

クリーンルーム工場建設における環境配慮への取り組み

Environmental Approach to Construction of Clean Room Plants

加藤 俊彰
KATO Toshiaki

柳澤 俊彦
YANAGISAWA Toshihiko

添田 勝之
SOEDA Katsuyuki

地球環境に配慮する事業活動が社会的に求められている。東芝では工場建設時に、社内組織である建設部において環境への影響を総合的に検討し、省エネルギー(以下、省エネと略記)などの施策を設計に盛り込む形で環境に配慮している。特に半導体・液晶製造のためのクリーンルーム工場は、多くのエネルギーを消費することから省エネ対策を強化しており、空調循環風量や冷凍機効率の改善などを行うとともに、気流シミュレーションを活用した省エネ手法を開発した。

気流シミュレーションは、気流の改善によって、効率的にクリーン化を実現するために有効な手法であり、クリーンルームのエア供給系の動力削減や局所クリーン化に活用している。

Social expectations are increasing for the earth's environment to be taken into consideration in business activities. Toshiba's Construction Department considers the influence on the environment from a comprehensive perspective at the time of factory construction and incorporates energy-saving and other measures into the design for environmental preservation. From the standpoint of high energy consumption, particularly clean room factories for the manufacturing of semiconductors and liquid crystals are implementing measures to achieve energy saving.

This paper introduces improvements made to the air-conditioning circulation system, freezer efficiency, etc. at the Oita Factory. Air flow simulation, which is an effective method for improving cleaning schemes, is being used effectively for saving energy by reducing the power required for the air supply in the clean room.

1 まえがき

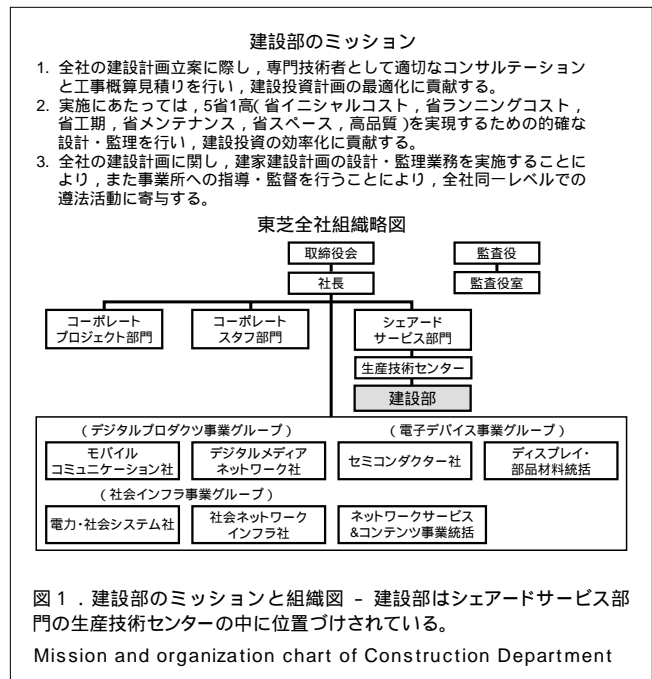
近年、地球環境の破壊や資源枯渇の問題が様々な場で議論され、それに対する一般の人々の関心も高まりつつある。

すべての事業活動において環境に対する配慮を求められており、企業としても真剣に対応していくことが企業活動の基本となっている。また建築行政においても、建築物環境計画書を確認申請前に提出するなどの対策が始められ、環境に配慮した建設行為を行うことが重要になっている。

地球環境を守り育てていくことは、現存する人間の基本的責務であるとの立場に立って、東芝は、製品を“つくる”段階から資源の有効活用や地球温暖化防止などの活動を展開し、地球環境負荷の低減に努めている。更に、製品をつくる“場”である事業場(工場)の建設時にも、当社の環境保全基本方針に従い環境対策を推進している。

当社の年間設備投資額の10%程度(金額にして250~300億円)は、工場などの建設工事に対する投資である。建設行為は環境に対する直接的影響が特に大きいため、厳しいチェックが必要になる。更に、省エネルギーに着目すると、建築物の寿命中に使われるエネルギーは新築時が25%、運用時が75%と言われている。運用時のエネルギーは設計時に決定されるといっても過言ではなく、計画・設計段階での省エネ対策が必須となっている。

