

プリント配線板製造における 環境対策

白鳥 量介
木村 均

池山 浩司
茨木 富貴

沖プリントドサーキット株式会社（以下OPCと記す）はOKIグループ内で多層プリント配線板を製造する唯一の拠点である。多層プリント配線板の製造は他の拠点での生産活動と比較すると投入される化学物質やエネルギー、排出される産業廃棄物など環境に与える影響が極めて大きいといえる。このためOKIグループ全体の環境負荷を考えるとOPCの占める割合が大きく、グループとしての環境保全活動から外すことのできない拠点となっている。

OPCでは沖本社、拠点および関連企業のご指導を戴きながら1998年12月にISO14001の認証を取得した。それまでの環境保全は環境担当部署だけの業務と考えられており省エネルギーや廃棄物減量化などの環境対策は環境担当部署だけが行っていた。この認証取得活動がきっかけとなり、全社活動としての環境保全の重要性がOPC社内で再認識され、環境に与える影響を軽減すべく、全社的に積極的な環境保全活動を展開した。本稿ではOPCにおける環境保全活動の概要とプリント配線板製造における具体的な環境対策事例を紹介する。

OPC本社・工場は他の事業所の立地条件と異なり、上越テクノセンターという異業種企業十数社が入る工場団地内の一員として立地し、上越テクノセンター（三菱化学株式会社 直江津事業所）から電力、上水、蒸気などの供給を受け、工場排水、浄化槽排水を排出している。

製造工程は3班2交代制による24時間稼働を基本として、生産量の変動および各工程の業務形態に応じて稼働時間を調整している。昨年度の生産実績は表1のとおりで、最終検査工程を除くすべての工程で24時間稼働している。

表1 プリント配線板の生産量（表層換算）

層数	生産量
2層（両面）	31千㎡／年
4層	69千㎡／年
6層	30千㎡／年
8層	5千㎡／年
10層以上	8千㎡／年
合計	143千㎡／年

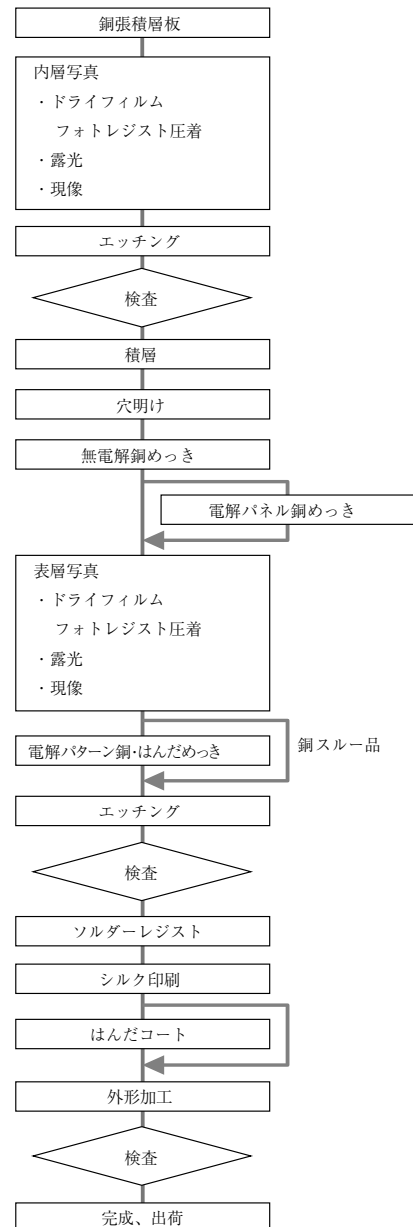


図1 代表的な製造工程フロー図

プリント配線板の製造工程

多層プリント配線板の製造は、内層材を製作し、積み重ねて表層材の加工を行う。

内層材を製造する工程では材料となる銅張積層板の表面に導体パターンを形成するため、ドライフィルムフォトレジスト圧着、露光、現像を行い、エッチングを行う。エッチングを完了した内層材は検査を行い、表層材で挟み込んで積層する。表層材を加工する工程では層間の導通をとり、表層に導体パターンを形成するため、積層された板を穴開けし、穴内に銅めっきを施し、内層材の導体パターン形成と同様の加工を行う。その板にソルダーレジスト塗布、シルク印刷を行い、外形をカットして製品として出荷する。プリント配線板の代表的な製造工程フローを図1に示す。

