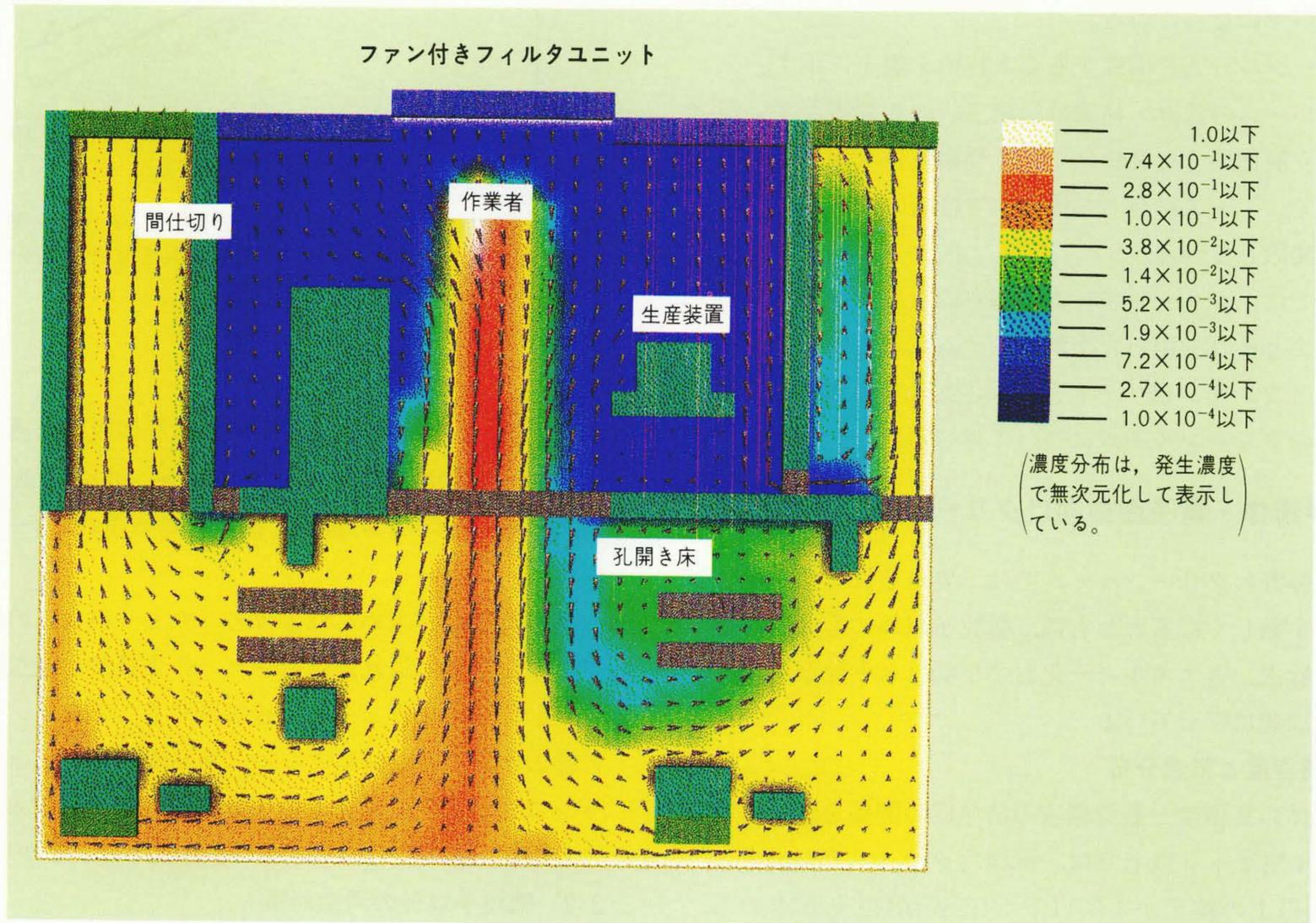


清浄度とフレキシビリティを高めた 半導体・電子産業向けクリーンルーム

Highly Qualified and Flexible Clean Room for Electronic Device Manufacturing

鈴木道夫* *Michio Suzuki*
都築浩一** *Kôichi Tsuzuki*
八木克人*** *Katsuhito Yagi*
檜田和夫**** *Kazuo Kashida*



クリーントンネル構造断面における気流および粒子濃度分布 気流分布と作業者からの発塵(じん)による粒子濃度分布を計算機シミュレーションで表している。濃度分布は色表示で示した。

