

# 半導体工場の省エネルギー対策

## Energy Conservation Measures for Semiconductor Manufacturing

### あらまし

半導体製造の技術進歩は目覚ましく、デバイスの高集積化・大口径化が年々進み、製造装置の大型化によりクリーンルームの面積が拡大し、これに伴い、半導体工場のエネルギー消費も増加の傾向となっている。

半導体工場では、クリーンルームの空調設備などの付帯設備で多量のエネルギーを消費している。半導体工場の省エネルギー対策を推進するには、これらの設備の効率化や製造プロセスの最適化が求められる。

本稿では、半導体工場で実施している省エネルギー対策の実例を紹介し、エネルギーの低減対策およびその効果について述べる。

### Abstract

Semiconductor manufacturing technology continues to progress remarkably, with greater device integration and diameter improvements every year. However, as the size of clean rooms has increased in line with the expansion in scale of manufacturing equipment, the energy consumption at semiconductor manufacturing facilities has risen. In semiconductor manufacturing facilities, clean room auxiliary equipment such as HVAC units consumes a considerable amount of energy. It is therefore necessary to use the equipment efficiently and to optimize the manufacturing processes to conserve energy. This paper introduces examples of energy conservation projects being implemented at semiconductor manufacturing facilities, explains energy reduction measures, and examines their effectiveness.



栗原浩久(くりはら ひろひさ)  
施設部施設計画部 所属  
現在、電子デバイス部門の工場計画業務に従事。



笹原健一(ささはら けんいち)  
施設部施設計画部 所属  
現在、電子デバイス部門の工場計画業務に従事。

## まえがき

半導体製造の技術進歩は目覚ましく、デバイスの高集積化・大口径化が年々進み、製造装置の大型化によりクリーンルームの面積が拡大し、これに伴いエネルギーの消費量も増加の傾向となっている。

半導体工場では、クリーンルームの空調設備やユーティリティ供給設備で多量のエネルギーを消費しており、富士通のエネルギーのうち約半分を占めている。半導体工場での省エネルギーは、環境対策を推進していく中で重要な課題となっている。

本稿では、富士通の半導体工場で積極的に実施している省エネルギー対策の事例を紹介し、エネルギー低減対策およびその効果について述べる。

## 半導体工場のエネルギー消費

半導体製造を行うクリーンルームでは、室内清浄度・温湿度などの環境維持、および生産設備への電力・超純水などのユーティリティ供給のために空調・電力・純水・廃水処理などの付帯設備が必要となる。クリーンルームの概略フローを図-1に示す。これらの設備を維持・運転していくために、電力・重油など多量のエネルギーが消費される。

半導体工場で消費されるエネルギーの年間消費構成（原油換算）では、図-2のように約76%が電力であり、ついで重油、燃料ガスとなっている。また、その電力を使用用途別に分類すると生産設備が40%、空調設備が40%である（図-3）<sup>(1)</sup>