当社では、工場などの自社施設は社内の建設部で計画、設計、監理を行い、更に完成後のメンテナンス、補修まで行っている。それによって、当社の環境に対する姿勢が、計画・設計段階から工場運転時に至るまで、一貫した主導的立場で管理されている(図1)。



ここでは、計画・設計段階における環境配慮への取組みとともに、エネルギーを多く消費するクリーンルーム工場を例に、設計時の省エネ手法と運用時の省エネへの取組みについて述べる。

2 工場建設計画・設計時における環境配慮

建築設計の中で、計画完了時と設計完了時に2回のデザインレビューを行い、その中でISO14001(国際標準化機構規格14001)に基づいて環境への影響度を把握し、環境保全施策を提案して設計に折り込んでいる。

最初のデザインレビューでは、環境配慮チェックシートを用いて全般的な環境影響要素を把握する。具体的には、次の四つの大分類について、詳細に100項目以上をチェックし影響の度合いを把握する。

- (1) 騒音、振動、排水、排気などの周辺環境への配慮
- (2) 建家断熱、高効率機器の採用、最適運転といった省エネ・省資源施策
- (3) 保守性を向上させ建物を長寿命化
- (4) 廃棄物の削減や環境への影響の大きな材料の制限といった資源の適正な使用と処理

図2は、環境配慮チェックシートの一部を示したものである。また、項目の中には設計に関するだけでなく、工事が始まってから工事監理者として取り組む事項も含まれて

工事名称							
記入年月日							
大分類	中分類	小分類					
省エネルギー・省資源	周辺環境への配慮	隣接居住区域への環境悪化防止	騒音防止	振動防止	敷地内緑化 他		
	軽減	建築負荷の軽減	外壁・屋根・床の断熱	躯体断熱	温輻射防止	防熱ガラス 他	
			照明負荷軽減	高効率照明器具	昼光利用調光	照明機器排気除熱	他
	省エネの有用利用	設備負荷の軽減	省エネを考慮した設計条件	室内外温湿度設計条件	クリーンルーム換気回数	インバータ 他	
			無駄の回避	除湿・再熱の回避	ゾーニング(系統分割)	残業運転対策	他
		エネルギー・資源の有効利用	効率的熱交換システム	全熱・顕熱交換機使用	省エネ型機器の採用	高効率機器の採用	他
			排熱回収熟源システム	コーゼネ	燃料電池	冷凍機排熱回収	他
	最適運転	低環境負荷材料	使い捨て材料の最小化	リサイクル困難材料への配慮	人体に無害な材料への転換	他	
		外気取入制御	蓄外気運転	起動時外気遮断	CO ₂ 制御による外気取入量削減	他	
	長寿命	自動制御・中央監視装置の充実	スケジュール設定運転	熱源最適運転制御	冷却塔制御	他	
		設備材料の合理的耐久性	耐久性・耐震性・耐火性	保守性	交換容易な構造	他	
	適正な使用と処理	廃棄物の削減	仮設資材の減少	廃棄物の減容・焼却処分化	梱包材の減少	他	
ノンフロン化		代替フロン冷媒	ノンフロン冷媒	フロン回収を考慮したシステム	他		

図2. 環境配慮チェックシートの例 - 設計だけでなく工事における監理事項も含まれており、幅広く環境への配慮がなされている。
Checklist for proper attention to environment

おり、幅広く環境への配慮がなされている。そして、2回目のデザインレビューでは環境保全提案シートを使い、施策を具体化している。このように、一つひとつの工事において、組織として積極的に環境保全に取り組んでいる。

3 クリーンルームにおける省エネ手法

当社の全事業所でのエネルギー消費分布では、クリーンルームを所有する半導体・液晶関連だけで約80%を占める。これらの工場の消費エネルギーの内訳は、空調・動力・照明などで55%、製造装置で45%となる。

