

クリーンルームの省エネルギー対策

—ドライコイル空調方式とスルーザウォール空調方式—

Energy Saving for Clean Rooms

小野保夫* *Yasuo Ono*
檜田和夫** *Kazuo Kashida*
小西俊一*** *Shun'ichi Konishi*



クリーンルーム内部

FFU(ファン付きフィルタユニット)を使用した全面一方向流方式のクリーンルームを示す。

近年、地球温暖化防止を目的とした温室効果ガスの抑制、省エネルギーが地球規模での課題となっている。わが国でも、1993年3月に省エネルギー法が改正されるなど、具体的な対策が打ち出されてきている。

こうした中で、半導体、液晶産業などで使用されるクリーンルームは、空調に利用されるエネルギー使用比率が高く、しかもパソコン(パーソナルコンピュータ)や携帯電話の需要増に伴ってその需要も増すことから、いっそうの省エネルギーが要求されている。

日立製作所はこうした要求にこたえるため、室内で発生する顕熱負荷を処理する系統と、取り込み外気の潜熱、顕熱を処理する系統に分けて、それぞれに適応した温度レベルの冷水で空調を行うドライコイル空調方式、および高清浄度域をできるだけ限定し、搬送動力を低減させるスルーザウォール空調方式などのシステム的な技術開発を行っている。また、そこで利用されるFFU(ファン付きフィルタユニット)などの開発を行って地球環境の改善に取り組んでいる。

* 日立製作所 空調システム事業部 ** 日立製作所 システム事業部 *** 日立プラント建設 技術本部

1 はじめに

近年、温室効果ガスによる地球温暖化が世界的な問題となっており、わが国でも1993年3月省エネルギー法(エネルギーの使用の合理化に関する法)が改正されるなど、具体的な対策が打ち出されてきている。

こうした中で半導体、液晶産業の分野で利用される工業用クリーンルームは、工場全体のエネルギー消費のうち空調に消費されるエネルギーが40%と、空調エネルギー消費の割合が著しく大きい[図1(a)参照]。また、パソコン、携帯電話の需要増によるクリーンルーム需要の増加、および半導体集積度の向上による高潔浄度クリーンルーム需要の増加によって急激に空調消費エネルギーが増加する傾向にあり、空調に対する省エネルギー対策が強く要求されている。