半導体・電子産業用クリーンルームは常に高潔度を維持するとともに、大面積の中に多数の最新鋭生産装置が設置され、ある頻度で装置の入れ替えを行うことができるフレキシビリティが要求される。

日立製作所は高効率フィルタと空調システムを組み合わせたファン付きのFFU(フィルタユニット)を除塵(じん)・空調システムに使用することで、生

産装置のレイアウトに対応して必要な領域を高潔度、かつ部分的に温湿度の精密制御を行える高効率・低コストのシステム化を実現している。

最近の高潔度レベルでは、微粒子とともに重金属やイオン状物質などの汚染物質も除去する必要があり、そのため高効率フィルタやケミカルフィルタも開発している。

* 日立プラント建設株式会社 空調プラント事業本部 ** 日立製作所 機械研究所 *** 日立製作所 中条工場
**** 日立製作所 システム事業部

1 はじめに

平成4年度は景気のかげりから設備投資は減少したが、半導体と電子産業を中心として工業用クリーンルームの建設がこの数年増えている。特に半導体部門では64 Mビットメモリから256 Mビットメモリと開発が進んでおり、このニーズに対応したクリーンルームの開発が新しいテーマになっている。

クリーンルームを構成する要素技術を表1に示す。クリーンルームの設計・建設は経験工学的な要素が多いので、日立製作所でも経験によって要素技術を組み合わせることで、ニーズに合った機能的で経済的なクリーンルームを建設している。

ここでは、クリーンルームの基本的な要素技術であるフィルタとそれを用いた空調システム設計を中心に、高浄度とフレキシビリティを要求される半導体・電子産業向けのクリーンルームについて述べる。

2 半導体・電子産業向けクリーンルームの課題

この分野のクリーンルームでは、要求される浄度はますます厳しくなるとともに、微粒子以外にも室内汚染物質の除去、省エネルギー化および低コスト化が非常に重要な課題になっている。

2.1 浄度と気流分布

半導体の集積度と製造環境の浄度の関係を図1に示す¹⁾。64 Mビット以上では、浄度クラス1(1 m³中に0.1 μm以上の粒子が1個以下：JIS表示)以上が求められる。このニーズにこたえるためには高効率のフィルタとともにクリーンルーム内、特にウェーハ取扱領域の気流分布を制御することが不可欠となっている。

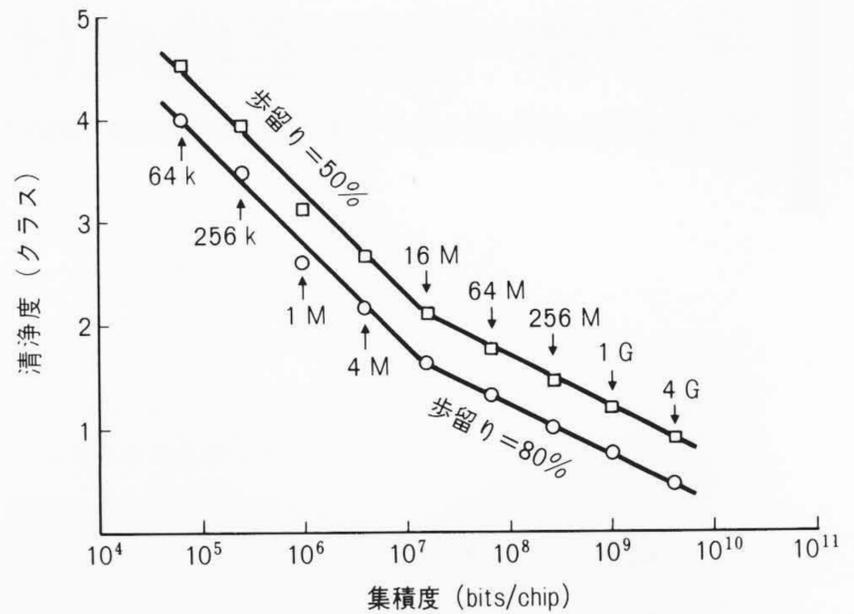


図1 メモリ集積度と製造環境浄度 各世代メモリLSIの歩留り50%および80%を得るのに必要な製造環境浄度を計算式で求めた。

日立グループでは気流分布や各種発塵源から放出される粒子の挙動解析をシミュレーションする手法を開発し、クリーンルームの設計に適用している(前ページの図参照)。

高い浄度が求められるほど、ウェーハなどの処理域で一様な空気の流れが確保され、作業員や生産装置から発生した粒子をウェーハに接触させることなく、速やかに除去することが必要となる。あらかじめシミュレーションによって気流分布と粒子分布状態を分析することにより、高品質のクリーンルームを建設することができる。