近年、半導体工場ではウェーハの200mmから300mmへの大型化が進み、液晶工場でもガラス基板の大型化指向は顕著である。ウェーハとガラス基板が大型になると、製造装置の設置面積、定格動力量、クリーンルーム面積、エネルギー消費量と連鎖反応的に大きくなる。

省エネの狙い目として、大別すると次の三つが挙げられる。併せて、クリーンルームの模式図とその省エネ項目を図3に示す。

- (1) 空気・水搬送システム クリーンルームの空気循環系は、大型循環ファンとダクトによる方式から、近年は天井面に小型高効率循環ファンのFFU(Fan Filter Unit)を用いたダクトレス方式が主流である。また、半導体プロセスでは局所クリーン化の手法が検証され、クリーンルーム全体の清浄度はクラス1,000~10,000へ緩和された。これらにより、当社の大分工場では空調循環動力を36%削減した(図4)。そのほか、外気処理空調機やスクラバなどの大型ファンは、負荷に応じた可変風量制御を実施している。
水搬送系は、空調冷水の大温度差(10℃)送水による冷水量削減や、負荷に応じたポンプの台数・可変水量制御を実施している。
- (2) 機器類本体 ターボ冷凍機は特性上、冷水の出口温度を上げれば仕事量が減り、省エネに結び付く。例えば、出口温度が7℃の場合に比べ、13℃に上げると効率が約18%向上する(図5)。クリーンルーム負荷を外気除湿用に7℃、顕熱除熱用に13℃に区分すると、約70%を13℃冷水で賄うことができ、高い省エネ効果が期待できる(図6)。更に、13℃冷水なら、冬期(12月~3月)は冷凍機を止めて冷却塔による製造も可能であり、当社大分工場ではこれにより100万kWhを削減した。
FFUの電動機は、誘導モータからモータ効率が高いDCブラシレスタイプへと移行した。これにより当社大分工場では、空調循環動力を14%削減した(図4)。
- (3) 製造装置本体 空調や動力のエネルギー量は、装置本体の使用動力量に密接な関係がある。現段階では、装置本体のエネルギーが低減されないかぎり大幅な省

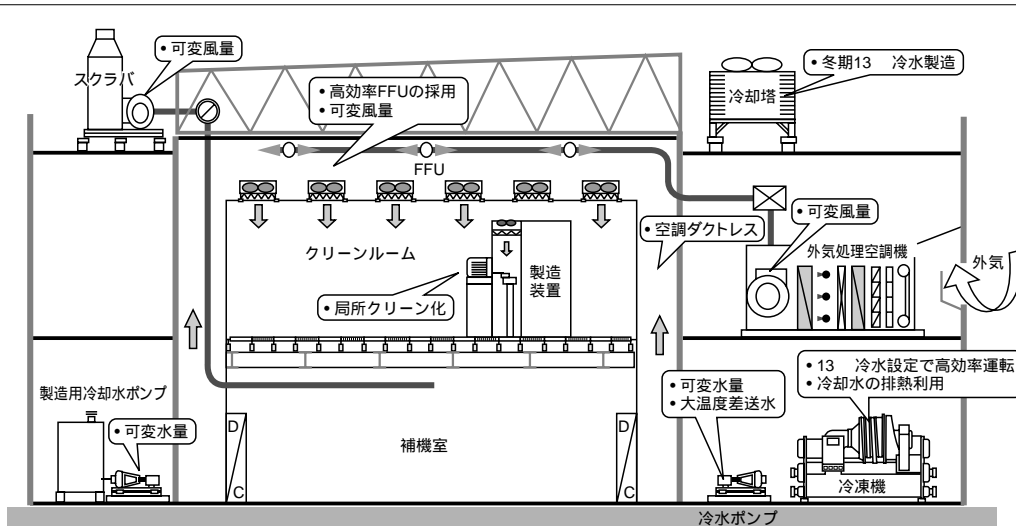


図3 . クリーンルーム模式図 - 空気・水搬送システムや機器類の効率化により省エネを図っている。
Diagram of clean room

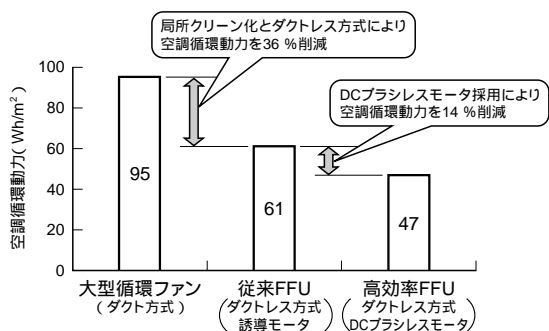


図4 . クリーンルーム単位面積当たりの空気循環動力 - 局所クリーン化、ダクトレス及び高効率FFUにより、約50%の動力削減を実現している。
Air circulation power per clean room unit area