プリント配線板製造における環境側面

プリント配線板の製造、販売を継続するための環境側面の概要は図2に示すとおり、エネルギー、製品材料、加工材料などを投入し、プリント配線板を製造、販売し、その製造段階で廃棄物、排水、排出ガスなど多くの不要物を排出している。

図1で説明した製造工程は、加工の方法によって大きく3種類の工程に分けることができる。ひとつは穴開けや外形加工などに代表される機械加工の工程であり、もうひとつはエッチングや電解、無電解めっきなどに代表される化学処理の工程、それと検査の工程である。これらの製造工程の中でも内層・表層写真の現像、エッチング、電解、無電解めっきのような化学処理の工程では、スルーホールを含む製品表面に化学的処理を施すために多種・多量の化学物質を使用し、多量の廃液を排出することになる。図3はプリント配線板の主要製造工程における環境側面を表したものである。

2000年度実績での主な環境側面の投入・排出量を表2に示す。

プリント配線板製造における環境保全対策

OPCのプリント配線板製造における環境への取り組みは、1985年の操業当初より「さわやかな地球を私たちの行動で守ります」をスロー

ガンに有害物質の減量化を大方針としている。オゾン層保護のため「フロン使用中止」や土壌汚染防止のため「有機溶剤使用中止」などの対策を継続推進してきた（図4参照）。

OPCの環境保全対策は、1998年のISO14001認証取得を契機として環境保全の視点だけでなく、より効果のある活動とするために品質向上や生産性向上に関わる全社活動と連携も持たせた体系的、階層的な活動に特徴がある。

以下にこれまでの経緯と今後の取り組み方針の要旨を述べる。

表2 主な環境側面

境側面の名称	投入・排出量	備考
電力	1,500万kwh/年	※1
化学物質	2,000 t / 年	
特別管理産業廃棄物		
廃アルカリ	5,700 t / 年	
廃酸	3,300 t / 年	
産業廃棄物		
廃アルカリ	700 t / 年	※2
廃プラスチック類	590 t / 年	※3
汚泥	270 t / 年	
一般廃棄物	30 t / 年	

