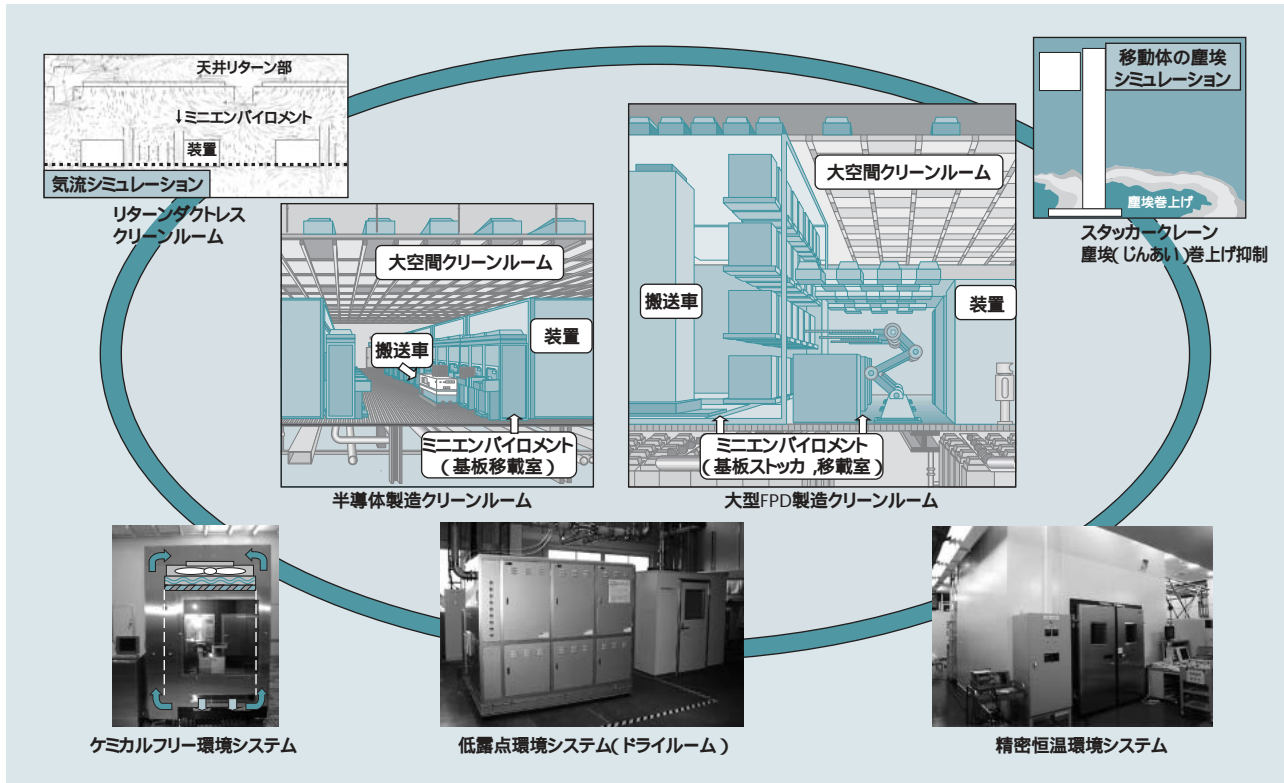


# ミニエンパイロメントシステム時代のクリーンルーム技術

Clean Room Technologies for Mini-environment Age

久禮 得男 Tokuo Kure  
花岡 秀夫 Hideo Hanaoka

杉浦 匠 Takumi Sugiura  
中川 慎也 Shinya Nakagawa



注:略語説明 FPD( Flat Panel Display )

図1 大空間クリーンルームと局所精密環境システム技術

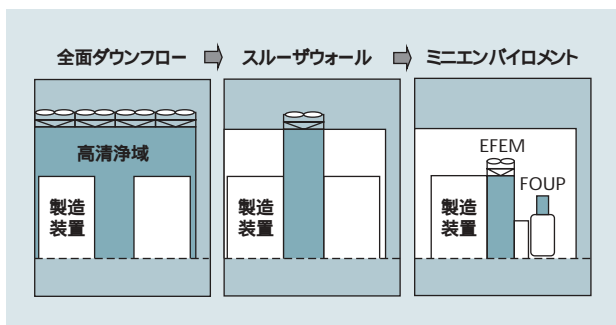
ミニエンパイロメントシステム時代のクリーンルーム技術として、低コスト、省エネルギーに優れた大空間クリーンルームと、製造工程の局所精密環境制御を可能にする各種システムを提供する。

