

ベトナムプリント基板製造工場の 塩化銅廃液の製品転換技術

Technology for Converting Waste Fluid of Copper Chloride into Products at Printed Circuit Board Manufacturing Factory in Vietnam

あらまし

ベトナムは、日本をはじめとした先進国のように廃棄物問題の対策を行おうとしているが、そのためのインフラ整備が追従できていないのが現状である。そのため、ベトナム国内には工場などで発生する重金属を含む廃液や廃棄物の処理を委託できる仕組みがない。このような背景の中で、富士通がベトナムのプリント基板工場（FCV：Fujitsu Computer Products of Vietnam, INC.）を操業していく上で、製造工程から発生するすべての廃液を処理することは重要な課題であった。

とくに、銅エッチング工程で発生する塩化銅廃液は銅濃度が高く強酸性であるため、重金属の除去、中和処理が必要である。しかし、この一般的な処理方法では大量のスラッジ（汚泥）が発生してしまうため、廃棄物の最終処分場がないベトナムでの事業展開は、処理できない廃棄物の保管、管理のためのコストや対外的に見た企業の環境への取組み姿勢の面で大きなリスクを負うことになる。

そこで、富士通では、この廃液の銅濃度の高い点に着目して塩化銅廃液をスラッジではなく、付加価値の高い酸化銅に転換する技術を確立して銅化合物製品の原材料とすることに成功した。

Abstract

Although Vietnam is taking measures for handling industrial wastes, the required infrastructure such as proper systems for subcontracting out the treatment of industrial waste fluids or waste liquids containing heavy metals is incomplete, unlike in developed countries such as Japan. In Fujitsu's factory in Vietnam (Fujitsu Computer Products of Vietnam, Inc. [FCV]) which manufactures printed circuit boards, it was therefore very important to treat all waste fluids generated from manufacturing processes within the factory.

In particular, waste fluids of copper chloride generated from the copper etching process contain high concentrations of copper and are strongly acidic, so the removal of heavy metals and neutralization treatment are necessary. However, large amounts of sludge are produced by this general treatment method, so Fujitsu may face difficulties in expanding its business in Vietnam due to the lack of final waste disposal facilities.

Fujitsu therefore focused on reducing the high concentration of copper in the waste fluid, by developing a technique of converting the waste fluid of copper chloride into copper oxide, which has a high value as a raw material for copper products instead of sludge.



松本 操（まつもと みさお）
環境技術推進センター環境管理部
所属
現在、富士通グループにおける廃棄物対策、省エネルギー対策、化学物質排出削減対策などの工場環境保全の統括に従事。



中安浩二（なかやす こうじ）
環境技術推進センター環境管理部
所属
現在、富士通グループにおける廃水処理などの工場環境保全設備の設計、建設、および廃棄物処理技術の開発に従事。



山川英士（やまかわ ひでし）
環境技術推進センター環境管理部
所属
現在、富士通グループにおける廃水処理などの工場環境保全設備の設計、建設、および廃棄物処理技術の開発に従事。

まえがき

本技術の推進のきっかけは、ベトナムにおいてプリント基板製造工場を建設する事業展開によるものであった。

プリント基板の製造には、銅めっき、銅エッチング、積層プレスなどの様々な工程があり、これらの各工程から多種の廃液、廃棄物が発生する。日本国内の工場では、これらの廃液、廃棄物については分析などの十分な評価を行い、コスト、環境リスクを考慮した上で、一般に下記の分類で取り扱われる。

- ・工場内で廃液処理後に放流（重金属除去、中和処理など）
- ・廃棄物処理業者への処理委託（埋立処分、焼却処理など）
- ・有効利用物として引渡し（汚泥のセメント原料利用など）
- ・売却物として引渡し（銅箔の売却など）

ところが、現状のベトナムでは、段ボール、発泡スチロール、プラスチック容器などの簡易に再利用できるものについてのリサイクルは行われているが、埋立処分やダイオキシン対策を考慮した焼却処理のような高度な産業廃棄物処理の仕組み（法律・技術）は十分に確立されてはいないため、新たな産業の進出には大きなリスクを伴う。

