

# 高清淨度クリーンルームシステム

数見 英樹(かずみ ひでき)

藤瀬 成己(ふじせ なるみ)

高橋 富行(たかはし とみゆき)

## 1 まえがき

飛躍的な技術革新が続き、多方面で高精密度が問われる今日、クリーンルームは、半導体・電子部品、精密機器などの産業分野および医薬品・食品分野の製造プロセスなどに幅広く利用されており、これらの産業分野にとってますます必要不可欠のものとなっている。また、求められる清浄度も年々高度化してきている。

半導体製造分野では、LSI (Large Scale Integrated circuit) の微細化・集積化が高まるに従い、従来のじんあいに加え化学汚染も製造歩留りに影響を与える主要な要因となってきた。また、液晶パネル・磁気媒体の製造過程においても、超微量の化学成分がワークに付着することにより製造上の各種問題を引き起こすことが判明してきている。

富士電機は、これらの分野に数多くのクリーンルームの納入実績をもっており、これまでの蓄積技術に化学汚染対応技術を加味し、高清淨度クリーンルームシステムを構築している。

本稿では、従来からのじんあい除去および近年になって重要性がクローズアップしてきた化学汚染物質除去に対応した、高清淨度クリーンルームシステムを構築するうえで現在実用化されている技術・製品について述べる。

## 2 高清淨度クリーンルームの課題

従来のクリーンルームは、外気から流入するじんあいの除去と製造装置や人体から発生するじんあいを除去することで高清淨度の実現を図ってきた。これらは、気密性の確保、気流制御、高除去率フィルタの採用により実現してきた。現在、64 MDRAM相当の超LSIの最小パターン寸法は $0.2\sim0.25\mu\text{m}$ であり、対象となるじんあいはパターン寸法の $1/5\sim1/10$ といわれている。このことから半導体クリーンルームでは、 $0.02\mu\text{m}$ 、1個/ $\text{ft}^3$ 以下のじんあい精度が要求されている。

また、化学汚染については、各製造工程により対象となる汚染物質および問題となる濃度が異なっている。化学汚

表1 化学汚染物質の発生源と発生物質

	発生源	化学汚染物質
外部取入れ空気		酸、有機ガス
クリーンルーム内	建材(内装材)	ボロン(B)、リン(P)、有機ガス
	作業者	アンモニア(NH <sub>3</sub> )
	生産装置からの漏れ	フッ化水素(HF)、アンモニア(NH <sub>3</sub> )
	ULPAフィルタ	ボロン(B)

染物質の発生源と発生物質を表1に示す。

化学汚染物質は、表1に示すように酸性ガス、アルカリ性ガス、揮発性ボロン(B)、リン(P)、有機ガスなどに分類される。また、その発生源も外気、内装材、作業者などさまざまである。これら化学汚染物質の製品・製造装置への影響は概略以下のとおりである。

- (1) 酸性ガス(特にHF)：ULPA(Ultra Low Particulate Air) フィルタ(ガラス纖維)からのボロンの揮発を促進する。
- (2) アルカリ性ガス：次世代のレジストの解像への障害。
- (3) ボロン、リン：LSI製品の動作不良原因。
- (4) 有機ガス：絶縁膜の耐圧低下、ステップなどのレンズの曇りを発生。

このように製造ラインにさまざまな影響を及ぼす化学汚染物質発生の抑制技術および除去技術が、高清淨度クリーンルームの実現にきわめて重要な要素となってきている。

## 3 クリーンルームの方式

クリーンルームの代表的な方式としては、ファンフィルタユニット(FFU)をアルミニウム枠上に敷き詰めるFFUシステム天井方式と、クリーンブースを製造ライン上に配置するクリーンブース方式があるが、それぞれにメリット・デメリットがあり、要求精度・工期・コスト・将来の変更などを考えて、個々に最適な方式を選択する必要がある。



