

半導体工場における有機廃液の削減事例

— バイオリサイクルシステムによる改善 —

石垣 秀高

沖電気工業株式会社シリコンマニュファクチャリングカンパニーの生産拠点である宮城沖電気では、2002年2月に「ゼロ・エミッション」を達成維持している。

「ゼロ・エミッション」とは製造工程から排出される廃棄物を別の産業の再生原料として利用する「廃棄物ゼロ」の生産システムである。再生原料のシステムは、循環資源を原材料として再利用するマテリアルリサイクルと、熱を得るために利用するサーマルリサイクルがある。

宮城沖電気「ゼロ・エミッション」の再資源化内訳は、マテリアルリサイクル64%、サーマルリサイクル35%である。現在、環境保全対策活動として、マテリアルリサイクル率を向上させるとともに、工場廃棄物削減を継続的に実施している。

図1は2002年度の宮城沖電気の産業廃棄物の内訳を示したものである。この図からわかるように、有機廃液が51%、脱水汚泥が36%を占めている。この有機廃液は外部業者でサーマルリサイクルしているが、排出量削減対策およびマテリアルリサイクルへの転用が急務の課題となっている。また、脱水汚泥は外部セメント業者がセメント原料としてマテリアルリサイクルしている。

本稿では、廃棄物の減量化対策として排出量が突出している有機廃液に着目し、従来の有機系廃液処理方法である微生物による分解処理法を、工場内余剰エネルギーの活用で改善し、有機廃液の大幅な削減を達成することができたので、これを紹介する。

半導体工場の有機廃液と処理技術

半導体工場において生じる、有機廃液はホトリソ工程で発生する現像廃液と、エッチング工程で発生する剥離廃液がある。

沖電気半導体工場での現像廃液処理は大きく分けて2種類の処理方法で行われている。

一つは、RO膜（逆浸透膜）で廃液をろ過する方法である。透過水をサイト内で排水処理、あるいは下水または河川に放流、または高度浄化処理後、超純水製造工程でリサイクルする。一方、濃縮水はその濃度が数十%で

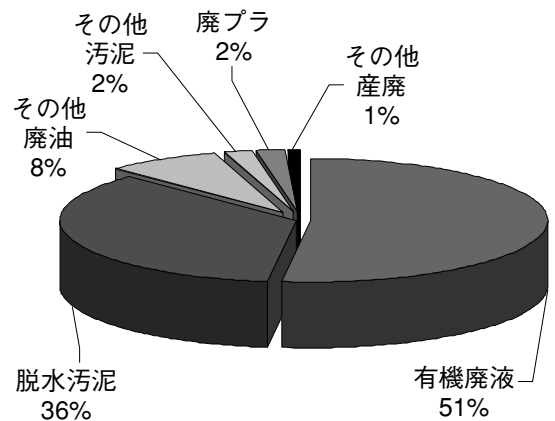


図1 2002年度産業廃棄物の内訳

あり、サイト内での処理が不可能であることから、外部業者によってサーマルリサイクルされる。

もう一つの方法は、微生物リアクターでバクテリアによる生物分解し、後段の排水処理設備で高度浄化し河川放流する方法である。

RO膜処理法は、設置スペースが小さく、イニシャルコストが安価である一方、産業廃棄物処理および定期的な膜交換のランニングコストが高いという問題がある。

微生物処理法は設置スペースが大きく、イニシャルコストが高むが、返送汚泥がなく、空気と栄養剤の調整のみで運転管理が容易であるとともに、産業廃棄物が発生しないという利点がある。

エッチング工程で発生する剥離液は、半導体製品の微細化、多層化の加速に伴い発生量が増加している。この剥離液は、その主成分が硫黄を含んだ有機物であるDMSO（ジメチルスルホキシド）であり、このDMSOは難分解性物質であるとともに、分解工程で硫化メチル、メチルメルカプタンの中間生成物を經由し、硫酸にまで酸化される。

このエッチング工程では剥離処理後、IPA（イソプロピルアルコール）および超純水洗浄処理をしており、剥離液にはこれらが混合している。超純水洗浄排水はTOC（全有機炭素）が数百mg/Lの濃度であることから、これを回収し超純水としてリサイクルすることが困難である。