とくに、プリント基板製造のような廃液処理により生成したスラッジ（汚泥）などの廃棄物を排出する工場を操業するためには、この処理を賄える最終埋立処分場の

設置、または処分場を必要としない処理技術の確立が不可欠であった。

本稿では、ベトナムの廃棄物事情を交えてプリント基板製造工場（FCV：Fujitsu Computer Products of Vietnam, INC.）で発生する廃液の一つである塩化銅廃液が、一般の廃液処理技術では大量のスラッジになるのに対して、付加価値の高い酸化銅に転換する技術を用いることにより、銅化合物製品の原材料として売却が可能になった事例について述べる。

FCVの廃液、廃棄物処理の現状

日本とベトナムとの違い

FCVでは、プリント基板の製造工程から表-1、表-2に示すような廃液、廃棄物が発生している。廃液、廃棄物の種類、成分などは日本の製造工程から発生するものとはほぼ同じであるが、その処理方法についてはベトナムの実情に合わせてコスト、環境リスクの観点から最も効果の良い方法が採用されている。

(1) 一般的な日本での廃液処理

日本では、表-1を見ても分かるように廃棄物処理の仕組みが確立されているため、ほとんどの廃液処理を専門の処理業者に委託することができる。処理を委託すれば工場内での廃液処理設備を最小限にすることができるため、設備の運営、薬品などの取扱いの面で環境リスクは低減できるが、委託費用のコストが発生する。

(2) FCVでの廃液処理

ベトナム国内では、工業系廃液を処理する業者は皆無であるため、発生するすべての廃液を工場内で処理する

表-1 廃液発生および処理方法の比較

名称	発生率	処理方法	
		FCV	日本（一般）
酸アルカリ水 洗水	88%	中和・凝集沈殿処理 （スラッジ発生）	中和・凝集沈殿処理 （スラッジ発生）
酸濃厚廃液	1%	過水分解処理 （スラッジ発生）	中和・凝集沈殿処理 （スラッジ発生）
アルカリ 濃厚廃液	1%	加熱酸化分解処理	中和・凝集沈殿処理 （スラッジ発生）
レジスト 濃厚廃液	2%	フェントン処理 （スラッジ発生）	業者委託 （焼却）
ふっ素 濃厚廃液	1%	加熱分解処理 （スラッジ発生）	業者委託 （スラッジにして埋立て）
過マンガン酸 濃厚廃液	1%	加熱酸化分解処理 （スラッジ発生）	業者委託 （スラッジにして埋立て）
無電解銅め っき濃厚廃液	1%	溶解金属析出分離 （スラッジ発生）	業者委託 （スラッジにして埋立て）
現像・定着液	1%	アンモニア除去	業者委託 （焼却）
アルコール 廃液	1%	蒸発処理	業者委託 （焼却）
塩化銅 濃厚廃液	1%	中和湿式脱水処理 （酸化銅として売却）	業者委託 （中和剤として利用）
そのほか めっき液	2%	溶解金属析出分離 （スラッジ発生）	業者委託 （スラッジにして埋立て）

表-2 固形廃棄物発生および処理方法の比較

名称	発生率	処理方法	
		FCV	日本（一般）
段ボール	4%	再利用	再生
ICトレイ	5%	再利用	再利用
プラスチック板	2%	再利用	再生
木屑	1%	燃料として利用	再資源化
ビニール袋、 発泡スチロール	1%	再利用	固形燃料
アクリル板	1%	再利用	再生
アルミニウム板	4%	再利用	再資源化
ドリル、ピン	1%	再利用	再資源化
機械油、潤滑油	1%	精製して再利用	助燃材
銅箔	1%	再資源化	再資源化
酸化銅	13%	日本で銅製品の原料	-
無機系スラッジ	18%	委託業者の倉庫保管	セメント材料、 埋立処分
プリント基板廃材	3%	委託業者の倉庫保管	銅回収/道路舗装材
レジスト残さ	1%	工場で倉庫保管	焼却処理
雑ごみ（繊維屑、 研磨カスなど）	22%	焼却処理	焼却処理 焼却熱利用
浄化槽汚泥	22%	埋立て処分	肥料化

設備を設置する必要がある。したがって、工場の操業上の環境リスクは高くなり、環境設備の維持管理費が増大する。

(3) 日本での一般的な廃棄物処理

日本では、表-2のようにプラスチック、アクリルなどは再生利用、また、ビニール袋、発泡スチロールなどは固形燃料にするために加工処理を行い、助燃材などとして有効利用されている例もある。また、重金属が含有している無機系スラッジ（汚泥）などはセメント材料として有効利用されるか、最終処分場で埋立て処分されるのが一般的である。