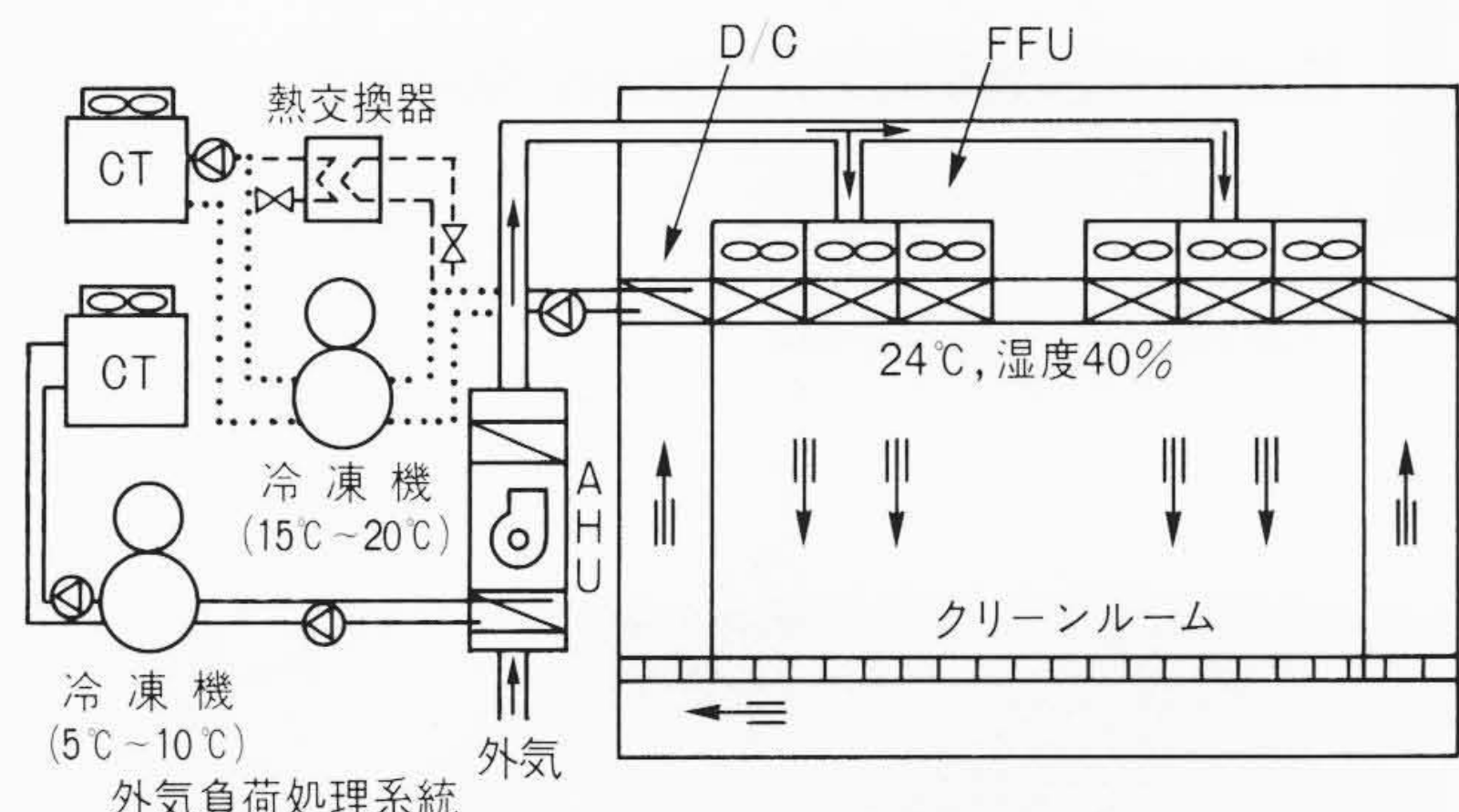
ここでは、こうしたクリーンルームでの省エネルギーにこたえるシステム的なアプローチについて述べる。

2 クリーンルームにおける省エネルギー化

クリーンルームで空調に使用されているエネルギーの内訳を図1(b)に示す。クリーンルームの負荷は、次に述べる特徴がある。

- (1) プロセス装置から発生する顕熱負荷が大きい。
- (2) 清浄度を確保するためにフィルタを循環する空気量が大きく、これに伴って送風機動力が大きくなる。
- (3) プロセス装置からの大量な排気量に相当する外気の取り込みが必要となるため、外気負荷が大きい。

これに対する省エネルギー対策としては、(1) 温度、湿度、清浄度など室内設計条件の見直し、(2) ポンプ、ファンなどの搬送動力の低減、(3) 冷凍機、FFUなどの機器の高効率化などがある。この章では、冷凍機の高効率運転、および搬送動力の低減に大きな省エネルギー効果があり、最近のクリーンルームの主流になりつつあるドライ



注1：顕熱負荷処理システム --- (冬期, 外気温低), (夏季, 外気温高)
注2：略語説明 D/C (ドライコイル), AHU (エアハンドリングユニット)
CT (クーリングタワー)

図2 ドライコイル+クーリングタワー方式

ドライコイル方式空調システムにより、冷凍機のCOP向上、クーリングタワーによる冷水製造が可能になる。

コイル方式空調システムと、高潔浄度域の削減による搬送動力の低減について述べる。

2.1 ドライコイル方式空調システム

冷凍機のCOP(Coefficient of Performance: 成績係数)の向上、搬送動力の低減を目的に考案された方式がドライコイル方式である(図2参照)。この方式は、FFUを使用したターミナルバイパスにドライコイルを組み込み、外気処理系と系統を分離することにより、前者を室内で発生する顕熱負荷を除去する系統(ドライコイル系統)とし、後者を取り込み外気の負荷を除去する系統(外気処理系統)として系統を分けるものである。