2.2 微粒子以外の汚染対策

多くの経験から半導体・電子産業向けのクリーンルームでは、表2に示すような微粒子以外の重金属、イオン状物質、有機物、水分などの汚染物質を除去する必要性が明らかになってきた。日立プラント建設株式会社ではこの中で特に、酸系ガスを効率よく除去するケミカルフィルタを開発した²⁾。

表1 クリーンルームを構成する要素技術 クリーンルームは多くの要素技術から成る高度の空調システムである。

項目	要素技術	項目	要素技術
除塵 (フィルタ)	浄度管理 気流制御	電気・計装	集中管理 電磁波対策 静電気対策
空調	湿度制御 省エネルギー	ユーティリティ	超純水供給・管理 プロセスガス供給・管理 排水処理
排気	圧力制御		自動薬液供給・管理 排ガス処理
建築	動線計画 振動対策	その他	安全防災対策 セキュリティ管理
内装	静電処理		

表2 半導体・電子デバイスに悪影響を及ぼす汚染物質の種類 デバイスに悪影響を及ぼすメカニズムや汚染物質の濃度など、微粒子以外はまだまだ十分には解明されていない。

汚染物質の種類	具体例
微粒子	生産装置内部などから発生する無機物
重金属	鉄, 銅, 亜鉛, 金
アルカリ金属	ナトリウム, カリウム, カルシウム
イオン状物質	SO ₂ ⁻ , Cl ⁻ , F ⁻
有機物	オペレータの皮ふ, だ液, 溶剤
水分	OH ⁻

2.3 省エネルギー対策

クリーンルームではフィルタで除塵する効果を上げるために、普通のビル空調に比べて数十倍もの空気循環を行っている。半導体工場などクラス1～4の高清浄クリーンルームでは全面垂直一方向流構造を採用し、クリーンルーム全体を高い清浄度にする方式が多く、空調負荷の30%程度を清浄度維持に使用している。

今後、半導体などをより安く生産するためには、レイアウト設計に基づく局所清浄化など、空調システムの最適化をはじめ、省エネルギー化に取り組まなければならない。

3 フレキシブルなレイアウトを提供するFFU

クリーンルームで使用されているフィルタ構造には、フィルタユニットとFFU(Fan Filter Unit：ファン付きのフィルタユニット)がある。フィルタユニットは空調システムによって空気が圧送されるので、汙過機能しか持たないのに対し、FFUでは自分の持つファンで、空気を圧送・汉過・循環している。

FFU方式は、空調システムとある程度の独立性をもってFFU台数の増減ができるので、生産装置レイアウトの変更にも容易に対処でき、フレキシビリティのあるクリーンルームを構成することができる。FFUの設置方法としてシステム天井方式と固定つり下げ方式がある。日立製作所ではクリーンルームの規模や天井高さなどによって使い分けをしている。

3.1 システム天井方式FFU

システム天井方式は、あらかじめアルミ枠(フレーム)によって井げた状に形成したシステム天井の上にFFUを設置する(図2)。日立製作所は次のような特徴のあるFFUを多数納入している。

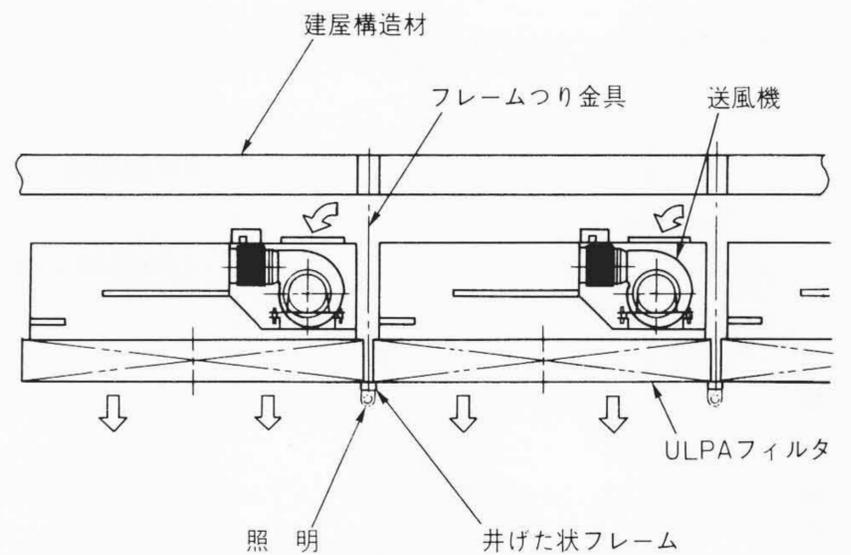
- (1) クリーンルーム内の生産装置レイアウトに応じて、天井に取り付けるFFUの増減が簡単にできる。
- (2) フィルタを含むユニットの高さが500 mmと薄形構造のため、クリーンルーム天井高さを低くできる。また既設クリーンルームの改造にも適用しやすい。
- (3) 単体の騒音(FFU下1.5 m)を48 dBとし、クリーンルームの静音化を図ることができる。

