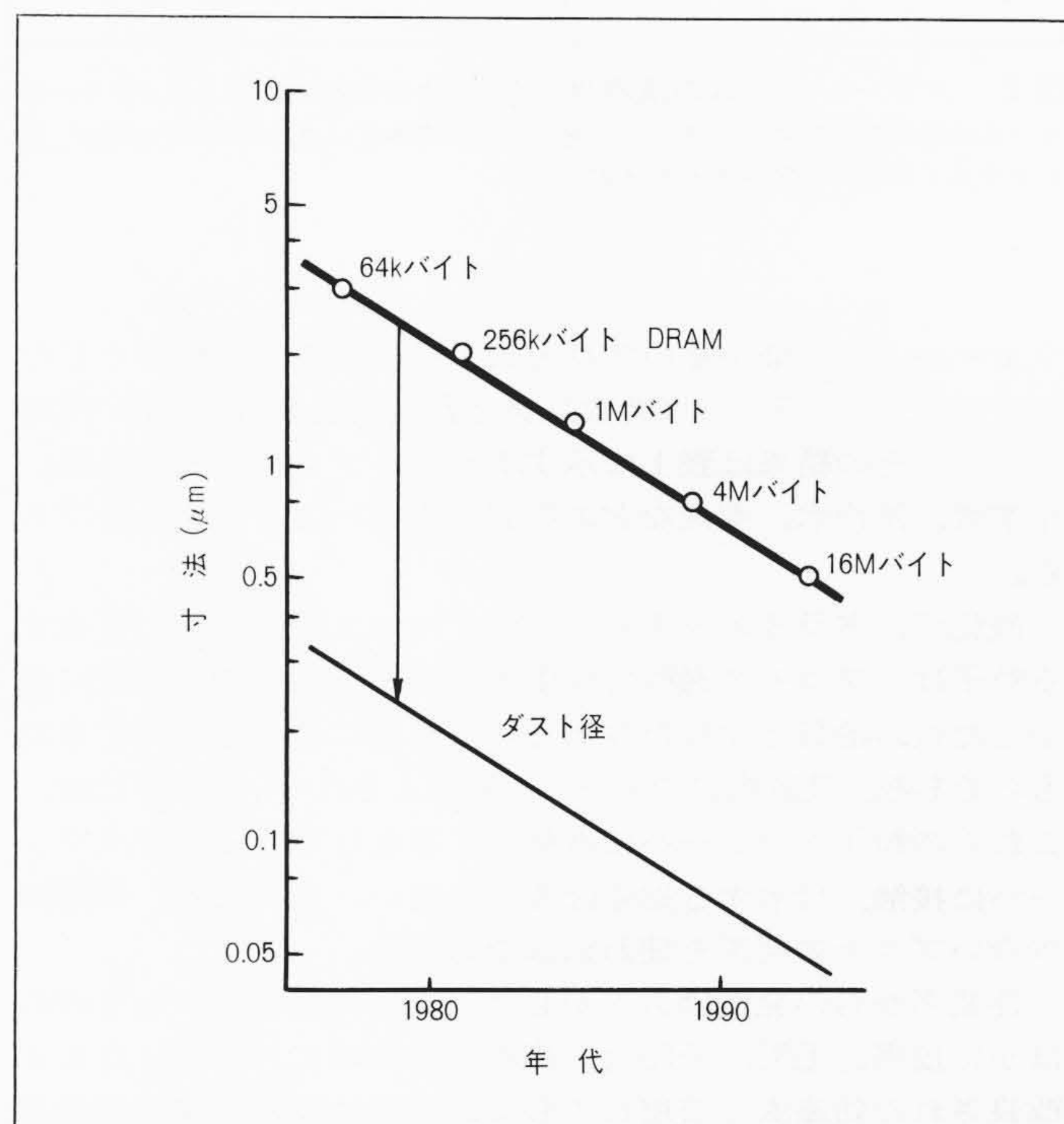


図1 DRAMの最小加工寸法と除去すべき異物径の年代推移

MOS形DRAM(Metal Oxide Semiconductor Type Dynamic Random Access Memory)は、3～4年周期で4倍ずつ集積度が高くなる。その際、LSIを加工する寸法も縮小される。LSIの有害欠陥となる最小異物径は、加工寸法の $\frac{1}{10}$ の大きさに相当する。

現状レベルに抑えようとする、クラス0.1(10ft³中に粒子1個が存在)の清浄度が必要になる。しかし、現状はクリーンルーム内で $0.1\mu\text{m}$ 以下の微小粒子を測定する測定器がなく、HEPAフィルタの性能も正確には不明な状況であり、微小粒子の挙動を評価する測定技術の開発が急務である。

一方、浮遊粒子の数で規格化する室内の清浄度と実際の製品ウェーハ上に付着する異物数との間には必ずしも明白な相関はない。すなわち、製品ウェーハは常に室内に放置されているのではなく、多くの製造プロセス工程を経たものである。

* 日立プラント建設株式会社 ** 日立製作所中央研究所 工学博士 *** 日立製作所中条工場
**** 日立電子エンジニアリング株式会社 理学博士

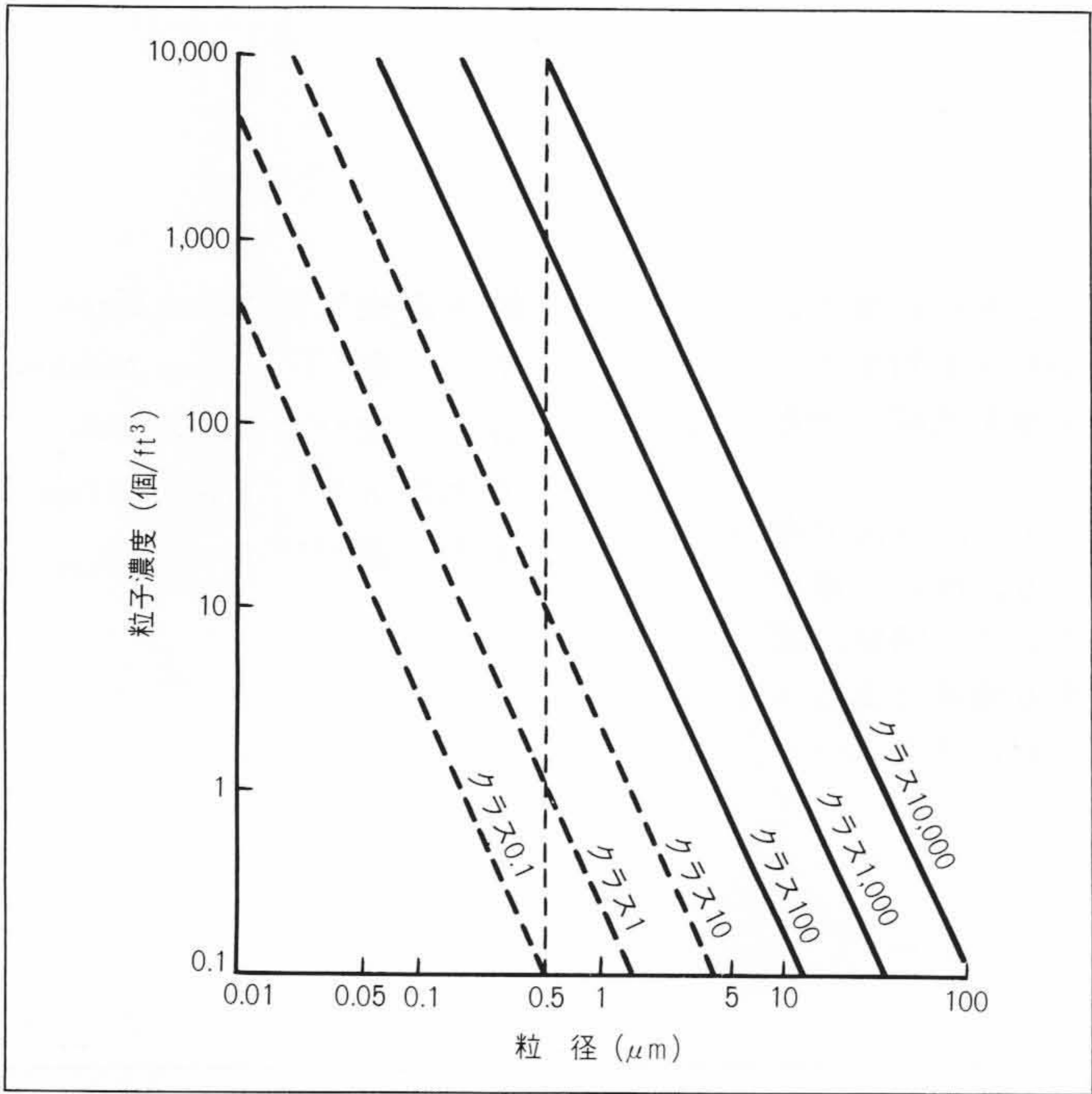


図2 クリーンルームの清浄度 米国連邦規格209bにより、クリーンルームの清浄度が定義されている。現在最高の清浄度はクラス100であるが、近くクラス1及び10が定義される予定である。

