

平成 2 1 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「自動車解体における貴金属含有物の
高度精緻解体・分離技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成 2 2 年 3 月

委託者 関東経済産業局

委託先 財団法人金属系材料研究開発センター

目次

第1章 研究開発の概要	
1.1 事業の背景・研究目的および目標	1
1.1.1 研究の目的	
1.1.2 研究の概要	
1.1.3 実施内容	
1.2 研究体制	3
1.2.1 研究体制および管理体制	
1.2.2 研究員およびプロジェクト管理員	
1.2.3 他からの指導・協力者	
1.3 成果概要	6
1.3.1 過熱蒸気を利用した貴金属含有物の高度精緻解体・分離技術の開発	
1.3.2 貴金属の国内循環利用技術の開発	
1.4 当該プロジェクト連絡窓口	6
第2章 本論	
2.1 過熱蒸気を利用した貴金属含有物の高度精緻解体・分離技術の開発	7
2.1.1 はじめに	
2.1.2 実験装置・試料および実験方法	
2.1.3 結果および考察	
2.1.4 おわりに	
2.2 貴金属の国内循環利用技術の開発	19
2.2.1.1 はじめに	
2.2.1.2 実験方法	
2.2.1.3 結果および考察	
2.2.1.4 おわりに	
第3章 全体総括(1年間の総括)	31
3.1 過熱蒸気を利用した貴金属含有物の高度精緻解体・分離技術の開発	
3.2 貴金属の国内循環利用技術の開発	

第1章 研究開発の概要

1.1 事業の背景・研究目的および目標

1.1.1 研究の目的

当該特定ものづくり基盤技術において達成しようとする高度化の目標

(十六)熱処理に係る技術に関する事項

1 熱処理に係る技術において達成すべき高度化目標

(5)その他

・川下製造業者等の抱える課題及びニーズ

キ.環境配慮

貴金属の資源供給国は南アフリカやロシアなどの特定国に偏っているため、まさに資源ナショナリズムの台頭や BRICs 諸国の需要増大等により、需給バランスが大きく変化することは必至である。このため、資源セキュリティ・安定供給の面から、信頼性の高い資源バッファを築き、長期的に循環利用できるルートを確立することは緊急かつ重要な課題である。

特に、資源に乏しく、かつ、需要の多いわが国にとって、資源や環境の保全には、代替材料の開発や使用量の低減に向けた技術開発だけではなく、リサイクル技術の開発がさらに重要である。貴金属については、高品位の鉱石でも ppm オーダーの品位であり、精錬には膨大なエネルギーと時間を要し、また、大量の廃棄物が発生している。一方、素材の単価が極めて高価であることから、使用済みの製品からの回収は精力的に行われているが、自動車解体においては、ガラ、雑品の形までしか解体されていない。スクラップの特性に応じた新たなリサイクル技術を開発する必要がある。わが国には工業製品という形で貴金属はかなりの量が蓄積されているため、資源の有効活用・安定供給の面からも、スクラップを効率良く国内循環利用するルートの確立は非常に重要な課題である。

研究の目標として、

過熱蒸気を利用した貴金属含有物の高度精緻解体・分離技術の開発では、過熱蒸気熱処理炉において、回収された電子基板から確実にICチップ等を解体・分離する技術を確立するとともに、上記において、手作業にて解体・分離できる所要時間の10%以内の時間でできる技術を確立する。

貴金属の国内循環利用技術の開発では、回収されたICチップ等と、分離後に破砕された電子基板の各々の貴金属含有量の把握し、部品毎に貴金属価値分析を実施する。

1.1.2 研究の概要

自動車解体においては、ガラ、雑品の形までしか解体されていない。本研究開発ではガラ、雑品の電子基板からその形態に関らず、手作業によらず低コストで容易に有価金属部位を解体・分離する熱処理技術を開発する。

本研究開発では、

(1)過熱蒸気を利用した貴金属含有物の高度精緻解体・分離技術の開発

過熱蒸気技術を利用し、貴金属含有物の高度精緻解体・分離を手作業によらず、はんだ等を低酸素状態で溶融させ、その後衝撃を与えることで電子基板等から電子部品(ICチップ等)を解体・分離する技術を開発する。過熱蒸気は本来、水であり、それ以外の廃棄物を生じないという環境負荷を考慮した技術であり、手作業に頼らないという労働環境にも適応した低コストの解体・分離技術といえる。