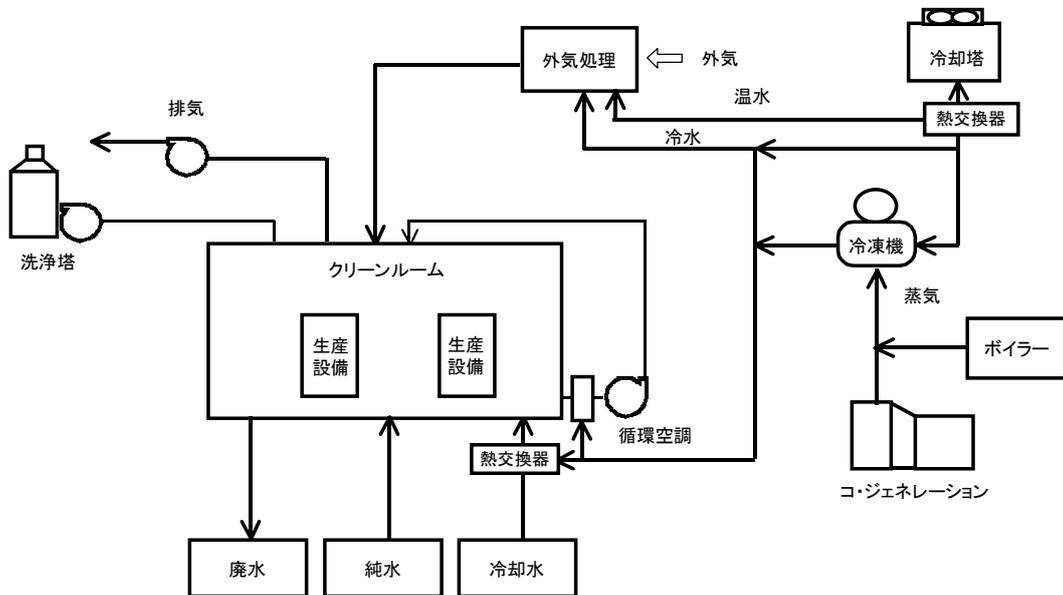


図-1 クリーンルームの概略フロー  
Fig.1-General flow of clean room.

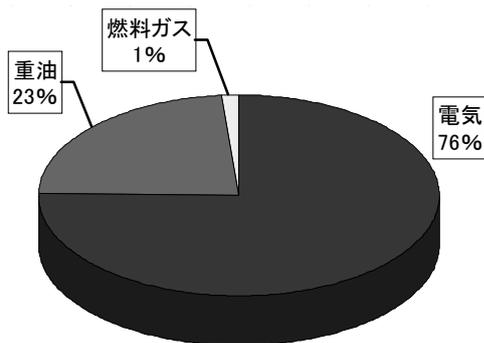


図-2 年間消費エネルギー構成（原油換算）  
Fig.2-Breakdown of annual energy consumption.

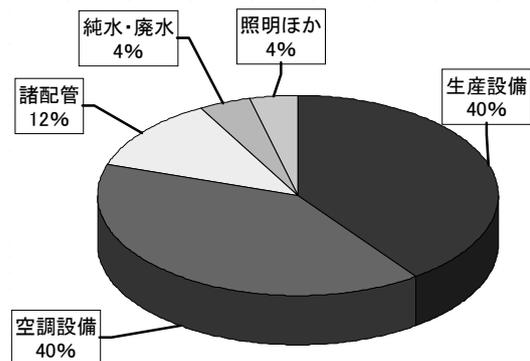


図-3 電力消費内訳（原油換算）  
Fig.3-Breakdown of consumption of electricity.

以上のように、半導体工場のエネルギー消費の特徴として空調設備と生産設備の電力消費が多く、省エネルギーを推進していくにはこの双方に対策を講じていくことが有効である。

## 付帯設備の省エネルギー対策

付帯設備での電力エネルギー消費の内訳は、冷熱源設備47%、循環空調設備24%、純水廃水設備10%、排気設備9%、外気処理設備8%、照明ほか2%となっている。ここでの主な消費機器は、冷凍機と循環空調機であり、機器の効率化、搬送動力の低減により、省エネルギー対策を行うことができる。

## 生産設備の省エネルギー対策

生産設備は、とくに拡散炉などで多くの電力を使用しており、クリーンルーム内の熱負荷が増大している。これを削減することで、生産設備と循環空調の省エネルギー対策を行うことができる。

また、生産設備で純水・排気が使用されているが、その量を削減することで、純水・廃水設備や外気処理設備の省エネルギー対策を行うことができる。

## 付帯設備の省エネルギー対策

### インバータシステム

インバータで送風機などの回転数を制御することにより、省エネルギー対策は従来から実施していたが、一部の機器にしか導入されていなかった。その理由として、機器に掛かる負荷を把握できないために導入の判断がで

きなかったことが挙げられる。今回採用したインバータシステムのフローを図-4に示す。

全工場の送風機および送水ポンプを対象として実負荷を測定し、余力のあるものについてインバータシステムを設置し、適用の拡大を図った。また、工場の稼働状況の変化に応じた供給を行えるように供給側へ圧力センサを設け、回転数を制御することで更に省エネルギー効果を上げている。