3.2 固定つり下げ方式FFU

固定つり下げ方式は、建物の構造体から直接つりボルトを下ろしてFFUを固定する(図3)。

この方式には以下に述べる特徴がある。

- (1) 生産装置レイアウトに合わせて設計、取り付けるこ



注：略語説明 ULPA (Ultra Low Penetration Air)

図2 システム天井方式FFU 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FFUの増減ができる。

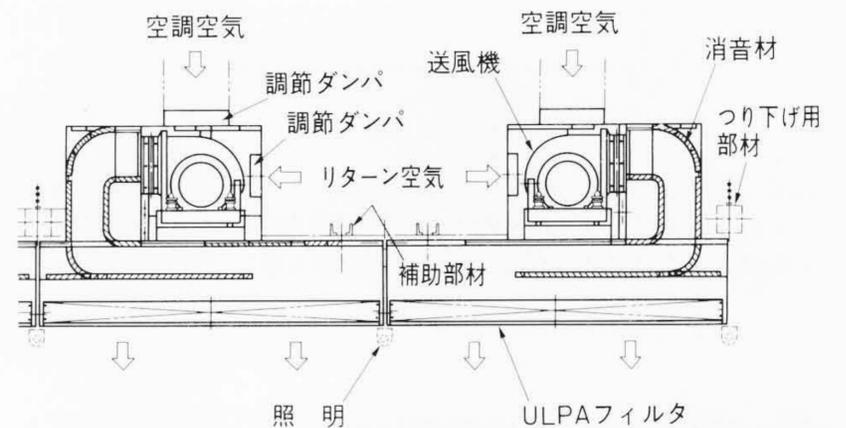


図3 固定つり下げ方式FFU 気流シミュレーションによる最適流路設計と消音構造により、風量60 m³/minで46 dBの低騒音を達成する。

とが可能なので、そのプロセスに合った気流分布を形成できる。

- (2) クリーンルーム側からのリターン空気と空調空気の混合比率をユニットごとにダンパ調整できるので、ユニット単位で温度設定ができる。
- (3) ユニット内送風路の最適設計を気流シミュレーションによって行い、静音化(FFU下1.5 mで46 dB)を実現した。

これらFFUに採用しているフィルタは従来のHEPA (High Efficiency Particulate Air)から新開発のULPA (Ultra Low Penetration Air)まで、清浄度クラス1～5の清浄度によって使い分けしている。各種フィルタの集塵効率の粒子径依存性を図4に示す。