※1 第一種エネルギー管理指定工場

※2 現在、社内中間処理を行っているコンプレッサ・ドレインを含む

※3 現在、有価売却品となっている金、銅付廃基板およびマイラー（PET、PE）を含む

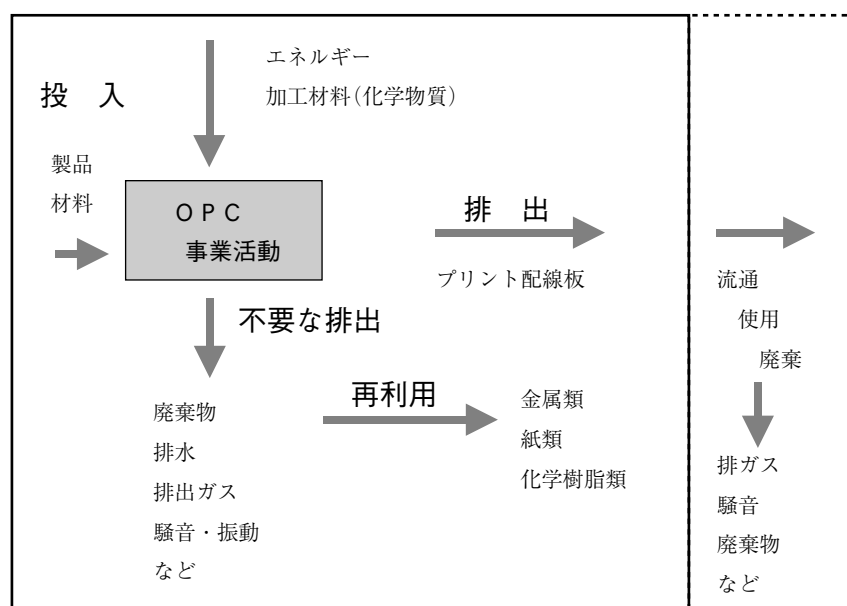


図2 環境側面の概要

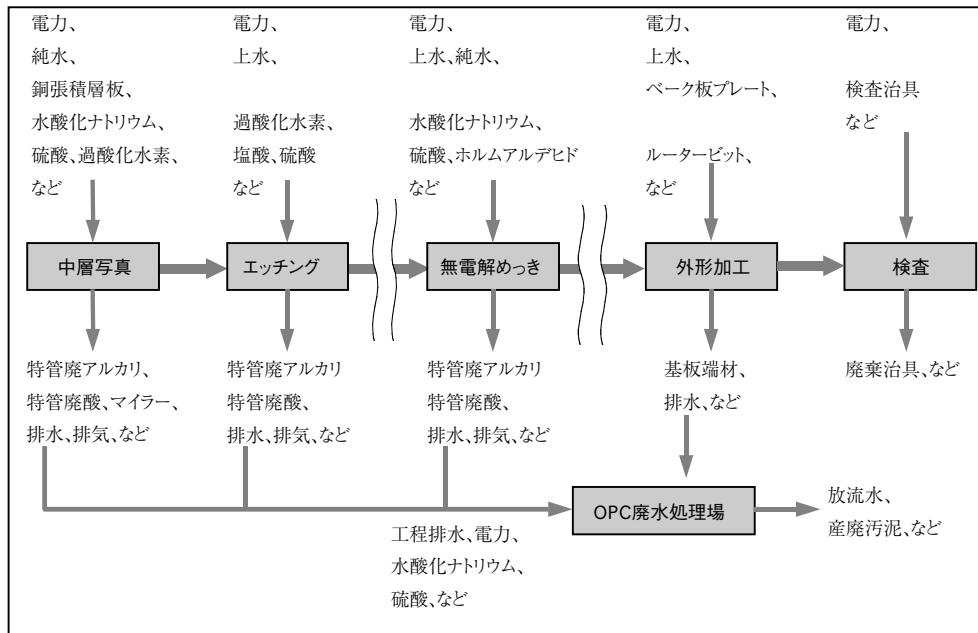


図3 主要製造工程における環境側面

活動項目	1985	1990	1995	1998	1999	2000	2001
全社活動	5S活動、Qプロ活動 *1)			ISO14001取得			
	Challenge50 (VPM) 活動 *2)						
	Challenge80 (TPM) 活動 *3)						
	Challenge2000活動 *4)						
	Challenge1/2 (The Half) *5)						
環境保全	オゾン層保護 フロン使用中止	→ 代替物質への切り換え					
	有機溶剤削減 (水溶性化による使用中)	→ トリクロロエチレン 1,1,1	→ トリクロロエタン	→ ジクロロメタン			
	有害物質削減	→ クロム使用中止		鉛フリー基板 ハロゲンフリー基板	→	→	→
	廃棄物減量化 (リサイクル化の推進)	→ アルミ板、銅エッチング液、現像液		→ ドリル、マイラー、基板端材			

図4 OPCの環境への取り組み

(1) エネルギーの削減（省エネルギー）

プリント配線板の製造はまさに装置産業であり、その製造装置もめっき装置や連続乾燥炉など多くの電力を消費するものが多い。OPCは「エネルギーの使用の合理化に関する法律」で規定される「第1種エネルギー（電気）管理指定工場」であり、国の政策である省エネルギーの推進を積極的に行う義務を負っている。国が示す「工場

におけるエネルギーの使用の合理化に関する事業者の判断の基準」を遵守し、消費電力の削減を図ることが基本となる。

具体的な対策は次のようになる。

①新規導入設備について
新たに導入する設備については、従来のものより省エネルギー設計されているものを選択する。

②現有設備について
すべての設備について、ポンプ、モータ、プロア等の最適能力を見直し、インバータ追加や小型化するとともに、一定時間製品が投入されない場合に自動停止する“アイドルストップ機能”を追加する。

③設備全体について
生産量の変動に対応し、最も効率のよい運転が行われるよう管理する。

(2) 製品材料の削減

プリント配線板を構成する銅張積層板やソルダーレジストなどの製品材料の削減は、プリント配線板そのものを薄型化、小型化することが最も効果を上げることができる。しかし、これらは顧客主導の対策でありOPCが単独で進めることはできない。

(3) 加工材料（化学物質）の削減

プリント配線板の加工に使用する化学物質の削減は、次の三つがキーワードとなる（図5）。

*1) 5S活動は「整理、整頓、清潔、清掃、躰、習慣」5文字の頭文字でとった工場のモラルアップ活動。Qプロ活動はQuality プロジェクト活動で品質改善の全社活動。

*2) Challenge50 (VPM) 活動はテクノ経営コンサルティング社によるValue Producing Management活動で人を管理対象とした改善活動。50は生産性50%アップを表す。