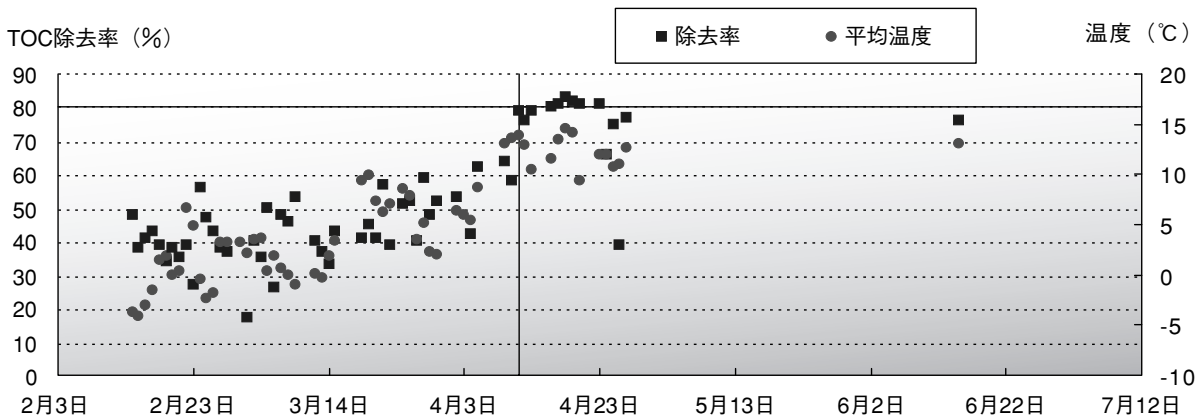


図2 微生物リアクターTOC除去率と外気平均温度との推移 (2001年2月～7月)

この剥離液の処理方法として、RO膜（逆浸透膜）処理法は廃液に数種類の成分が含有していることから、その浸透圧に相異があるので、効果的に処理することが困難である。また、微生物処理法は、分解工程で発生する硫化メチル、メチルメルカプタンが悪臭物質であることから、処理過程において蓄積しないような処理が必要である。

微生物処理の問題点

微生物処理法において、処理温度の制御と濃度変動に伴う問題が重要となる。

図2は2001年2月から2002年7月までの微生物リアクターのTOC除去率の季節変動推移を表している。宮城沖電気は、当初より加温および保温設備を施さずに微生物処理を行っていた。設計当初は微生物負荷が小さかったため、滞留時間を40時間とし分解時間を長めに設定することで処理効率を補っていた。

ところが、生産負荷の変動に伴い、有機廃液が増量するため、滞留時間が24時間程度となった。図2では、この時点での推移データを示している。この図からわかるように、外気温度が約15℃以上で微生物が再活性化され、TOC除去率が処理水水質と温度による依存性が強いことがわかる。

表1は微生物リアクターと接触する有機廃液原水濃度である。表からわかるように濃度変動は非常に大きい。微生物処理では、BOD（生物化学的酸素消費量）負荷を一定にすることが望ましく、このような急激な変動条件下では、微生物の死滅等が発生し、微生物処理が進まず、DMSO分解工程で発生する硫化メチル、メチルメルカプタンの悪臭物質に悩まされてきた。

微生物処理の改善方法

処理温度の制御は工場内余剰エネルギー活用を第一に

表1 微生物リアクター原水濃度

	濃度 (mg/L)
DMSO	20～100
TMAH	500～900
IPA	1,500～4,000
BOD	1,000～4,000
TOC	500～2,000

検討してきた。半導体工場では、洗浄工程で温純水を使用している。この温純水製造工程では、UF膜（限外ろ過膜）処理で温水濃縮液が発生し、従来はこれを排水処理してきた。また、工場内熱源供給設備としてボイラー設備が設置され、工場内に蒸気を供給している。

その敷設配管は蒸気性状を考慮して、ドレイン配管を地中にフローしていた。

この2つの熱源に着目し、微生物リアクター内温度変動を抑えることができた。

表1で示した微生物リアクターの濃度変動は、2種類の有機系薬品である現像液と剥離液の混合がもたらしている。従来、宮城沖電気では6インチウエハ工場、8インチウエハ工場それぞれに微生物リアクターを有していたが、今回、工場ごとの廃液処理を、廃液種類ごとに処理をつなぎ変える、つまりエンドパイプ対策を実施した。

改善の効果

(1) 微生物リアクターの安定化と処理能力の向上

図3は改善された工場内微生物リアクターのフローである。これによる、微生物リアクターの処理温度とTOC除去率の季節推移を示したものが図4であり、微生物リアクター処理水温度とTOC除去率の相関を表したのが図5である。図4からわかるように、処理水温度は季節変動に左右されず調整することが可能となった。また、図5からわかるように微生物リアクター処理水温度が26℃以上でTOC

分解効率が活性化することが確認できた。

一方、エンドパイプ対策後の微生物リアクター流入濃度を表2に示す。DMSO系、TMAH（水酸化テトラメチ

ルアンモニウム）系それぞれで原水濃度がより安定化していることがわかる。

この濃度の安定化および温度コントロールによる微生物リアクター処理能力変化を示したのが表3である。DMSO系微生物リアクターは1.4倍、TMAH系微生物リアクターは1.5倍処理能力が向上した。