ウェーハ上の汚染がそのプロセス工程のどこを汚染源としたものかを、パーティクルカウンタと表面検査装置³⁾を用いて測定した。その結果は表1に示すように、プロセス装置内部、作業員、洗浄水、薬液などの影響が大きいことは明らかである。

酸化炉、ドライエッチャなどのプロセス装置内部に存在する粒子は、プロセス過程で発生する反応副生成物が管壁に付着した後、治具とすれたりあるいは自然にはく離してできたものである。装置内にウェーハが装てんされているときには、これらの粒子がウェーハに近接して存在しているので、ウェーハに接触、付着する確率は非常に高い。そのため、汚染の少ないプロセス装置を使わねばならない。

作業員からの汚染はあらかじめ着衣に付着していたもののほかに皮膚、毛髪、分泌物、繊維など多岐にわたり、たとえ改良された防汚衣を着用してもなお非常に多い。作業員自身やハンドリングなどで発生する粒子を、ウェーハに直接付着させないためには、粒子を速やかに直下の床下へ流出させて室内に拡散するのを防止するための室内の気流分布の適正化が重要になる。将来的には完全無人運転を実現させねばなら

表1 クリーンルーム内各種汚染源での汚染量 クリーンルーム内には多くの汚染源があり、作業員、プロセス装置内部、ユーティリティ(水、ガス)の汚染量が多い。

汚 染 源	発生粒子数(0.5μm以上)
HEPAフィルタ直下	1～10個/ft ³
作 業 員	10 ³ ～10 ⁶
プロセス装置内部	10～10 ⁶
プロセスハンドリング	10～10 ³
洗 浄 水	10 ⁵ ～10 ⁶
薬 液	10 ⁵ ～10 ⁸
高 純 度 ガ ス	1～10 ⁵

ないが、当分の間は部分的に自動化して作業員数を減らす省人運転の時代が続くであろう。そのため、作業員からの汚染対策は今後も重要な課題である。

洗浄水や薬液などからの異物の付着では、微粒子とともに微生物による汚染の影響が大きい。オンライン測定が困難なために現状把握が不十分であるものの、後述するように洗浄水や薬品の品質に関して十分注意を払わねばならない。

以上述べてきた問題点の中から、0.05μmパーティクルカウンタ及び0.05μm HEPAフィルタとフィルタユニットの開発、室内気流分布の改善、ユーティリティの品質向上策について以下の章で順に述べる。

3 0.05μm除塵及び評価技術

3.1 0.05μmパーティクルカウンタ

空気中に浮遊している粒子の個数を粒径別にオンライン測定するパーティクルカウンタについては、各種の性能のものが多数市販されている。従来その中で最高の性能は、最小検出粒径0.11μm、サンプリング空気量0.3l/min程度であった。しかし、今後のLSI製造環境では0.05μm程度の粒子まで除去しなければならず、0.05μm粒子計測技術の開発が必要である。スーパークリーンルームでは、0.1μm以上の浮遊粒子は10個/ft³ (1 ft³は約28l)程度しか存在しないので、上記パーティクルカウンタで測定すると約100分間で10個しか計数されないことになる。このような状況では高精度で測定できず、また瞬間的な局部汚染を検出することも不可能である。

図3に光散乱パーティクルカウンタの構造を示す。同図(b)では上方から下方のノズルへ粒子を含む空気が流れており、両ノズルの間げき部分に横方向からレーザー光を照射する。同図(a)に示すように、粒子からの散乱光は集光レンズで集められて、光電子増倍管で検出される。ここでは光信号から変換されたパルスの個数から粒子数を、大きさから粒径を算出している。粒子からの散乱光強度(散乱断面積)と粒径の関係をMie散乱の式から算出すると図4のようになる⁴⁾。同図中の①は入射光波長632.8nmの場合、②は441.6nmの場合である。同図から現在対象としている粒径0.1μm前後で散乱断面積は粒径とともに急激に変化することが分かり、0.1μm