数見 英樹

クリーンルームおよびクリーンルーム機器の企画設計に従事。現在、システム事業本部社会システム事業部企画設計部課長補佐。



藤瀬 成己

クリーンルーム用機器およびクリーンルー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。



高橋 富行

クリーンルーム機器のエンジニアリング業務に従事。現在、鳥取電機製造(株)機器工場課長。

### 3.1 FFU システム天井方式

FFU システム天井方式は、システム天井とフリーアクセス床で構成され、生産装置部、通路部、メンテナンス部

を間仕切りなどで区分けし、それぞれの必要清浄度に応じ FFU を敷き詰めたクリーンルームである。半導体・液晶・磁気媒体製造用クリーンルーム向けに、すでに多くの納入実績があり、以下の特徴を持つ。

図 1 クリーンルームのイメージ図

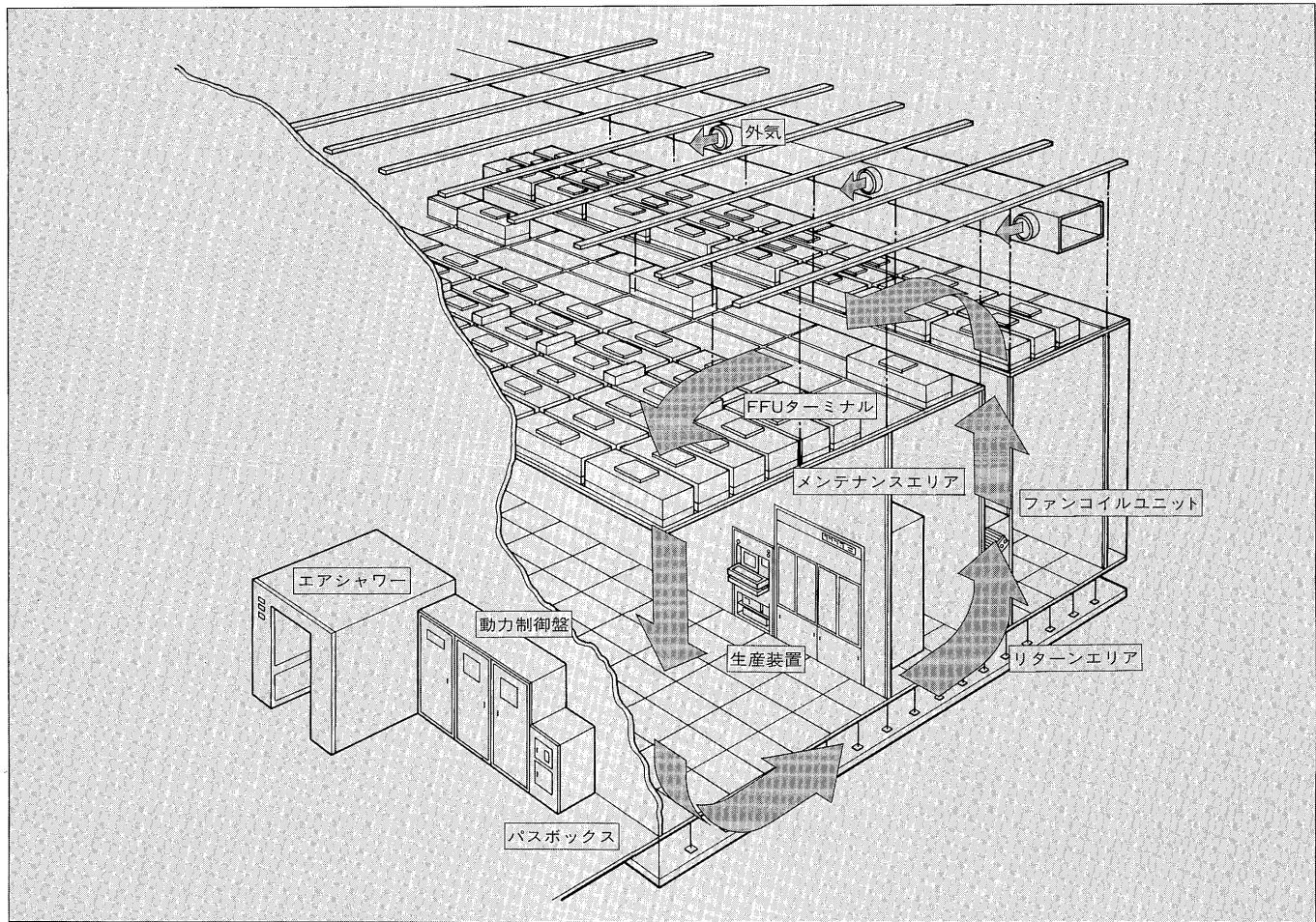
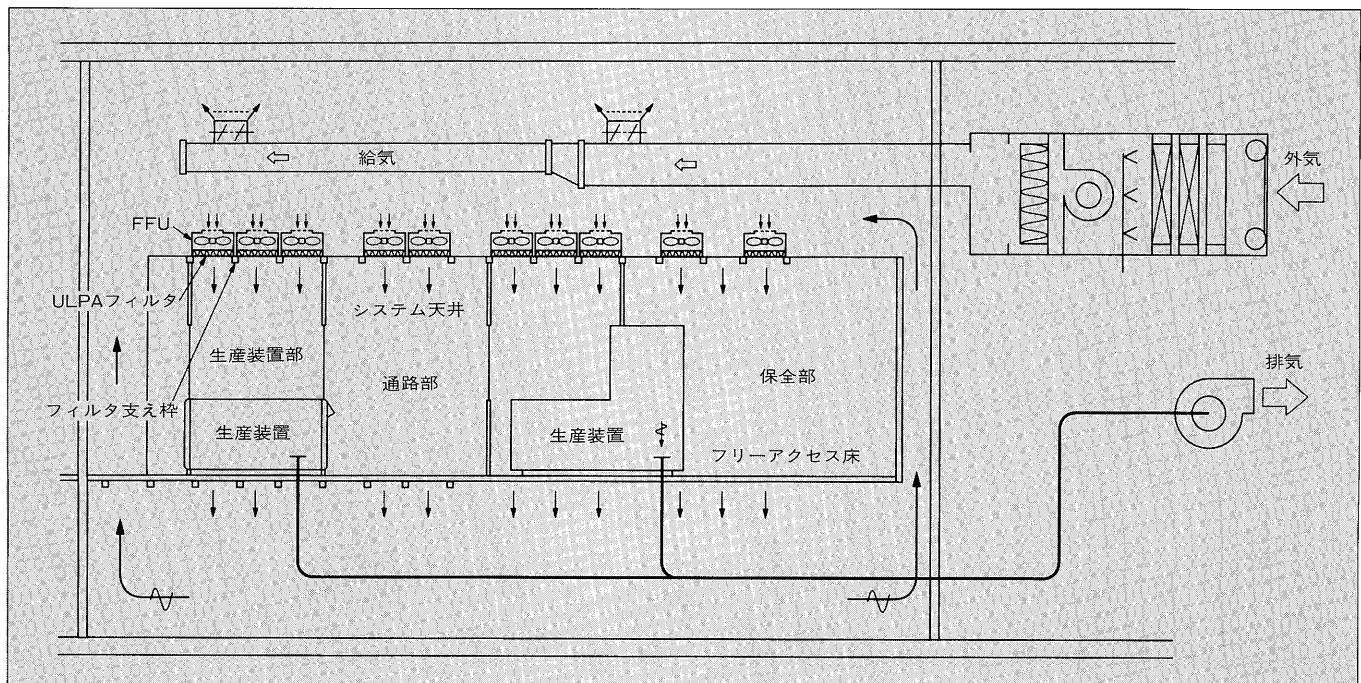