半導体、ディスプレイ、ストレージなどの各種電子デバイスの品質、製品歩留り向上には、製造工程に応じて清浄度や温湿度などを精密に制御した環境が必要である。近年、必要最小限のクリーンルーム空間のみを高度に環境制御する傾向が強まり、日立グループは、これに対応した大空間と局所の両面からのクリーンルーム技術開発を行ってきた。大空間対応では面積効率のよい清浄度緩和型のリターンダクトレスクリーンルームを、また、局所精密環境対応では微粒子汚染はもとより、各種ケミカルや水分といった分子汚染を効率よく除去するシステム(ケミカルフリー環境システム、低露点環境システム)、精密に温度制御する精密恒温環境システムなどの技術をそろえて、トータルクリーンテクノロジーとしてさまざまな要望に応えている。

## 1.はじめに

クリーンルームの方式は、全域を高潔浄域にする全面ダウンフロー方式から、ミニエンパイロメント( Mini-environment: 囲われた局所清浄環境 )による局所清浄化方式へと変わってきた<sup>1)2)</sup>( 図1参照 )。300 mmウェーハの半導体工場がその典型例であり、ウェーハはFOUP( Front Opening Unified Pod )に収納して搬送される。そして、FOUPから装置に移載する空間をEFEM( Equipment Front End Module )と呼ばれるミニエンパイロメントで環境制御することにより、ウェーハを直接クリーンルーム環境にさらすことなく処理している( 図2参照 )。

このため、ミニエンパイロメント内を中心に高潔浄化を推進し、クリーンルーム全体の環境は装置メンテナンスに必要な環境レベルに緩和して低コスト・省エネルギー化を図ることが重要である。



注:略語説明 FOUF( Front Opening Unified Pod:正面開口式カセット一体型搬送・保管箱)  
EFEM( Equipment Front End Module:プロセス装置前面モジュール)

図2 クリーンルーム方式の推移

ミニエンパイロメントによる局所清浄化が主流になってきた。

ここでは、このようなミニエンパイロメントによる局所清浄化の時代に対応したクリーンルーム技術に向けて開発した技術について述べる。

## 2. 局所清浄化クリーンルームのニーズ

クリーン環境を必要とする産業分野は、半導体をはじめとして、FPD( Flat Panel Display )、HDD( Hard Disk Drive )、およびそれらの素材にますます広がりを見せており、デバイスの微細化・高性能化に伴ってクリーンな製造環境への要求がますます高まっている。

半導体における製造環境への要求の詳細はITRS( International Technology Roadmap for Semiconductors:国際半導体技術ロードマップ)に示されている<sup>3)</sup>。そこから抜粋した数値を表1に示す。加工寸法の微細化に伴って、管理すべき汚染粒子のサイズが微小になることや、分子レベルのケミカル汚染の対策が重要になることがわかる。このほかにモリングラフイーなどの特定プロセスの環境に対して、より厳しい要求値などが詳細に示されている。クリーンルームの清浄度については、ウェーハが直接さらされるミニエンパイロメントはISO( International Organization for Standardization:国際標準化機構)で規定されたクラス2からクラス1へと高浄化していくことが要求される一方、クリーンルーム全体の清浄度は現在のクラス6から将来はクラス7( 2012年以降)、さらにクラス8( 2019年以降)へと緩和し、一般室に近い環境にしていくことが要求されている。したがって、クリーンルームの構築にあたっては、低清浄な大空間クリーンルーム環境の中で、より高度なミニエンパイロメント環境を実現するという命題が課されることになる。