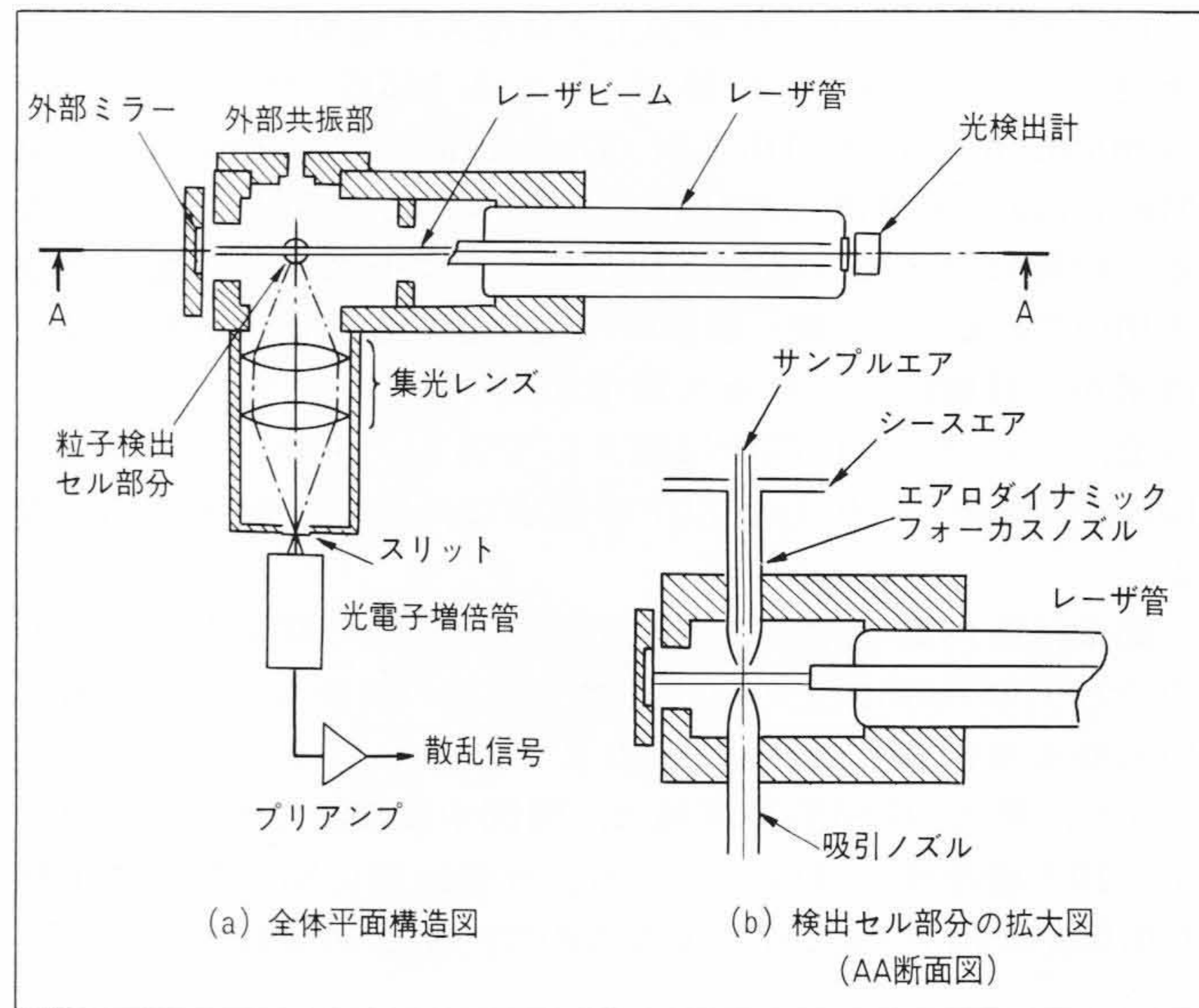


図3 光散乱形パーティクルカウンタの構造 (b)図は(a)図の粒子検出セル部分を90度回転して、サンプル空気の経路を分かりやすくしたものである。

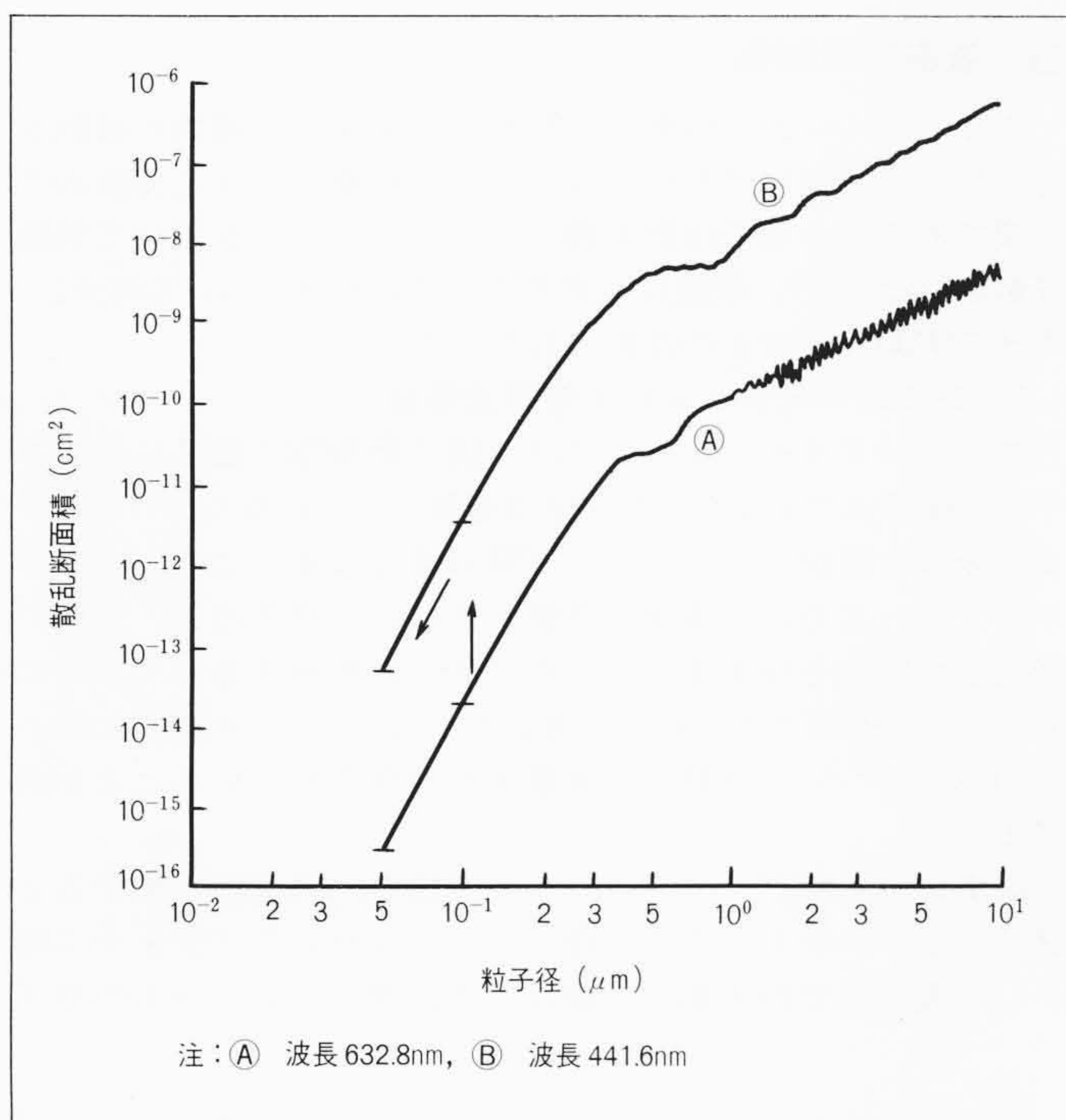


図4 浮遊粒子径の大きさと散乱断面積の関係 Mie散乱理論によると、粒子の光散乱断面積は粒子径が小さくなるにつれ急激に低下する。また、入射光の波長が短くなるにつれ大きくなる。

での散乱断面積に比べて0.05μmでのそれは約 $\frac{1}{80}$ に低下する。すなわち、粒子径が小さくなると急激に信号が低下する。

(1)式はパーティクルカウンタのSN比を表わしたものである。

$$\text{SN比} = \frac{1}{\gamma} \frac{\eta_{\lambda} \cdot \lambda \cdot \sigma_s^2}{\sigma_s + \sigma_{Rt}} I_i$$

ここに σ_s : 粒子の信号散乱断面積(cm²)

σ_{Rt} : 空気分子のレーリー散乱断面積(cm²)

$I_i = 4 P_i / \pi D^2$ (W/cm²)

P_i : レーザ出力パワー(W)

D : ビーム径(cm)

η_{λ} : 波長λでの光電子増倍管の量子効率

γ : 定数

わずかしかな粒子を検出するためには、サンプリング空気量を多く取らねばならない。しかし、雑音の主成分はサンプル空気に光が当たったときの空気分子のレーリー散乱光であり、そのためサンプリング量を増やすことは空気分子のレーリー散乱断面積の総量を大きくし、SN比を低下させることになる。SN比を大きくする目的で入射光強度を実効的に増すためにビーム径を絞ると、サンプリング量を小さくすることになってしまう。以上の結果、小さな粒子径まで測定する条件とサンプリング量を増加させる条件とは相反することが分かる。

しかし、日立製作所は次に述べる技術を開発することによって、0.05μm以上の粒子をサンプリング量0.4l/minで測定できるパーティクルカウンタを実現した。

- (1) 光源に安定性のあるHe-Cdレーザ(波長441.6nm)を採用し、その結果図4の①、②に示したように従来のHe-Neレーザ(波長632.8nm)に比べて短波長であるため同一粒子に対する信号散乱断面積を100倍以上大きくすることが可能になった。
- (2) 図3の構造図に示したように、レーザの外部共振部に光検出セルを設けることにより、ミラー透過時の光損失の影響

を避けることができ、実効的にレーザ光出力を100倍以上大きくできた。

一方、0.1μm以下の微小粒子に関してHEPAフィルタの集塵効率、これまで十分分かっていなかった。そこで次に述べるように、0.05~0.1μmの粒子に関して、従来の0.1μm HEPAフィルタよりも高効率で捕集できるHEPAフィルタを開発し、その性能を確認することが本測定器の完成で可能になった。

3.2 除塵技術

3.2.1 0.05μm HEPAフィルタ

クリーンルームの空気の清浄化にはHEPAフィルタが使用されるが、このフィルタの集塵効率特性は一定ではなく、塵埃の粒径により集塵効率は異なり、また一定の粒径に対しては通過風速によっても効率が変化する。すなわち、集塵効率は0.1μm、又はそれ以下の粒径で最小になり、更に微小な粒子に対しては、慣性による衝突効果よりもブラウン運動による拡散効果で粒子がフィルタの濾材に付着するためむしろ向上する。

一方、大気中の粒径別塵埃濃度は0.05~0.1μm付近で最大になっている⁵⁾。このことは大気中の塵埃濃度が最大になる粒径付近で逆にHEPAフィルタの集塵効率が最小になることを表わしており、今後微小粒子を対象としたスーパークリーンの達成には、集塵効率の向上が必要不可欠であることが分かる。