(2) 貴金属の国内循環利用技術の開発

貴金属のリサイクルは廃棄物処理のためではなく、貴重な資源の有効活用と有価物の売却による収益のためである。通常、貴金属の回収を依頼する側と回収を受ける側の両者が、商業的に受益がある場合に貴金属のリサイクリングが成立する。回収物から貴金属の選別や回収に工数がかかったり、貴金属の含有量が少ない場合や、貴金属の価格が低くて回収することがコストに見合わないときには、有価物としてではなく、廃棄物として処分されることが多い。故に静脈産業回収物については、如何に回収のコストを下げ、選別その他により貴金属の含有量を濃縮することが、国内での資源循環を促すための大きな課題である。回収されたICチップ等と、分離後に破碎された電子基板の各々の貴金属含有量の把握し、部品毎に貴金属価値分析を実施し、国内での資源循環を促す。

1.1.2 実施内容

(1) 過熱蒸気を利用した貴金属含有物の高度精緻解体・分離技術の開発(実施:株式会社ツルオカ)

過熱蒸気熱処理炉において、回収された電子基板から確実にICチップ等を解体・分離する技術を確立する。また、手作業にて解体・分離できる所要時間の10%以内の時間でできる技術を確立する。手作業あるいは、薬品等の化学反応を使わずに短時間にて、また水資源を用いて電子基板からICチップ等を分離する技術を開発する。

(2) 貴金属の国内循環利用技術の開発(実施:株式会社ツルオカ、国立大学法人東京大学)

電子機器が搭載されている部品につき、分離したICチップと基板の貴金属含有量を把握し、部品毎に貴金属価値分析を実施する。

(3) 所在地

(a) 事業管理者

財団法人金属系材料研究開発センター(最寄り駅:JR 京浜東北線新橋駅 東京メトロ千代田線 霞ヶ関駅)

〒105-0003 東京都港区西新橋一丁目5番11号

(b) 研究実施場所(主たる研究実施場所については、下線表記。)

株式会社ツルオカ(最寄り駅:JR 東北新幹線・JR 宇都宮線 小山駅)

〒323-0804 栃木県小山市萱橋 1085 番地

国立大学法人東京大学(最寄り駅:東京メトロ千代田線 根津駅)

〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

(c) 委託期間

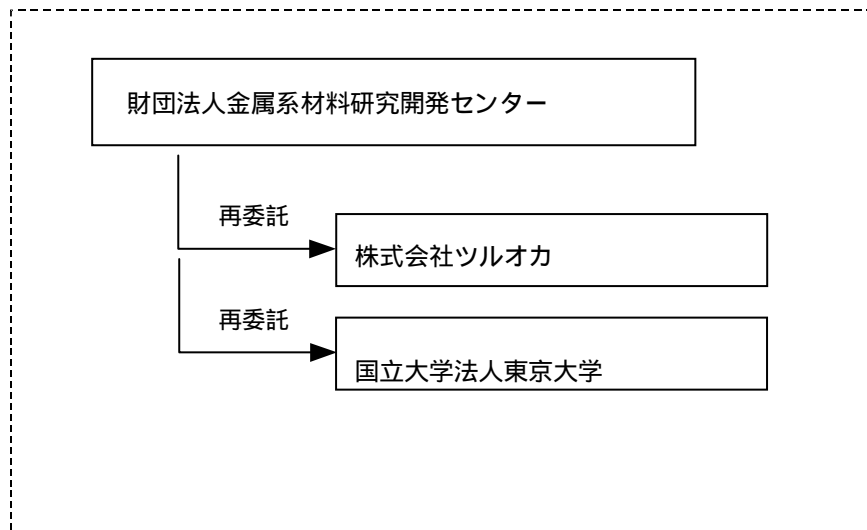
契約締結日から平成 22 年 3 月 31 日まで

1.2 研究体制

1.2.1 研究体制および管理体制

(1) 研究組織(全体)

研究組織(全体)

