

半導体製造工場における 温室効果ガス削減対策

岩本 昌也
松木 幹雄

鏑田 国浩
田中 宣雄

近年、環境問題は、地球温暖化に代表されるように、地域的な問題から地球的規模の問題へと広がり、また、途上国においても、工業化・都市化に伴う公害、熱帯林の減少、砂漠化などが具体的な課題になってきた。中でも地球の温暖化は、その主な原因が人類の生活や産業活動に深く係わりのある二酸化炭素（CO₂）などの温室効果ガスであることから、その対策が重要となっている。

半導体製造工場では、CO₂排出に影響する電気および重油等の莫大なエネルギーを使用してIC製造を行っている。また、製造工程では、CO₂に比べて温暖化係数の非常に大きなパーフルオロコンパウンド（PFC）系のガスを多く使用する等、地球温暖化に対する環境負荷は非常に大きなものとなっている。

そこで沖電気の半導体製造を担うシリコンソリューションカンパニー（SiSC）では、当社の環境目標（エコプラン21）に基づきCO₂の排出量を削減するために、省エネルギー施策およびPFC類などの温室効果ガス排出量の削減対策を推進している。

地球温暖化防止に関する国内の動き

1997年に京都で開催された第3回気候変動枠組み条約締約国会議（Conference of Parties [COP] 3）で先進国が温室効果ガスを削減する数値目標と目標達成期間が合意された。ここで、日本は、2008年～2012年までに、1990年比で、6%削減することが決定された。

日本では、政府が「エネルギーの使用の合理化に関する法律」で事業者に「エネルギー使用原単位（生産量原単位）を年平均1%以上低減させることを目標として実現に努める」ことを規定し、CO₂の排出に関連するエネルギー使用量の削減を指導している。

温室効果ガスの削減に関しては、世界半導体会議（WSC）で、「1995年を基準として、2010年までに総排出量を10%以上削減する」という絶対量によるPFC等排出削減に関する国際共通目標が決定した。日本でもWSCにおける決定を受けて作成した自主行動計画に基づき各社で2010

年までの削減目標を作成し実施している。

日本の半導体産業は、電子情報技術産業協会（旧電子機械工業会）が1998年に「電子産業におけるHFC等の排出抑制に係る自主行動計画」として削減基準を策定し、経済産業省（旧通産省）へ提出している。

消費電力量とCO₂排出量の現状

SiSCは、沖電気の全消費電力の約90%を占める現状にあり、沖電気としてCO₂削減目標を達成するためには、SiSCの省エネルギー施策が重要な課題となっている。

図1にSiSCの現状における消費電力量推移（原単位）とCO₂排出量推移（原単位）の実績を示す。

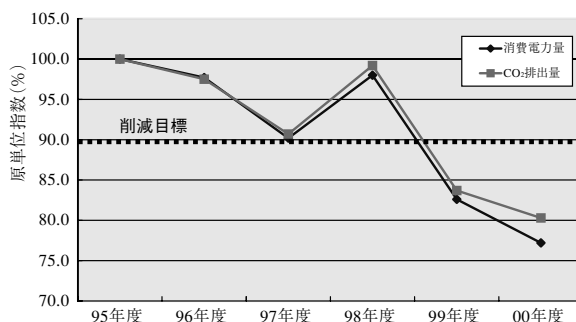


図1 SiSCの消費電力量とCO₂排出量推移

この結果では、現在までの省エネルギー施策により、1999年度の消費電力量（原単位）は、1995年度比で17.4%削減、CO₂排出量（原単位）も16.3%削減できている。SiSCの1999年度までの実績では、2000年度までのエコプラン21の目標値である1995年度比10%（原単位）の削減が達成できた。

また、温室効果ガス排出量削減に関連して、1998年に1995年からの対象ガス排出量の実績を調査し、2010年までの排出量削減についてロードマップを作成した。

目標レベルは、自主基準で1995年実績の90%としてい

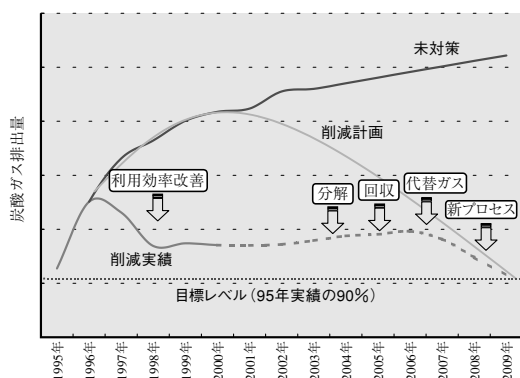


図2 温室効果ガス排出量削減ロードマップ

る。ロードマップでは、未対策の場合に2010年までの排出量は目標レベルの5倍を超えることが推測されるため、各種の削減施策を実行して2010年までに目標レベルをクリアする計画としている。2000年度までの実績は、ロードマップに比べて大幅に削減されている。