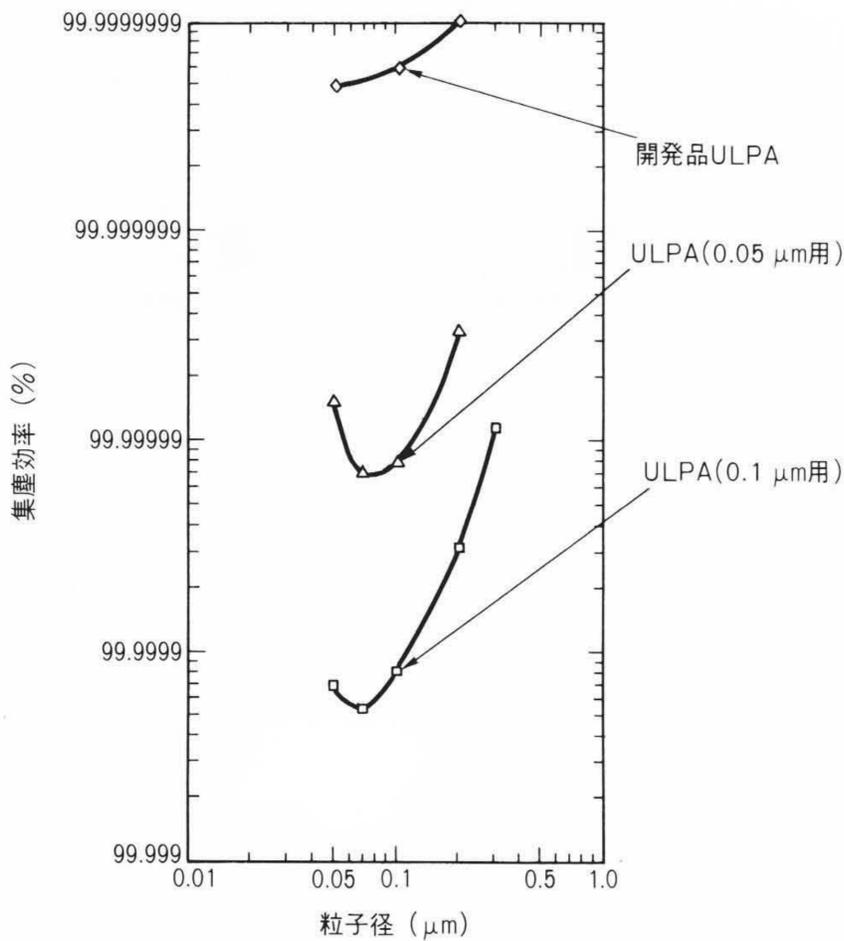


図4 各種ULPAフィルタの集塵性能 開発品は従来のULPAフィルタに対応して、同一圧力損失で集塵効率の向上を図った。フィルタの集塵効率は0.05 μm粒径付近で最も悪いことがわかる。

4 空調システムの事例紹介

4.1 一方向流形成方式

