

廃棄電気・電子機器のリサイクリング技術における素材分離*

Processing of Elements Separation for Recycling Technology in Waste Electric and Electronic Equipments (WEEE)*

荒木孝雄** 阿川隆一*** 次田泰裕****

by Takao ARAKI**, Ryuichi AGAWA *** and Yasuhiro TSUGITA ****

Abstract

In recent years the use of electric electronic equipments (EEE) has rapidly increased due to the rapid growth of information and communication technology, the shortening of the product development cycle and lowering of product costs. However, this trend creates an equivalent rapid increase of waste electric electronic equipments (WEEE) at the end of the product's life. Processing of elements separation for recycling technology in WEEE performs in consideration of environmental efficiency, recycling efficiency and cost efficiency. Finding the right balance between ecological and economical performance is crucial for a sustainable efficient WEEE recycling. The process of element separation is a recycling chain and a complex disintegration process which generates well useful output products. Many of those products use internally to manufacture new materials for industrial applications. This paper presents the trend of element separation process for recycling technology in WEEE to do close the chain.

Key words: Waste electric electronic equipments (WEEE) , Environment efficiency, Eco-efficiency, WEEE recycling chain, Printed circuit boards , Elements separation, Treated efficiency, Laser ablation method

1. 緒 言

廃電気・電子機器（以下、WEEE と記す）は、Cu、Ag、Au、Pd 等の有価金属、Fe、Al、Ni、Sn、Zn 等の標準的な金属、Hg、Be、Pb、Cd、As、Sb、Bi 等の重要な金属、Br、F、Cl 等のハロゲン族元素およびプラスチックの可燃物等、多くの異なった物質が複雑に混合されている。これらの物質は、埋め立てられ、環境面での健全な方策がなされていないならば、環境に対するダメージとして高い危険性を有する。しかし、これらの金属または資源を含む WEEE は、廃棄する必要がないとすると、地表での真の鉱山となる。廃棄の防止、資源の保護およびすべての操作過程での環境基準の改善は、EU-WEEE 指針(§ 1)の主たる目的である¹⁾。

リサイクルチェーンの環は、WEEE の回収、分解、前処理、溶解・製錬、および金属あるいは元素がリサイクルされる過程であり、分解、前処理および溶解・精錬過程では、分離された構成部品および断片が排出される。最終的にそれらの元素は金属精錬過程で再生される。

現在の精錬過程は、複雑な残渣および多数のリサイクル金属を投入すると、以下に示す生成物を製品として製造している。

.....

* エレクトロニクス実装学会誌第85巻、第8号(2005)442~446より引用

** 愛媛大学大学院 理工学研究科 物質生命工学専攻 機能材料工学コース 790-8577 松山市文京町3番

** Dept. of Materials Science and Biotechnology, Graduate School of Science and Engineering, Ehime University, Bunkyo-cho 3, Matsuyama, 790-8577 Japan

*** 住友重機械工業(株) プラント・環境事業本部 141-8686 東京都品川区北品川5-9-11

*** Engineering Plant Division, Sumitomo Heavy Industries Ltd. Kita-shinagawa 5-9-11, Shinagawa, Tokyo, 141-8686 Japan

**** 住友金属鉱山(株) 技術本部 105-8716 東京都港区新橋5丁目11番3号

**** Technology Division, Sumitomo Metal Mining Ltd. Shinbashi 5-11-3, Minato-ku, Tokyo, 105-8716 Japan

平成18年11月6日 受付, 平成19年1月31日 受理

- (1) いかなる品質の低下をも伴っていないリサイクル材としての精錬された金属 (no down cycling)
- (2) 排ガス処理からの副産物としての硫酸
- (3) 構造材料とか防液堤、防備材に用いられる安定スラグ
- (4) 部分的な代替燃料あるいはコークスに替わる供給材 (プラスチック) で熱量の高い可燃物
- (5) 清浄な廃ガス
- (6) 清浄なプロセス水
- (7) 危険な元素とされているものの約5%以下のわずかな量であるため、安全とされる元素

このように、現在の精錬過程は、(1)から(7)の製品を生み出しており、従来の精錬過程での銅および有価金属のリサイクルだけの技術ではなく、より高度な技術水準になってきている。

本報告では、WEEE リサイクリング技術における素材分離プロセスについて述べる。

2. 廃棄電気・電子機器のリサイクル技術における効率

WEEE のリサイクルにおける技術的なプロセスおよび企業の方針は、Fig. 1 に示すように、環境効率、リサイクル効率およびコスト効率の3項目が挙げられる²⁾。

- (1) 環境効率は、ローカルおよびグローバルな環境への効果であって、空気、水、土壌および人類に対する影響等を考慮しなければならない。
- (2) リサイクル効率は、資源化および廃棄物の削減等の効果である。電気・電子製品は、そのリサイクルにおける後工程を効率的に行うならば、リユースが優先される。
- (3) コスト効果は、競争力に関連する経済的効果である。リサイクルコストは、リサイクル技術に依存する決定的な因子ではない。

このように、エコロジカルなおよび経済的な行為との適切なバランスは、効果的な WEEE のリサイクル技術

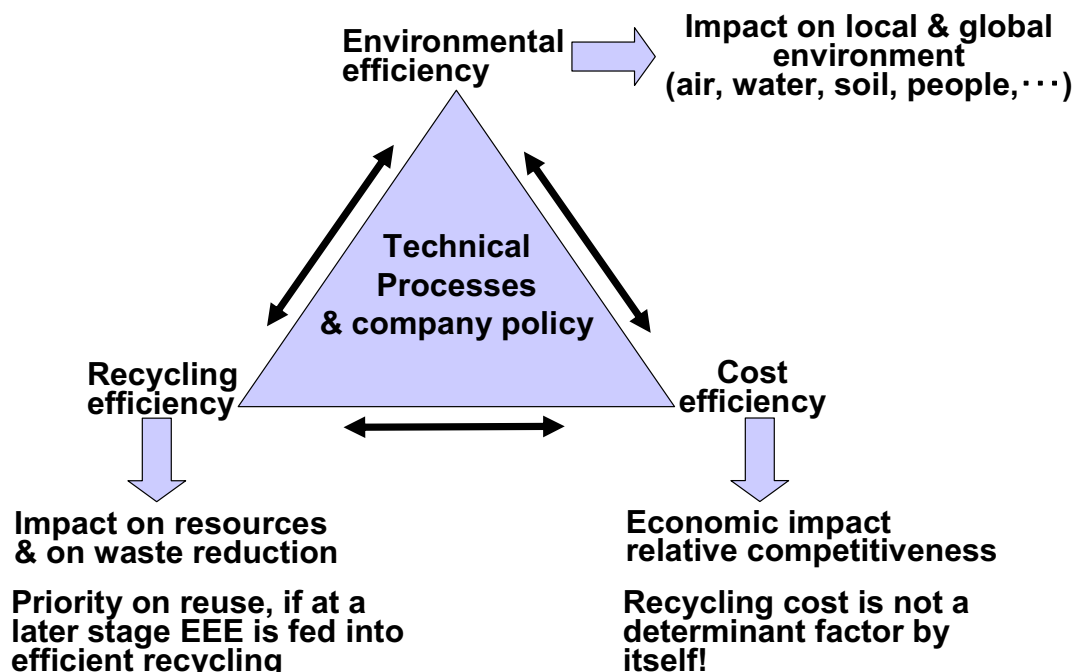


Fig.1 Relation among environment efficiency, Recycling efficiency and cost efficiency for a sustainable efficient WEEE-recycling.²⁾