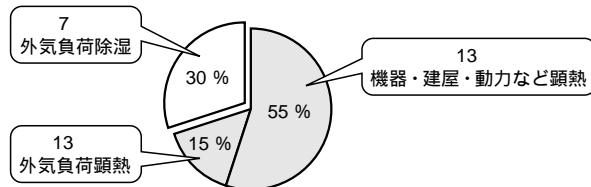


図6 . クリーンルームの冷水負荷区分 - 冷水負荷区分は13 機器などの顕熱, 13 外気顕熱, 7 外気除湿の三つに区分できる。
Ratio of cooling load

ンルーム内に置かれた状態での空気の流れを解析し、効率化を図ることも重要になってくる。

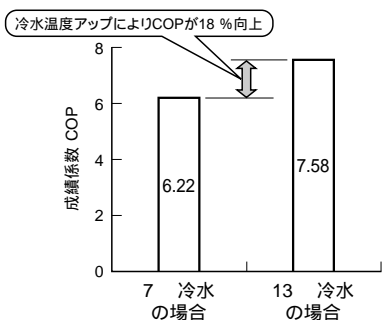


図5 . 13 冷水化による冷凍機効率の向上 - 13 冷水の使用で、7 冷水より約18%高効率の運転が可能である。
Chiller efficiency (7 vs. 13)

エネ効果は難しい。それには製造プロセスのエンジニアと協調し、実際の使用エネルギーの調査・評価方法を確立することが急務である。また、製造装置がクリー

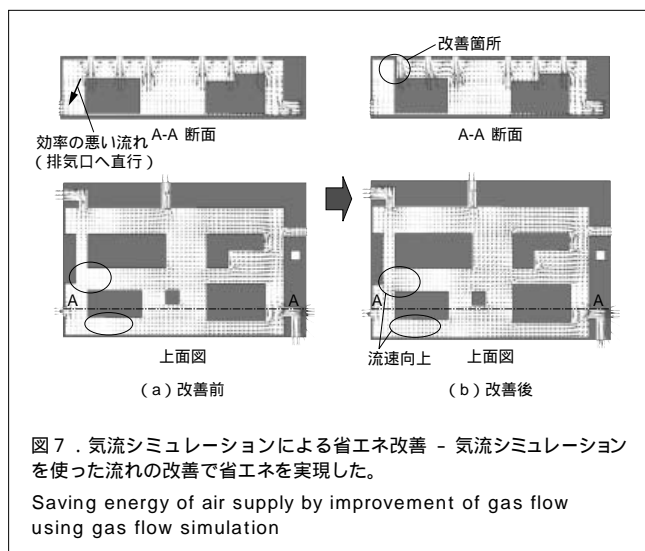
4 気流シミュレーションによるクリーン化

クリーンルームは、温度がコントロールされたクリーンエアを常時循環させる必要があり、エネルギーを多く使用するので省エネ要求が高い。その一方で、クリーンルーム内は、様々な仕様(形状、給排気バランスなど)の装置が様々な位置に設置されたり、多様なレイアウト変更がなされたりで、むだな気流が生じ、動力の浪費につながる。このむだな気流を低減するため、気流シミュレーションを活用し、省エネに有効な気流改善を行っている。

気流シミュレーションでは、連続流体のナビエ-ストークス方程式(質量保存式)を数値解析で解き、クリーンエアの流れを可視化している。また、クリーンルーム内でクリーンエア、汚染エア及び空間全般の気流について流速を実測し、この結果を組み込むことで、シミュレーション精度を高めている。以下に解析事例を述べる。