高潔浄度を必要とするクリーンルームは図5(a)に示すような全面垂直一方向流構造が主流であるものの、大面積を必要とする半導体製造用クリーンルームでは、生産装置のレイアウトに応じて一方向流を必要とする領域を限定する構造が増えている。

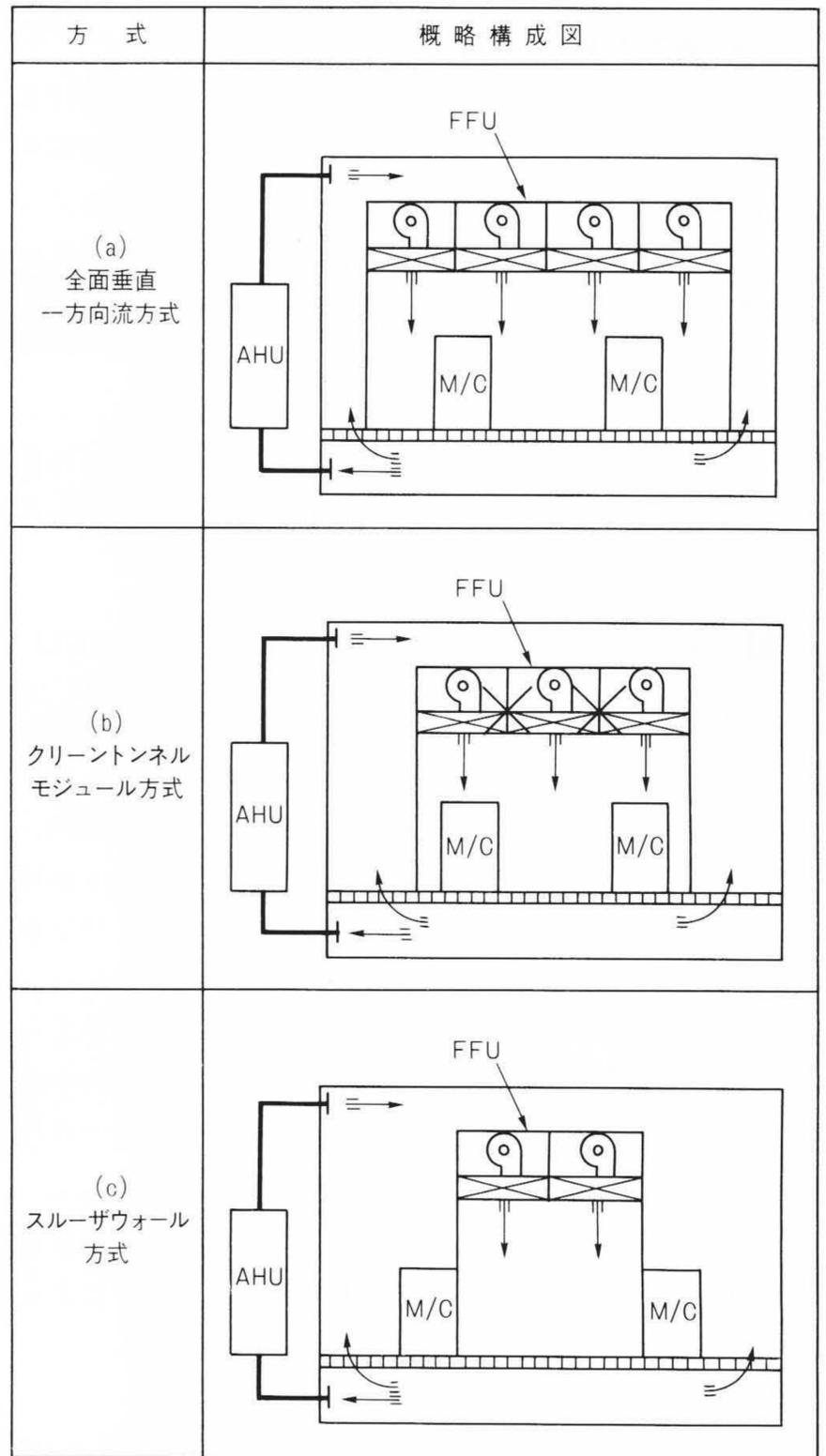
クリーンルームのトンネルモジュール構造を図5(b)に示す。作業域とともに生産装置上部にもFFUを設けて装置域の清浄度確保を行う。