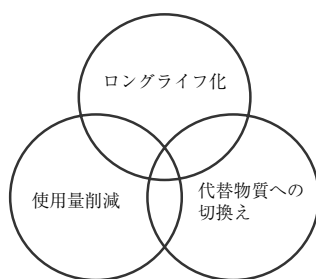


図5 化学物質削減のキーワード

ロングライフ化：処理条件の見直し等により、処理液の寿命を延ばすことにより、投入量の削減を図る。

使用量削減：処理液温度や浴時間などの諸条件を見直すことにより、使用量そのものの削減を図る。

物質切換え：より環境負荷の少ない物質への切り換えを行う。過去にはトリクロロエチレンやジクロロメタンなどの有機溶剤を使用して洗浄していたものを水洗浄や湯洗浄に切り換えてきた。

すべての製造プロセスを見直し、三つのキーワードの何れか、または複数の方法で化学物質の削減を図っている。

使用量削減の事例2件（治具の変更による90%硫酸の使用廃止、新たな処理方法の導入によるホルムアルデヒドの使用削減）を後程紹介する。

(4) 廃棄物の削減（廃棄物減量化）

酸・アルカリ、汚泥、金属、プラスチック類、ガラスなどの廃棄物の削減は、図6のとおり単純消費型から社内外でのリサイクルを考慮した循環型へ移行することにより達成される。

リサイクルには工程排出物から不要物を取り除くことにより、同じ用途で再利用する方法や工程排出物から貴金属などの有用物を取り出して再利用する方法などがある。

技術的または経済的に再利用ができない廃棄物に関しては社内での中間処理を行い排出量の削減を図る。この社内中間処理には空気圧縮器によって圧縮された空気から発生する油分を含んだ排水（コンプレッサードレイン）の油水分離を行い油分だけを廃棄する例や現像液がある。現像液の社内リサイクルの事例を後程紹介する。

この他にも排出物の輸送に関わる環境影響を考慮して、フィルム状のマイラー（PET、PE）を圧縮減容することにより1

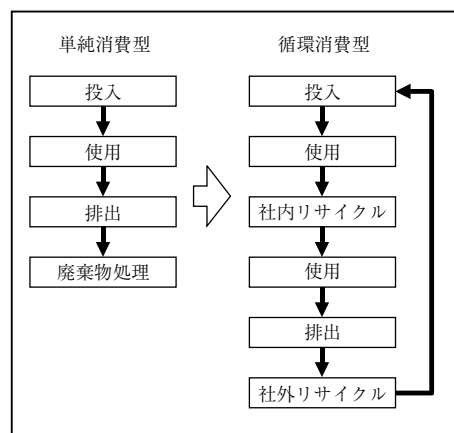


図6 消費サイクルのモデル

回の輸送で運べる量を増やして輸送回数を削減することも行っている。

廃水処理場から排出される汚泥の社外リサイクルの事例を後程紹介する。

(5) 排水の排出管理

OPCからの排水は、廃水処理場でその水質を連続監視し、常に法規制値より厳しい社内管理基準値内で管理している（表3参照）。

(6) 排出ガス、騒音・振動などの排出管理

排出ガス（局所排気など）、騒音・振動についても定期的な設備点検と測定によって管理している（表4参照）。

(7) 製品における環境への配慮

プリント配線板そのものについても、使用から廃棄までの環境影響に配慮した商品開発を進めている。現在のプリント配線板そのものの環境キーワードは次の三つになる。

- ハロゲンフリープリント配線板用基材を使用する
- ハロゲンフリーソルダーレジストインクを使用する

表3 排水の管理値

管理測定項目		法規制値	社内管理値	単位
シアン化合物	CN	1.0	0.8	mg/L
鉛	Pb	0.1	0.08	mg/L
水素イオン濃度	PH	5.8～8.6	6.4～8.0	mg/L
生物化学的酸素要求量	BOD	50.0	40.0	mg/L
浮遊物質	SS	60.0	50.0	mg/L
銅	Cu	2.0	1.6	mg/L
溶解性鉄	S-Fe	10.0	8.0	mg/L
フッ素化合物	F ⁻	15.0	12.0	mg/L

*3) Challenge80 (TPM) 活動はTotal Productive Maintenance活動で設備を管理対象とした改善活動。80は生産性80%アップを表す。