4.1 クリーンルームの省エネ

ここでは、気流シミュレーションを使った省エネ対策の事例を述べる。図7は、一般的なクリーンルームに装置を配置した状態を示している。灰色の部分に装置が配置され、矢印の方向と長さが、気流の方向と速度を表している。(a)は改善前 (b)は改善後で、それぞれの図で下側が上面から見たクリーンエアの流れ、上側が A - A 断面での流れを示す。



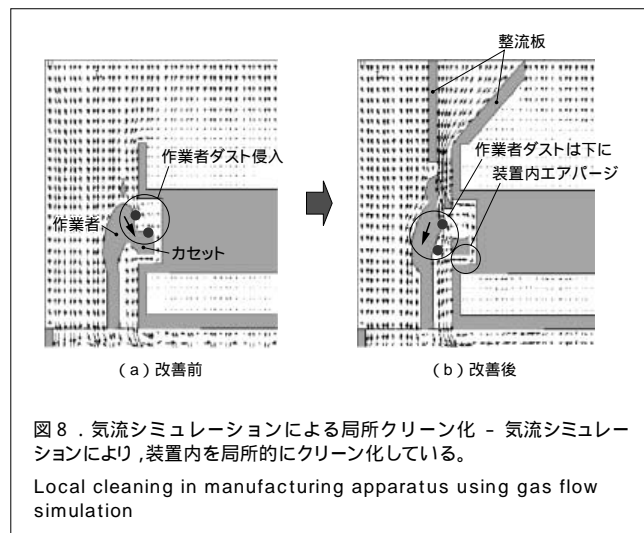
(a)の断面図では、左端の上部でクリーンエアが天井からそのまま側壁下部の排気口へ抜けてしまっている。このため、クリーンエアは有効活用されていない。対策として (b)の断面図のように左端の上部の流路を遮る案をシミュレーションで検討した。この結果、断面図でクリーンルーム全体への流れが発生しており、上面図の2か所で流れが速くなっている。したがって、クリーンルームに供給するクリーンエアの流速を下げても、従来と同じ流れを維持できることから、省エネに有効であることがわかった。

この流れ改善対策を施すとともに、クリーンルーム内の温度制御方式の改善を加えることで、全体で20%の省エネを達成した。

4.2 クリーンルームの局所クリーン化

次に、気流シミュレーションによりクリーンルーム内の局所クリーン化を実現した事例を述べる。図8は、半導体クリーンルーム内での作業員からの発生ダストの影響を低減した例である。(a)は改善前 (b)は改善後で、装置の前に作業員が立っているのを横から見た図である。(a)では、上からの流れにより、ワークを装置にセットする際、作業員からのダストが装置内に侵入している。

対策として、気流シミュレーションを使って整流板を取り付ける方法を検討した。(b)のように整流板を設けることで、流れを真下に向けて作業員からのダストが装置内へ進入す



るのを阻止し、同時に分岐導入したクリーンエアにより装置内エアパージを行う。

これによって、装置内のウェーハダストは12個から3個になり、大幅に低減できた。このように、省エネ、ダスト改善に気流シミュレーションは広く活用されている。

5 あとがき

当社では工場建設計画時に環境配慮に対応した設計を行っている。その中で、もっとも環境への影響が大きいクリーンルームについて取り組み、クリーンルームを動かす空調動力や冷水などの大幅な省エネを達成した。また、クリーンルーム内の装置レイアウトにおいても、気流の適正化を行い省エネに寄与した。

今後は、クリーンルーム建設の構想段階から装置メーカーとも協調し、クリーンルームの省エネ化を更に図っていく。



加藤 俊彰 KATO Toshiaki
生産技術センター 建設部参事。
建築設計業務に従事。日本建築学会会員。
Construction Dept.



柳澤 俊彦 YANAGISAWA Toshihiko
生産技術センター 建設部参事。
建築設備設計業務に従事。
Construction Dept.



添田 勝之 SOEDA Katsuyuki
生産技術センター プロセス研究センター。
半導体・液晶プロセスの流体シミュレーション技術の開発業務に従事。応用物理学会会員。
Process Research Center