図 2 FFU システム天井方式



- (1) 将来の生産装置の入替えやレイアウト変更に容易に対応でき、フレキシビリティが高い。
- (2) FFU を全面に敷き詰めることができるため、高清淨度化への対応が可能である。
- (3) 施工性が良く工期が短いなどのメリットがある。

FFU システム天井方式では、FFU の採用によりフィルタとフィルタ支え枠部（アルミニウムフレーム）のコーニングが不要であり、シールレス工法で構築できる。また、フィルタ支え枠部のリークテストが不要となる。

これは、ファンとフィルタが一体となっているため、クリーンルーム内（フィルタ吹出し側）に対し天井内（ファン吸込側）がマイナス圧であり、フィルタ支え枠部からの汚染空気がクリーンルームに漏れることがないためである。

FFU システム天井方式による、クリーンルームのイメージ図を図 1、システム例を図 2 に示す。

### 3.2 クリーンブース方式

この方式は、装置レイアウト・装置寸法に合わせてク

図 3 クリーンブース方式

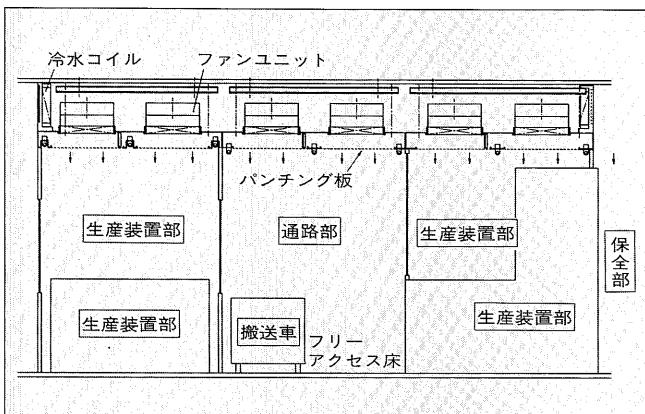
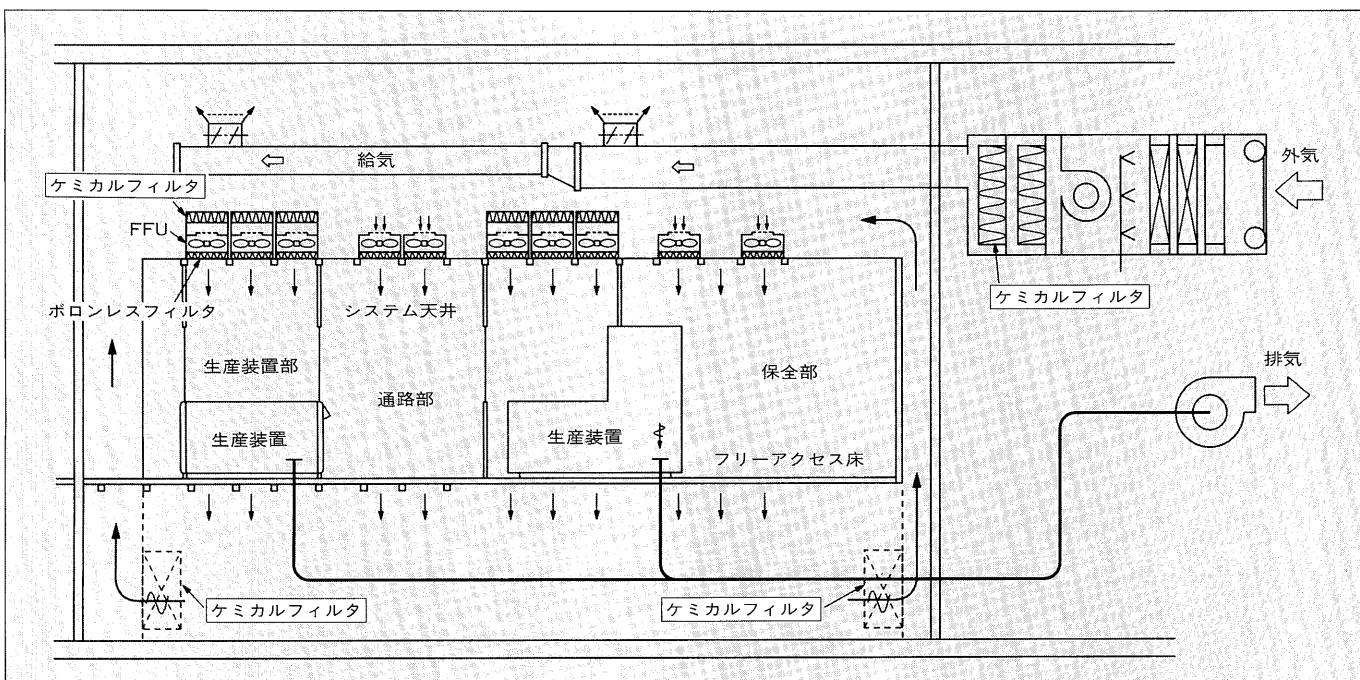