このようなニーズに対応したクリーンルーム技術として、大部屋( ボールルーム)については面積効率のよいリターンダクトレスクリーンルームを、局所精密環境についてはケミカル汚染を従来より1けた低減できるケミカルフリー環境システム、水分による成膜への悪影響などを防止する低露点環境システム、精密加工・計測用の精密恒温環境システムなどを開発した。

表1 半導体における製造環境への要求( ITRS2005からの抜粋)

クリーンルーム全体の清浄度は緩和しつつ、ミニエンパイロメント内部( ウェーハが直接さらされる環境)ではデバイス微細化に対応した、いっそう高度な清浄環境が求められる。

	2007年	2010年	2015年
●デバイス加工寸法レベル	65 nm	45 nm	25 nm
●クリーンルーム環境制御管理すべき最小粒子サイズ	33 nm	23 nm	13 nm
クリーンルーム全体の清浄度	ISOクラス*6	ISOクラス6	ISOクラス7
ミニエンパイロメントの局所清浄度	ISOクラス2	ISOクラス1	ISOクラス1
ケミカル汚染( 気中濃度)			
酸( SO <sub>x</sub> )	1,000 pptM	500 pptM	500 pptM
アルカリ( NH <sub>3</sub> )	5,000 pptM	2,500 pptM	2,500 pptM
凝縮性有機物	3,000 pptM	2,500 pptM	2,500 pptM
ケミカル汚染( ウェーハへの付着量)			
凝縮性有機物( 1日放置表面)	2 ng/cm <sup>2</sup>	0.5 ng/cm <sup>2</sup>	0.5 ng/cm <sup>2</sup>

注:略語説明 ITRS( International Technology Roadmap for Semiconductors )  
ISO( International Organization for Standardization )

\* ISOクラスは、1 m<sup>3</sup>の空気中に0.1 μm以上の微粒子が10の何乗個以下という指数の値で示される。例えば、従来用いられていた米国連邦規格のクラス1はISOクラス3、クラス1000はISOクラス6などとなる。

## 3. 大空間クリーンルームと局所精密環境システム技術

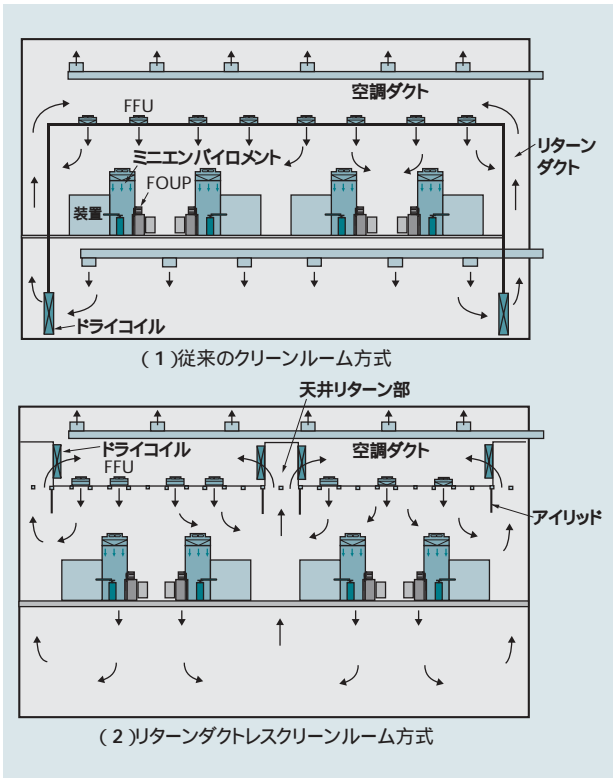
### 3.1 面積効率のよい大空間クリーンルーム

ボールルームと呼ばれる大空間クリーンルームの気流循環方式は、従来から、天井面のファンフィルタユニット( 以下、FFUと言う。)から吹き出された清浄空気が、リターンダクトを通して天井チャンバ内に戻る循環になっている。そして、このリターンダクトは、クリーンルーム床面積の約10%程度を占めている。そこで、日立グループでは、リターンダクトをなくしてもクリーンルームの清浄度、温度分布を満足できるリターンダクトレスクリーンルームを開発した( 図3参照)。