(4) FCVでの廃棄物処理

ベトナムでは、プラスチック板などは再利用、また、段ボール、ビニール袋、発泡スチロールなどの簡易に利用できるものはそのまま低品質製品として再利用されるのが特徴として挙げられる。しかし、無機系スラッジ、プリント基板廃材、レジスト残さについては有効利用技術や最終処分場がないため、日本のような仕組みが確立されるまで工場内や処理業者の倉庫に保管するしかないのが現状である。

ベトナムの最終埋立て処分場建設

ベトナムでの廃棄物最終処分場の有無は、富士通の事業展開だけではなく、今後の外資系企業の進出によるベトナム国内の産業発展へも多大な影響を与える。

(1) 処分場建設のための支援

富士通は、ベトナムに対して処分場建設の早期実現のため、ベトナム行政の関係スタッフを日本へ^{しょうへい}招聘して、日本国内の埋立て処分視察、および処分場運営ノウハウの提供など積極的に支援・協力を行った。このような富士通の姿勢に対してベトナム側も本格的に最終処分場の建設計画の推進を開始した。

(2) 処分場建設の高いハードル

しかし、ベトナムでは建設予算、建設場所などの処分場建設計画がまとまらないために、いまだに着工の見通しが立っていないのが現状である。現在もベトナムに対して処分場建設のためにできる限りの協力を続けている。

廃棄物排出量低減のための取組み

高濃度の塩化銅廃液の処理

このように、ベトナムでのプリント基板製造工場建設の計画当時から、富士通は工場からできる限り廃棄物を排出しないコンセプトを念頭に工場の設計を推進した。とくに、プリント基板のエッチング工程で発生する塩化

銅廃液は銅濃度が非常に高く、一般の廃水処理方式では銅分を含んだ大量のスラッジが発生してしまい、これが廃水処理設備を設計する上で大きな課題となった。

銅資源のリサイクル

富士通では、このような銅濃度の高い廃液を銅資源として有効利用ができないかを考え、アジア地区を対象に銅資源のリサイクル事例について調査を行った。一般的な事例では、銅箔、銅線、銅板の再資源化などがあり、日本国内では銅分を多く含有しているスラッジを銅精錬所に持ち込み、溶鉱炉で溶解して銅の回収を行う事例もある。そして、今回の調査の結果、最近マレーシアにおいて塩化銅廃液を化学反応させて、銅分を濃縮した固形物に変換し、銅資源として再利用するシステムの運用に成功した事例があることが分かった。^(注1)

ベトナムでの銅資源リサイクルシステムの適用

そこで、このシステムについての関連法規、処理技術、運営のノウハウなど、あらゆる角度から調査・分析を行い、ベトナムにおいて、システム、ビジネスの点で適用可能かどうかの検討を行い、また、一般処理方式と比較した場合のイニシャルコスト、ランニングコスト、工場の操業に与える環境リスクについての評価を行った。

塩化銅廃液の酸化銅転換技術

塩化銅廃液の一般的な処理技術

前章でも述べたが、塩化銅廃液〔 CuCl_2 〕はプリント基板の製造工程の一つにある基板表面を塩酸と過酸化水素などの強酸性液によりエッチングさせる処理の際に、銅が強酸液に溶け込み、約10%程度の銅が含有して発生するものである。

一般にこの塩化銅廃液の処理は、図-1の方式のように、消石灰〔 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 〕で中和して、無機（硫酸鉄、塩化鉄など）系凝集剤、有機（高分子）系凝集剤で凝集・固液分離させ、廃液から銅分を取り除いて処理水を工場から排出する。このときに水酸化銅〔 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 〕を含んだ不溶性のスラッジが固形廃棄物として同時に生成される。この処理では、スラッジ中に水酸化銅のほかカルシウム化合物、鉄分などが多く含まれてしまい、また、スラッジ中の含水率も高く（70～80%）、全体の銅分の割合が低くなり、銅資源としては有効利用しにくいため、大抵のスラッジは最終処分場で埋立て処分されてしまう。