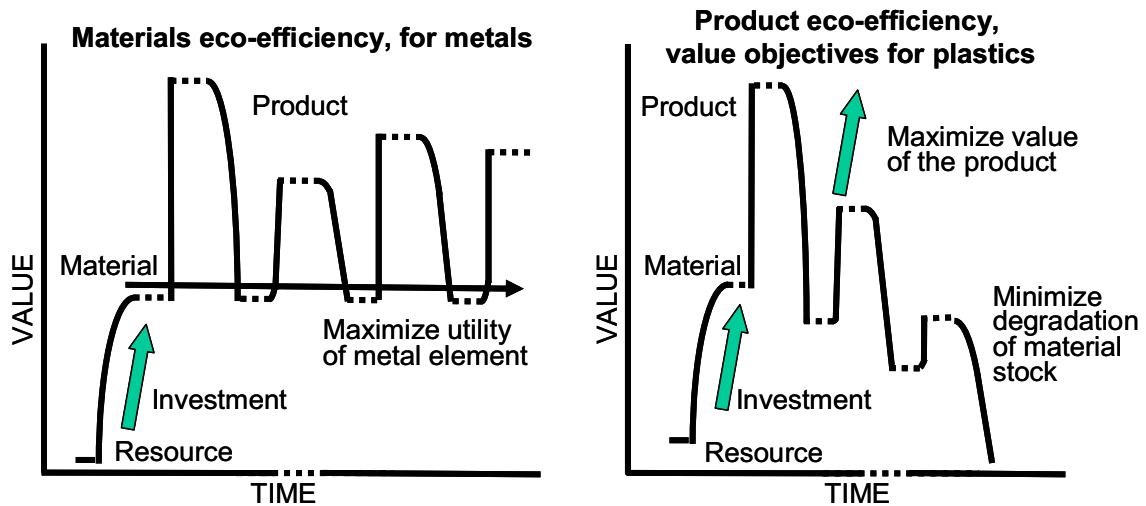


Fig. 2 Eco-efficiency of materials for metals and product for plastics²⁾.

を持続するか否かを左右する。

EEE は、リユースを優先すべく、リユース設計を基本にするものの、リユースが不可能な WEEE は、再資源化を目指し、WEEE の部材のエコ効率を考慮しなければならない。WEEE は、種々の元素を含み、種々の部材により構成されているが、例えば、部材を構成する金属およびプラスチックについて、エコ効率は、一般に、Fig. 2 に示すように、材料から製品となり、リサイクルされると付加価値が変化する²⁾。金属は、リサイクルチェーンの環が繰り返されても、付加価値の変動が少なく、有用性が維持される。一方、プラスチックは、リサイクルチェーンの環を繰り返すと付加価値が低下する。そのため、プラスチックは、製品の付加価値を高めるおよび材料保存での劣化を最小にしなければならない。

3. WEEE のリサイクルプロセス

3.1 WEEE のリサイクルチェーン

WEEE のリサイクルは、基本的に構成部材の物質毎にエコ効率、およびリサイクルチェーンの環を繰り返すことによる付加価値の変動が考慮されている。リサイクルチェーンの環は、Fig. 3 に示すように、WEEE の回収、分解、前処理、および溶解・製錬であるが、金属あるいは元素がリサイクルされる過程であり、分解、前処理および溶解・精錬過程は、分離された構成部品および断片が排出される。最終的にそれらの元素は金属精錬過程で再生される²⁾。

WEEE の回収は、例えば、ヨーロッパでのパーソナルコンピューターについて、Fig. 4 に示すようにリサイ

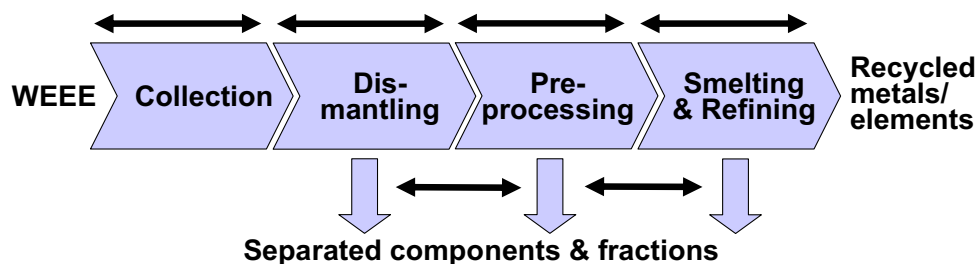


Fig.3 Sustainable optimization has to consider the entire WEEE recycling chain²⁾.

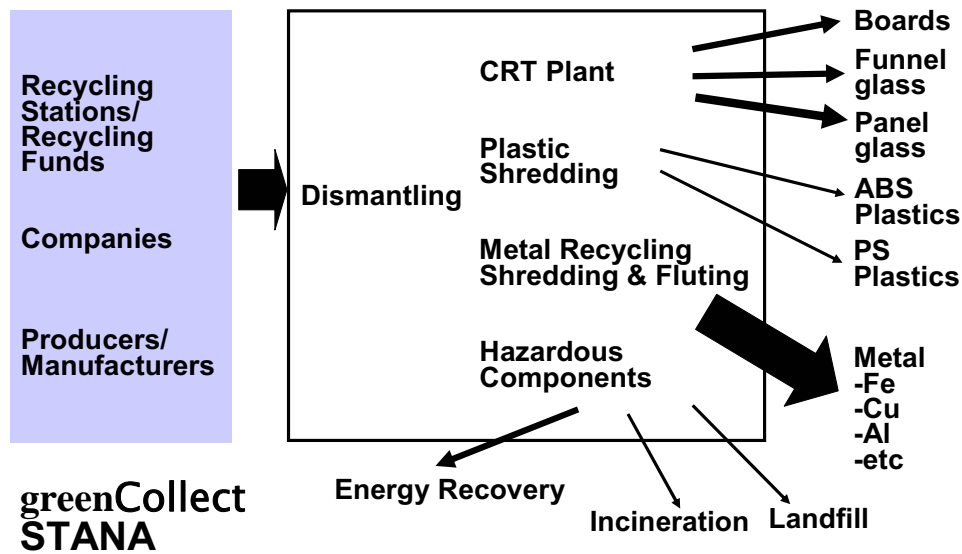


Fig.4 An example of recycling process for PCs in EU³⁾.