この方式では、天井面のFFUからの吹出し気流が天井リターン部へ短絡する経路を遮断するためにアイリッド( 垂れ壁)を効果的に設置したほか、ミニエンパイロメントの配置を天井リターン部から離れた位置にすることで天井面のFFUからの気流をミニエンパイロメントのFFUで吸い込み、床下エリアへ導いた。床下エリアから戻る上昇流は、装置裏側のメンテナンス域を通して天井リターン部へ戻ることで、床下の換気も含めた気流循環方式を形成できた。また、室内の顕熱除去用ドライコイルを、天井リターン部と天井チャンバの間に設置して、従来と同様の室内温度制御を可能にした。気流シミュレーション解析により、クリーンルーム全域で環境を維持していることが確認でき、この方式を最先端の300 mmウェーハ対応の半導体量産工場に適用した<sup>4)</sup>。

### 3.2 ケミカルフリー環境システム

低清浄な周囲環境の中で、より高清浄な環境を実現するミニエンパイロメントとして、気流循環型ケミカルフリーチャンバを開発した。FOUPからプロセス装置にウェーハを移載するEFEMへの適用例を図4に示す。従来方式ではEFEMチャン



注:略語説明 FFU(Fan Filter Unit)

図3 リターンダクトレスクリーンルームと従来方式の比較

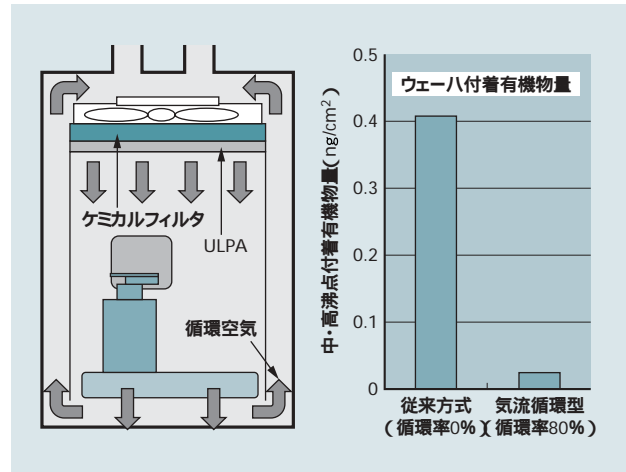
リターンダクトがなくともクリーンルーム全体の気流循環を確保することにより、クリーンルームの有効床面積を約10%向上した。

バ上部に取り付けたFFUとケミカルフィルタで清浄化された空気がEFEM内部に供給された後に全量排出されるが、この方式ではEFEM内部に空気の循環経路を設けて排出清浄空気を再利用する気流循環型にしている。この気流循環の効果によって、EFEM内部のケミカル汚染濃度のいっそうの低減、ケミカルフィルタの長寿命化、およびEFEM駆動部で発生する塵埃(じんあい)の外部への放出抑制効果が得られる。

実際に、循環率を80%にしたEFEM内では従来方式(循環率0%)に比べて、同じ有機物除去ケミカルフィルタでも従来比10分の1以下の気中汚染濃度、およびウェーハ付着汚染量となる測定結果を得ている<sup>5)</sup>。このシステムは、薄膜プロセスや計測装置など、特にウェーハ環境高浄化が必要な装置に向けたミニエンバイロメントである。

### 3.3 低露点環境システム

乾式除湿機で生成した低露点空気を必要なエリアに給気するドライルームを図5に示す。これは、水分による品質の劣化が問題となる製品の製造や保管のための環境を提供するシステムである。このシステムでは、吸着剤を担持した除湿ロータに処理空気を通過させることで、水分およびケミカル汚染物質を除去した空気を製造する。この空気はさらに高性能エアフィルタで粒子を除去してドライルーム内部へ供給する。除湿ロータが1段のシステム構成では露点温度-60(一般



注:略語説明 ULPA(Ultra Low Penetration Air:高性能エアフィルタ)