外気処理系統は除湿が必要となることから、4～5℃の低温の冷水が必要となるものの、ドライコイル系はクリーンルーム内で発生する顕熱負荷だけを除去するため、14～16℃程度の温度レベルの高い冷水で対応できる。これにより、ドライコイル系の冷凍機をCOPの高い状態で運転することが可能となり、省エネルギーを図ることができる。

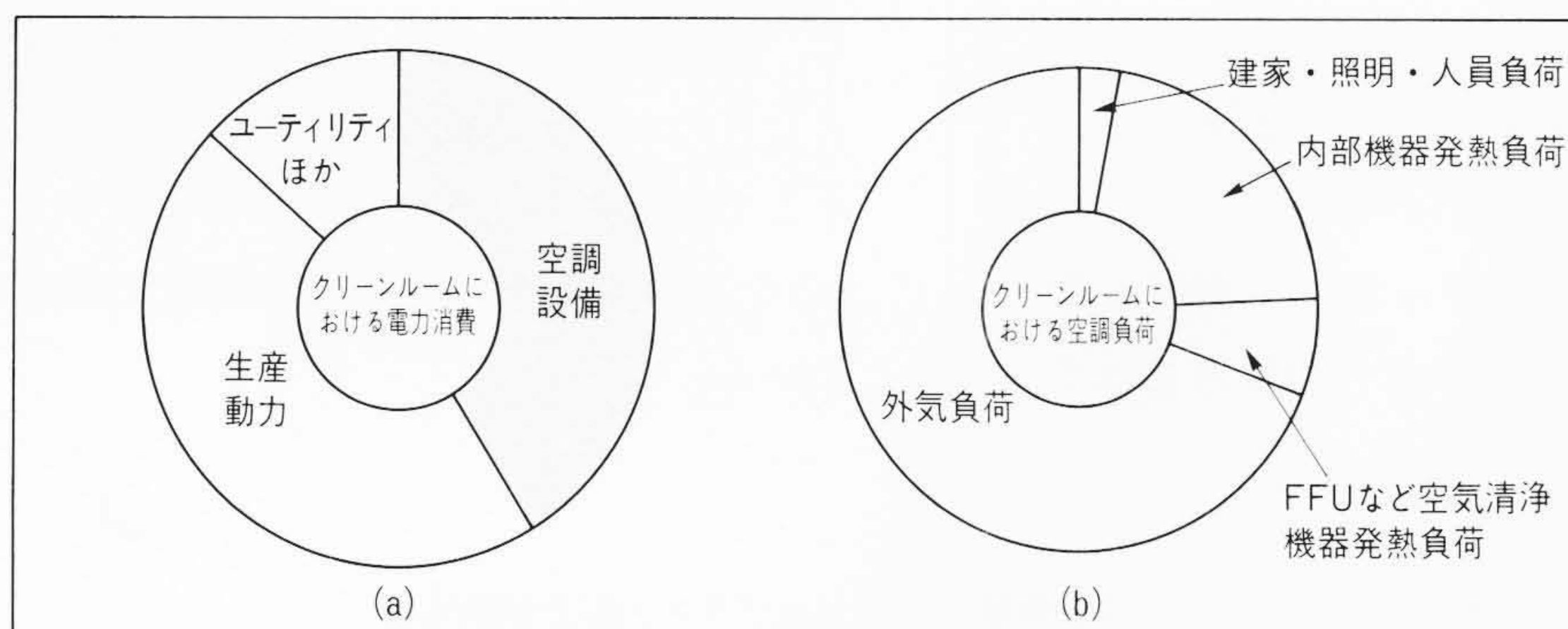
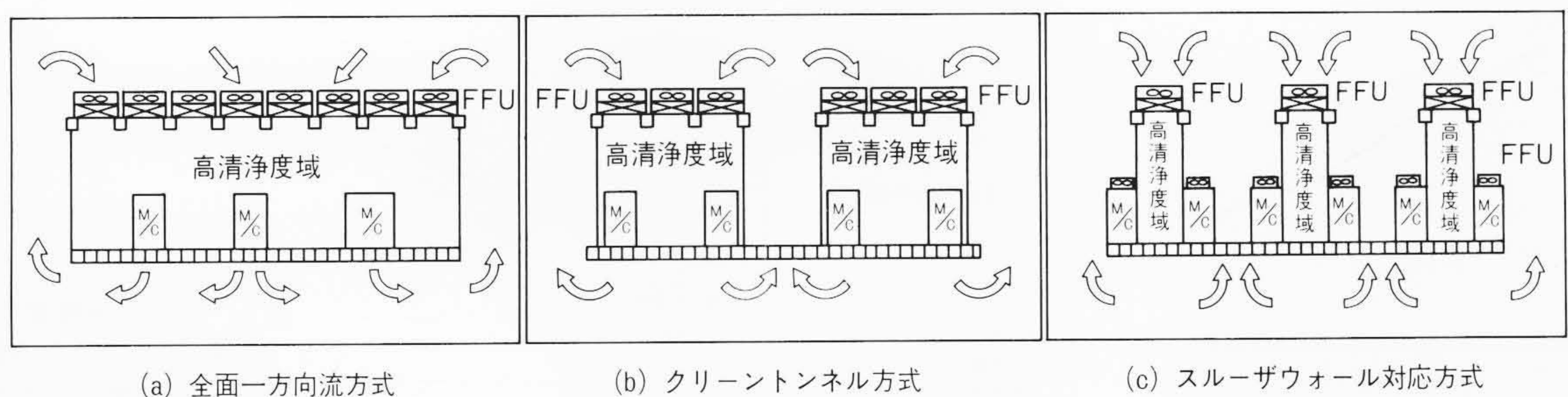