(注1) 塩化銅廃液の酸化銅転換技術は、日興リカ株式会社（日系の銅回収メーカー）と基本技術についての提携を行い、マレーシアの同様設備を参考に、設計・製作した。

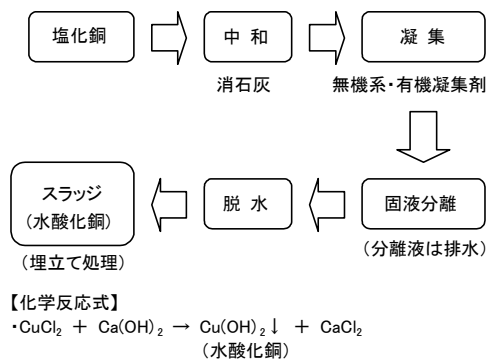


図-1 一般的な塩化銅処理フロー
 Fig.1-Flow chart of general copper chloride treatment.

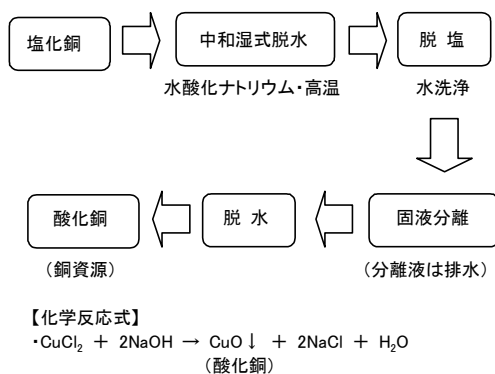


図-2 酸化銅転換処理フロー
 Fig.2-Flow chart of copper oxide conversion treatment.

塩化銅廃液の酸化銅転換技術

酸化銅転換技術は、図-2のように、水酸化ナトリウム〔NaOH〕で強アルカリ性にして、高温で中和・湿式脱水反応させて酸化銅にする。この処理は、一般的な処理技術に比べてスラッジ中にカルシウムや鉄が含有しないこと、また、酸化銅の性質上、含水率が低くなる（約45%）ことから銅分の割合が高くなるため、銅資源として再利用しやすい物質になる（図-3～5）。

酸化銅生成技術のポイント

(1) 塩の除去

この処理で重要な点は、銅資源としていかに純度の高い酸化銅を生産するかにある。図-2の化学反応式を見ても分かるように、塩化銅廃液と水酸化ナトリウムとの反応時に、塩素とナトリウムが結合して塩（NaCl）が生成される。酸化銅中に塩が含有されていると、以下のデメリットが発生する。

- ・塩により酸化銅処理設備の金属部分が腐食する。
- ・酸化銅を製品にする際に脱塩処理が必要になるため、酸化銅の取引価格が低下する。

このような問題を回避するため、酸化反応の次工程に



図-3 FCVの酸化銅処理設備の全景
 Fig.3-Equipment of copper oxide treatment of FCV.



図-4 酸化銅処理設備の酸化反応槽
 Fig.4-Reactor of treatment copper oxide.



図-5 酸化銅の回収工程
 Fig.5-Process of collecting copper oxide.

水による洗浄処理工程を追加することにより、塩などの不純物を取り除くことで純度の高い酸化銅を生成することができた。

(2) 温度とpHの管理

塩化銅から酸化銅へ効率良く（約95%）反応させるためには、ある一定の時間でアルカリ性と高温を維持させる必要がある。FCVでは、この反応に水酸化ナトリウムとスチーム加熱を用いているが、この反応条件を満たさないと、生産された酸化銅の中に未反応物質が残留してしまい、酸化銅の製品としての品質を低下させる大きな要因となってしまう。このため、この反応時のpHと温度の管理はセンサによる自動制御にして、異常が発生した場合は設備運転を停止させ、異常内容の確認を即時に実施して運転を再開できる機構にして、未反応物質が生成されないように対策を講じた。

銅製品としての酸化銅利用

酸化銅の利用先

酸化銅の取引先（利用先）を決定するポイントとしては以下が挙げられる。

- ・酸化銅の移送距離が短く安全に運搬できる。
- ・酸化銅の特性を生かした再利用ができる。
- ・長期的に安定した取引ができる。

ベトナムは、酸化銅を有効利用できる技術と市場が確立されていないため、この取引先の対象からは外れてしまう。これらのポイントを満たしている取引先としては、日本が最も適していた。