図4 気流循環型ケミカルフリーチャンバ

ケミカルフィルタを設置したミニエンバイロメント内部の気流を循環させる方式により、ケミカル汚染レベルを約1けた改善した。

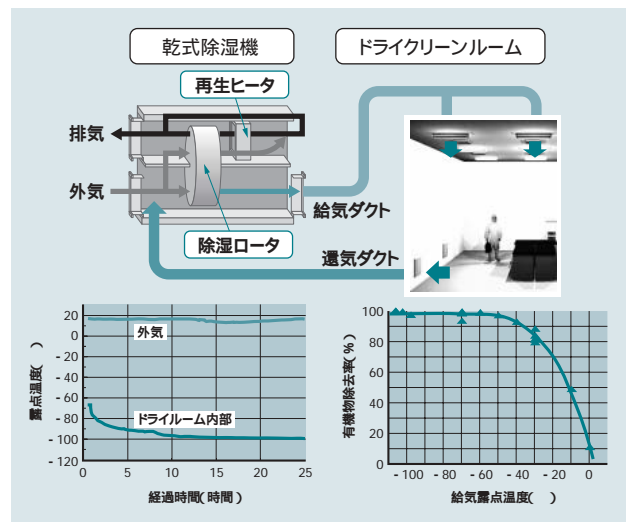


図5 低露点環境システム

乾式除湿方式の省エネルギー型低露点空気製造装置を開発した。除湿ロータ1段では露点-60, 3段では露点-100レベルのクリーンドライエアを供給できる。

環境に比べて水分量が千分の1以下を、さらに除湿ロータを3段にすることにより、露点-100(同、百万分の1以下)のクリーンドライ環境が実現できる。

3段ロータの除湿機を用いたドライルームの露点温度と有機物ケミカル汚染除去率も同図に示す。一般環境に保管されていたエアフィルタを取り付けた直後で露点-70, 約1日後に露点-100レベルに到達する。また、この低露点環境システムでは、除湿と同時に99%以上の有機物除去も可能である<sup>1)6)</sup>。

### 3.4 精密恒温環境システム

半導体の部品検査用環境チャンバに適用した、精密恒温環境システムの概要を図6に示す。システムの構成は、チラーで製造した冷水を熱源としたファンコイルユニットと、ヒータによる温度制御を組み合わせたものから成っている。特徴は、

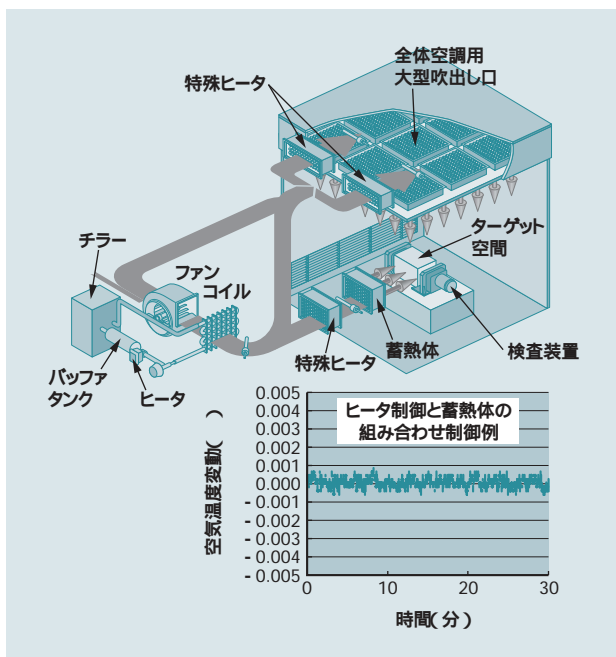


図6 精密恒温環境システム  
空気温度を0.001 レベルで制御可能な恒温チャンバを実現した。

(1)熱源となる冷水の温度変動をバッファタンクを用いて高度制御、(2)周期が数10 s程度(=0.01~0.04 Hz)の温度変動にも対応できる即応性の高い新規開発特殊ヒータによる空気温度制御、(3)周期がさらに短い空気温度変動を蓄熱体との組み合わせによって抑制した点である。これら要素技術を総合して、空調吹出し口における空気温度の変動を±0.001 以内(10分間)に抑制することを可能にした<sup>7)</sup>。