*4) Challenge2000活動は生産性20%アップ、品質（仕損比率）2.0%以下、TAT20%短縮の3個の2を目標にした総合改善活動。

*5) Challenge1/2 (The Half) は品質（仕損比率）1/2、コスト1/2、納期（TAT）1/2を目標にした総合改善活動。

表4 排出ガス、騒音・振動の管理値

管理測定項目		法規制値	社内管理値	単位	
排出ガス	塩化水素 HCl	80,700※1	50.0	mg／Nm ³	
	鉛化合物 Pb	10～30※1	5.0	mg／Nm ³	
悪臭	アンモニア NH ₃	5.0	4.0	ppm	
	酢酸エチル CH ₃ COOC ₂ H ₅	2.0	1.6	ppm	
その他	騒音	朝方 午前 6時～午前8時	65以下	64以下	ホン
		昼間 午前 8時～午後8時	70以下	69以下	ホン
		夕方 午後 8時～午後10時	65以下	64以下	ホン
		夜間 午後10時～翌午前6時	60以下	59以下	ホン
	振動	昼間 午前 8時～午後8時	65以下	64以下	db
		夜間 午後 8時～翌午前8時	60以下	59以下	db

※1 ばい煙発生施設ごとの排出基準値（OPCには、ばい煙発生施設に該当する設備はない）

●製品に鉛を使用していない

ハロゲンフリー基板と鉛フリー基板をそれぞれハロゲンフリー基板の項と鉛フリー基板の項で紹介する。

今後も原材料メーカーではリサイクル、リユースをキーワードとした「より環境に優しい材料」の開発が進むものと思われる。これらの新たな材料についても積極的に採用の検討を進める。

具体的な環境対策

(1) ワークサイズ標準化による製品材料の削減

従来13種類あったワークサイズを見直し、標準化を図ることによって製品材料（端材）の削減を行った。使用頻度の少ない6種類（330×330、400×330、400×400、600×300、600×330、600×400）のサイズを廃止（但し、400×330は01年度廃止予定）し、500×330サイズと510×330サイズを統一し、残り5種類のワークサイズとともにワークサイズの見直しを行った（図7参照）。

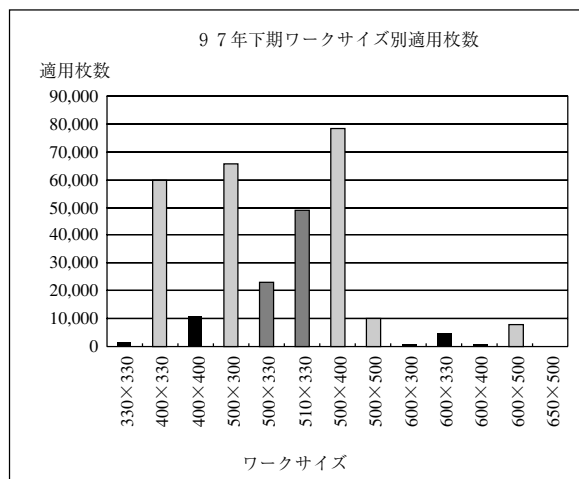


図7 ワークサイズ別適用枚数グラフ

ワークサイズの見直しは、材料サイズ（メーカーの原反）から考えて、無駄なく切り出せるサイズ原則とし、材料サイズに合わせ、最大限のサイズとし、少しでも有効に面付けできるようにした。

標準化した結果のワークサイズは以下の通り。

400×330（01年度廃止予定）、512×306、512×340、512×408、512×512、512×610、512×650（特殊サイズ）

また、基準穴を極力集約し、製品配置エリアを広くとれるようにした（図8参照）。

各サイズの端数を最大限活用した結果、各ワークサイズの平均で、約6%製品エリアが拡大した。以上により、材料をムダに捨てる量を削減することができた（表5参照）。

(2) 治具の変更による90%硫酸の使用廃止

パネルめっき工程ではワークを治具で固定し、めっきを施している。（図9参照）パネルめっき治具は従来ステンレス製であり、基板のめっきに使用する都度、治具にもめっきが析出するため、それを90%硫酸を使用して剥

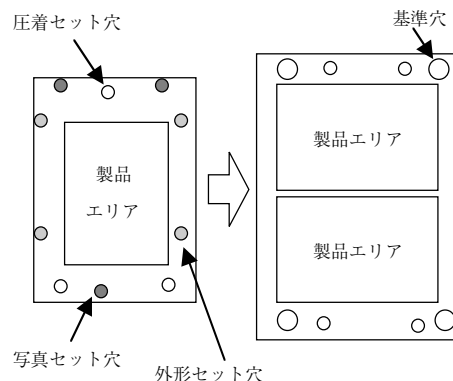


図8 ワークサイズと基準穴

表1 海外における環境改善効果の評価結果

	98年度	99年度	00年度
端材発生量：①	71 t	79 t	80 t
生産量：②	114 千m ²	131 千m ²	143 千m ²
①／②	0.624	0.607	0.558