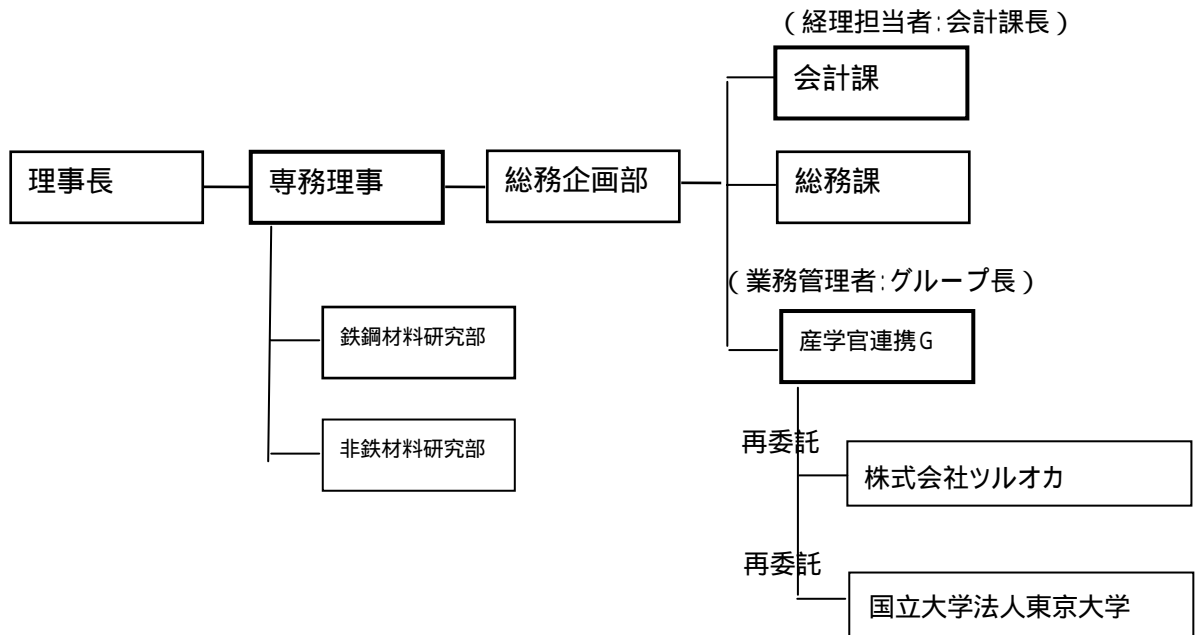


統括研究代表者(P L)
株式会社ツルオカ
代表取締役社長 鶴岡 正顯

副統括研究代表者(S L)
国立大学法人東京大学
工学系研究科マテリアル工学専攻
准教授 松野 泰也

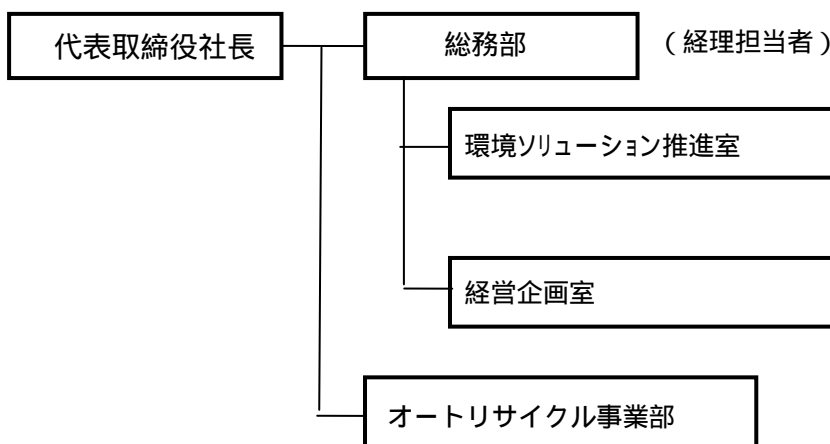
(2) 管理体制

(a) 事業管理者 [財団法人金属系材料研究開発センター]

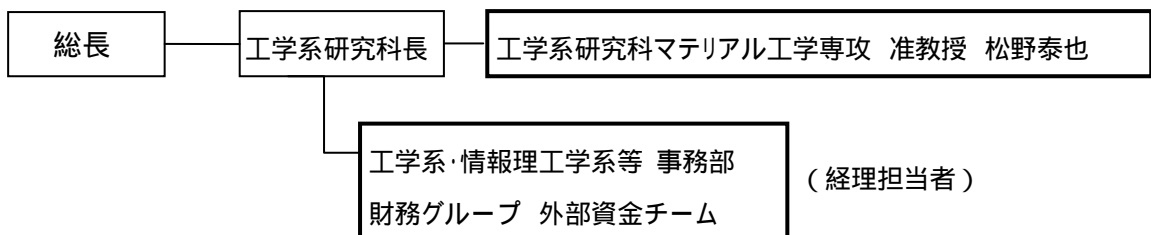


(b) 再委託先

[株式会社ツルオカ] (業務管理者: 代表取締役社長、オートリサイクル事業部長)



[国立大学法人東京大学] (業務管理者: 松野泰也 准教授)