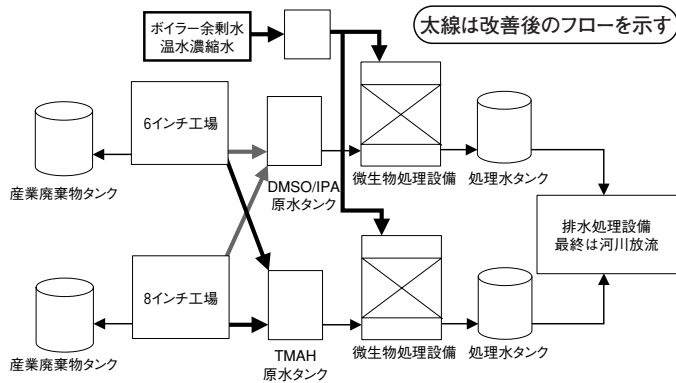


図3 改善による工場内微生物リアクターフロー
(黒線は従来フロー、赤線は改善後のフローを示す)

(2) 有機系産業廃棄物の削減

このような微生物リアクターの能力向上に伴い、従来産業廃棄物処理していた有機廃液を、順次、微生物リアクターで処理し、目的の一つである産業廃棄物削減を試みた。図6は有機系産業廃棄物の（計算上の）削減の推移を示している。

2003年7月より市況の好調に伴い、生産稼働を増加し、それに伴う有機廃液量が計算値であるが増加している。同時に、2003年5月より微生物リアクターの処理が安定化し、継続的に有機廃液が削減されていることを表している。

宮城沖電気では放流排水水質に関して水質汚濁防止法で定められた基準に上乗せしたより厳しい基準で関連自治体と公害防止協定を遵守している。そのため、微生物リアクターで有機廃液を分解処理する際に、最も懸念されるBOD（生物化学的酸素消費量）を考慮する必要がある。このBOD値は、水質汚濁防止法では160mg/L以下であるが、公害防止協定では20mg/L以下と非常に厳しい管理を求められている。図7は河川放流しているBODとTOCの季節推移を示したものである。産業廃棄物処理していた有機廃液を微生物リアクター処理することにより放流水質に異常がないこと、法的遵守されていることを示している。

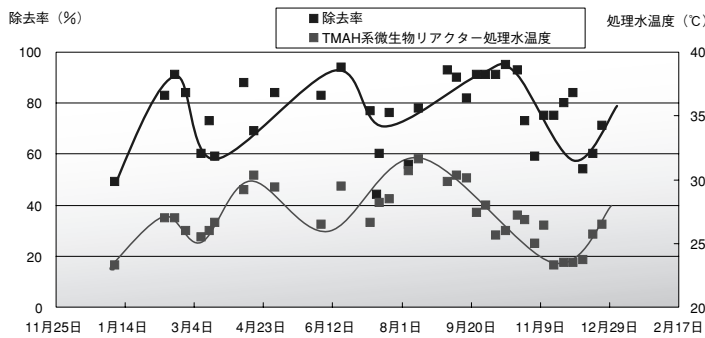


図4 微生物リアクターTOC除去率の季節変動
(2002年11月～2003年12月)

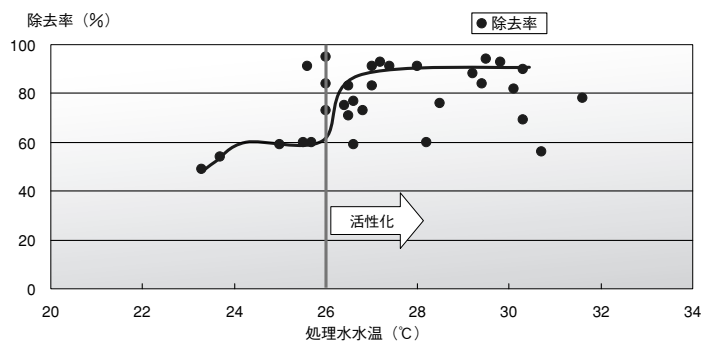


図5 微生物リアクター処理水温度とTOC除去率相関

表2 エンドパイプ対策後の微生物リアクター原水濃度

	濃度 (mg/L)
DMSO	100
TMAH	1,000
IPA	1,000
BOD	500~1,500
TOC	500~1,500

表3 改善による微生物リアクターのTOC負荷能力

(改善前)		(改善後)	
	TOC負荷量		TOC負荷量
6インチ微生物リアクター	4kg/日	DMSO系微生物リアクター	6kg/日
8インチ系微生物リアクター	55kg/日	TMAH系微生物リアクター	75kg/日