#### 4. おわりに

ここでは、ミニエンバイロメントシステム時代のクリーンルーム技術として、大空間クリーンルームと局所精密環境システムの開発例について述べた。

微細・高性能デバイスを製造する工場では、製造・検査装置などとともに、製造環境を構築するクリーンルーム技術が不可欠である。また、低コスト化、省エネルギー化を推進しつつ、

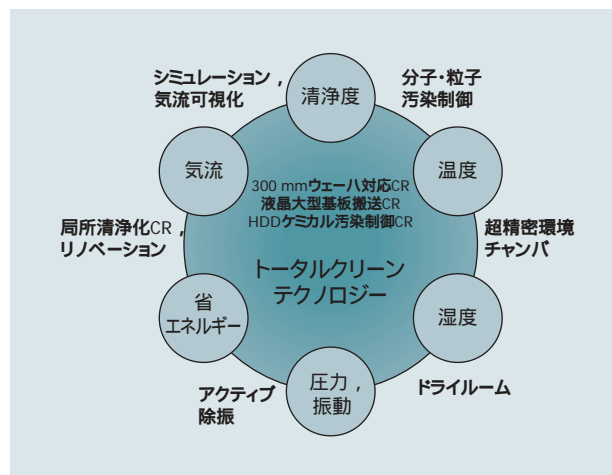
#### 執筆者紹介



久禮 得男  
1977年日立製作所入社、株式会社日立プラントテクノロジー 空調システム事業本部 技術本部 所属  
現在、クリーンルームの技術開発に従事  
日本空気清浄協会会員、日本エアロソル学会会員、応用物理学会会員



花岡 秀夫  
1991年日立プラント建設株式会社(現 株式会社日立プラントテクノロジー)入社、空調システム事業本部 技術本部 所属  
現在、クリーンルームの技術開発およびエンジニアリングに従事



注:略語説明 CR(Clean Room), HDD(Hard Disk Drive)

図7 トータルクリーンテクノロジー

半導体、FPD、HDDなどの高効率、高品質、高歩留り生産のためのクリーンルーム総合技術を提供する。

より高度な清浄・精密環境を提供するためには、製品が直接さらされる局所空間を効率的に制御することが肝要である。

日立グループは、今後とも、このような技術の充実を図り、半導体、FPD、HDDなどの各種製品の製造環境ニーズを踏まえて、高効率・高品質・高歩留り生産を支えるトータルクリーンテクノロジーとして最先端製造技術に貢献していく(図7参照)。

#### 参考文献

- 1) 久禮, 外: ミニエンバイロメント内部高浄化技術, 電子材料, 工業調査会, 2006年8月号, pp.37~41(2006.8)
- 2) 日立プラントテクノロジーのクリーンルーム, 2007半導体工場・装置・設備, 電子ジャーナル, pp.120~123(2006.9)
- 3) ITRSロードマップ(International Technology Roadmap for Semiconductors) 2005年版(2005.12)
- 4) ルネサス テクノロジーの300 mm半導体工場, 2007半導体工場・装置・設備, 電子ジャーナル, pp.102~104(2006.9)
- 5) 頭島, 外: ミニエンバイロメント内部高浄化の検討, 第23回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集, pp.37~39(2005.4)
- 6) 粟津, 外: 乾式除湿機の有機物除去特性に関する検討, 第24回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集, pp.222~224(2006.4)
- 7) 田中, 外: 精密温度制御チャンバの研究(第2報)高応答性ヒータ, 蓄熱体の組合せ検討, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.405~408(2005.8)



杉浦 匠  
1983年日立プラント建設株式会社(現 株式会社日立プラントテクノロジー)入社、松戸研究所 空調システム部 所属  
現在、空調システムの研究開発に従事  
技術士(衛生工学部門)  
空気調和・衛生工学会会員、日本建築学会会員



中川 慎也  
1982年日立製作所入社、株式会社ルネサス テクノロジー 生産本部 那珂第二工場 プロセス生産技術部 所属  
現在、半導体工場用役の運転管理およびエンジニアリングに従事