HEPAフィルタの性能は、主に集塵効率と圧力損失で決まり、前者は高いほど、後者は低いほど良いが、一般には効率を高くすれば圧力損失も高くなる傾向にある。しかし、送風動力の増加、従来形フィルタとの互換性などの点から、フィルタの集塵効率を高くしても圧力損失の増加は抑える改善が必要になる。

今回開発した0.05μm HEPAフィルタは、従来の0.1μmフィルタに比べ同一の圧力損失で集塵効率の向上を図ったが、その技術的な特徴は、濾材の繊維径を従来の多分散系から一定の細い径を中心とした単分散に近いものに改良して集塵効率を向上し、一方、圧力損失は空気の濾過面積を増加させることにより抑えていることである。

開発した0.05μm HEPAフィルタと従来の0.1μm及び一般HEPAフィルタの粒径別集塵効率を図5に示す。風量はいずれも17m³/minである。同図の0.1μm以下の粒径に対する測定は前述の0.05μmパーティクルカウンタを使用して行なったもので、新フィルタは0.1μm HEPAに比べて各粒径に対しいずれも一けた以上高い集塵効率を示している。

3.2.2 スーパークリーン用フィルタユニット

クリーンルームの汎用方式として、クリーントンネル構造が用いられているが、これは主としてライン構成が明確になっているLSIの量産工場に適している。このために研究所などのレイアウト変更が頻繁に行なわれる場所でも対応可能な新しい方式として、クリーンルームの天井に着脱可能なモジュールタイプフィルタユニットの開発を行なった。

本方式は図6に示すようなHEPAフィルタと送風機を内蔵した一定寸法のフィルタユニットを天井に配列し、装置のレイアウトに応じて天井のフィルタユニットの増減を可能にしたものである。

これらのフィルタユニットを使用したクリーンルームでは、各ユニットごとにダクトで供給される空調空気とクリーンルームからのバイパスリターン空気を混合し、ユニット単位での指定温度設定が可能である。また、各ユニットに送風機が

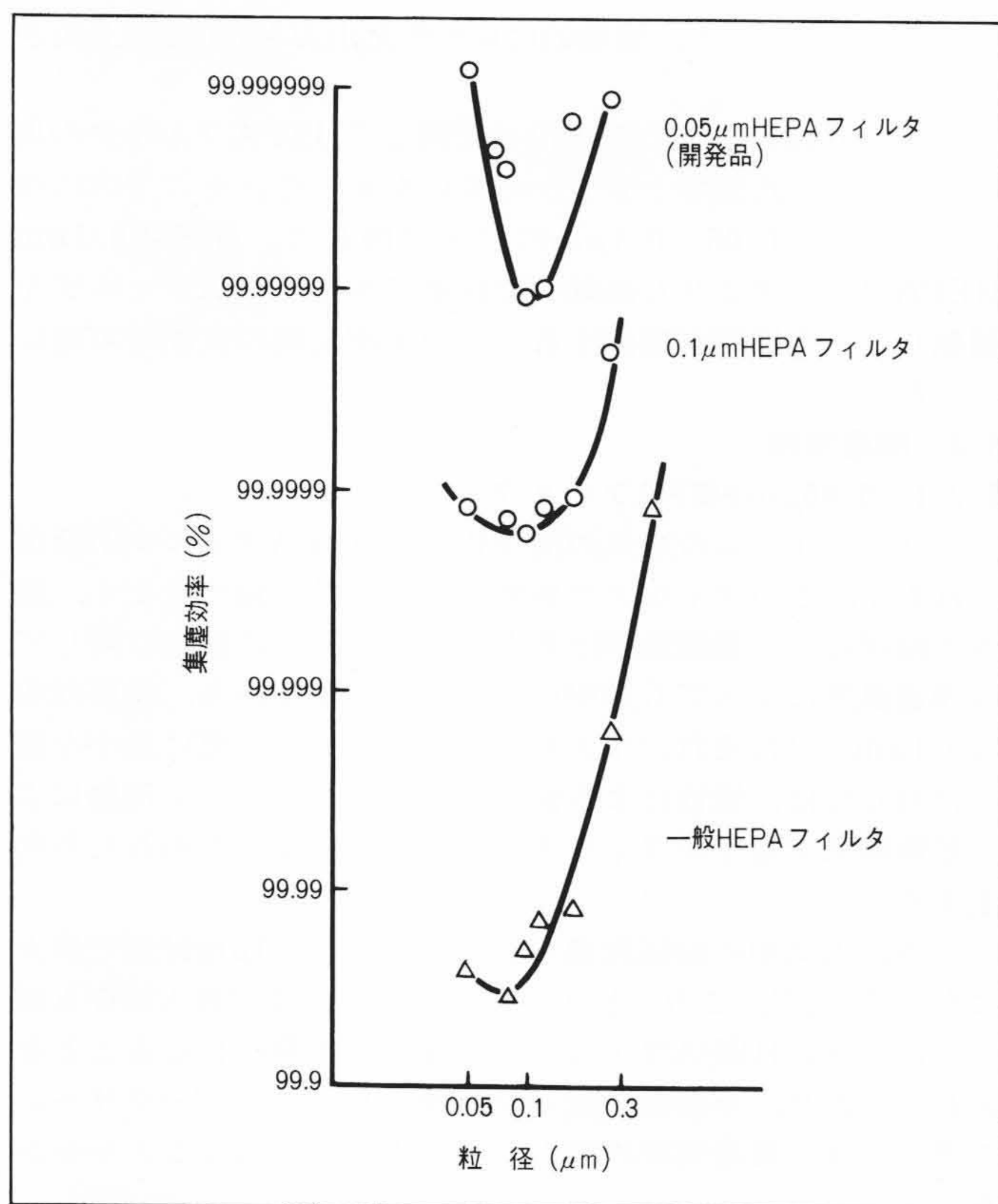


図5 各種HEPAフィルタの集塵性能 従来のHEPAフィルタより高性能の0.1 μ m HEPAフィルタ、0.05 μ m HEPAフィルタが発売されている。フィルタの集塵効率は、0.1 μ m粒径付近で最も悪い。