1.2.2 研究者およびプロジェクト管理員

【事業管理者】財団法人金属系材料研究開発センター
管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
木曾 徳義	総務企画部産学連携G 主席研究員	

【再委託先】

(研究員)

株式会社ツルオカ

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
鶴岡 正顯	代表取締役社長	
小田部 和美	取締役オートリサイクル事業部長	
堀田 徳之	オートリサイクル事業部工場長	
中澤 信之	総務部環境ソリューション推進室課長	
堤 庸佐	総務部経営企画室室長	

国立大学法人東京大学

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
松野 泰也	工学系研究科マテリアル工学専攻 准教授	

1.2.3 他からの指導・協力者

研究開発推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
鶴岡 正顯	株式会社ツルオカ 代表取締役社長	<input checked="" type="checkbox"/> PL
松野 泰也	国立大学法人東京大学 工学系研究科 准教授	SL
小田部 和美	株式会社ツルオカ 取締役オートリサイクル事業部長	<input checked="" type="checkbox"/>
堀田 徳之	株式会社ツルオカ オートリサイクル事業部工場長	<input checked="" type="checkbox"/>
中澤 信之	株式会社ツルオカ 総務部環境ソリューション推進室課長	<input checked="" type="checkbox"/>
堤 庸佐	株式会社ツルオカ 総務部経営企画室室長	<input checked="" type="checkbox"/>
高田 浩輔	三菱商事株式会社自動車リサイクル担当統括マネージャー	アドバイザー(旅費のみ)
木曾 徳義	財団法人金属系材料研究開発センター総務企画部主席研究員	

1.3 成果概要

1.3.1 過熱蒸気を利用した貴金属含有物の高度精緻解体・分離技術の開発

ICチップ等素子の分離程度が70%台と悪い電子基板の特徴は、レジスターが多数搭載され、更には22mm×8mm未満のICチップが複数搭載され、その向きに法則が無いものであり、分離処理テストにおける対象電子基板全体の6%であった。

事前分別の方法や分離前処理装置の自動分離・回収装置の設定を調整することで、分離程度の向上を図ることも可能であると思われる。

全体平均としては、95.3%の分離ができ、分離時間も手作業で分離する作業時間の3.9%となる5分4秒が実現できた。

分離処理テストにおける事前分別の方法は、事前分別の程度や工数が、作業者の熟練度で差があるため、事前分別方法を簡易にした手順化と、その安全性も今後の検討課題とする。

また、当該研究開発における各種テストの期間は10月から翌2月で、外気温が10 前後のなか実施しており、分離熱処理装置から熱処理されたのちに排出される電子基板に外気温の違いが与える影響がデータ不足であるため、分離熱処理装置の庫内温度設定の最適化を継続的に確認し、消費電力の多い分離熱処理装置の運用上の省エネルギー化が必要である。

分離率を更に向上させる方法の検討や工数のバラつきを抑える方法の検討は、作業を行いながら、いかに個々の効率の良い方法や分離熱処理装置の設定温度を見出し、データ化できるかが、回収のコストを下げる重要なポイントになる。

1.3.2 貴金属の国内循環利用技術の開発

本技術により回収される貴金属の国内循環利用に関して検討を行った。自動車に使用されるエアバッグおよびエンジン制御の電子基板には、金、銀、銅の貴金属が含有されており、それを過熱蒸気により効率的に回収することにより、環境優位性のある事業になることが示された。経済性に関しては、現時点では不確定な要素も多いが、さらなる工程の改善などにより、収益を生む事業になりえる可能性も大きい。

1.4 当該プロジェクト連絡窓口

事業管理者、連絡担当者の連絡先を表1.4に示す。

表 1.4 事業管理者

住所：〒105-0003 東京都港区西新橋 1-5-11 第 11 東洋海事ビル 6 階
名称：財団法人金属系材料研究開発センター
代表者役職・氏名：理事長 武田 安夫
連絡先：03-3592-1282
連絡担当者所属役職・氏名：非鉄材料研究部加工G長 木曾 徳義
Tel:03-3592-1282 Fax:03-3592-1285
E-mail:nkiso@blue.ocn.ne.jp

第2章 本論

2.1 過熱蒸気を利用した貴金属含有物の高度精緻解体・分離技術の開発

2.1.1 はじめに

国内では、自動車等に搭載されている電子機器部品は、現状では価値を評価できないこと、取り外しに工数がかかること等により、ガラに搭載したまま、破碎業者に排出するか、雑品として海外に輸出されているのが実態である。