98年度ワークサイズ、基準穴標準化設計
99年度から切り替え完了

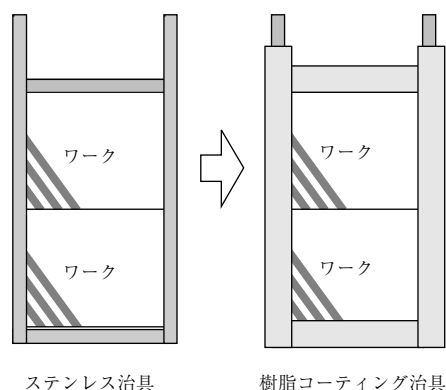


図9 パネルめっき治具

離していた。これに対し、樹脂コーティングしためっき治具を開発し、採用したことで、治具にめっきが析出しなくなったため、90%硫酸の使用量を0にすることができた。(90%硫酸の使用量 約1.4t/月→2000年1月から0)

(3) 新たな処理方法の導入によるホルムアルデヒドの使用削減

規制物質であるホルムアルデヒドの使用を削減すべく、まず多層板内層の表面処理（積層時の密着性確保）として行っているBO処理の変更を実施した。BO処理は、内層パターン（銅）表面に酸化銅の結晶を析出させることにより、積層時の樹脂との密着性を確保するものであるが、酸化銅のままであると後の処理で溶解してしまうため、還元処理を追加している。



この還元処理液の中にホルムアルデヒドが含まれるため、BO処理自体を別の処理に置き換えることを検討した。

新しい内層処理は、銅表面をエッチングにて粗化するものであり、蟻酸ベースのエッチング液のため、ホルムアルデヒドは含まない。

00年3月から量産適用を開始したが、00年度生産量急増のため、粗化処理のみでの生産では対応できず、従来のBO処理の併用を余儀なくされた。現在、生産量的には、BO処理を廃止できるが、BO処理を指定するユーザもあり、また今後の生産増の可能性を考えると、BO処理の廃止には踏み切れず、BO処理と粗化処理の比率は3：7程度にとどまっている。今後の課題として、粗化処理の処理能力アップと、全ユーザの粗化処理認定が必要不可欠であり、今年度それを進めていく。

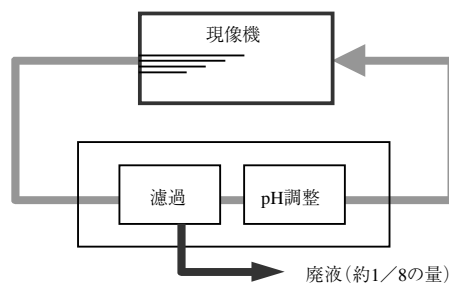


図10 現像液リサイクルの概要

(4) 社内リサイクルによる現像液の廃棄削減

プリント配線板の回路形成において、感光性のフィルムを銅張積層板に貼付し、マスクフィルムを重ねて露光し、現像する工程があるが、その現像液のリサイクル化を行っている（図10参照）。

これまで、複数ある現像ラインのうち、1ラインのみリサイクルを行っていたが、01年度新ライン構築にあたり、これを新たな量産ラインに位置付け、現像液のリサイクル設備を整えた。従って現在、量産ライン3ラインのうち2ラインにリサイクル機能を持たせている。このリサイクル設備を使用すると、現像液として使用した1%炭酸ナトリウム水溶液の約90%が再利用でき、1ラインあたり約4ton/日の廃液が削減できる。現像液の廃液は、産業廃棄物として業者引き取りとなるため、引き取り、処理費用の削減に大きく貢献することになる。今年は、残る1ラインにもリサイクル設備を用意し、現像廃液の完全リサイクル化を目指す。