### 高効率機器の採用

クリーンルームの循環風量は、クリーンルームの拡大に伴い、送風動力が大きくなっている。循環空調設備の送風機の動力は以下の式で表される。<sup>(2)</sup>

$$W = Q \cdot P_s / 6120 \cdot \eta$$

ここで、 $W$ : 送風機動力、 $Q$ : 風量、 $P_s$ : 静圧、 $\eta$ : 送風機効率である。

この式において、風量・静圧はクリーンルームの構造により決定されるため、送風機動力を低減するには、送風機効率が大きいものを選定するとよいことが分かる。従来、循環空調で使用していた送風機効率は0.65~0.7であったが、送風機の構造の見直しにより、0.8まで改善した高効率の送風機が採用できた。

また、クリーンルーム内生産設備からの発熱を冷却するために冷凍機での動力も大きくなっている。

冷凍機の効率は、成績係数(COP)で表すことができ、以下の式で表される。<sup>(2)</sup>

$$\varepsilon = Q_o / P$$

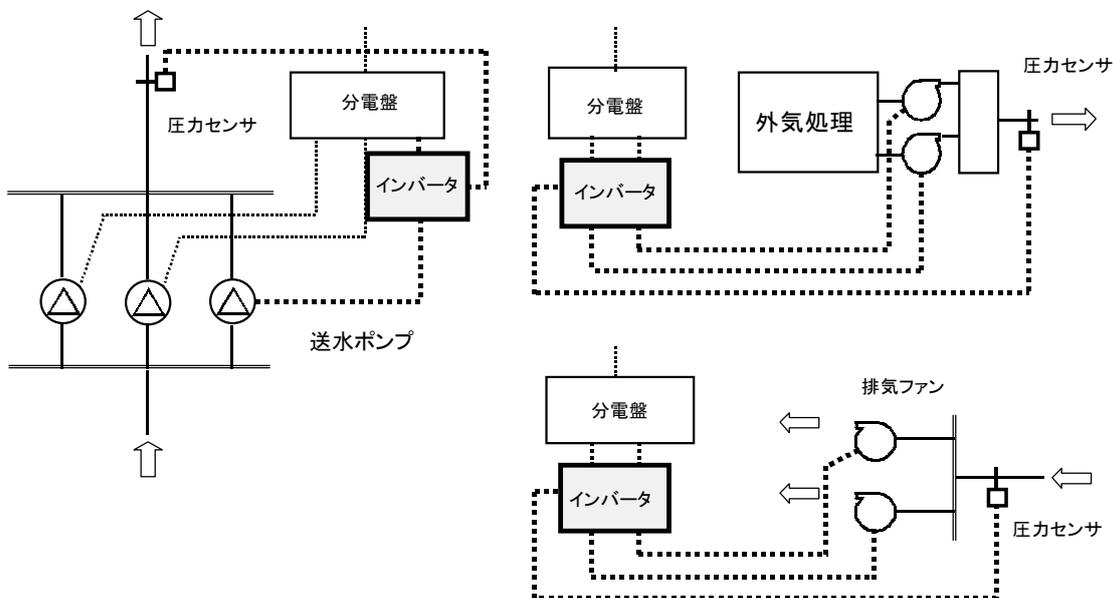


図-4 インバータシステムのフロー  
Fig.4-Inverter system flow.