図1 クリーンルームのエネルギー消費

クリーンルームでの空調エネルギーの比率は、全体の40%と著しく大きい。



注：略語説明 M/C（生産装置）

図3 高潔浄度域の削減
高潔浄度域削減の方式を示す。

また、ドライコイルで使用する高い温度レベルの冷水であれば、冬期あるいは中間期の外気温度の低いときには、冷凍機を運転することなくクーリングタワーだけで冷水を製造する方法(図2参照)や、外気処理用空調機から出た冷水をドライコイルに流す冷水のカスケード利用も省エネルギー効果は大きい。

延べ面積5,000 m²、クラス1（1 m³中に0.1 μm以上の粒径の粒子が1個以下）のクリーンルームを対象に、(1)全量循環方式(従来方式)、(2)ドライコイル方式、(3)ドライコイル方式に低外気温時のクーリングタワーによる冷水製造を考慮した場合のそれぞれの方式について、室内で発生する顕熱を除去するために必要な冷凍機の消費電力量を比較した。その結果、室内顕熱除去についてはドライコイル方式の採用により、全量循環方式の20%のエネルギーの節約になり、さらに、低外気温時のクーリングタワーだけの冷水製造を考慮する場合は10%の節約となる。さらに、ドライコイル方式では、ターミナルバイパスによって全量循環方式に比べて循環経路内の圧力損失を小さくすることが可能であり、搬送動力の低減も図れるという特徴がある。搬送動力についてはドライコイル方式の採用により、全量循環方式の10%程度に低減可能である。

ドライコイル方式は、以上のように冷凍機の高効率運転、搬送動力の低減を可能にするとともに、クーリングタワー単独での冷水製造も可能にした。この方式は、省エネルギーを図るうえできわめて有効な空調方式といえる。

2.2 高潔浄度域の削減

クリーンルームの室内換気回数は、クリーンルームの清浄度が高度となるにしたがって増大し、空気の循環に要する動力が増大する。また、空気の循環に要した動力は発熱源となり空調冷房負荷を増大させる。