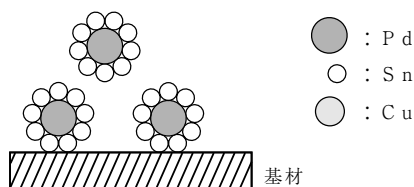
(5) 汚泥のリサイクルによる産業廃棄物の削減

廃棄物処分場の圧迫が大きな社会問題となり、処理費用の高騰などが懸念されている。そこで“埋め立て廃棄物”として処理されている「汚泥産廃」に注目し、この汚泥の中に含まれている①パラジウムと②銅などの貴金属類を回収する事によって産業廃棄物を有価物として売却し、再利用するリサイクル化に取り組んでいる。

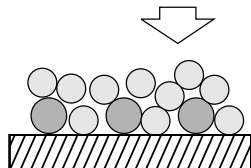
汚泥の中身

- 基板表面のほとんどは銅箔や銅メッキ処理が施されているため洗浄や研磨作業の過程に於いては排水の中に銅が多量に含まれる。
- 無電解めっきにはパラジウムが添加された薬液を使用しており、基板に付着したパラジウムが洗浄工程の排水の中にある割合で排出される（図11参照）。

汚泥に含まれるパラジウムと銅の含有率は分析の結果、汚泥（湿量）1tあたり



パラジウム・すずコロイド粒子を基材表面に吸着させて触媒とする。



すずを除去して、パラジウム触媒能を促進し、銅めっきする。パラジウムの一部が排出される。

図11 無電解めっきの原理

①Pd : 0.009% 90g…2,760円/g

②Cu : 17.2% 172kg…60,000円/t

となり、500,000円/月の費用効果が見込まれると判断したため、回収可能な方策を検討した。

従来の処理フローを図12に示す。この処理フローでは毎月10tの汚泥が発生し、産業廃棄物として処理を委託していた。

従来の処理では、塩化鉄廃液を沈降助剤として使って排水中の重金属イオンを中和・沈殿させる処理を行っているが、これは沈殿物を含んだ汚泥の量が多く発生するため汚泥の全体量に対する貴金属の含有率（重量比率）が低くなってしまい利材化が難しい状態であった。そこで分子量が小さくても汚泥として沈降させることのできる処理剤を検討・試行していたが、今回良好な結果が得られたため全面切り替えを行った。

今回導入した処理剤は、海藻などに含まれる天然多糖類と無機系化合物を生成した処理剤で、中和させた生成物の分子を処理剤の繊維の中に取り込みフロックを形成

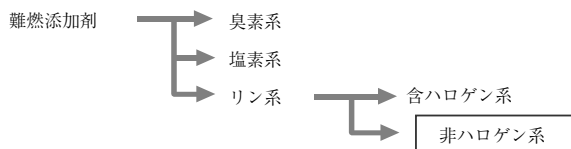
させる凝集剤としての役目を果たす。このため、沈殿物が少なくなり汚泥中の貴金属の重量比率が高くなり有価売却が可能となった。また既存の処理工程をほとんどそのまま使用でき、放流水中の銅濃度および鉛濃度を変えることなく、汚泥そのものの発生量も1/2に削減することができた。

(6) ハロゲンフリー基板

プリント配線板の基材として、主に使用されているガラスエポキシ（FR-4）のエポキシ樹脂には、UL規格で定められた難燃性規定（UL94 V-0）を達成するために、約10%程度の臭素（ハロゲンの1種）が使用されている。この臭素源としては、ビスフェノールAのブrom化エポキシ樹脂が使われており、難燃性、電気絶縁性、機械特性、加工性などのバランスに優れた物となっている。

ビスフェノールAは、熱分解によるダイオキシン、フランの発生を規制するドイツ法令に合格、アメリカの試験でも検出されず、使用規制の動きはない。

日本においても、人間や環境に与える影響は低いとしているが、製造段階での排出物について、環境への排出を最小限にする自主規制の動きとなっており、材料メーカーでは、ハロゲンフリーの難燃性エポキシ樹脂の開発に着手してきた。