クル基地および企業等にてなされ、分解工程では、CRT は、CRT 工場で基板、ファネルガラス、パネルガラスに分解され、ABS 樹脂および PS 樹脂等のプラスチック類の裁断、金属部品からの鉄等の分離、および有害物等の分離がなされている³⁾。それらのうち、ある種のもの、サーマルエネルギー回収として、または、焼却あるいは、埋め立てがなされている。我国でも回収および分解工程等は、同様であり、Fig. 5 に示すように再商品化がなされている⁴⁾。

これらの再商品化プロセスは、複雑であるが、Fig. 6 に示すように部品に分別後、機械的に分解 (QZ プロセス)⁵⁾を行い、スクリーニングにより、小スケール材と大スケール材に分離し、いずれも、磁気選別を経た後、破碎して微粉体にする手法である。その後、再び磁粉選別粉体から鉄系材料を取り除き、ウィラータイプ

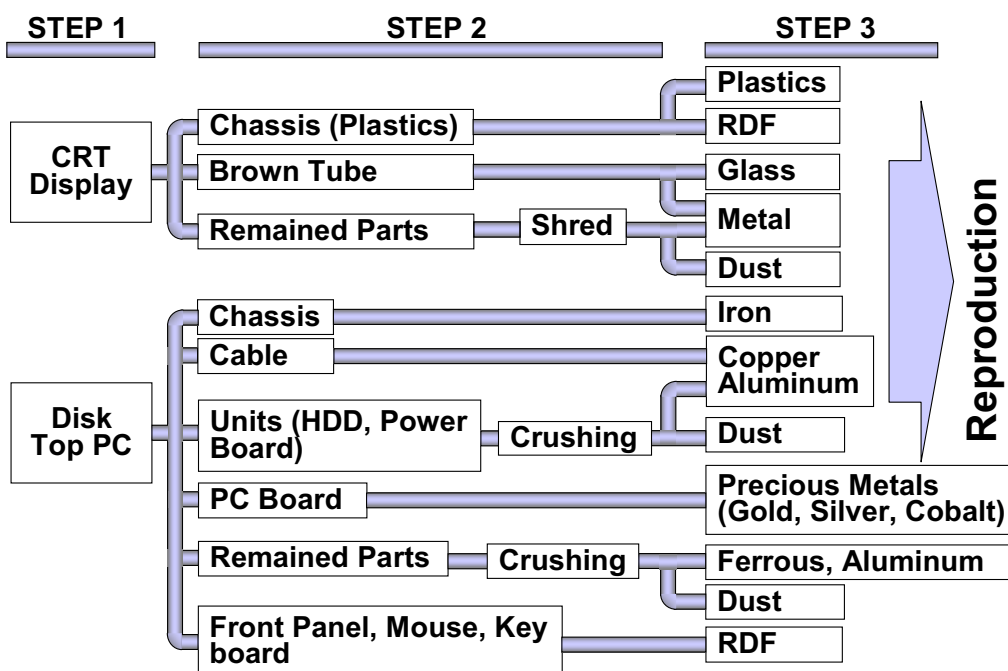


Fig.5 Reproduction process for PCs in Japan⁴⁾.

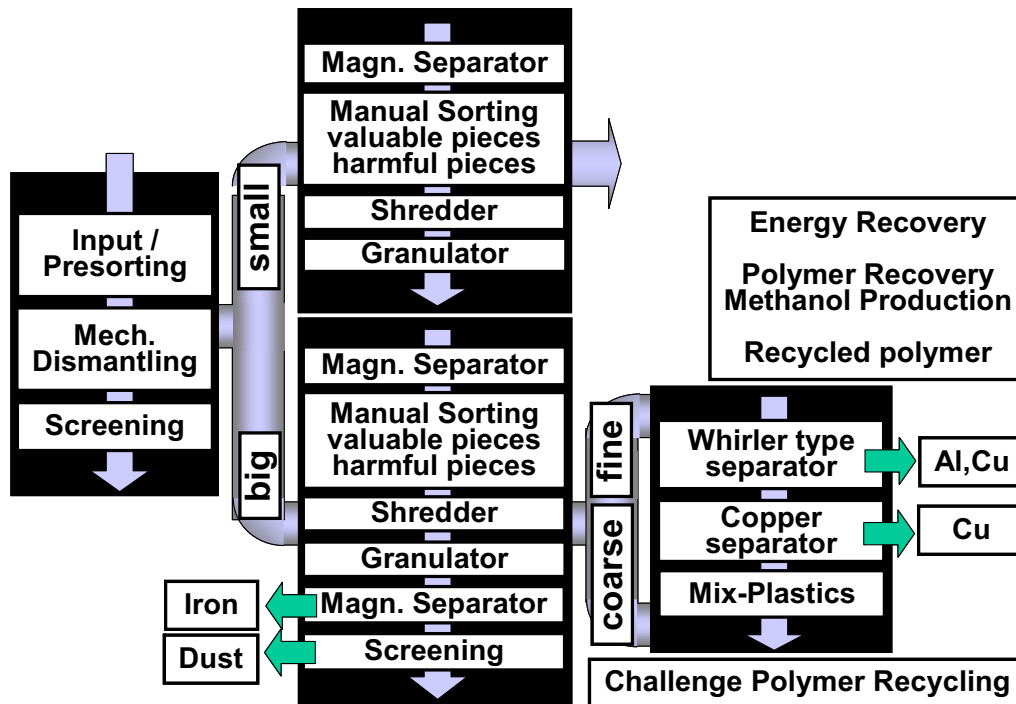


Fig.6 An example of recycling treatments for PCs in EU⁵⁾.

の選別により、アルミニウムおよび銅を回収する。残渣の混合プラスチックは、エネルギー源として利用するか、あるいはメタノールとしての回収等がなされている。特に、プラスチックは、現在、高分子としての利用を試みている。このプロセスでは、手作業の部品の分別を極力少なくするためのQZプロセスが、特徴である。

3.2 WEEE からの生成物

WEEE の構成組成は、例えば、パーソナルコンピューターでの PCB の構造は、製造会社および型式により種々の電子デバイス部品が実装されており、組成においても異なる。代表的な例として、内蔵されているプリント回路基板 (Printed circuit board 以下、PCB と記す) は、Table 1 に示す部品で構成していた⁶⁻⁷⁾。これらの部品はサイズが数 mm から数 μ m で微細であり、PCB 自体は多種類の素材の複合体である。

これらの複合体を、100mesh 以下の粉体として破碎し、その粉体の組成は、Table 2 に示すように、基板の主成分である、エポキシ樹脂材料、基板を強化するガラスファイバー成分、および、回路配線材、はんだ材および接点等の金属成分で、それらはほぼ 3 等分される組成割合で、それぞれ、31.8 mass%、37.6 mass%および 30.1 mass%であった⁶⁻⁷⁾。したがって、WEEE は、Fig. 7 に示すようにリサイクルプロセスにおいて、種々の元素を含む複合リサイクル材料であり、よく知られたことであるが、埋め立てにおいては、環境汚染を

Table 1 Parts of PCB and Materials of Structures⁶⁻⁷⁾.