ガラあるいは雑品から精緻解体された電子基板を高度精緻解体により電子基板からICチップ等を省エネルギーで分離可能な、過熱蒸気利用熱処理装置のプロセスにより、手作業あるいは、薬品等の化学反応を使わずに短時間にて、また水資源を用いて電子基板からICチップ等を分離する技術を開発し、回収のコストを下げる。

過熱蒸気を利用した貴金属含有物の高度精緻解体・分離技術の開発

過熱蒸気熱処理炉において、回収された電子基板から確実にICチップ等を解体・分離する技術を確認する。また、手作業にて解体・分離できる所要時間の10%以内の時間でできる技術を確認する。

はんだの熔融温度と、樹脂の熔融温度が近似している。樹脂を熔融させずにはんだのみを熔融しなければならない。更に基板の種々の形状に対し、熱処理炉内でICチップを脱落させない適正な温度、適正な炉内滞留時間を検討する必要がある。

機械的振動による脱落があってはならない。また、逆に熱処理後に速やかに電子基板とICチップを分離させなければならない。分離するには、機械的外圧を加える必要がある。例えば衝撃であれば、その衝撃力、衝撃方向等の検討が重要となる。

特に自動車搭載用電子機器については、自動車走行時の振動に耐えられるように種々の工夫がなされているものが多い。

熱処理中では分離させずに、熱処理後に速やかに分離させる技術を構築することが必要である。

具体的には、下記の検討を行う。

前処理を含む基板の熱処理炉への投入方法の検討

熱処理炉の適正温度、適正滞留時間の検討

熱処理炉内の基板の搬送方法の検討

上記に基づく熱処理炉の基本設計の検討

後処理を含む熱処理後の分離のための機械的外圧の手段、及びその力、方向の検討

2.1.2 実験装置・試料および実験方法

(1)電子基板から手作業によるICチップ等の分離時間

【目標】

自動車搭載電子機器部品の筐体からの電子基板取り出し時間および、電子基板からICチップ等素子の分離を手作業で実施した場合の作業時間を確認し、当該研究開発において、その10%以内とする分離目標時間を設定する。

【手作業による分離対象】

エンジンCPU × 4 (同機種を2式ずつで、計4式)

【手作業による分離時間の確認手順】

分離対象であるエンジンCPUを全て手作業にて分離し、自動車搭載電子機器部品の筐体から電子基板を取り出すまでの時間と、電子基板からICチップ等素子を全て分離するまでの時間を計測し、その平均時間を当該研究開発における手作業による分離時間とする。

【手作業による分離方法】

自動車搭載電子機器部品の筐体から電子基板を取り出す工具には、電動インパクトドライバーを使用した。電子基板からICチップ等素子を分離する工具には、はんだ鋸、ニッパー、プライヤー、マイナスドライバーを使用した。電子基板からICチップ等素子を分離する方法として、リードフレームが施され、電子基板とリードフレームがはんだにて接着されている素子(ICチップ、トランジスタ等)と、リード線が施され、電子基板とリード線がはんだにて接着されている素子(レジスター、コンデンサ、ダイオード、水晶振動子等)については、ニッパー、プライヤーを使用して、リードフレームまたはリード線を電子基板側に近い根元から切断し、分離した。また、電子基板に直接はんだで接着されている素子(レジスター、コンデンサ、ダイオード等)は、はんだ鋸を使用して、はんだを溶融し、電子基板と素子の接着強度を弱めてから、マイナスドライバーを使用して分離した。

電子基板には、配線を繋ぐコネクタソケットが必ず搭載されており、その搭載にはコネクタソケットのピンを電子基板へはんだで接着するのに加え、ビスが使用され、更にはビスの「+」山にはんだが流し込まれており、はんだ鋸を使用して、はんだを溶融しても、はんだを「+」山から逃がすことができず、ドライバー等の工具での分離は不可能であるため、手作業による分離対象外とする。

【手作業による分離の実施】

4式のエンジンCPUをA～Dに分類し、1式ずつ順に手作業による分離を実施した。

【手作業による分離時間】

筐体からの電子基板取り出し時間は、A～Dまでの4式の平均が約4分であった。また、電子基板からICチップ等素子の分離時間は、A～Dまでの4式の平均が約134分であった。

【当該研究開発における分離目標時間】

当該研究開発における分離目標時間として、電子基板からICチップ等素子の手作業による分離時間である平均134分の10%未満の時間となる「13分以内」を手作業にて解体・分離できる所要時間の10%以内の時間に設定する。