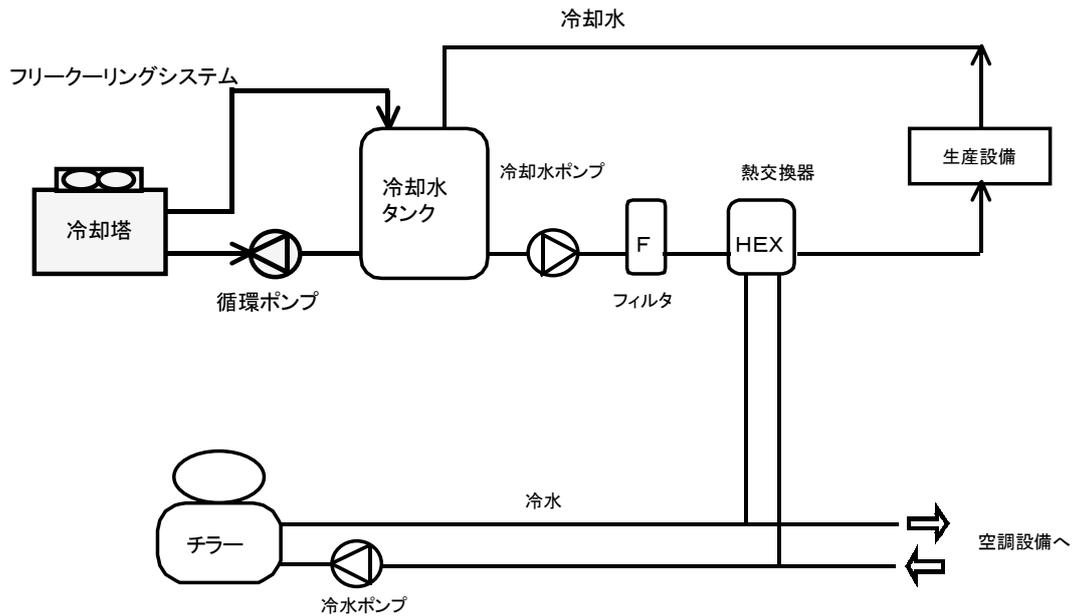


図-5 フリークーリングシステムのフロー  
Fig.5-Free cooling system flow.

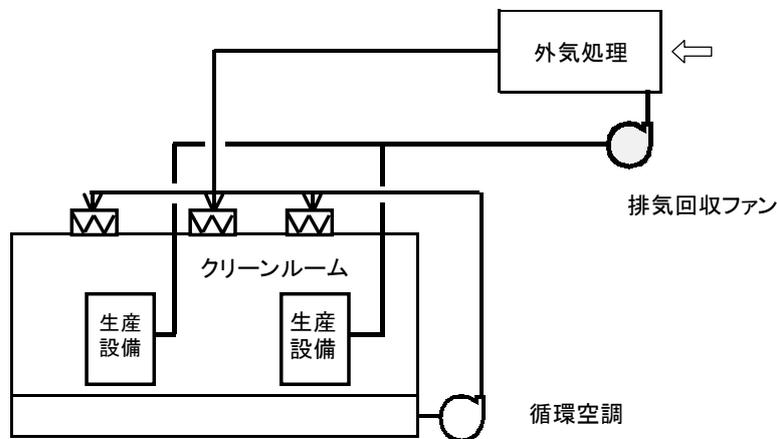


図-6 プロセス排気回収システムフロー  
Fig.6-Exhaust reclamation system flow.

ここで、 $\varepsilon$ : 成績係数,  $Q_0$ : 冷凍能力,  $P$ : 冷凍機の駆動動力である。

従来から使用していたターボ冷凍機のCOPは5.0であったのに対し、増殖ギアなし高効率型ターボ冷凍機(セントラパック)ではCOP 6.0を達成している。この冷凍機を採用することにより、冷熱源設備での電力消費を削減することができた。

#### フリークーリングシステム

半導体工場の特徴として、クリーンルーム内の発熱が大きいので年間を通して冷却を行うため、冬季においても冷熱源設備の運転が必要となっている。

ところで、富士通の半導体工場は寒冷地への立地が多いので、冬季の低温外気を冷熱源の代替とすることは省

エネルギー対策として非常に有効である。

フリークーリングシステムのフローを図-5に示す。

このシステムは、生産設備に使用している冷却水設備を対象として導入した。熱負荷の大きい生産設備の廃熱を冷却するには、冷凍機からの冷水が年間を通して必要となる。この冷水の冷熱源として外部に冷却塔を設置し、冬季の低温外気により冷水負荷を低減することで1台分の冷凍機の電力消費を削減できた。

#### プロセス排気回収システム

生産設備からのプロセス排気は、製造工程で使用する薬品ガスの排気、室内への発塵防止、生産設備の廃熱などの用途に使われ、室外へ排出されている。プロセス排気で排出された空気に見合う量を外気処理設備から温湿

表-1 省エネルギー対策一覧

大分類	中分類	省エネルギー対象設備	省エネルギー対策	削減効果KL (原油換算)
付帯設備	空調設備	送風機, ポンプ	インバータシステムによる負荷に対応した供給による省エネ	2.44%
		循環空調の送風機	高効率機器の採用による電力消費の削減	1.03%
		冷却水設備	低温外気による冷水負荷の低減	2.49%
		プロセス排気設備	プロセス排気の再利用による冷水負荷の低減	1.93%
	冷熱源設備	冷凍機	高効率機器の採用による電力消費の削減	1.39%
生産設備	洗浄設備		洗浄待ちの純粋を節約	2.48%
			プロセス排気の適正化	2.68%
	テスト設備		冷却水の排熱処理による空調動力の低減	0.05%