図 4 化学汚染対応クリーンルームシステム



リーンブースを配置できるため、低コスト化・省エネルギー化が図れる。ただし、生産装置の入替えやレイアウト変更への対応が難しいことや、装置レイアウト・寸法が決まらないと製造着手できないなどのデメリットがある。クリーンブース方式による、クリーンルームのシステム例を図 3 に示す。

## 4 化学汚染対応

クリーンルームの化学汚染対応には、汚染物質の抑制と除去があり、以下に概略を述べる。

### 4.1 クリーンルーム内で発生する汚染物質の抑制

クリーンルーム内で発生する汚染物質としては、クリーンルームを構成する内装材、塗料、ULPA フィルタ、また、付帯設備の配管材、保温材、電線などがある。これらの構成材から発生する成分については、内装材上材料の選定や施工方法の改良により低減することが可能である。一例として、内装の表面材のなかでは焼付塗装仕上処理を施したもののがよい（発生ガス量が少ない）。さらには、ステンレス鋼の鏡面仕上材が使用される例もある。また、クリーンルームの気密性を図るためにシール工法が一般的に行われているが、このシール材からの発生ガス量が多いため、低シロキサン型シール材の採用、さらにはノンシール工法による施工が必要である。

### 4.2 化学汚染除去システム

#### (1) 外気導入系の処理

クリーンルームが設置される外気環境には、HCl、HF、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>などの化合物があり、これらの物質はクリーンルームへの外気導入とともに侵入し、汚染物質となる。こ

表2 ケミカルフィルタの種類と特徴

種類	化学添着付特殊活性炭フィルタ	活性炭フィルタ	活性炭繊維フィルタ	イオン交換不織布ケミカルフィルタ
吸着方法	物理吸着+化学吸着同時に利用し微量ガスを除去。	不均一の網目状に、球状の活性炭を担持させ微量ガスを除去。	沪材に活性炭繊維を使用して微量ガスを除去。	イオン交換により、化学的に微量ガスを除去。
特徴	①対象ガスを定めて、化学物質を添着する。 化学物質 添着材 アルカリ系——リン酸 酸系——炭酸カリウム 有機系——活性炭 ②除去効率が高い。 ③圧力損失が低い。	①除去効率が高い。 ②圧力損失が低い。 ③軽量である。	①吸着速度が速い。 ②吸着能力が高い。	①不織布にイオン交換性能を持たせる製造方法と乾式紡糸に持たせる方法の2種類がある。 ②化学吸着により、有害成分を別の化学構造に変化させるため、再放出現象がまったくなく有害ガスをpptレベルまでクリーン化が可能。
問題点	①添着剤にリン酸を使用しているので、二次飛散の不安が残る製品。	①フィルタの通過風速は0.5m/s以下にしないと効率、寿命が極端に低下。 ②発じん量が多い(0.3μm:300個)	①アンモニアは、吸着できない。	①イオン交換なので性能が保持されなくなったときは、急激に性能が低下するのでフィルタの管理と状態変化に絶えず注意をする。 ②圧力損失が大きい。 ③混合比が自由に変えられない。
除去効率	99% (アンモニア)	99% (アンモニア)	約85% (ボロン)	95% (アンモニア)
性能 対象ガス	①アルカリ性ガス (アンモニア) ②酸性ガス (HFなど) ③有機系ガス (シロキサン)	①アルカリ性ガス (アンモニア) ②酸性ガス (HFなど) ③有機系ガス (シロキサン) ④ホルムアルデヒド (ホルマリン)	①ボロン ②リン ③NO <sub>x</sub> ④SO <sub>x</sub>	イオン交換基の組合せでいろいろなガスが除去可能。 ①アルカリ性ガス (アンモニア) ②酸性ガス (HFなど)