Parts	Main materials
Package	Epoxy(Silicon)
Lead frame	Kovar, 42 alloy, Sn plating
Chip	Si
Bonding wire	Au
Die frame	Kovar, 42 alloy
Die bonding	Ag, Au-Si eutectic
Solder	Pb-Sn alloy
Board	Epoxy(Brominating), Glass fiber, Cu circuit

伴う元素が含まれている²⁾。リサイクルプロセスは、熱エネルギーの高いプラスチックと同様にエネルギー源として利用しうる炭素および燃料源となる炭化水素等が含まれている。このリサイクルプロセスからの生成物は、清浄な排出ガス、硫酸、基本的なあるいは特殊な金属元素、高価な金属、防護壁等に利用できるスラグ、特殊な沈殿物および清浄な排水等が得られる。

3.3 WEEE の一貫プロセス

前述の生成物は、一例として、Fig. 8 に示すようにマットから硫酸ガスの生成、粗銅の生成、スラグからの貴金属精製等の工程に分離し、一貫したリサイクルプロセスにおいて生産されている²⁾。この設備は Fig. 9 に示す生成物を生産している。全金属の回収率は 90%以上で、品質は 99%とされている²⁾。複合投入材料の 95%以上がリサイクルまたは回収されており、わずかの残留物は安全に処理されているとのことである。

このように、これらの複合リサイクル材料のリサイクルプロセスは、優れた冶金学的な知識を要し、洗練された工程の流れを有する十分な規模の設備とフレキシブルな容量の設備にお

いて、取り扱う材料の品質検査、サンプリング、分析を行い、設備とプロセスの連続的な監視と管理、プロセスの連続的な研究と、さらなる改善等が要求される。しかも、最善の環境、健康および安全 (EHS) を保証する総合的な条件を常に満たさなければならぬ。欧米諸国においてもリサイクルプロセスは、より高度な技術水準になっている。

Table 2 Elements of PCB⁶⁻⁷⁾.

Materials	Elements	Concentration (mass %)	Total (mass %)
Epoxy resin	C	18.1	31.77
	H	1.80	
	N	0.32	
	Org-O	6.03	
	Br	5.17	
	Sb	0.45	
Glass fiber	Si,SiO ₂	24.7	37.62
	Al ₂ O ₃	9.35	
	CaO	3.36	
	MgO	0.081	
	BaO	0.002	
	Na ₂ O	0.090	
	SrO	0.035	
Circuit	Cu	14.6	30.09
	P	0.014	
Solder	Sn	5.62	
	Pb	2.96	
Lead frame	Fe	4.79	
	Ni	1.65	
	Cr	0.356	
	Mo	0.016	
Contact	Ag	0.0450	
	Au	0.0205	
	Pd	0.0220	
Total	-	99.48	99.48

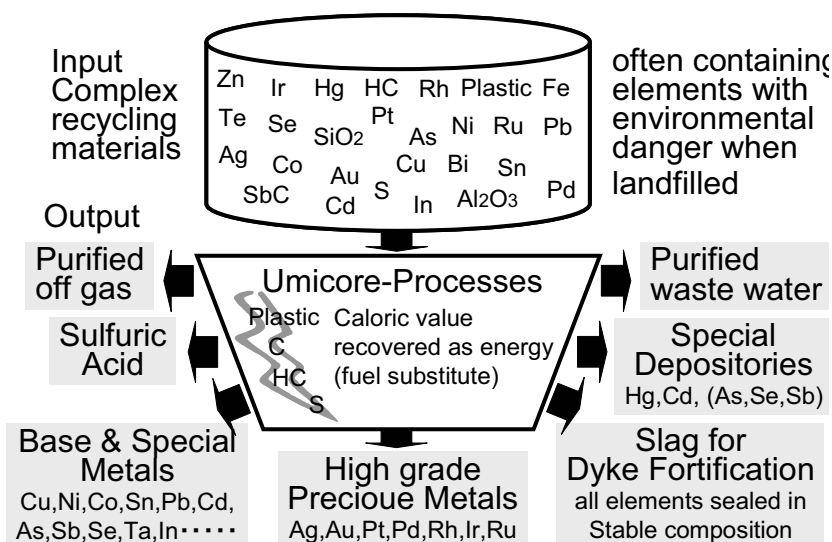


Fig.7 Metals refining is a complex “disintegration” process which generates well defined output streams²⁾.

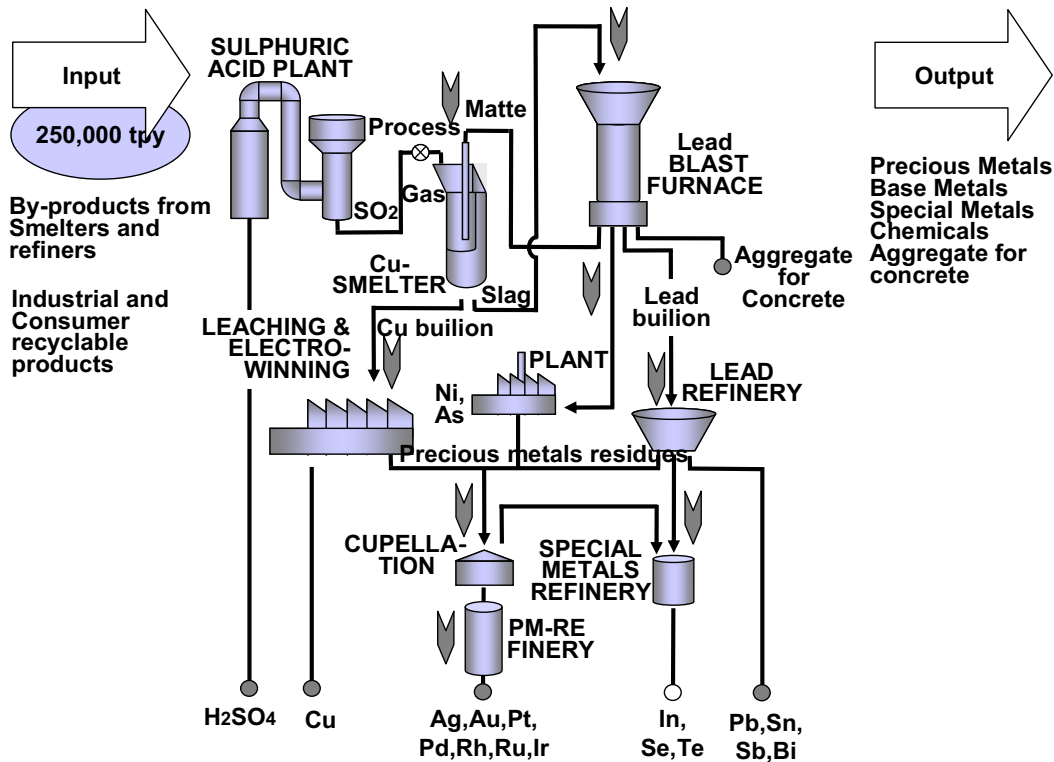


Fig.8 An example of a smelter refinery at Hoboken/Antwerp (Belgium)²⁾.