【手作業による分離の問題点】

電子基板からICチップ等の分離は、工具を使用することで実施可能ではあったが、電子基板全体を温めずに作業を行っており、はんだは溶融しておらず、工具による外圧のみを加えるため、材質の殆どがセラミックや樹脂であるICチップ等素子自体が破損し、ICチップ等を電子基板と接着しているリードフレームやリード線が電子基板に残ってしまった。

手作業による分離は、平均で134分という作業時間が掛かり、作業者の労力も大きく費やす必要があるうえ、作業者は1枚ずつしか分離ができず、連続性がない。



(2)分離熱処理装置の仕様検討

【目標】

電子基板からICチップ等素子を分離するため、分離熱処理装置である過熱蒸気熱処理炉にて、樹脂の溶融温度と近似しているはんだのみを溶融する適正な温度と適正な炉内滞留時間、また、熱処理中では分離熱処理装置内でICチップ等を脱落させない基板の搬送方法を検討し、仕様を決定する。

【仕様検討基準 --- はんだの融点】

自動車搭載電子機器部品に搭載されている電子基板へのICチップ等素子接着には、はんだが使用されているが、年式、メーカー、車種等により、その種類は異なる。

従来錫鉛共晶はんだ(Sn63% - Pb37%)が最も多く使用されてきたが、1992年のブラジル・リオで開催された地球サミットにて「アジェンダ21」「リオ宣言」が採択され環境問題が国際共通の認識となり、特に有害物質の汚染が大きいEU(欧州連合)でWEEE・RoHS指令が発令され、鉛が有害6物質(鉛・水銀・カドミウム・6価クロム、PBB, PBDE)の一つに指定されたことをきっかけに、鉛フリーはんだの使用が主流となっている。