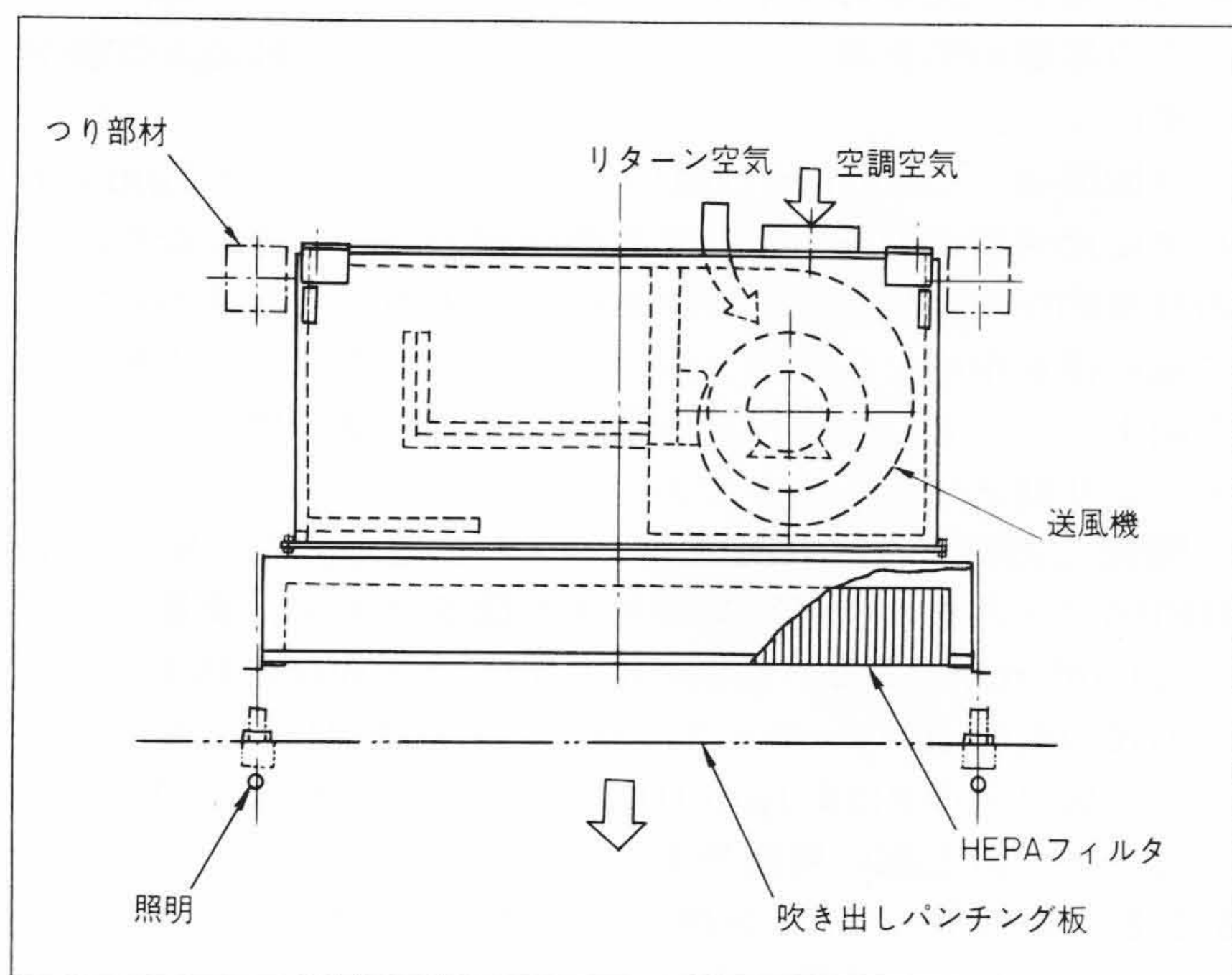


図6 スーパークリーン用フィルタユニット モジュール寸法の採用により、レイアウト変更などに対処してフィルタユニットの増減が可能である。

内蔵されているので、天井リターンチャンバ全体が負圧となり経年変化、地震などにより、たとえ天井部にわずかのすき間が発生しても、清浄度の維持機能が高いという利点がある。

以上により、クリーンルーム内へ十分清浄な空気を供給することは可能になったが、作業員などからの室内発塵物が室内気流分布の乱れで広範囲に拡散し、製品に直接付着する可能性も大きい。そのため室内の気流はできるだけ垂直層流にして発塵物が拡散することなく短時間に除去されるように努めなければならない。

4 最適気流制御

クリーンルームでの気流の制御は、発生した塵埃の拡散を防止し、速やかにクリーンルームから排除するうえで極めて重要である。本章では計算機シミュレーションを用いて気流解析を行ない^{6),7)}、最適な方式を求めていく例について紹介し、併せて実測データとの比較も行なった。

4.1 シミュレーションによる気流解析

スーパークリーンルームでは、模式断面図の図7に示すように、HEPAフィルタが天井全面を覆うように取り付けられ、また床は全面がグレーティング開口床となる。このようなクリーンルームでは、清浄な空気が天井から吹き出し、室内で発生した塵埃を効率よく速やかに床下に排除するので、常に清浄空間が保証されていると考えがちになる。このためには、室内気流について良好な垂直層流が確保されていることが前提となる。

図7に示したクリーンルームの気流を、計算機解析すると図8のようになる。この場合クリーンルームの寸法を $\frac{1}{5}$ に縮小した実験室での実測との兼合いで、クリーンルームのサイ

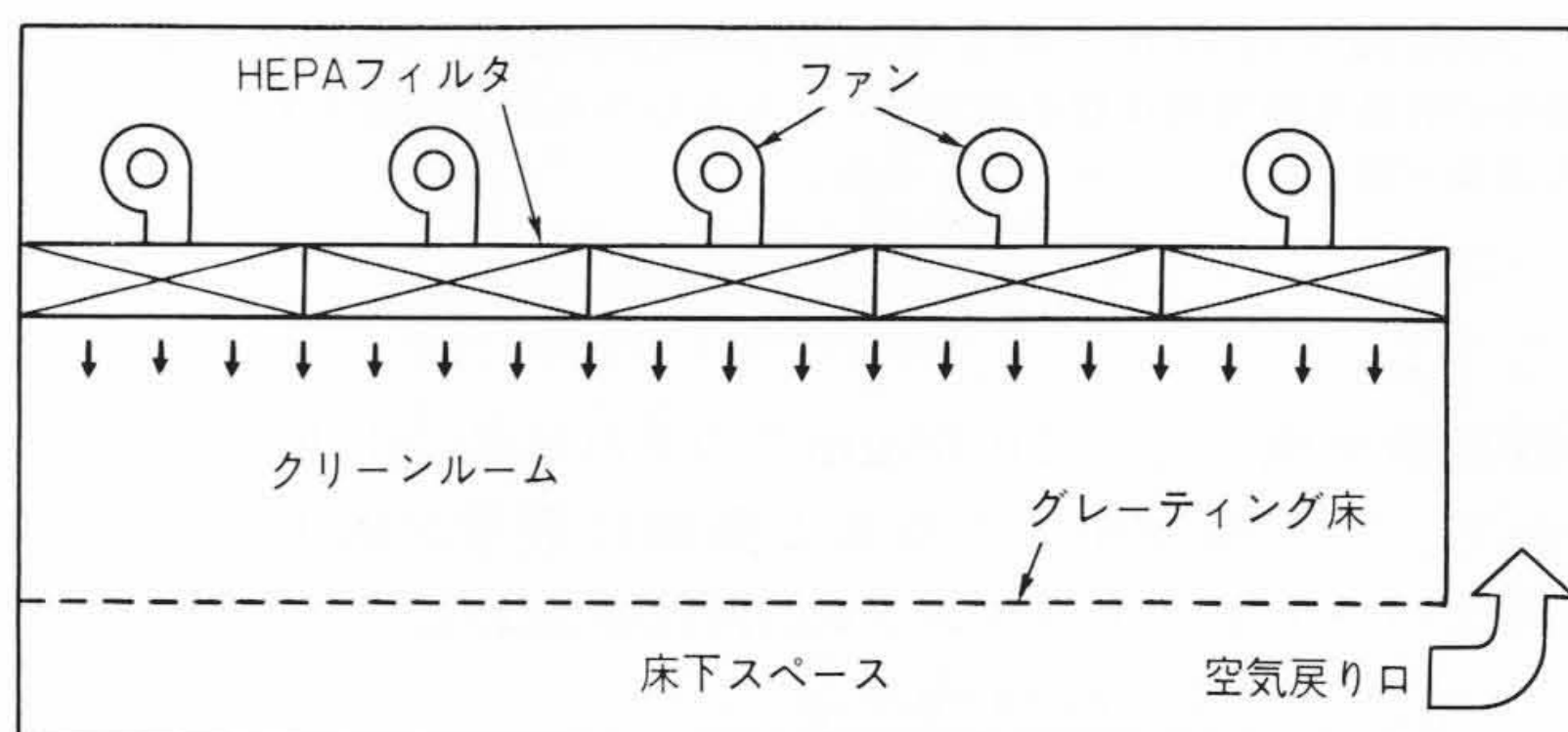


図7 ダウンフロークリーンルームの断面の一例 標準的なダウンフロークリーンルームは、天井全面にフィルタが設けられて下方へ清浄な空気が吹き出る。床面は開口部があるグレーティング床であり、空気は床下へ入って戻り口から再び天井部へ循環している。