クリーンルームシステムとして省エネルギー化を図るためには、清浄度維持に要する換気量の削減を行うこと

が効果的であり、同一室内でも必要清浄度を細かく設定し、高潔浄度を必要とするエリアを局所化する必要がある。

例えば、クラス1～5（1 m³中に0.1 μm以上の粒径の粒子が1～10⁵個以下）程度の清浄度を必要とする半導体などの精密電子部品製造用クリーンルームでは、全面一方向流方式のクリーンルーム〔図3(a)参照〕が使用されていた。この構造のクリーンルームでは、室内全域が高潔浄度域となるため、室内の生産装置のレイアウトの自由度は大きいですが、クリーンルームの所要動力も大きくなる。

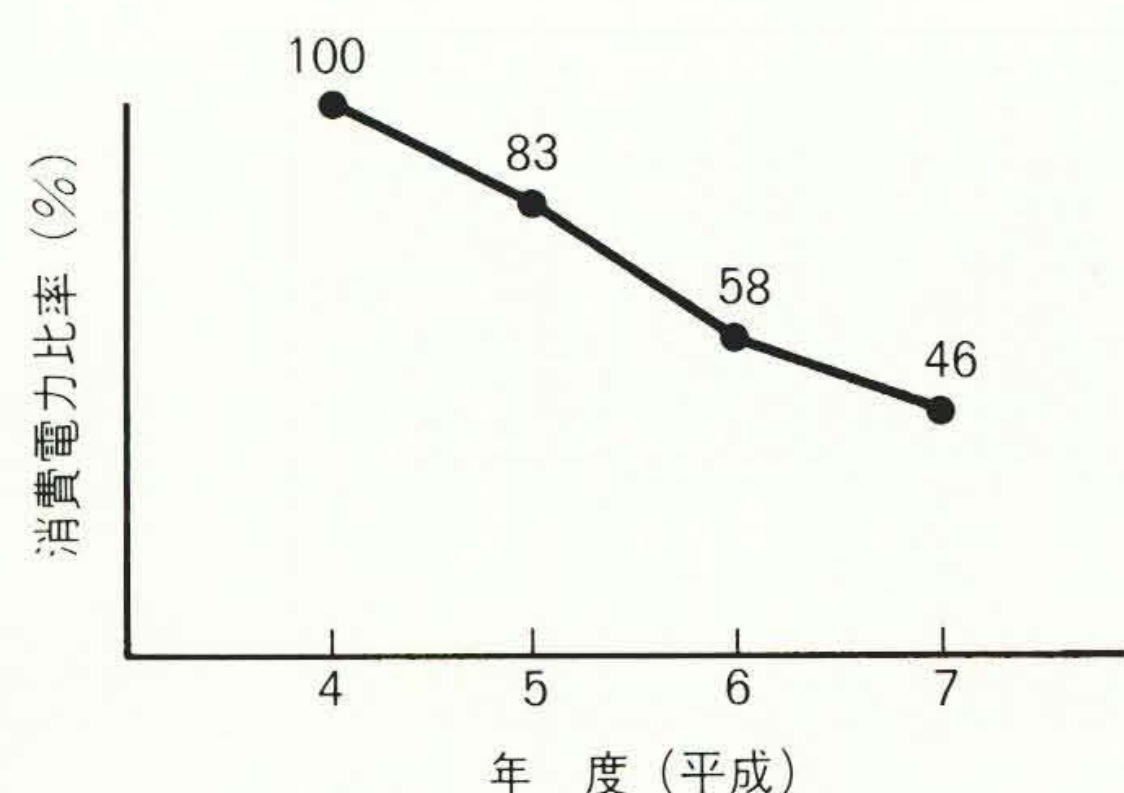
これに対し、室内の生産装置のレイアウトを固定し、高潔浄度を必要としない生産装置へのユーティリティ供給エリアをクラス7～8の低潔浄度域とし、高潔浄度域の面積を削減したクリーンルームシステムがクリーントンネルシステム〔図3(b)参照〕である。さらに、生産装置側で装置内部に高効率フィルタを設け、装置内部で高潔浄度空間を確保したり、装置内部の搬送を真空容器中で行うなどの改良を図り、装置据付け域は高潔浄度を必要とせず、高潔浄度域と低潔浄度域を間仕切る壁面に据え付けるスルーザウォール対応型生産装置が近年多数開発されてきている。また、生産装置間の中間製品の搬送も自動搬送機を使用し、生産装置への生産条件指示などもコンピュータを利用し、生産ライン内を無人化した生産システムが実用化しつつある。