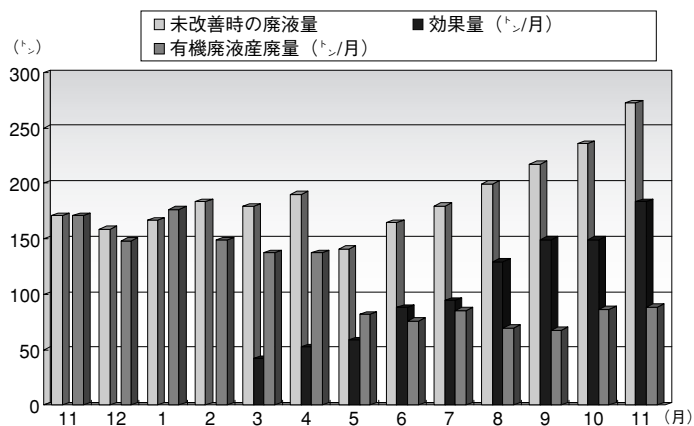


図6 有機系産業廃棄物削減推移 (2002年11月～2003年11月)

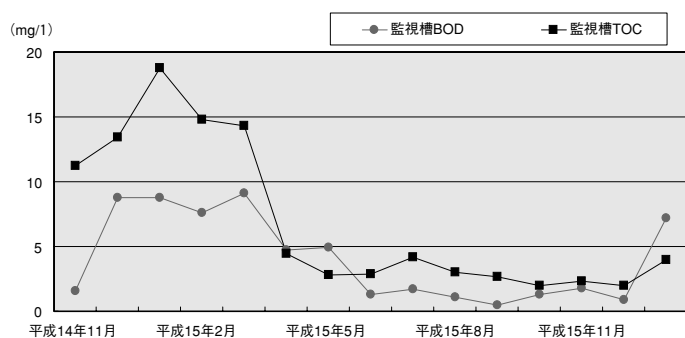


図7 BODとTOCの季節推移

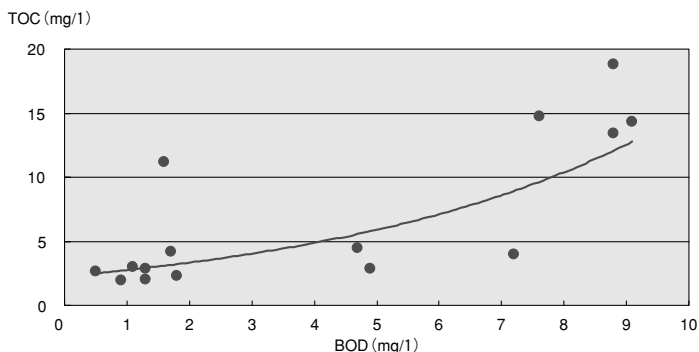


図8 BODとTOCの相関

また、図8はこの期間のBODとTOCの相関を示した図である。BOD測定はJIS規格で5日間培養を要するので、常時監視は非常に難しいが、図8で示すように、低濃度ではTOCと相関関係を持つので、TOC濃度を監視することで、BODの監視が可能となった。

結論

今回、工場内余剰熱源を利用し、微生物リアクター温度を安定化するとともに、エンドパイプ対策により、微

生物リアクター濃度を安定化することを試みた。その結果、

- ①微生物リアクター内最適化温度は26℃～36℃であることを見出した。
- ②微生物リアクター能力が1.4倍向上することで有機系産業排廃棄物が削減できた。その削減効果は2003年度で約1500トンである。
- ③常時監視が難易であるBODはTOCと相関を持ち、常時監視が可能である。

ことが確認できた。

これによって、微生物処理法を用いた有機廃液処理能力を向上させることができ、有機廃液を大幅に削減できた。

あ と が き

宮城沖電気は有機廃液処理として古くから微生物処理を採用してきた。近年の有機溶剤の多様化により、今後は微生物処理が困難な物質が増加することが危惧される。今回の取組事例は、現象論的対応にとどまり、分解するバクテリアおよびそのバクテリアと食物連鎖を引起す微生物群を見出すには至っていない。また、微生物リアクター内で生じる温度差による影響など把握できていない点もある。

このような課題を解決することで半導体工場だけでなく液晶工場等で発生する有機廃液を、自社内に微生物リアクターを設置し、自然界に介在するバクテリアおよび微生物群を利用して分解処理することが可能となってくる。

また、全ての半導体工場では「ゼロ・エミッション」体制が確立されており、循環型社会に貢献しているが、先述したように有機廃液はサーマルリサイクルされている事例が多いのも事実である。排出者責任として、産業廃棄物の減量と同時に自社処理をさらに推進していくことが必要と考える。「地球にやさしく、自然界に介在する微生物を利用する処理」は今後より一層の発展が期待できるであろう。 ◆◆

● 筆者紹介

石垣秀高: Hidetaka Ishigaki, 株式会社沖環境テクノロジー 第二事業部 宮城営業部