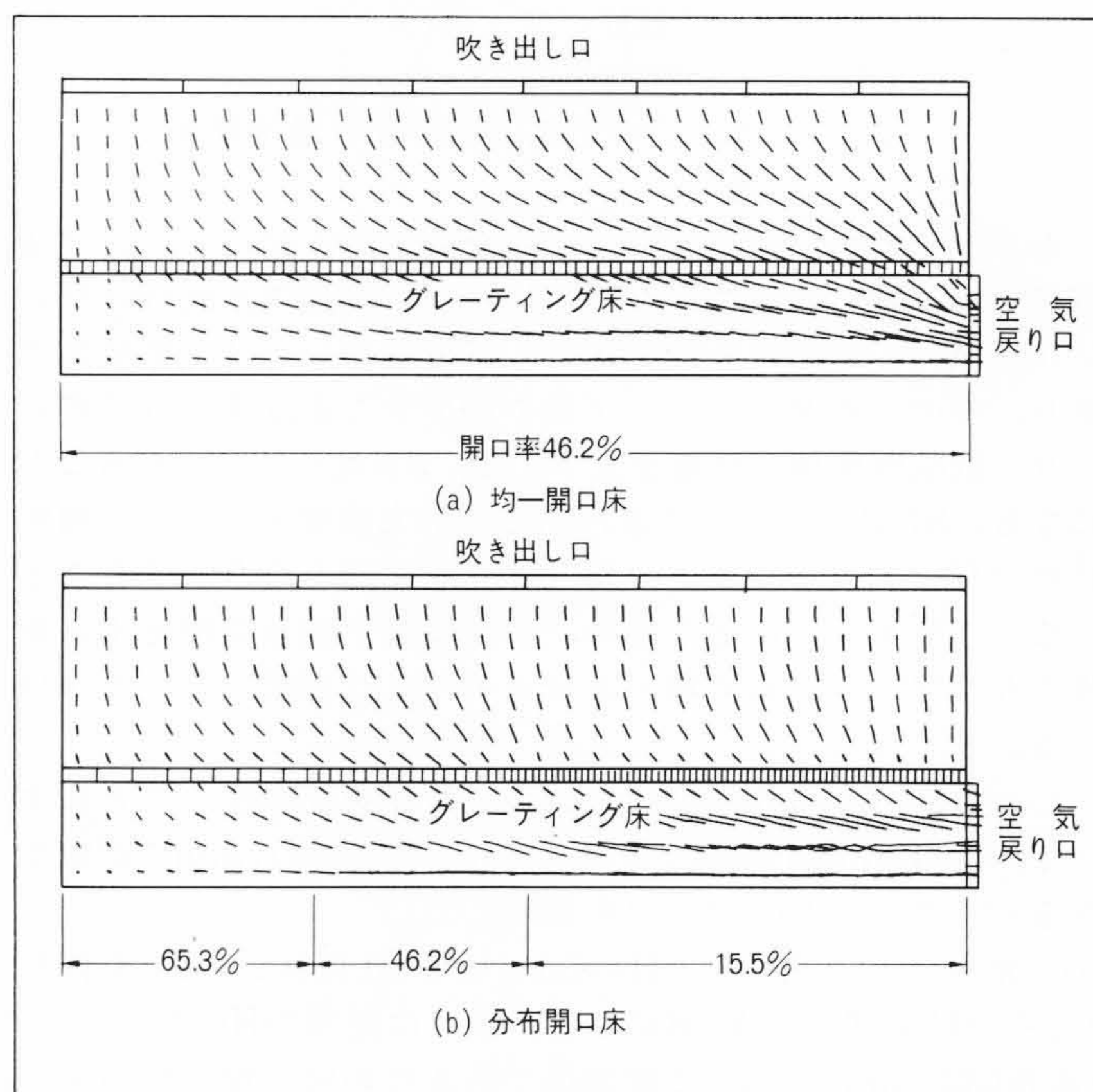


図8 気流分布の開口床依存性 グレーティング床の開口率は、一定にするよりも数種類の開口率を分布させたほうが、室内気流分布の偏流を小さくすることができる。

ずは間口3.2m、高さ0.6m、床下スペース0.4m、吹き出し風速は0.7m/s、グレーティング床の開口率は46.2%とした。同図(a)から明らかなように、室内気流は床下右側にある空気戻り口の方に著しく偏流しており、垂直層流になっていないことが分かる。偏流の原因は、室内気流が空気戻り口に近い側のグレーティング床に集中しているためであるのは、同図から明らかである。したがって、偏流を改善するには、この集中を分散させればよい。そこで戻り口に近いほうのグレーティングの開口率を小さく取り、戻り口からの距離に応じて順次開口率を大きくした。そのシミュレーション結果を同図(b)に示す。偏流はほぼ解消され、良好な垂直気流分布になっていることが分かる。

4.2 気流の質に関する検討

室内気流を更に詳細に調べるため、風速や風向について検討した。図8(a)、(b)に示した気流分布図をもとに、床面上方0.2mの高さで水平方向各位置の風速及び風向角度の分布を調べた。結果を図9(a)、(b)にそれぞれ示す。なお、それぞれの図のうち、実線はシミュレーションから得られたものであり、また点線は前述のサイズの実験用クリーンルームから得た実測値を示している。

図9(a)の風速分布に関しては、床開口率が均一の場合、戻り口に近いほど風速が大であり、吹き出し風速の約2.5倍にも達している反面、戻り口に最も遠いところでは、吹き出し速度を大幅に下回っている。これに対して開口率を分布させた場合は、全域にわたってほぼ均一の風速で、かつ吹き出し風速が維持されている。また、シミュレーションで得た値と実測値はかなりよく一致していると言える。

風向角度分布については〔図9(b)〕、均一開口率の場合、中央付近で約70度と、水平に近い気流であることを示している。一方、開口率を分布させた場合、最も悪くても40度程度であり、風向角度についてもかなり改善されていることが分かる。シミュレーションで得た値と実測値とは、ここでも比較的良好に一致しており、計算機シミュレーションは、かなりよく現実を反映していることが分かる。

4.3 実クリーンルーム規模への適用

クリーンルームのサイズを、実際のものに近い間口16m、高さ3m、床下2mとし、プロセス装置も配置された状況のもとで、本シミュレーションを適用した。結果を図10(a)、(b)に示す。同図(a)は、床開口率が均一の場合である。装置の上部ではほとんど水平に近いかなり強い気流が存在し、装置と装置の間でも斜めに吹いている。また、装置の側壁に近いところでは、乱流の存在も認められる。人の頭の高さ位置での風向角度は60度である。床開口率を分布させた場合は、同図(b)に示すように、装置の上方での強い水平流はほとんどなくなり、良好な垂直層流となる。人の頭の位置での風向角度は19度であり、均一開口床の場合に比べかなり改善されている。

以上、シミュレーションをもとに、発塵源からの塵埃を広範囲に拡散させないための気流の最適条件を求める方式について述べ、グレーティング開口率を適切に選択することによって、良好な垂直気流分布が得られることを明らかにした。気流シミュレーションは、実測値との対応もよく、さまざまな形状のクリーンルームに対し各種パラメータの数値を選択し、最適な条件を求めるのに極めて有効な手段であると言える。

しかし、洗浄水やガスなどのユーティリティ中に含まれる粒子は、クリーンルーム内の気流分布とは無関係に、Siウェーハに付着する。LSI加工の微細化が進むにつれ、ユーティリテ