4. WEEE リサイクルプロセスにおける重要事項

4.1 廃棄PCBの加熱プロセス

現在なされている WEEE リサイクルの分解過程において、Fig. 6 に示したプロセスは、QZ 法により、機械的に分解し、スクリーニングによりサイズ別に分離しているが、この機械的分解およびサイズ別分離は、廃棄PCDのリサイクルにおいて工程的に短縮することが考えられている。

廃棄パーソナル・コンピューターでの IC 搭載 PCB の平均サイズ 200mm×150mm の試料を用い、受入のままの試料および受け入れ試料を約 20mm×20mm のサイズに粉砕した試料について金属回収率を比較した。それぞれの試料は、内容積 0.5m×1.3m の回転式 LPG バーナ燃焼炉を用い、加熱温度 1173K~1223K に加熱し、試料は、1

Lead(Pb)	125,000t	Selenium(Se)	600t
Copper(Cu)	>35,000t	Bismuth(Bi)	400t
Antimony(Sb)	3,000t	Tellurium(Te)	150t
Silver(Ag)	2,400t	Gold(Au)	>100t
Nickel(Ni)	2,000t	Platinum Group Metals(PGM)	100t
Tin(Sn)	1,500t	Indium(In)	30t
Arsenic(As)	1,000t	Sulphuric acid	100,000t
Aggregate for concrete & dyke fortification			140,000t

Fig.9 An example of total metal recovery in a company in EU²⁾.

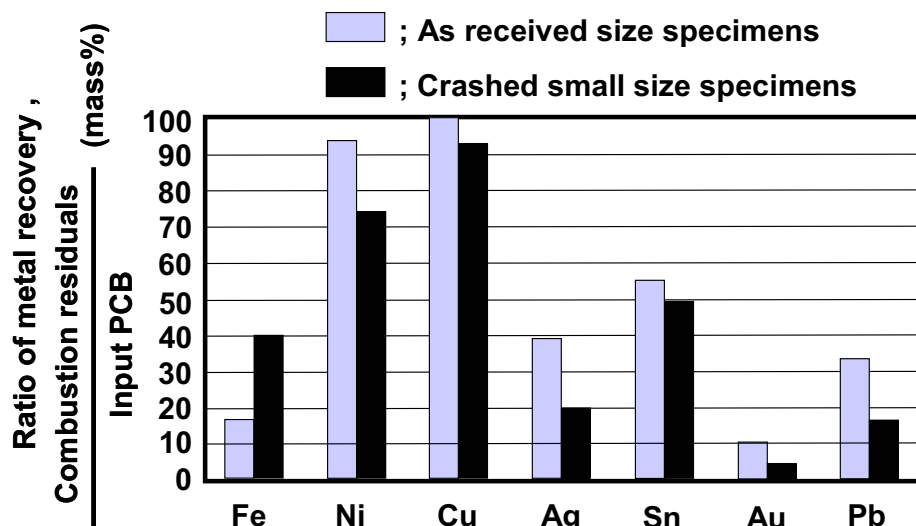


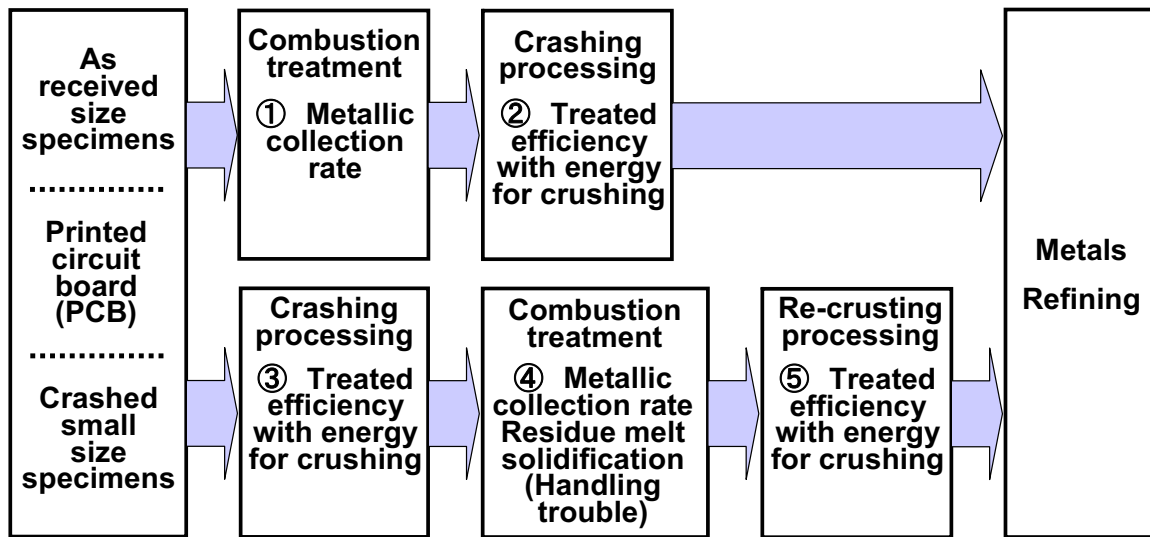
Fig.10 Comparison of metals recovery ratio between as received size and crashed small size specimen of waste PCB after combustion⁸⁾.