このような生産システムを採用した場合、作業者から

表1 循環ファン動力の比較

スルーザウォール対応方式とすることにより、循環ファン動力を従来の30%に低減できる。

クリーンルームの方式	循環ファンの動力比
全面一方向流方式	1.0
クリーントンネル方式	0.7
スルーザウォール対応方式	0.3



仕様 (代表例)		
モジュール寸法	mm	600×1,200
処理風量	m ³ /min	13
平均風速 (モジュール平均)	m/s	0.3
電源	—	AC 200 V 3φ 50 または 60 Hz

図4 FFUの消費電力推移
平成4年モデルの消費電力を100%とした場合の各年の推移を示す。

の発塵(じん)の影響を削減できるため、高潔浄度域を各装置への製品の搬送、および装置へのロード、アンロードエリアだけと縮小したスルーザウォール対応クリーンルームシステム〔図3(c)参照〕が実用化している。

これら3方式のクリーンルームの換気用循環ファン動力を、同一性能のFFUを使用して構築した場合で比較した結果を表1に示す。

将来のクリーンルームの高潔浄度域のより局所化の方向として、生産装置間をクリーンチューブで接続し、チューブ内で製品を搬送する方式や、真空容器などに生産装置内で製品を収納し、装置間を搬送する方式などが半導体製造装置メーカーで最近検討されている。このような製造装置が実現した場合、クリーンルームの高潔浄度域が現状よりさらに削減され、クリーンルームの消費動力がより削減される可能性もあると考える。

3 省エネルギー型FFU

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、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。そのため、高潔浄度になるに従って清浄空気の搬送に多くの動力が必要となる。

クリーンルームの送風システムは大別すると、(1)大型ファンを機械室に設置して送風するセントラル方式、(2)ベイ型レイアウトでサービスエリアをリターンエリアとして利用するトンネル方式、(3)天井ULPA(Ultra Low Penetration Air)フィルタ等に小型ファンを個別設置して送風するFFU方式などがある。

FFUは、自分の持つファンで空気を圧送・ろ過・循環するため、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もので、他の2方式に比べて清

浄度域の局所化・生産設備レイアウトの変更などに容易に対処でき、省エネルギー化、フレキシビリティのあるクリーンルームを構築することができる。

クリーンルームの省エネルギー化を図るうえでシステム的な対応のほかに、FFUの省エネルギー化を図ることは、搬送動力の低減につながることはもちろんのこと、発熱源の減少(空調冷房負荷の低減)にもなり、省エネルギー上の効果大きい。

日立製作所は、FFUの省エネルギー化をここ数年の間に積極的に進め、高効率ターボファンの開発、フィルタの低圧損化、低損失機内構造設計などを行ってきた。近年のFFUの消費電力の推移を図4に示す。

平成4年モデルと平成7年モデルで、5,000 m²のクリーンルームを構成した場合の搬送動力の比較を行うと、年間で電力量は2,850 MWhの低減となる。さらに、この電力は熱負荷となることから、同程度の空調冷房負荷の低減も図ることが可能であり、空調機容量の低減にもつなげることができる。上記の低減による効果は、冷凍機容量にして93冷凍トンとなる。空調システムのロスの低減などを加えると、さらに大きな差となる。

4 おわりに

ここでは、最近のクリーンルームの省エネルギー手法について述べた。

日立製作所は、今後ますます厳しくなる地球環境問題に対して、省エネルギーを基本思想とした冷凍機、FFUなど機器の開発、および純水、半導体製造装置、クリーンルームなどの総合エンジニアリング力によるシステム的な省エネルギーへのアプローチを図ってゆく考えである。

参考文献

- 1) 鈴木, 外: 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, 日立評論, 74, 12, 895~900(平4-12)