温室効果ガス削減対策

SiSCで近年実施したコージェネレーションシステム（CGS）の導入および冷熱源エネルギーの削減による省エネルギー施策とPFC系ガスの排出量削減施策について紹介する。

(1) コージェネレーションシステムの導入

従来の電力会社の火力発電システムは、発電時に発生した熱エネルギーを利用しないため、エネルギー利用効率はわずか35%程度である。一方、CGSは、複数エネルギーの有効利用および送電ロスの解消で、エネルギー総合利用率を50%以上に高め、環境負荷を低減できる熱電併給システムとなっている。

図3は、SiSCの量産工場である宮崎沖電気（宮崎沖）に

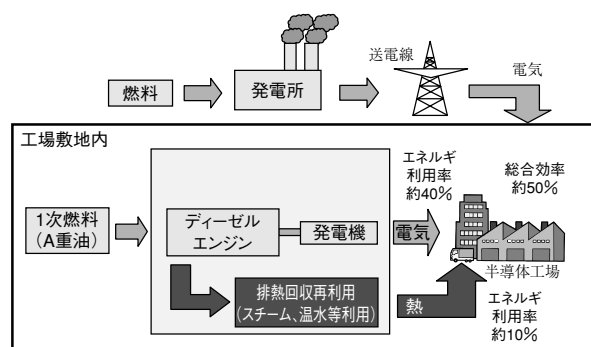


図3 宮崎沖の併用エネルギー供給システム

表1 運転性能および排ガス排出基準の結果

項目	単位	計画	結果	備考
運転性能	発電量	KW/Hr	9,900	9,971
	蒸気発生量	Ton/H	3.68	3.80
	燃料消費量	L/KWH	0.248	0.243
環境負荷	窒素酸化物	Vol ppm	950	930 計画の98%
	煤塵	g/Nm3	0.100	0.015 計画の15%
	硫黄酸化物	K値	17.50	0.24 計画の1.4%

表2 エネルギー削減効果

	削減率
原油換算	1.5%
CO ₂ 排出量	3.1%

導入した、オンサイト方式のCGSによる熱電併給システムと従来の電力会社からの買電を併用したシステムの概要である。CGSは、ディーゼルエンジン、発電機および排ガス蒸気ボイラの組み合わせで構成されており、導入したシステムの総発電量は約10,000KW/Hrで、既設の受電システムと系統を連携して生産動力等へ電源を供給している。さらに、約330℃のエンジン排熱を利用して冷熱源機器等へ蒸気を供給している。

表1に運転性能および排ガスによる環境負荷の評価結果を示す。発電量、蒸気発生量、燃料消費量は、ほぼ計画通りの結果となった。環境影響面では、窒素酸化物・煤塵・硫黄酸化物ともに当初計画した値を下回る良好な結果となった。

表2は、エネルギー削減効果の実績で、エネルギー換算のCO₂排出量では、絶対排出量比で年間に3.1%削減することが出来た。

このように、消費電力量が突出している半導体製造工場では、どのようにエネルギーを効率的に利用し省電力を推進するべきが重要な課題となる。したがって、CGSのようにエネルギー利用効率の高いシステムの導入は、省エネルギーおよび地球温暖化防止対策の重要な手段となる。

(2) 冷熱源エネルギーの削減

SiSCでは、全消費電力の約20%を占める冷熱源設備の省エネルギー取り組みを重点に実施している。冷熱源設備の中で電力の消費が大きな機器は、冷凍機と言える。冷凍機は、冷水を造り、冷熱エネルギーを空調設備、生産冷却水設備等へ供給する機器である。

SiSCでは、冬期と中間期（春／秋）の外気および水などの自然エネルギーの有効利用による冷凍機の負荷低減、および高効率冷凍機への更新により、冷凍機の省エネルギーを図っている。