回あたりの投入重量をそれぞれ5kgとし、燃焼を行った。金属回収は、燃焼残渣より抽出分析すると Fig. 10 に示すように、いずれの回収金属も、受入のままのサイズの試料の方が、高くなる傾向が得られた⁸⁾。特に Cu および Ni は、90%以上回収しており、Ag、Au および Pb は、粉碎処理試料に比べ、倍近い回収率となっていた。粉碎処理試料の回収率低下は、温度上昇により含有金属の蒸発が多くなり、微細な金属粒子がガス流れにより飛散したとされる。

排ガスは、ガスクーラおよびバグフィルターを経て行った。排ガスの組成は、非分散型赤外線分析形および赤外分析形を用い測定した。O₂ 濃度は、試料投入時に 15vol.%から 3vol.%に急激に減少し、投入した試料の燃焼が終了すると初期濃度である 15%まで増加した。CO₂ 濃度は、基板燃焼により 4vol.%から 13vol.%まで増加し、燃焼終了後は 4vol.%まで減少した。この場合、投入基板燃焼に対する O₂ 量の不足から CO 濃度の発生が認められ、燃焼に伴って炉内温度も 100K 程度上昇した。このようにガス組成および温度の変動は、実験炉として用いた加熱炉の仕様に対し、試料の投入量が 5kg と過大であることに起因したとされ、投入形状を小さくするか、加熱装置を大きくすることでこれらの影響は、小さくなると考えられる。なお、炉内の燃焼状態をビデオカメラで観察すると、小サイズ試料は、時間の経過とともに、燃焼・溶融により凝着し、最終的に、室温では、最大 100mm 径の塊状を呈していた。受け入れのままの試料は、基板が炭化し、金属フレームは酸化していた。このように、小サイズ試料は、塊状となり、次工程の破碎にエネルギーを要するとされる。

有機物除去は、受入のままおよび小サイズ粉碎試料とする処理のいずれにおいても燃焼処理によって十分除去可能であるが、受入のままの形態で燃焼処理を行った方が、小サイズに粉碎処理を行うより、金属回収率が高くなるとされる。また、小サイズとした試料の燃焼は、前述したように金属回収率の低下に伴う排ガスへの金属成分の移行が多くなる。この小サイズ処理は、飛灰からの金属回収工程が増えることになり、得策ではないとされる。

これらの受入のままおよび小サイズ粉碎試料とする処理について、次工程の PCB 中の有価物回収の金属精錬プロセスへ導入する場合、粉碎に要するエネルギー及び金属回収効率は、定性的であるが、Fig. 11 に示すように、受入のままに近い形態にて処理する方が、小サイズとする粉碎処理より、効率的であると考えられる⁸⁾。



Treated efficiency for metallic collection rate ; ①<④

Treated efficiency with energy for crushing ; ②<③<⑤

Fig.11 Comparison of treated efficiency for as received size and crashed small size specimen of waste PCB after combustion⁸⁾.

4.2 ハロゲン族元素の処理

WEEE 中のプラスチックは、難燃性の必要度に応じて、Br および Sb の組成が高くなる。廃電気製品でのテレビ等 (brown goods)、データ・プロセッサ(D.P.) および事務機(O.E.)および洗濯機等の廃電気製品(White Goods)では、Table 3 に示すように、Br は 4.4~5.3%および Sb は 0.4~0.9%含有し、PCB は、Br が9%含有していた⁹⁾。

廃電気・電子機器のリサイクルにおいて、PCB は、Fig. 12 に示すフローのように廃電気・電子機器の解体・分解・分離を経て、処理される²⁾。プリント配線基板を取り出すリサイクルは、一般に、金属製錬炉が用いられ、マテリアルリサイクル(有価金属回収)、サーマルリサイクル(乾留、ガス化、燃焼)並びにケミカルリサイクル(塩素、臭素回収)が、同時になされている。精錬炉内は、ガス(ダスト)、スラグ、マット、メタルへの各元素の分配が生じ、ハロゲン元素の挙動および微小金属元素の挙動が伴う。しかしながら、銅製錬炉における塩素、ル弗素、臭素等のハロゲン化合物は、雰囲気により影響を受け、水蒸気の共存による加水分解、潮解性、複合化合物の生成によるさらなる融点低下作用等を伴い、ダストの発生、銅製錬炉のレンガの浸蝕および電気集塵機等の腐食にも大きく影響する。

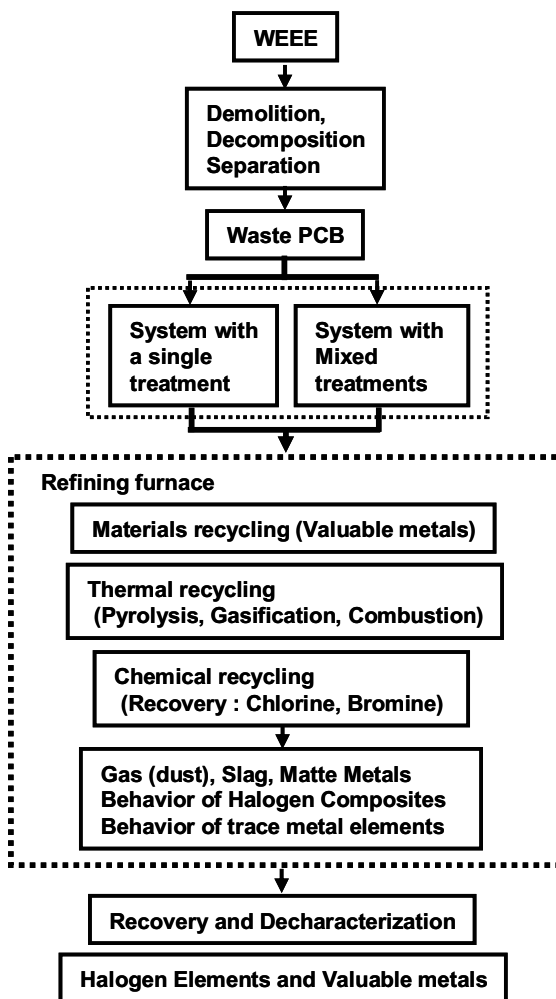


Fig. 12 Flow of recycling treatment for WEEE⁹⁾.

Table 3 Compositions of Plastics in WEEE.
(mass%)⁹⁾

Elements & Others	Kinds of WEEE			
	B.G	DP & OE	W.G	P.C.B
C	79	65.8	46.4	27
O	3.4	7.7	20	30
H	6.8	5.9	5.6	2.3
Br	4.4	5.3	5.1	9
Cl	1	1.2	0	0
Sb	1.3	1.9	0.4	0
B	0.02	0.14	0.6	1
Ferrous	0	0	0	0
Non-Ferrous	1.3	4.2	14.2	30
Glass	0.7	1.6	2.2	0
Others	0.35	2.2	0.2	0
Total	100	100	100	100

B.G; Brown Goods
DP & OE; Date Processing & Office Equipments,
W.G; White Goods
P.C.B; Printed Circuit Boards

Table 4 Behavior of trace metal elements in copper refining⁹⁾.