日本であればベトナムからの移送も短期間で済み、酸化銅の製品化技術のレベルも高く、価格面でも安定した取引ができる。これらの評価により、富士通はFCVの酸化銅の取引について日本の酸化銅メーカーと契約することに決定した。

生産酸化銅の品質

FCVで生産された酸化銅の品質は、表-3に示すとおりである。銅回収メーカーの提示している受入基準（品質

表-3 取引先の酸化銅受入基準と生産酸化銅品質

条件項目	受入基準 (W/W%)	FCV酸化銅 (W/W%)
外観	黒色	黒色
銅	> 35	40
含水率	< 50	45
ナトリウム	< 4	1.3
塩素	< 6	0.45
鉄	< 0.05	0.013
SiO ₂	< 0.08	0.025
カルシウム	< 0.08	0.0038

(注) W/W% : 含水率を含めたときの重量の割合

条件)よりも高品質なものであることが分かる。FCVでは、この塩化銅廃液から生産された酸化銅を製造製品の一つとして登録している。

日本での酸化銅の精製プロセス

生産された酸化銅はベトナムから海上輸送で日本へ移送され、そこから更に不純物を取り除き、か焼^(注2)、微粉碎の後、高純度の酸化銅になる（図-6）。現在、高純度酸化銅の代表的な用途としてはフェライトがあり、これは図-7のようなディスプレイのブラウン管などの磁性素子（偏向ヨーク）として用いられている。

酸化銅の日本への輸出

(1) 国際条約の遵守

ベトナムと日本との間で酸化銅のビジネスを構築するためには、酸化銅が銅資源として売却できることが重要である。生産された酸化銅が売却できないと、これは廃棄物の対象として扱われてしまう。

国から国へ廃棄物を移送するためには、バーゼル条約^(注3)という国際条約を遵守しなければならない。これをクリアするためには、廃棄物ではなく銅資源であるこ

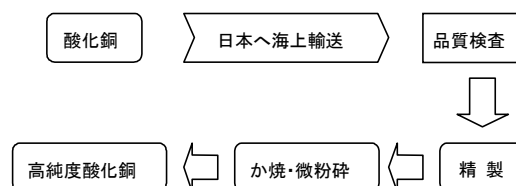


図-6 酸化銅の精製プロセス
Fig.6-Refining process of copper oxide.

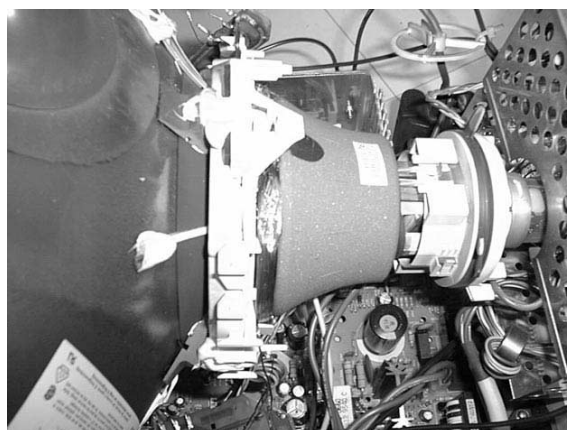


図-7 ブラウン管（写真中央部がフェライト）
Fig.7-Picture tube (Ferrite in the center of photo).

(注2) 高温で物質中の水分、結晶水などを除去する工程。

(注3) 有害廃棄物などの国境を越える移動（輸出入）、およびその処分に伴って生じる人の健康または健康にかかわる被害を防止することを目的に取り決められた国際条約。



図-8 生成された酸化銅
Fig.8-Copper oxide.

とを明確にして、相互の国で酸化銅が条約の対象にはならないとの了解をもらうのに大変な手間と時間を必要とした。

最近では日本の廃棄物処理業者がフィリピンへ不法に医療廃棄物を持ち込んだ事件が記憶に新しい。

今回生成された酸化銅は、取引先での売却のための品質条件をクリアしているため(表-3)、廃棄物ではなく、銅化合物の輸入としてビジネスが成り立った。

(2) 工場従業員への製品としての酸化銅の認知

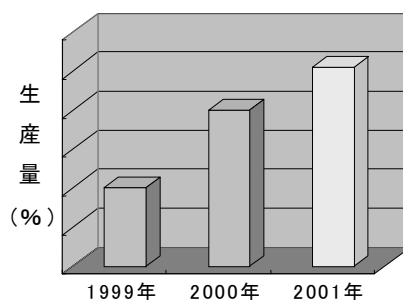
酸化銅は、図-8を見ても分かるように外観はスラッジのようであり、製品(売却物)と認識するのは難しい。