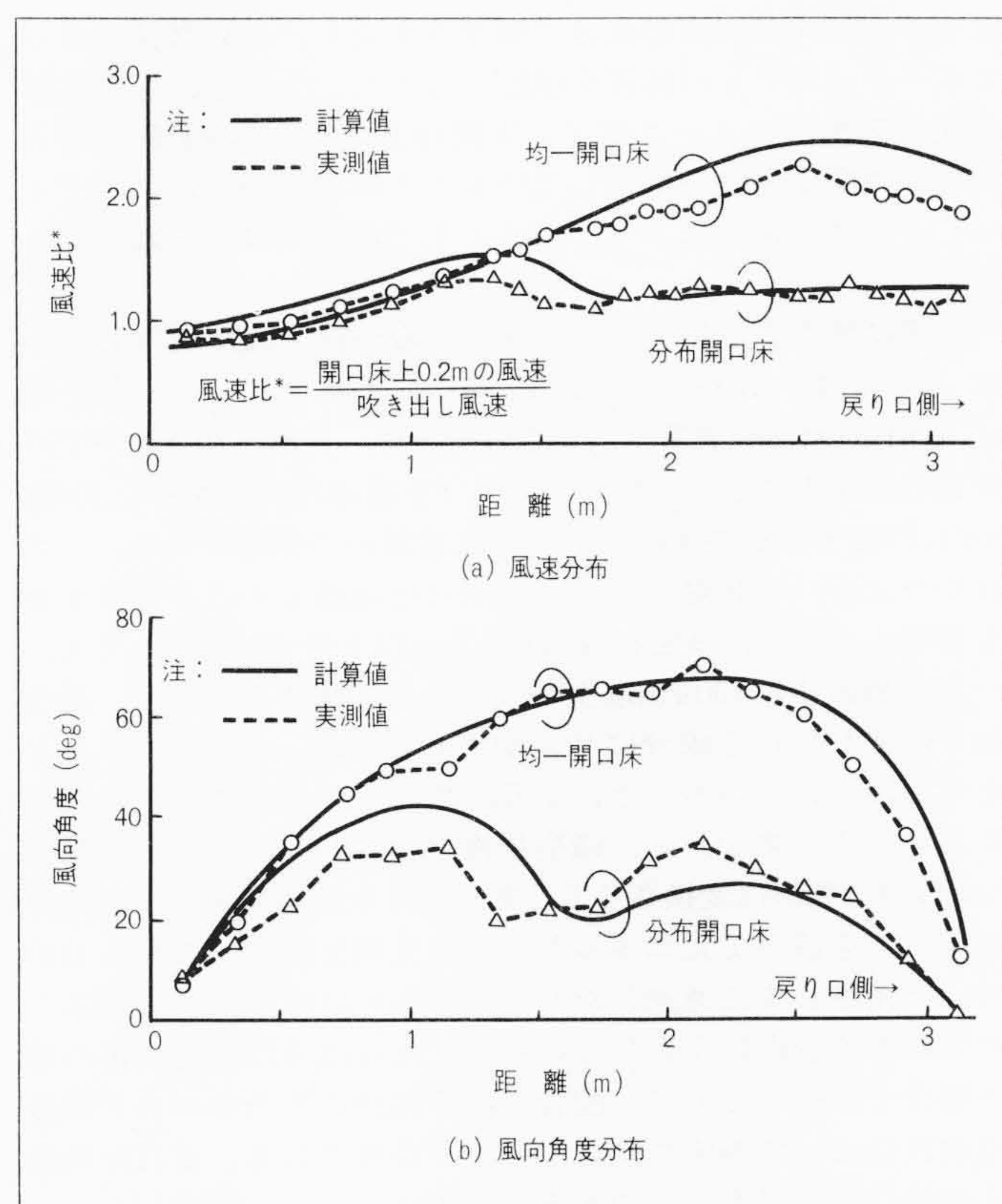


図9 気流の風速分布及び風向角度分布 均一開口床と分布開口床で気流分布の違いを実測し、シミュレーション結果と対比させたところ両者は非常によく一致している。

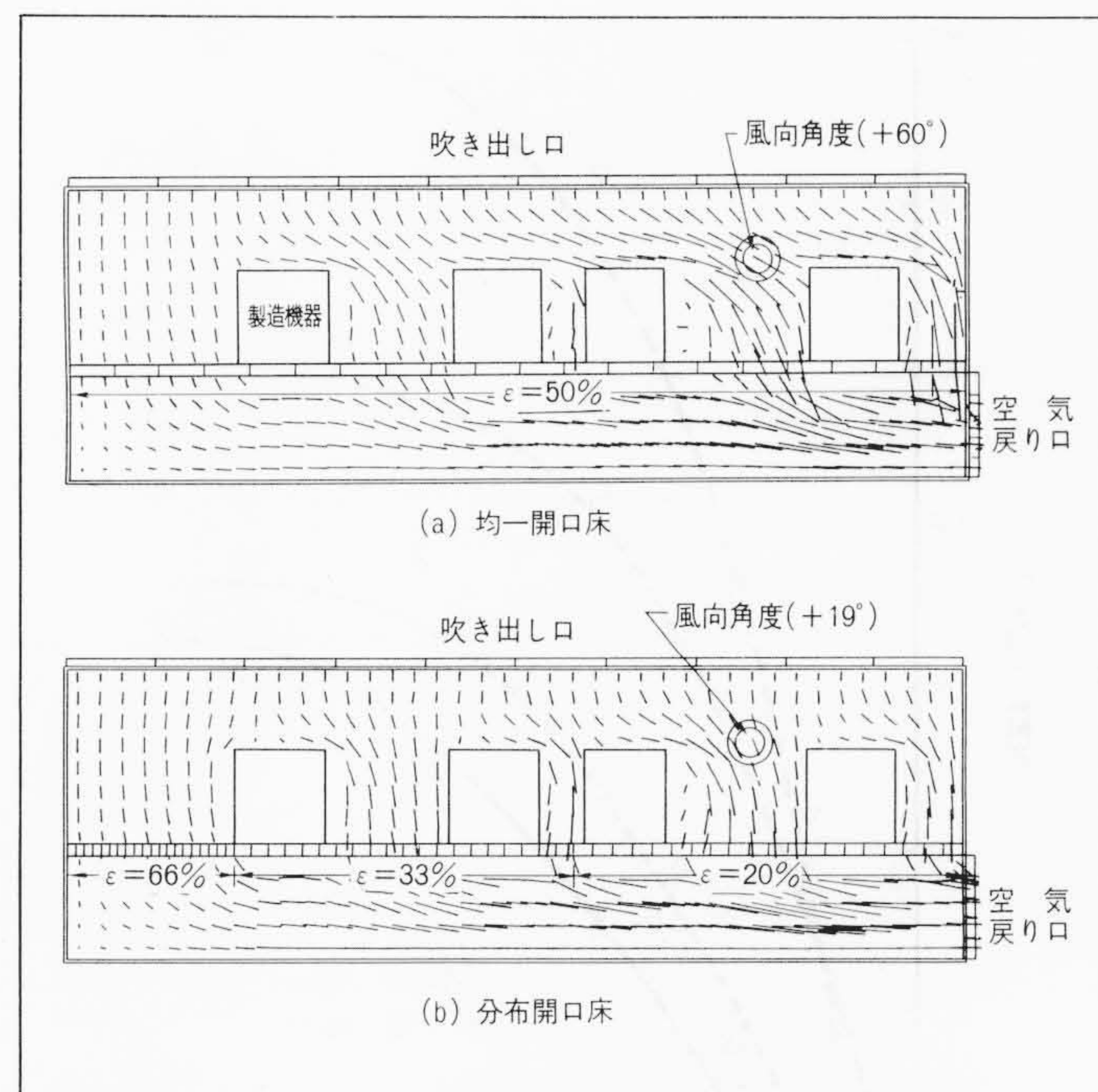


図10 実クリーンルーム規模での気流解析 クリーンルーム内にプロセス装置を配置したときの気流分布シミュレーション結果を示す。床開口率に分布をもたせ偏流を小さくしている。

イのクリーン化のウェートが増してくる。

5 ユーティリティの質の向上

従来の純水や高純度ガスに関しては、それぞれ純水製造装

置やガス純化器の出口部分で特性を測定し、その数値をもってユーティリティの品質を保証してきた。しかし、実際には上記装置出口とユースポイント間は100m以上の配管長があり、その間で汚染が進行していることは明らかで、ユーティリティの品質保証はユースポイントでの測定によらねばならない。

洗浄に使用する超純水中に含まれる微粒子数は通常 $0.1\mu\text{m}$ 以上で30個/ml程度になる。超純水装置には限外濾過(Ultrafiltration)装置が内蔵されており、本来 $\sim 10\text{\AA}$ オーダの濾過性能をもつものである。このUFを通過後の純水中に30個/mlもの粒子が存在することに純水装置系の問題がある。このほかウェーハに接触する洗浄水中には微粒子のほかに微生物も存在している。微生物は当初 $1\mu\text{m}$ 以下の寸法であっても、一昼夜放置中に $100\mu\text{m}$ 以上の大きさに増殖することや、微生物を形成している成分にリンやナトリウム、カルシウムなどを大量に含んでいることにより、ウェーハに付着すると顕著に汚染する。すなわち、微生物直下のシリコンウェーハ結晶をn形の導電形に変換させてしまう。純水製造装置内では紫外線ランプを設けて光エネルギーで微生物を滅菌しているものの、滅菌されずに通過したもの、あるいは蛇口側から侵入したものが配管内に生存している。これらは主に配管内部の滞流部分で増殖するので、配管の継手部分の凹凸やバルブ部分の改良によって滞流を減らす工夫が必要である。これは微粒子対策についても同じである。