度調整し、クリーンルームへ供給する（図-6）。

発塵防止・廃熱で使用されるプロセス排気のうち、空調用として再利用可能なものについては、外気は、処理設備へ回収することで、温湿度調整に掛かる冷熱源の電力エネルギーを削減できた。

## 生産設備の省エネルギー対策

### プロセス条件の最適化

生産設備で使用している電力・純水などのユーティリティ使用量は各設備ごとに設定されており、その使用量は工程ごとに異なる。水洗浄処理を行う工程では、純水・排気の使用量が特に多く、その使用方法について調査を実施した。まず、純水については製品洗浄用に使用されているが、洗浄待ち時間中は水質低下防止用として約40%の純水が排出されていた（スタンバイフロー）。

このスタンバイフローを機能上問題ない程度の20%まで削減し、純水・廃水設備のエネルギーを削減した。また、水洗浄処理の工程では、プロセス排気として酸排気系を使用している。プロセス排気の風量については、当初生産装置内の圧力計をもとに低下警報が発報しない風量に設定していた。

調査の結果、生産設備での必要風量と圧力計のアラーム設定値にミスマッチングがあることが分かり、排気量の20%～60%が無駄に排気されていた。このプロセス排気の風量を適正量に変更することで外気処理設備のエネルギーを削減できた。

### 生産設備の排熱改善

電力を多量に消費する拡散炉などの生産設備は、発熱処理として空調による冷却のほか冷却水や熱排気でも冷却を行っている。

しかし、試験工程のテストについては、排熱を室内へ行き空調による冷却を行っていた。そのため、空調では冷却に必要な風量が必要となり、試験工程の空調搬送動力が増大している。

テストの機種選定に当たり、省エネルギーを考慮し冷

却水による排熱を行うテストを採用することにより、空調動力が低減できた。

## 省エネルギー対策の効果

半導体工場の省エネルギー対策は重要課題であり、これまで積極的に省エネルギー対策を実施してきた。

前述の省エネルギー対策を全工場対象に実施した場合、省エネルギー効果はかなり期待ができる。その対策効果を表-1および図-7に示す。

1998年度における半導体全工場での消費エネルギーは、原油換算で約197,000 kLである。この省エネルギー対策で15%のエネルギーが削減できる。今後、各工場へ同様の対策を実施することで省エネルギーを推進していくことができる。

## む す び

半導体工場の省エネルギー対策を推進していくには、そのエネルギー消費形態から見て、付帯設備・生産設備とも電力を中心に削減対策をしていくことが有効であることが分かる。

付帯設備については空調設備による消費が多いため、冷熱源設備の効率向上・搬送動力の低減・廃熱利用など

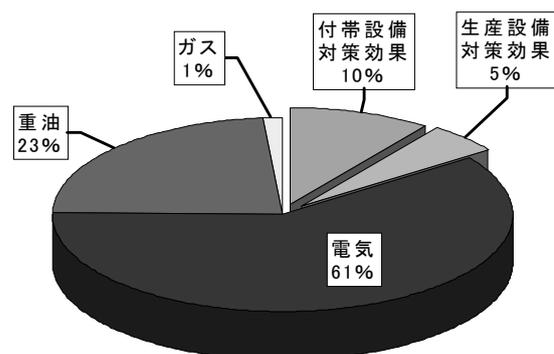


図-7 年間省エネルギー効果 (原油換算)  
Fig.7-Effectiveness of annual energy-saving.

を今後更に進めていく。

また、今回は特に触れていなかったが、コ・ジェネレーションシステムで使用している重油については、ガスへの燃料転換を行うことで省エネルギー対策を行っていく必要がある。

生産設備では、ユーティリティの削減を行うため、省エネルギーを念頭に置き設備メーカーと連携をとり標準化を進めていくことが急務となっている。

### 参考文献

- (1) - :日本の半導体業界の取り組み．EIAJ，2000．
- (2) - :空調設備の実務と知識．空調和・衛生学会，空調和・衛生工学会編，オーム社，1995．