の対応としては、外気取り入れ口（外気処理空調機）に中性能フィルタ（じんあい除去）に加え除去対象ガスに応じたケミカルフィルタを設置し、汚染物質濃度の低減を図る。

#### (2) クリーンルーム内の処理

クリーンルーム内の化学汚染物質は、空気循環系に取り付けたケミカルフィルタにより除去する。図4に設置方法を示す。

空気循環系のリターン側に設置する方法とFFUの吸込口に搭載する方法がある。前者は室内全体の汚染濃度を低減することができるが、特定されたエリアの低濃度化には対応できない。後者は室内全体または特定されたエリアの汚染濃度の低減が可能であり、フレキシビリティがある。

#### 4.3 ケミカルフィルタ

粒状活性炭、活性炭繊維、イオン交換不織布などの素材を使ったケミカルフィルタが各メーカーから出されている。

ケミカルフィルタの選定においては、外気環境のガス分析、クリーンルーム内のガス分析、発生量などの環境評価が重要である。これらの分析と各成分における要求室内平衡濃度から、除去目的ガスの吸着に優れたケミカルフィルタ、また吸着寿命について検討を加え選定を行う。一般的には、ケミカルフィルタの寿命は1~2年程度といわれており、長寿命化が課題である。

表2に、ケミカルフィルタの種類と特徴を示す。

#### 4.4 ボロンフリー

クリーンルームの雰囲気において、高性能フィルタ[HEPA (High Efficiency Particulate Air) フィルタ、ULPA フィルタ]から発生する不純物ガスが問題となっている。これらの不純物ガスの代表的なものとして、ガラス繊維沪材に含まれるボロンがある。0.3m/s程度の風速

でエアを通過させた場合、ボロンの発生濃度は約30ng/m<sup>3</sup>程度と推定される（ボロン発生濃度は、通過風量、フィルタの沪材面積、周囲湿度などにより変わる）。さらに、フッ化水素濃度の高い雰囲気ではボロンの発生濃度は顕著に高くなる。これは、フッ化水素とガラス繊維フィルタに含有されるホウ素との反応により、BF<sub>3</sub> (三フッ化ボロン) として発生するといわれている。

ボロンフリーに対応するフィルタとして、沪材にPTFE (Poly Tetra Fluoro Ethylene: 四フッ化エチレン) 膜を採用したボロンレスフィルタがある。このフィルタは、不純物が非常に少なくボロンなどの不純物ガスの発生がない。また、耐薬品性に優れ、フッ化水素などの酸による腐食がない。じんあいの捕集効率、圧力損失についても、ULPA フィルタと同等の性能があり、ボロンが影響する工程の高性能フィルタとして採用している。

#### 5 超高性能フィルタの性能評価

最近のクリーンルームに要求される清浄度は、前述のように0.02μm、1個/ft<sup>3</sup>以下の厳しい値となっている。

大気中の浮遊粒子の粒径分布は粒径が小さくなるほど粒子が多いわけではなく、ピークは0.07μm付近にある。ULPA フィルタの特性上、最も通過しやすい粒子径は0.1~0.17μm付近であり、粒子径が0.05μmになると透過率は約1けた低下するといわれている。

しかし、0.05μm以下の粒子径に対する高性能フィルタの捕集効率データはなく、推測値が提示されているだけであったため、メーカーと共同で高性能フィルタ沪材の捕集効率試験を実施した。

表3に超高性能フィルタ沪材の捕集効率測定結果を示す。この測定結果から0.05μm以下の捕集効率は7N (Nine)

表3 ULPA フィルタ沪材の捕集効率測定結果

粒子径 (μm)	超高性能フィルタ (0.05 μm)		
	上流側粒子数 (個/0.1 ft <sup>3</sup> )	下流側粒子数 (個/0.1 ft <sup>3</sup> )	捕集効率 (%)
0.01	1.86 × 10 <sup>7</sup>	0	7N 以上
0.018	9.82 × 10 <sup>7</sup>	0	7N 以上
0.024	1.21 × 10 <sup>8</sup>	0	7N 以上
0.032	8.50 × 10 <sup>7</sup>	0	7N 以上
0.042	2.82 × 10 <sup>7</sup>	0	7N 以上
0.056	7.54 × 10 <sup>6</sup>	1.0	99.999986 (6N)
0.075	6.31 × 10 <sup>6</sup>	4.4	99.999930 (6N)
0.100	2.25 × 10 <sup>6</sup>	5.8	99.99974 (5N)
0.120	1.89 × 10 <sup>6</sup>	6.0	99.99968 (5N)