一方、水中のTOC(全有機炭素濃度)は原水の水質、水中の

微生物や溶出量を表わす指標ともなるものであるが、同時に有機物は微生物の栄養源ともなる。図11は各種TOC濃度の水中に存在した微生物が、時間とともに増殖する様子を測定したものである。TOC濃度が高くなるほど増殖の程度が大きくなっている。微生物混入は薬品中にも観測される。

ユーティリティ全般に配管部品及び施工に従来以上の配慮をしない限り、ユースポイントでのユーティリティ純度は保証できない。純水やガス中の不純物はppb～pptの極微量であり、この測定は非常に難しいものの定量測定が望ましい。大気圧マスマススペクトロメトリーを使ったガス中不純物の測定など新しい方法も開発されつつある⁸⁾。

6 結 言

超LSIの進歩とともに有害欠陥として影響する粒子の最小粒径も小さくなり、現在の $0.1\mu\text{m}$ から間もなく $0.05\mu\text{m}$ 粒子も除去対象となる。それに対処するため、 $0.05\mu\text{m}$ パーティクルカウンタを開発し、これで評価しながら $0.05\mu\text{m}$ 粒子も高効率で捕集できる新HEPAフィルタを開発した。

スーパークリーンルームでは従来からの浮遊塵埃管理とともに付着粒子数で清浄度評価を行なう必要があり、その結果プロセス装置、作業員、ユーティリティなどの各種発塵源からの汚染がウェーハ付着粒子の主原因となるものであることが明らかになった。これら発塵源を個々に対策して発塵量低減に努めるとともに、床開口率分布による気流分布の改善を図り、粒子の遠方拡散防止などの対策も講じられた。

今回の報告は清浄化を主としたが、スーパークリーンルームでは振動、温湿度、圧力差など他の項目の制御も今まで以上に厳しく、これらに欠陥があればクリーンルームの性能として致命傷になる。これら項目を含めた広範囲の制御が必要になるにつれ、管理が規格どおり実行されているかどうかをチェックするオンライン計測技術が不可欠となっている。

なお、今回開発した $0.05\mu\text{m}$ パーティクルカウンタは日立電子エンジニアリング株式会社が、 $0.05\mu\text{m}$ HEPAフィルタは日本無機株式会社がそれぞれ商品化している。

参考文献

- 1) 鈴木, 外: 付着量測定による浮遊塵埃推定法, 第2回空気清浄技術研究大会予稿集, 17(昭58-2)
- 2) Fed. Std. No. 209b: Clean Room and Clean Work Station Requirements, Controlled Environment(1973)
- 3) 八掛, 外: 表面検査装置による微粒子検出, 日立評論, **65**, 7, 495～498(昭58-7)
- 4) 須田, 外: レーザ方式ダストカウンタの性能向上, 第3回エアロゾル科学・技術研究討論会, G03(昭60-8)
- 5) 早川, 外: スーパークリーンルームの理論と実際, 井上書院(昭60-4)
- 6) 田中, 外: 等価流動抵抗を考慮したダウンフロー型クリーンルーム内の気流解析, 空気調和・衛生工学会学術論文集, D-45(昭60-9)
- 7) 田中, 外: 床の通風抵抗を考慮したクリーンルーム内の気流解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集(昭61-8)
- 8) Y. Mitsui, et al.: Determination of Trace Impurities in Highly Purified Nitrogen Gas by Atmospheric Pressure Ionization Mass Spectrometry, Anal. Chem. **55**, 3, 477～481(1983)

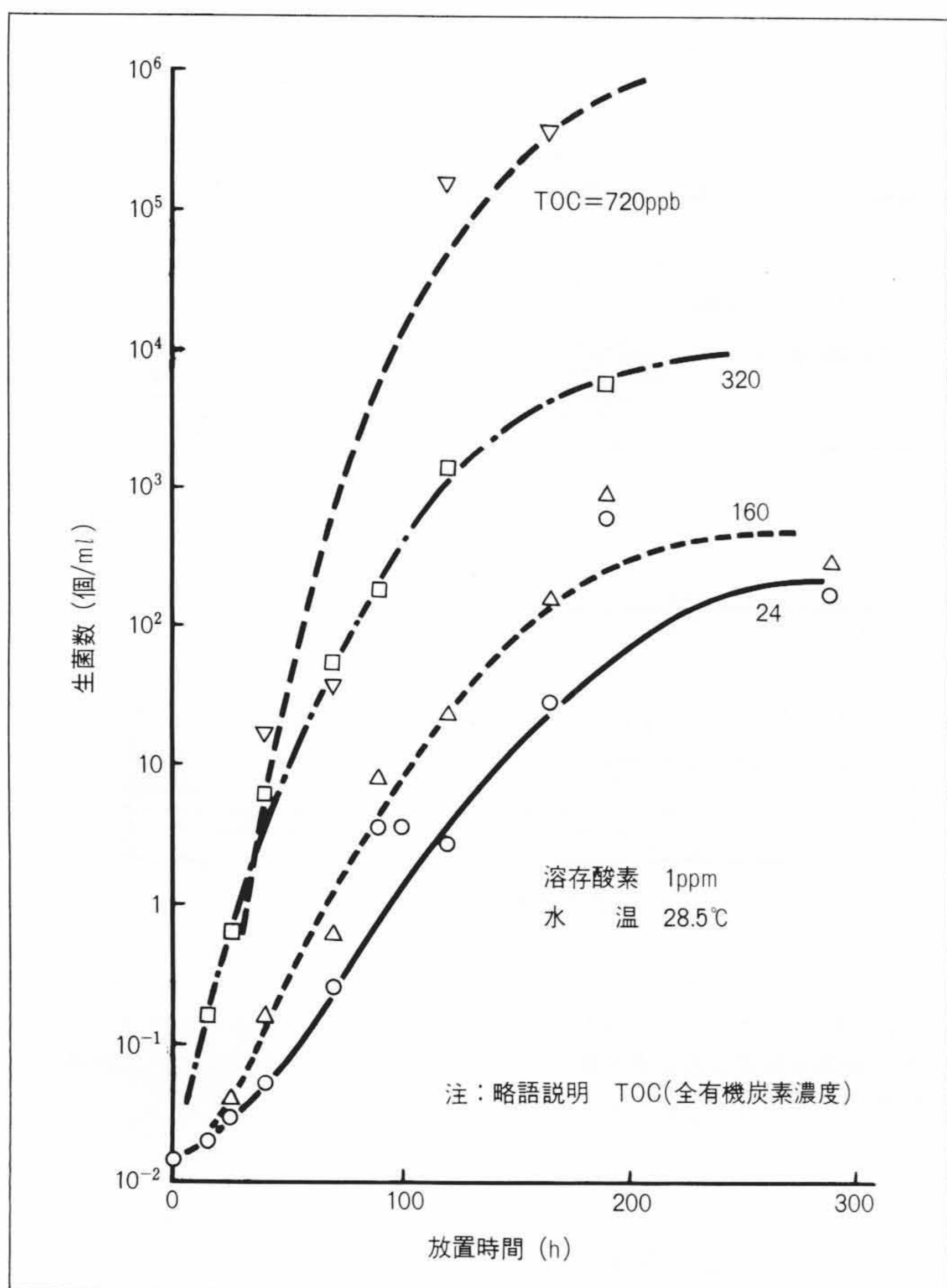


図11 純水中の菌の増殖とTOC濃度の関係 超純水中のTOC濃度は、できるだけ小さくする努力が払われている。TOC濃度が高くなるにつれ、純水中に微生物が増殖しやすくなる。