	Matt e (%)	Slag (%)	[M]/{M}	Remarks
Ag	98.5	1.0	0.5	Depend on matte grade
Au	98.5	1.0	0.5	
Ni	97.3	2.2	0.5	Depend on degree of oxidization
Co	63.0	36.5	0.5	
Pb	56.4	13.7	29.8	
Zn	32.0	60.0	8.0	
Cd	14.9	5.0	80.1	
As	9.3	17.9	72.8	
Sb	39.9	51.9	8.1	
Bi	24.0	1.0	75.0	
Tl	39.9	43.7	16.3	
Te	70.8	18.4	10.8	

[M]/{M}: Concentration Ratio of matt / slag
銅製錬系における微量金属元素の挙動は、

Table 4 に示すように生成する主要生成相が、ガス、スラグ、マット、メタルであり、これらの相間の微量元素として Cu、Zn、Pb、Sn、Ni、Au、Ag、PGM 等の分配である。分配挙動は、分配比が指標として有用である。

各元素の挙動は、分配比から把握でき、Au、Ag の貴金属と Ni は、マット中に濃縮される。PGM は、Ni の挙動と同様にマット中に濃縮される。Cd、As および Bi は揮発し、ガス中に除去される。Zn および Sb は、スラグ中に分配され、スラグ除去が可能である。これらの元素の挙動は、各元素の化合物形態に依存し、熱力学的データでの標準生成自由エネルギー変化により推定可能である。簡単な考察では、酸化物と硫化物の反応式に基づく平衡計算により推定可能である。さらに、複雑な考察が、コンピューターを用いたシミュレーションも実用レベルに到達しつつある¹⁰⁻¹³⁾。

塩素、弗素ならびに臭素の回収は、ケミカルリサイクルとして、期待され、HCl/HBr の溶液で回収し、蒸留分離する手法あるいは、NaCl/NaBr の溶液で回収し、隔膜電解等での方法が提案されている¹⁴⁾。製錬サイドからのハロゲン元素の回収は、金属イオンおよび SO₄ の共存溶液中にて処理される。

4.3 排ガス処理系における微量元素の挙動

銅製錬における排ガスの流れは、Fig. 13 に示すように自熔炉並びに転炉で発生したガスが廃熱ボイラーにて熱回収をした後、乾式の電気集塵機でダストを除去し、さらに冷却塔、サイクロンクーラー並びに湿式の電気集塵機を経て、硫酸製造工程に送られる。この硫酸製造工程では、As は、As₂S₃ として回収され、Cd は CdS O₄ の形で回収される。Cl、F、Br は Na との化合物として NaCl、NaF および NaBr として回収される。最終製品としての硫酸の品質を確保するため、ガス洗浄工程に種々の工夫がなされ揮発物質が除去される。

5. WEEE リサイクルプロセスの展開

WEEE リサイクルは、Fig. 3 に示したように WEEE の回収、分解、前処理、および溶解・製錬であるが、最終的にそれらの元素は金属精錬過程で再生される。しかしながら、WEEE リサイクルプロセスは、元素分離あるいは金属再生が最終ではない。さらに、前述したリサイクルチェーンの環を閉じなければならない。生成された元素あるいは金属さらには物質の多くは、新しい材料を製造するために実質的に用いられる。それらの多くは、Fig. 14 に示すようにあらゆる工業製品として応用され、利用されなければならない。銅は、現状の銅精錬でなされているが、生成物は銅のみならず、貴金属の処理、および精錬に用いられ、亜鉛も亜鉛精錬、亜鉛合金およびその化学製品等に利用され、貴金属製品では、自動車用触媒、貴金属化学、工業材料、燃料、宝石および電気めっき等に利用される²⁾。これらの製品化は、既になされているものもあるが、さらなる応用分野の開拓・研究が必要とされる。例えば、その生成物は、先端材料として電気光学材料、薄膜製品、新しい酸化物・化合物および工業用金属粉末等への展開があり、欧米での WEEE リサイクルプロセスは、Fig. 14 に示すように、それらの応用あるいは、適用がなされつつある。

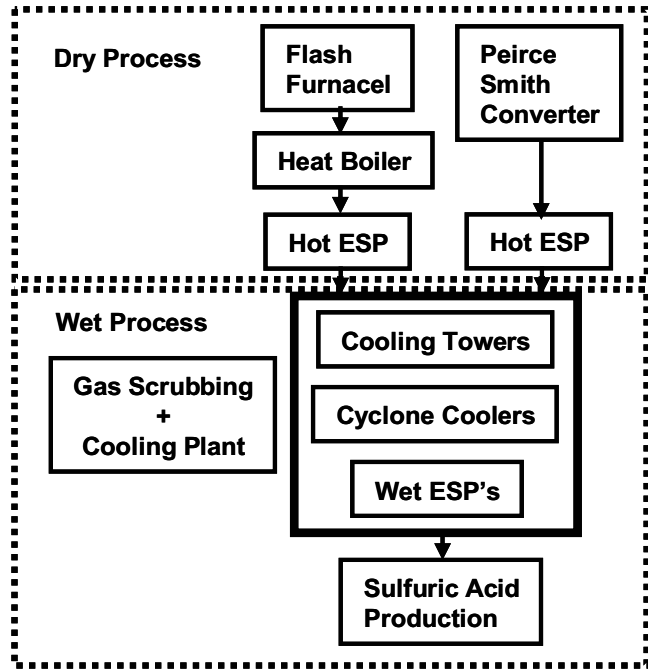


Fig.13 Production process of sulfuric acid in copper smelting⁹⁾.

Fig. 15 に示す薄膜は、廃棄 PCB を粉砕した粉末をペレット状に固め、エキシマレーザを照射して、アブ

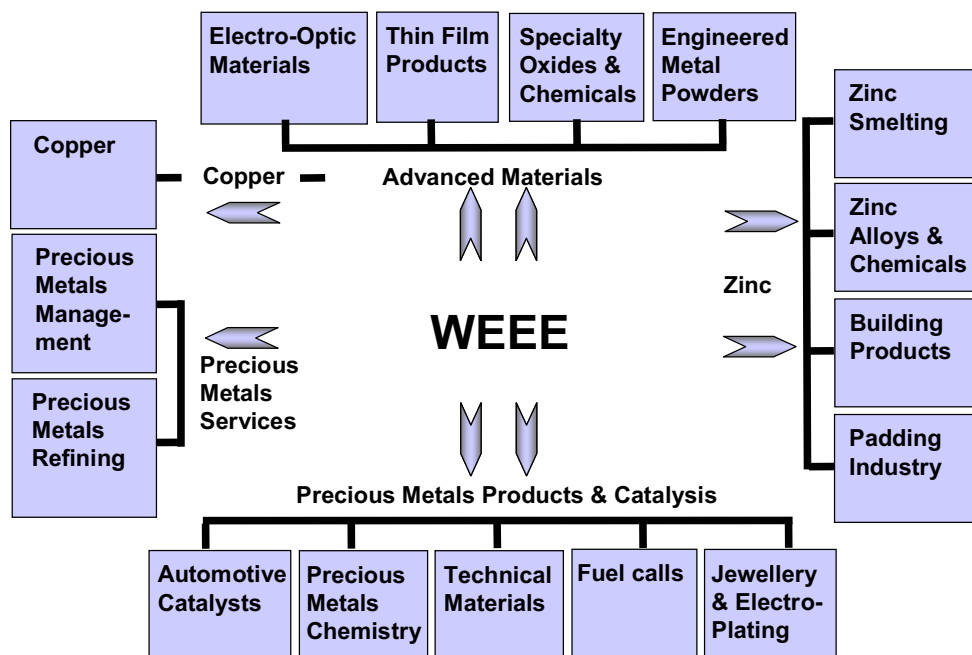


Fig.14 Many of these metals are used internally to manufacture new materials²⁾.