鉛フリーはんだは数種類あるが、当該研究開発の分離熱処理装置の仕様検討におけるはんだの融点は、「220」を基準とする。

【仕様検討基準 --- 樹脂の融点】

自動車搭載電子機器部品に搭載されている電子基板には、セラミック製の素材で覆われたICチップ等の素子の他、電子基板自体や素子に耐熱樹脂製の素材が使用されている。

当該研究開発の分離熱処理装置の仕様検討における樹脂の融点は、「250」を基準とする。

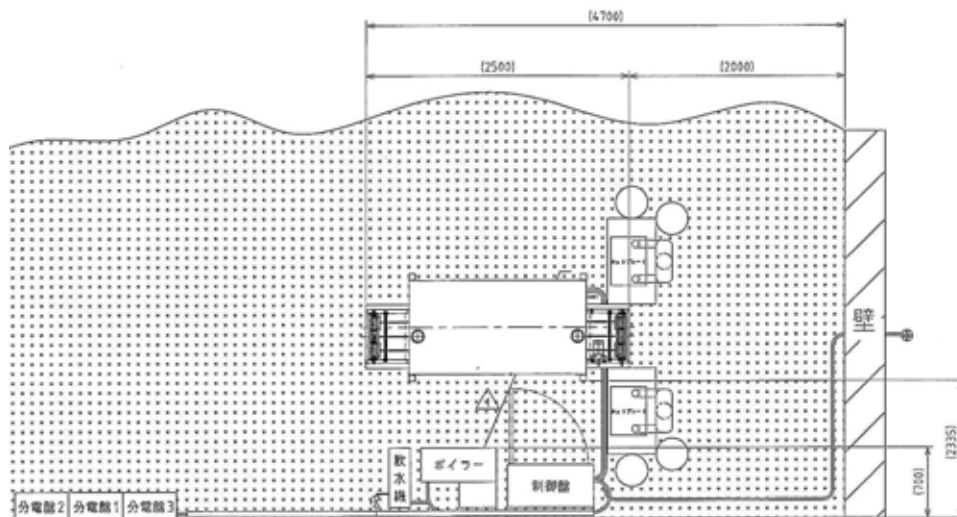
(3)分離熱処理装置

【目標】

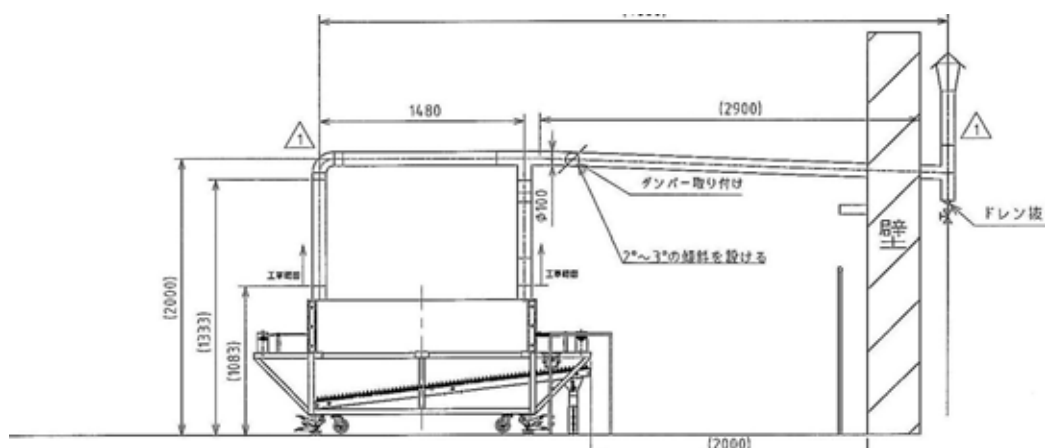
検討した分離熱処理装置の仕様に基づき、分離熱処理装置を製作し、装置能力検査を行い、設置準備を整える。

【分離熱処理装置構造】

「全体構造(平面図)」



「全体構造(立面図)」



【制御方法】

分離熱処理装置の運転は、補助ヒーター、過熱蒸気発生装置、電磁弁をそれぞれ操作が可能な単独運転と、庫内温度を設定するのみで、補助ヒーター、過熱蒸気発生装置、電磁弁が自動で制御される連動運転のいずれかを単独 - 連動の切り替えスイッチで選択する。

設定した庫内温度まで効率良く到達させることが容易で、運転後は操作が不要な「連続運転」を定常運転時には選択する。

【設置前検査】

仕様に基づき製作した分離熱処理装置の試験を行い、設置前に改良等の対応すべき事項が無いことを確認した。

a. 外観検査

目視により、外観上油脂類の付着、傷、汚損、変形がなく、使用上有害な欠陥の有無を確認、検査した。外観からは検査不可である絶縁抵抗、耐電圧の検査は検査成績表で確認した。

b. 単独運転動作試験

単独運転は、制御盤のCOS1スイッチを切り替えることで設定可能であり、それぞれの動作確認ができた。

単独運転は、「非定常時」用であり、通常運転時は、連続運転に設定する。

c. 連動運転動作試験

「連動運転」ボタンで動作することが確認できた。

通常運転時は、作業場の外気温等の作業環境や、電子基板の性状により、「処理庫内温度」の設定のみを行い、「連動運転」ボタンで動作させる。

d. 電子基板分離試験

外気温が12 のなか、エンジンCPU由来の電子基板を、分離熱処理装置で熱処理したのち、マイナドライバを使用して、電子基板からICチップ等素子を分離する外圧を手作業にて加えた結果、電子基板から素子を分離するためのはんだの溶融状況は良好であった。

設置前検査時には、分離熱処理装置に排煙装置が設置されておらず、分離熱処理装置からの排気を送風ファンで建屋排煙窓方向に風を送っていたため、電子基板にも風が当たり、電子基板の温度低下が早まっていたが、電子基板分離試験は合格とした。

(4) 分離後処理装置仕様検討

【目標】

分離熱処理装置から排出され、分離前処理装置の自動分離・回収装置にて、ICチップ等素子を分離した後の電子基板を減容するとともに、分析試料作製装置(カッティングミル)に投入可能なサイズに加工するための分離後処理装置の破碎能力、形状を検討し、仕様を決定する。

【仕様検討基準 ---破碎能力】

電子基板を最大1,000gとし、一日の稼働時間を8時間として、分離熱処理装置を2枚並列で搬送した処理を想定すると、電子基板1,000g×2枚×480分=960kgとなる。

当該研究開発の分離後処理装置の仕様検討における破碎能力は、「960kg/日以上」を基準とする。

【仕様検討基準 ---破碎室開口部】

自動車搭載電子機器部品に搭載されている電子基板の幅と長さの最大サイズは、使用済み自動車の解体業を平成10年9月から営む中の実績データから、自動車搭載電子機器部品から電子基板を取り出したままの状態、「幅200mm×長さ280mm」である。

分離前処理装置と分離熱処理装置は、分離後処理装置を設置する予定のGLよりも3,000mm高い2階部分に設置を予定しているため、上から落とし込むような投入方法となり、分離後処理装置の刃物部分に接した際に弾ける恐れがある。破碎室開口部周りには、ホッパーの設置が必要になり、弾か