最近、生産装置の多くは自動化対応になり、装置前面に試料出入口があるほかは、反応部なども外気から遮断された状態となっている。このような場合、装置全体を高潔浄域に設置する必要がなくなり、装置前面に間仕切りを設けて作業域だけを高潔浄化すればよい。このような構造をスルーザウォール方式[図5(c)]と呼び、高潔浄域を限定した経済的な方式と言える。

4.2 空調空気供給方式

クリーンルームでは、室内で発生する大量の内部発熱を除去するために空調空気を送風する必要がある。

クリーンルーム内全域に空調空気を送風する方式を天

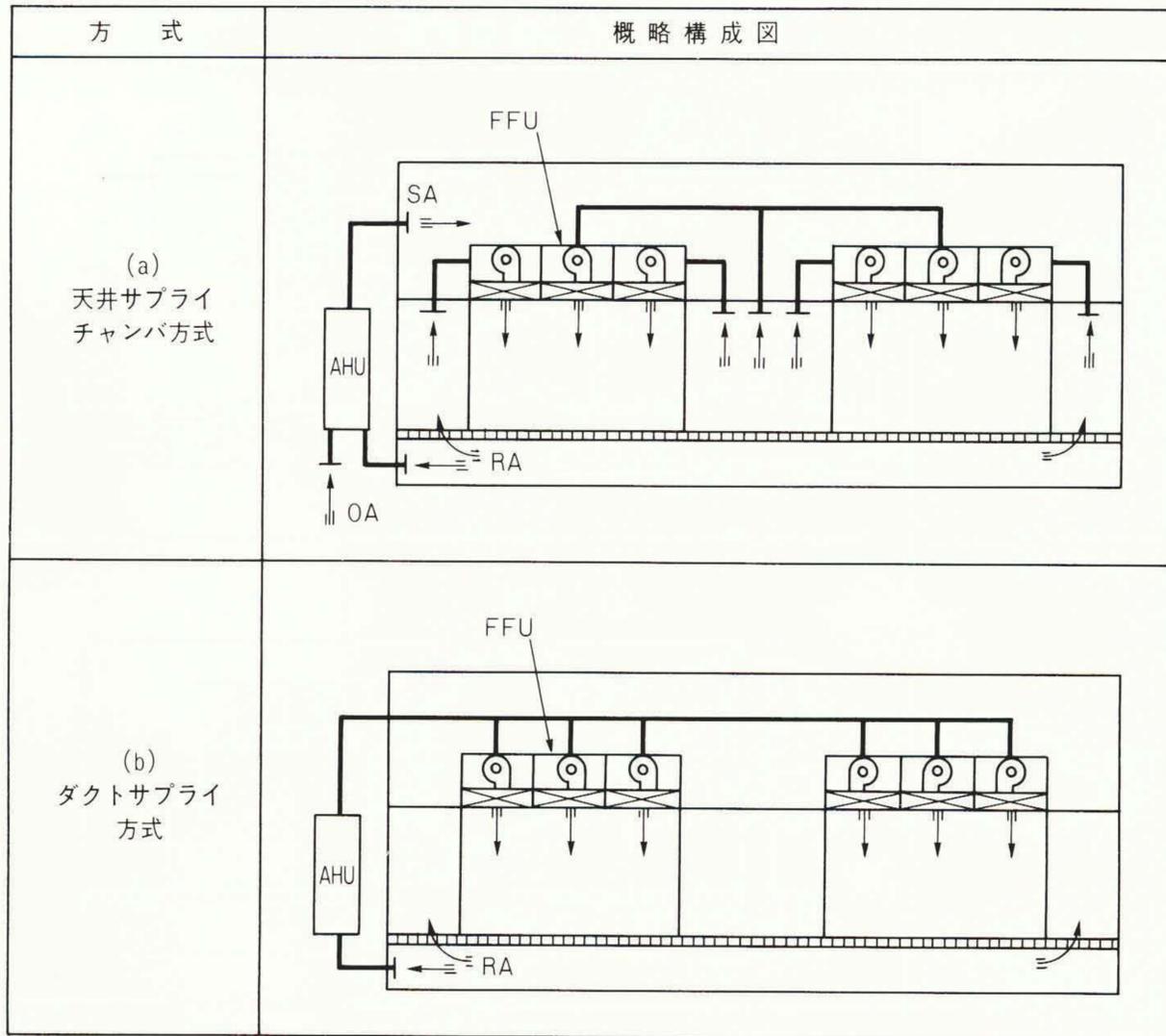


注：略語説明 M/C(生産装置), FFU(Fan Filter Unit), AHU(空調機)

図5 FFUを用いた各種一方向流形成方式 全面垂直一方向流方式が減少し、スルーザウォール方式が増加する傾向にある。

井サプライチャンバ方式と言う[図6(a)]。FFUを用いないサプライチャンバ方式に比べて、チャンバ内圧力を半減させ、空調機動力の低減とチャンバからのリーク量の低減を図っているが、室内発熱負荷に応じた空調空気量の調整に制約がある。

一般にクリーンルーム内の内部発熱は、同一室内でも領域ごとに設置される装置が異なるため、発熱量も様でない。ダクトサプライ方式[図6(b)]は、同図(a)の改良方式であり、ダクトの布設によって室内発熱分布に対応した空調風量の可変制御ができる。



注：略語説明 SA (空調空気), RA (空調還気), OA (外気)

図6 FFUを用いた空調空気供給方式 室内の発熱を除去するために、空調空気を供給する方法は二とおりある。

この方式はリターンエアチャンバ化により、リーク量の低減と送風量の調整作業を容易化するなど、よりいっそうの省エネルギー化、清浄度維持と保守管理の容易化、および送風温度制御精度の向上を追求した方式と言え