○沪材通過風速: 5.3 cm/s  
○試験粒子: NaCl (熱凝縮)  
○試験方法: DMA + CNC

以上の性能を有することが確認できた。

また、ボロンレスフィルタにおいても同様の捕集効率試験を行い、7N以上の性能を有することを確認した。

図5に、ULPA フィルタ、PTFE 膜フィルタ沪材の粒径別捕集効率図を示す。

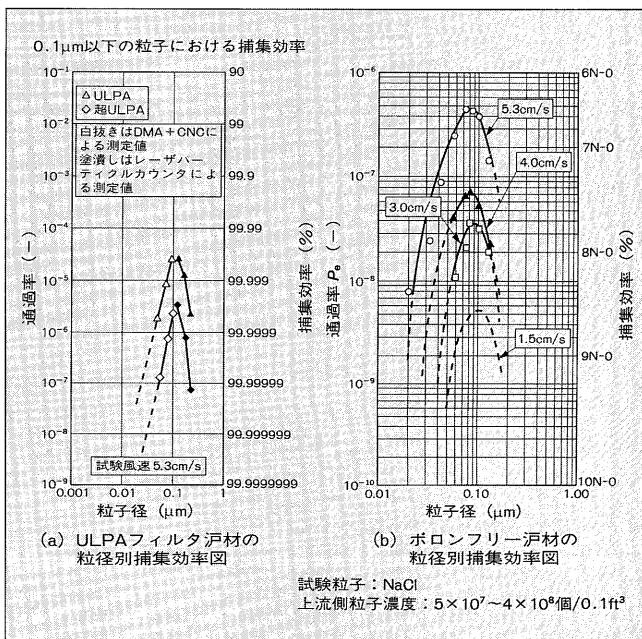
## 6 あとがき

クリーンルーム方式、クリーンルームの高精度化における課題の一つである化学汚染対策および微粒子評価について述べた。

今後さらに、半導体は高集積化、液晶は大形基板および高精度化し、クリーンルームに対する要求精度も微粒子対策とともに化学汚染対策が不可欠となってきた。

一方では、クリーンルームの建設コストの低減、省エネルギー化がクローズアップされており、将来的に生産コス

図5 フィルタ沪材の粒径別捕集効率図



トを削減しなければ半導体の量産は成り立たないといわれている。今後の製造プロセスでは、局所クリーン化の方向に向かうとの推測もあり、欧米ではミニエンバイロメントと称されるSMIF方式のシステムが実用化されている。

富士電機では、これらの課題を従来に引き続き積極的に研究開発テーマとして取り上げ、ノウハウの蓄積を図る所存である。また、ユーザーおよび関連各メーカーとのより密着した共同研究を実施し、次世代クリーンルームの構築に努める所存である。

## 参考文献

- (1) 斎木篤ほか: クリーンルーム内の化学汚染とケミカルフィルターによるその対策、リアライズ社最新技術講座 (1997)

## 技術論文社外公表一覧

標題	所属	氏名	発表機関
ドライバ IC	松本工場	重田 善弘	OPTRONICS, No.6 (1997)
シンポジウム「半導体ハードエレクトロニクスの課題—SiC 半導体の可能性—」報告	富士電機総合研究所	上野 勝典	応用物理, 66, 6 (1997)
知識獲得方式の回転機絶縁劣化診断への応用	富士ファコム制御 富士テクノエンジニアリング 技術企画統括室	松井 照明 伊藤欣二郎 萩原 賢一	日本設備管理学会誌, 9, 1 (1997)
Characteristics of Silicon-Field Emitter Arrays Fabricated by using SIMOX Wafers	富士電機総合研究所 松本工場 富士電機総合研究所	松崎 一夫 植松 隆彦 了戒 洋一 天野 彰	Journal of the Electro Chemical Society, 144, 7 (1997)
			Electro Chemical Society



\*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。