上記は添加剤を混ぜて難燃性を持たせる場合の添加剤種類を示したものであるが、現在弊社では、リン系の添加剤を含む材料を採用している。

また、ソルダーレジストにおいても、緑の着色が通常であるが、その顔料の中にハロゲンの仲間である塩素が含まれるため、レジストインクのメーカーも青色の顔料を

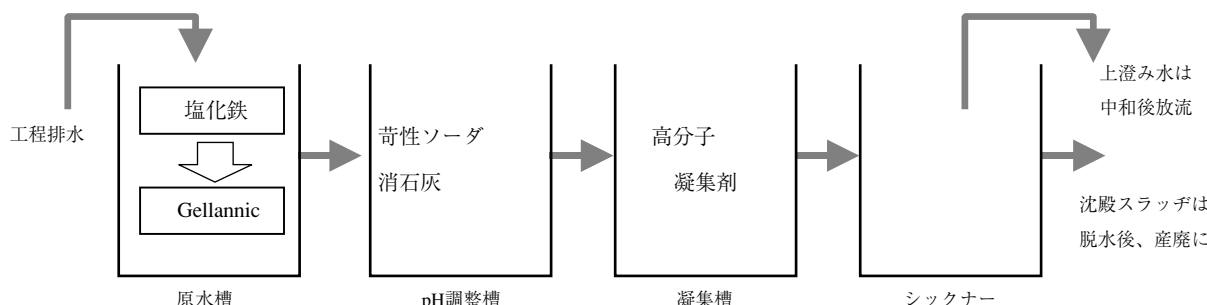


図12 廃水処理の処理フロー

用いたハロゲンフリーレジストを開発した。

OPCでは、5年程前からハロゲンフリー材を用いた基板を製造開始し、一部のユーザ向けに出荷している。現在のところその材料自体が、従来のガラスエポキシに対し割高なこともあり、極一部のユーザからしか、ハロゲンフリー材の指定がない。焼却時に有毒ガス等の発生が懸念されるハロゲンを含まず、環境にやさしいハロゲンフリー基板は、耐熱性が高いという特徴を持ち、ヨーロッパ向けにはハロゲンフリーが必要条件となってきた。日本の大手電機メーカーでは2003年を目処に全面ハロゲンフリー化を計画しているとの話も聞こえてきている。材料費は需要が拡大すれば、現状のFR-4と同等になることが考えられるため、OPCでは早期の採用をアピールしていく。

(7) 鉛フリー基板

実装に用いるはんだの鉛フリー化が盛んに研究されてきている中、OPCとして鉛フリーはんだの使用検討はまだ始めていない。現在のスタンスとしては、基板にはんだ自体を付けない、銅スルー基板を推奨している。銅スルー基板はソルダーコート基板に比し、長期保存性に劣る。銅表面に被膜を形成し、銅表面の酸化、腐食を防止し、実装時のはんだぬれ性を確保しているものの、長期保存に耐えない。現在、梱包の方式、梱包材の材質を見直し、少しでも長期保存が可能となるよう検討を進めており、さらに銅スルー基板の採用を各ユーザに継続依頼を行っていく（表6参照）。

一方、弊社パターンめっき工程において、エッチング

表6 銅スルー基板比率の推移

年度	銅スルーの比率
1997年度	18.30%
1998年度	21.30%
1999年度	26.80%
2000年度	39.60%

レジストとしてはんだめっきをおこなっている。このはんだは、表層のパターンをエッチングして形成した後ハクリしてしまうもので、基板に残るものではないため、錫への変更を検討している。また、実際の鉛フリーはんだの検討も行っていく。◆◆

●筆者紹介

白鳥量介：Ryosuke Shiratori. 沖プリントドサーキット株式会社 生産技術部 部長

池山浩司：Hiroshi Ikeyama. 沖プリントドサーキット株式会社 プロセス技術部 次長

木村均：Hitoshi Kimura. 沖プリントドサーキット株式会社 設備技術チーム チームリーダー

茨木富貴：Tomiki Ibaraki. 沖プリントドサーキット株式会社 工場付環境管理事務局

TIPS

【基本用語解説】

ドライフィルムフォトレジスト

プリント配線板上の特定領域に施す被覆材料で、導体パターンを形成する際に導体の必要部分が化学的に除去されないよう被覆する材料をいう。

ソルダーレジスト

プリント配線板上の特定領域に施す耐熱性被覆材料で、はんだ付け作業の際にこの部分にはんだがつかないようにするレジストをいう。

積層（図1）

複数の層構成材料を一体化接着することをいう。

ルータービット（図3）

外形加工（ルーター加工）を行うための刃をいう。

ワーク

プリント基板製造時の標準加工サイズをいう。数種類のサイズを持っており、そのどれかのサイズに面付けして製造する。

R（CuO+還元処理液⇒Cu+R+H₂）

有機物一般を指す。

シックナー（図12）

廃水処理のプロセスで、沈殿分離法（凝集沈殿法）で使用される濃縮槽をいい、排水中の浮遊物質や汚泥（スラッジ）などの分離を行う。