図7 天井に設置されたFFU群 クリーンルームの天井内に設置したFFUの例を示す。各ユニットに空調空気のダクトが接続されている。

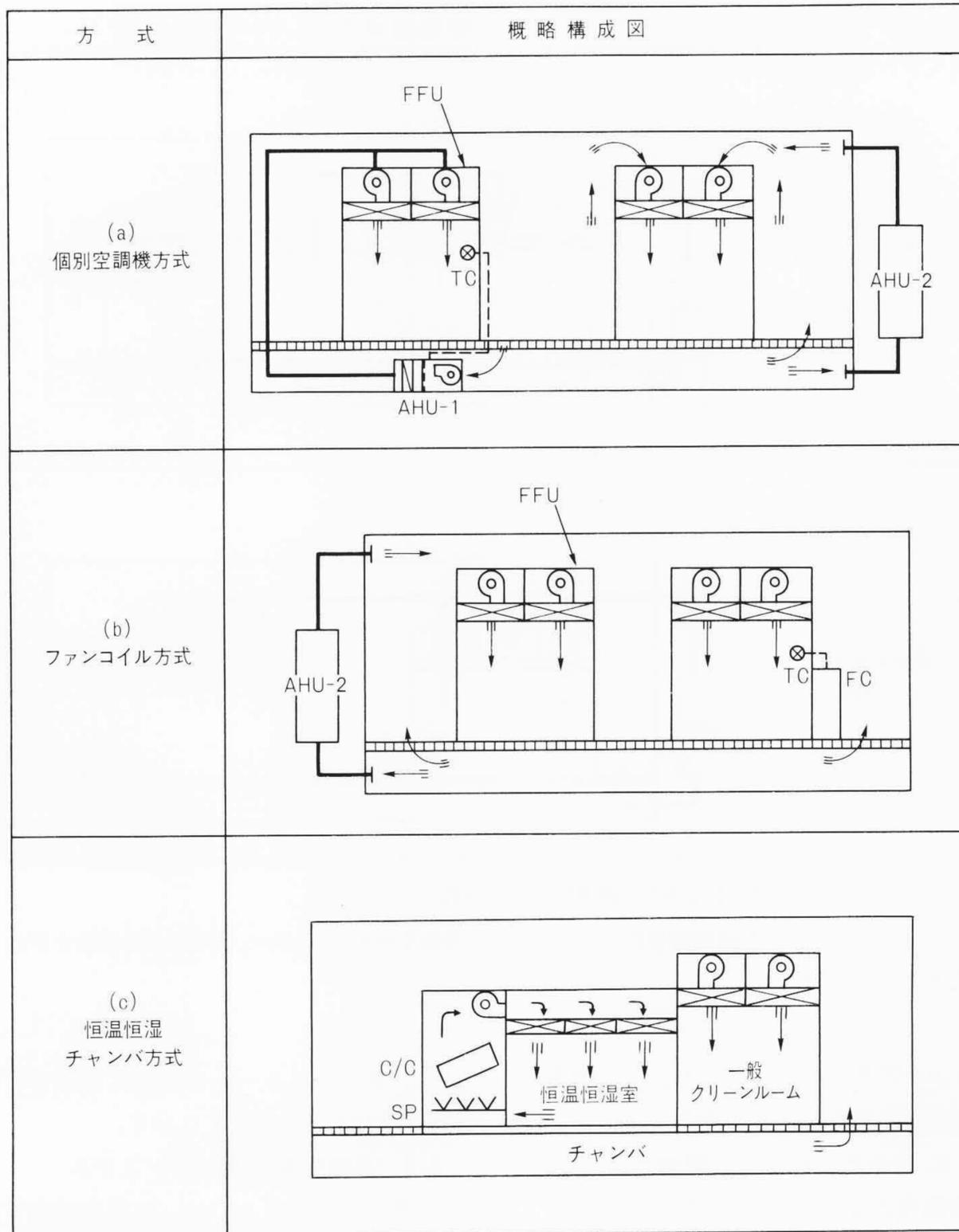
る。クリーンルームの天井に設置されたダクトサプライ方式のFFU群を図7に示す。

4.3 高精度温湿度制御システム

クリーンルームでは、室内に設置する生産装置の加工精度や材料の特性維持のために、 $\pm 0.05 \sim 0.5^\circ\text{C}$ 程度の精密温度制御を必要とする場合がある。この場合には高精度温湿度制御を必要とする領域専用の送風ダクト接続形空調機を床下に設置し、温湿度を $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 、 $\pm 3\%$ まで精度よく制御できる方式が適している〔図8(a)〕。

除塵空気循環エリアにファンコイルユニットを設け、 $\pm 1.0^\circ\text{C}$ 程度の温度制御だけを行う方式もある〔図8(b)〕。クリーンルーム内での水分発生量は少なく、発熱だけ大きい場合が多く、ファンコイル方式の併用で温湿度が確保されている例もよく見かける。

縮小投影露光装置などで、 $\pm 0.05 \sim 0.2^\circ\text{C}$ 、 $\pm 2\%$ 以下の精密温湿度制御を必要とする場合、図8(c)に示すような恒温恒湿チャンバを用意し、単独に空調を行うこともある。



注：略語説明 AHU-1(空調機), AHU-2(全体空調機), TC(温度検出器), FC(ファンコイルユニット)
C/C(冷却コイル), SP(加湿スプレー)

図8 各種精密温湿度制御方式 温湿度の制御は精度に応じていろいろな方法がある。

5 おわりに

半導体・電子産業向けクリーンルームでのフィルタユニットと空調システムの傾向について述べた。良いクリーンルームに求められることは、機能を満足することと同時に経済性についても十分に配慮されたシステムとな

っていることである。日立製作所と日立プラント建設株式会社は、多くのクリーンルームを建設、運転してきた経験を生かして、顧客のニーズに合ったクリーンルームを設計、建設することができる。今後ともより高度な、経済性に優れたクリーンルームの建設を行っていく考えである。

参考文献

- 1) 齊木：ギガビットLSIプロセス環境における必要清浄度
の予測，電子情報通信学会論文誌，J73-C-II，5，
343～347(1990-5)
- 2) 超清浄のクリーンルーム：日立評論，74，1，63(平4-1)