自然エネルギーの有効利用による省エネルギーの1つは、外気からの熱回収によるフリークーリングシステムで概要

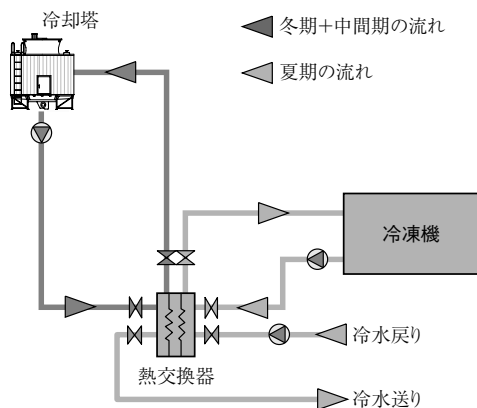


図4 フリークーリングシステム概要

を図4に示す。

フリークーリングシステムでは、冷却塔による気化熱を熱エネルギーとして利用し5℃から14℃程度の冷水を発生させて冷凍機の負荷を低減して省エネルギーを図ることができる。しかし外気温度を利用するため、年間に回収可能な熱量には地域格差が生じる。

例えば、図5に示す500RTの開放型冷却塔では、宮城沖電気（宮城沖）と宮崎沖のように北と南の地域では、回収可能熱量の実績値で年間3000ギガcal程度の差が生じている。

もう1つの自然エネルギーの有効利用は、用水の温度差を熱エネルギーとして回収し、省エネルギーを図るものである。宮城沖では、冬期に工業用水の温度が4～8℃の低温となるため、この冷水を有効に利用することで冷凍機の負荷を低減することができる。

このように宮城沖では、フリークーリングシステムおよび工業用水の冷熱回収システムの利用により冬期には、冷房負荷の約80%が自然エネルギーで対応できる。その結果、年間約19,000ギガcalの熱回収ができ、約630万kwhの冷凍機消費電力量が削減できた。また、宮崎沖は南国

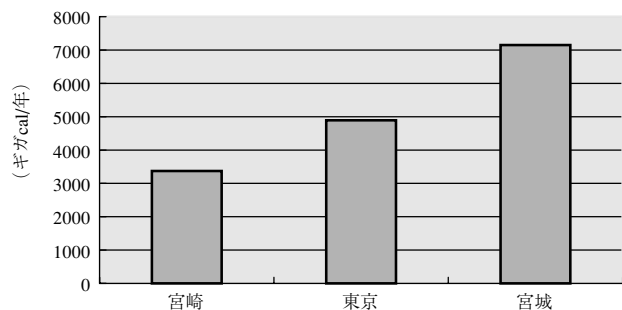


図5 地域別年間回収可能熱量（開放型冷却塔500RT）

表3 旧型—新型ターボ冷凍機エネルギー比較表

項目	単位	旧型ターボ冷凍機	高効率ターボ冷凍機	差
冷凍能力	USRT	750	750	—
消費電力	KW	528	442	▲86
定格電流	A	54	43	▲11
効率	KW/USRT	0.704	0.589	▲0.115

に工場があるため、自然冷熱エネルギーの利用率は少ないが、フリークーリングシステムの採用で年間約3000ギガcalの熱回収が可能で約100万KWhの冷凍機消費電力量を削減できる。

次に高効率タイプの冷凍機への更新による省エネルギー施策の実績を紹介する。最近では、大容量の電力を消費する冷凍機も高効率タイプの機種があるため、旧型の冷凍機を更新する場合、同じ冷凍能力でも消費電力の少ない高効率冷凍機を導入し省エネルギーを図ることが可能となる。表3に冷凍能力750USRTの旧型冷凍機と最新型の高効率冷凍機のエネルギー比較表を示す。

SiSC全体では、旧型の冷凍機更新時に最新型の高効率冷凍機を導入してきた結果、更新前と比較して年間約650万KWhの電力を削減することができた。

(3) PFC系ガス排出量削減

WSCでは、CO₂と比べ、高い温暖化係数（Global Warming Potential：GWP）の四フッ化メタン（CF₄）、六フッ化エタン（C₂F₆）、八フッ化プロパン（C₃F₈）、パーフルオロシクロブタン（C₄F₈）、三フッ化メタン（CHF₃）の5種類のPFCガスに六フッ化硫黄（SF₆）、三フッ化窒素（NF₃）の2種類を加えた7種類のガスを削減目標の対象として設定した。

この7種類は、半導体製造では、主にプラズマエッチングプロセスおよびCVD工程のチャンバクリーニング用として必須のものとなっている。そこで半導体業界では、「ガスの使用効率化」「除害装置による分解」「排ガスの回収・再利用」「代替ガスの採用」「新プロセスの開発」を主な対策として排出量の削減を推進している。SiSCでは、現在「ガスの使用効率化」および「除害装置による分解」を中心にPFC系ガスの排出量削減を進めている。