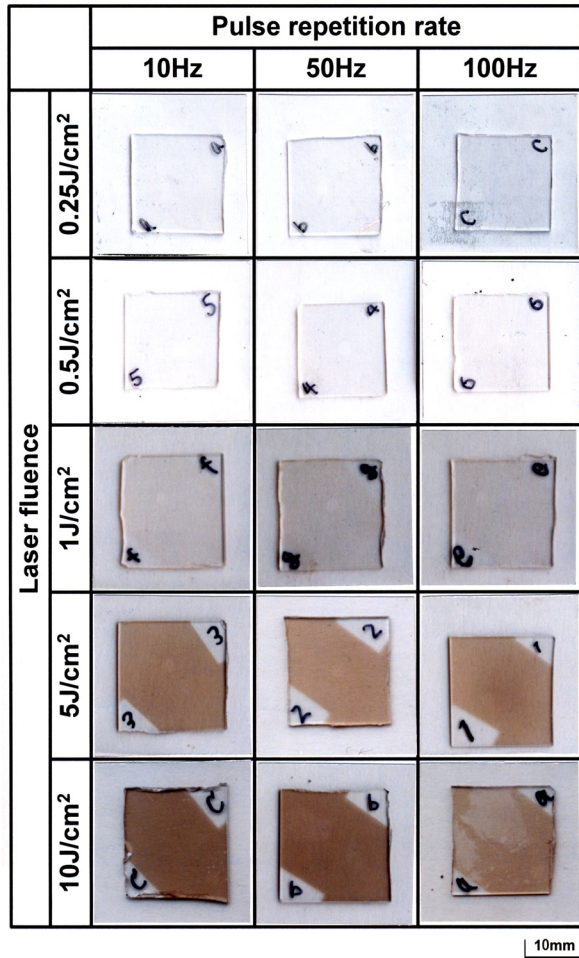


Fig.15 Appearance of thin films made from pellet of PCB powder by laser ablation method^(6,7)

以下のようにまとめることができる。

- 1) 効果的な WEEE のリサイクル技術は、エコロジカルなおよび経済的な行為との適切なバランスを保つことが基本であり、持続する。また、EEE は、リユースを優先すべくリユース設計を基本にするものの、リユースが不可能な WEEE は、再資源化を目指し、WEEE の部材のエコ効率を考慮しなければならない。リユースができない材料は、リサイクルチェーンの環が繰り返されても、付加価値の変動が皆無であることが好ましい。
- 2) WEEE のリサイクルプロセスは、優れた冶金学的な知識を要し、洗練された工程の流れを有する十分な規模の設備とフレキシブルな容量の設備等を要し、常に、最善の環境、健康および安全 (EHS) 等の保証が不可欠であり、高度な技術水準を有する。
- 3) そのプロセスでは、被リサイクル材の燃焼処理法、ハロゲン元素の回収、および排ガスに関連する硫酸等の生成物等にて種々の工夫を要する。
- 4) WEEE リサイクルは、最終的に、金属精錬過程で再生されるのみでなく、生成物が、さらに、あらゆる工業製品として利用され、応用されて、そのリサイクルチェーンの環を閉じなければならない。特に、先進的な新たな材料・製品の開発に向けた応用分野を開拓することが望まれる。

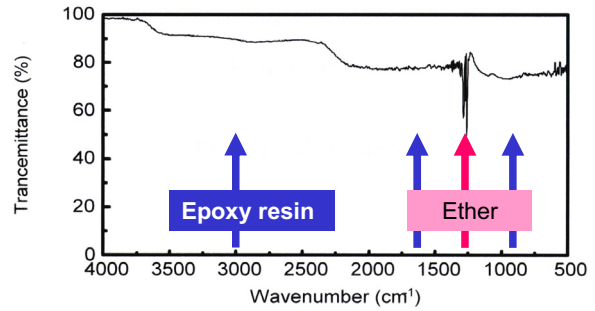


Fig.16 Structural analysis of thin films by Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (Laser fluence: 0.5J/cm²)^(6,7)

レーション粒子をガラス板上に積層して作製した^(6,7)。薄膜の形成は、レーザパルス数およびレーザフルエンスにより異なるが、レーザフルエンス 0.5J/mm² で作製した薄膜は、Fig. 16 に示すように、PCB のエポキシ樹脂成分で構成していることが認められ、基板から薄膜へと再生されていた。この結果は、さらに検討を要するが、このような応用への展開は、最終的にリサイクルチェーンの環を閉じるとされる。

6. 結 言

本稿では、WEEE のリサイクル技術における素材分離プロセスについて述べた。その主な結論は、

参 考 文 献

- 1) Waste prevention, resource protection and improvement of environmental performance of all operators are the main objectives of the WEEE-directive (§1)
- 2) G. Ethier: EEExploring above ground mines, 3rd IERC 2004, S-1-1, PP 1 - 13.
- 3) P. Oscar: Status on WEEE process, 3rd IERC 2004, S-3-1, PP 1 - 4.
- 4) T. Sato: Environmental regulations for it equipment in the white goods sector, 3rd IERC 2004, S-1-3, PP 1 - 17.
- 5) V. Haefeli: One year experience with mechanical dismantling of E&E appliances at RUAG, 3rd IERC 2004, S-3-2, PP 1 - 9.
- 6) T. Araki et al: Development of Emission-free Recycling Process for Printed Circuit Boards of Spent Personal Computer, 1st. IERC 2002, PP 1 - 9.
- 7) T. Araki et al: Development of Emission-Free Recycling Process by Laser Irradiation Method for Printed Circuit Boards of Spent Personal Computer, Mate 2003, PP 383 - 388.
- 8) 阿川隆一、他：使用済みプリント基板中の金属回収に及ぼす熱処理の影響，高温学会誌，Vol. 30, No. 1, (2004), PP 62 - 66.
- 9) T. Araki et al: Processing of Halogen Elements for Recycling Technology in Waste Electric and Electronic Equipments (WEEE), Mate 2004, PP 251 - 256
- 10) Chemistry manual (the 4th edition of revision) basic volume (I), and (II) Edited by Chemical Society of Japan, Maruzen Co., Ltd., (1991), PP I-118 - I-238.
- 11) N. Sano: FERROUM, 1, (1996), 11, PP 847 - 854.
- 12) Earth environment and a local environmental problem, and the steel industry: Iron and Steel Institute of Japan, February, (1998), pp 1 - 61.
- 13) GTT: Thermodynamics calculation software "FACTSAGE".
- 14) <http://www008.upp.so-net.ne.jp> 難燃プラスチックセミナー2002 テキスト