FCVの酸化銅処理設備は廃水処理エリアの中に設置されているため、酸化銅の回収、保管は廃水処理担当の従業員が兼任している。このため、従業員の酸化銅の製品としての認識が薄かったため、スラッジと同等の扱いにされ、ビニール、紙屑などのごみの混入やスラッジと間違えて引渡してしまうなどのトラブルが度々発生してしまった。そこでFCVでは、従業員へ酸化銅の付加価値の説明、製品としての取扱いなどの教育を徹底して、再発防止対策を実施した。これらは、ベトナムならではの特異なトラブル事例と言える。

酸化銅転換技術導入の経済効果

酸化銅生産量の推移

酸化銅処理設備は1999年からFCVに設置され、同年に運用も開始された。生産量の推移は図-9に示したとおり、2000年の酸化銅生産量は1999年の約2倍で、2001年には2.5倍の生産量が見込まれている。



(注) 1999年の生産量を100%とした。

図-9 FCVの酸化銅生産量の推移
Fig.9-Changing production of copper oxide.

表-4 年間の酸化銅処理と一般処理との効果比較

項目	酸化銅転換技術		一般処理技術		
	総量 (t)	金額 (千円)	総量 (t)	金額 (千円)	
イニシャルコスト					
設備費用	-	57,200	-	70,000	
ランニングコスト	NaOH使用量	525	7,875	525	7,875
	FeSO ₄ 使用量	0	0	61	2,144
	Ca(OH) ₂ 使用量	0	0	133	1,990
	スチーム使用量	210	630	0	0
	酸化銅生成量(売却益)	420	-10,500	0	0
	スラッジ発生量(廃棄物処理費)	0	0	595	5,891
合計					
イニシャルコスト計		57,200		70,000	
ランニングコスト計		-1,995		17,900	

一般処理技術との効果比較

一般処理技術のイニシャルコスト、ランニングコストの比較は表-4に示すとおりである。

(1) イニシャルコスト

一般処理技術で生成される水酸化銅は、水酸基(OH)があるため酸化銅と比べて質量が大きい。このため、生成されるスラッジの容量も多くなるため、脱水工程で使用する脱水機、ポンプ類の能力が大きくなる分、酸化銅設備よりも設備費用が高くなる。

(2) ランニングコスト

一般処理技術では、スラッジの廃棄物委託費用が発生するのに対して酸化銅が売却できるため、年間約2,000万円のコスト低減が可能になった。

廃棄物排出量の低減

前述のように、酸化銅転換技術の導入は、廃棄物の埋

立て処分場の存在しないベトナムの環境リスクを考慮して推進された。表-4のスラッジ発生量を見ても分かるように、ベトナム工場で一般処理技術を適用すれば、毎年600トン近くのスラッジが累積していき、廃棄物処理業者の保有する廃棄物保管倉庫は数年で限界を迎えてしまう。したがって、この技術によりFCVは廃棄物処理の面で大きなリスク回避（操業安定化）が可能になった。

総合評価

以上のような比較評価、およびテストトライアルの結果、酸化銅転換技術の導入は、一般処理技術と比較して、イニシャルコスト、ランニングコスト、また、塩化銅のような有害廃液を銅資源として転換して売却できる点で環境リスクの面においても有効な技術であることが分かり、富士通はFCVでの酸化銅転換技術の導入を決定した。

む す び

FCVは、塩化銅廃液の製品転換技術の導入により大幅に廃棄物排出量の削減を達成できた。しかし、このほかにも工場からは有効利用ができないスラッジ、プリント基板廃材などの廃棄物が排出されている。ベトナム国内で埋立処分場建設計画の見通しが立たない以上、工場からすべての廃棄物を排出しない仕組みを構築していかなければならない。現在、FCVでは、廃棄物ゼロエミッション対策（工場からの廃棄物排出ゼロ）を推進しており、2001年度中には酸化銅転換技術のような廃棄物処理の先端技術、対策を導入して廃棄物排出ゼロの仕組みを確立する計画である。これからもベトナムに対して産業発展だけでなく廃棄物処理の技術、仕組みの向上に貢献できるよう推進していきたい。