PFC系ガスは、空气中で非常に安定な性状を有するため温室効果が高いと言われている。したがって、その分解には、大きなエネルギーが必要となり、「高温燃焼酸化」「触媒を利用した熱化学反応」「プラズマ放電」などの特別な方式を利用した装置が一般的となっている。これらの分解方式は、対象プロセスおよび混合処理されるガス種・量など温室効果ガスの用途・目的別に検討する必要がある。そこで、各分解方式の処理容量および処理性能

表4 温室効果ガス分解方法比較表

分解方式	燃焼酸化方式	化学反応方式	プラズマ方式
エネルギー	燃料	薬剤（触媒） 電気	電気
分解能力(CF ₄)	≧95%	≧95%	≧95%
処理容量	大	中	小
スペース	大	中	小
可燃性ガス処理	可	可 (多層薬剤)	困難
腐食性ガス処理	やや難	可	やや難
デポ物処理	可	不可 (前処理要)	やや難
副生成物	後段処理	多層薬剤処理 後段処理	後段処理
その他	燃焼用の二次 空気が必要	薬剤の交換又は 充填が必要	反応用のO ₂ ,H ₂ O が必要

などの特徴を比較した結果を表4に示す。

この結果より、製造プロセス別に分解方式を検討すると、CVD装置系では、危険な可燃性ガスやデポ物の同時処理、パージガスを含めた大容量の排気ガスを完全に処理可能な燃焼酸化方式による分解が効率・安全の面で有効的と言える。逆にエッチング装置系のように、小容量の排気ガスで処理対象ガスも同性状の場合は、比較的に環境負荷の小さい薬剤を用いた化学反応方式およびプラズマ方式による分解が有効的と言える。また、スペースの面では、既存のラインに処理装置を追加する場合など多くのスペースを確保できない場合は、設置スペースのコンパクトなプラズマ方式が有効的となる。逆に、スペースに余裕がある場合は、大容量ガスの一括処理が可能な大型の燃焼酸化方式が有効的と言える。

表5は、SiSC全体の1995年排出量実績の90%、つまり目標レベルを1.0とした場合の2000年までの排出量の実績比を示す。

表5 温室効果ガス削減実績

	1997年	1998年	1999年	2000年
未対策の排出量	2.2	2.9	3.2	3.5
対策後の排出量	2.2	2.0	1.5	1.5
削減率(%)	0.0	31.0	53.1	57.1

※1995年排出量の絶対値90%を1.0とする

2000年までの実績では、「利用効率の改善」および「除害装置による分解」を主な施策として未対策の場合の予測排出量に対して57%という予想以上の排出量抑制が実現できたが、今後は、2010年までの目標達成に向けて更なる対策が必要となってくる。

SiSCにおける今後の温室効果ガス削減対策

省エネルギーに関しては、今後も「エネルギー使用量を原単位比で年平均1%以上低減させる」という目標に対し各

種施策を実行していかなければならない。そのためには、ファシリティ分野と比較して省エネルギー施策の進んでいない生産装置の分野に関連する施策が重要となる。そこで、プロセス部門、ファシリティ技術部門および装置メーカーが連携して生産装置関連の省エネルギー化を推進していく計画としている。さらに、ファシリティ技術部門では、単独に以下の省エネルギー施策を継続検討課題として導入を進めている。

① 未利用エネルギーの回収・活用

② CGS全面導入

③ 氷蓄熱導入によるエネルギーの高効率使用

④ クリーンルーム空調循環エネルギーの効率化

PFCガス排出量削減に関しては、ロードマップ実現のために重要なことは、プロセス部門とファシリティ部門が連携して対策を推進することである。プロセス部門は、外部機関、装置メーカーおよび材料メーカーと共同で「代替ガス」や「新プロセス」などの排出量削減施策の早期導入を当面の課題として推進している。また、ファシリティ部門では、「温室効果ガスの除害装置による分解」を継続して推進し、将来的な技術として「PFCガスの回収再利用」について導入に向けて評価・検討を継続している。

あ と が き

近年、我々企業を取り巻く環境には、「地球温暖化」以外にも「大気汚染」「騒音・振動」「水質汚濁」「ゴミ問題」「資源枯渇」など多くの地球レベルの環境問題がある。我々は、これらの環境問題に関しても、企業責任として問題意識を持って対応していきたい。



● 筆者紹介

岩本昌也：Masaya Iwamoto.シリコンソリューションカンパニー 生産センタ 環境技術チーム

鍵田国浩：Kunihiro Yarita.シリコンソリューションカンパニー 生産センタ 環境技術チーム

松本幹雄：Mikio Matsuki.シリコンソリューションカンパニー 生産センタ 環境技術チーム

田中宣雄：Norio Tanaka.シリコンソリューションカンパニー 生産センタ 環境技術チーム チームリーダー