れた電子基板が外部に飛散することはないが、噛み込み効率を向上させるためには、電子基板の最大長さである280mmの2倍以上の破碎室入り口のサイズが要求される。

当該研究開発の分離後処理装置の仕様検討における破碎室開口部は、「560mm以上」を基準とする。

【仕様検討基準 ---破碎サイズ】

分析試料作製装置(カッティングミル)に投入可能なサンプルのサイズは、60mm×80mm未満である。

当該研究開発の分離後処理装置の仕様検討における破碎サイズは、「60mm×80mm未満」を基準とする。

【仕様検討基準 ---装置形状(ホッパー)】

分離前処理装置と分離熱処理装置は、分離後処理装置を設置する予定のGLよりも3,000mm高い2階部分に設置を予定しているため、上から落とし込むような投入方法となり、分離後処理装置の刃物部分に接した際に弾ける恐れがある。刃物部分に接した際に弾ける恐れのある電子基板を、分離後処理装置外部へ飛散させず、破碎を促すため、破碎室開口部には、分離後処理装置設置場所に設置可能な、高さ800mm未満のホッパーが要求される。

当該研究開発の分離後処理装置の仕様検討における装置形状(ホッパー)は、「高さ800mm未満」を基準とする。

【仕様検討基準 ---操作盤位置】

分離前処理装置、分離熱処理装置、分離後処理装置を運転する際、通常運転時は、作業者は分離前処理装置と分離熱処理装置が設置されている2階部分に配置されるため、分離後処理装置の操作盤は、分離後処理装置側に設けず、2階に設ける必要がある。

当該研究開発の分離後処理装置の仕様検討における操作盤位置は、「2階設置」を基準とする。

【仕様検討基準 ---騒音・振動レベル(コンプライアンス)】

騒音・振動防止法並びに栃木県条例で定められている特定施設「破碎機」の能力は、5,000kg/日以上である。特定施設に該当する施設には、特定施設としての設置届出等の手続きや、設置完了後にも、年1回以上の騒音・振動測定義務が課せられる。特定施設に該当せずとも、特定施設が順守すべき規制値を下回る騒音・振動レベルが要求される。

分離後処理装置の設置場所は、工業専用地域に該当するため、分離後処理装置の運転が想定される昼間(午前8時から午後6時まで)の規制基準は、75デシベル未満である。

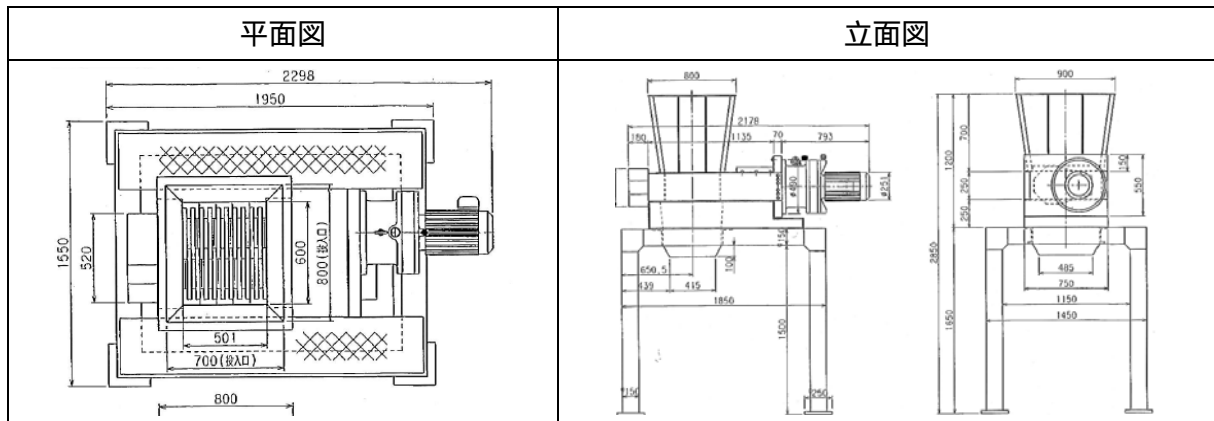
当該研究開発の分離後処理装置の仕様検討における騒音・振動レベルは、「75デシベル未満」を基準とする。

(5)分離後処理装置

【目標】

検討した分離後処理装置の仕様に基づき、分離後処理装置を製作し、設置準備を整える。

【装置構造】



【装置能力】

分離後処理装置の能力は、3,164kg / 日である。

(6)分離前処理装置仕様検討

【目標】

分離熱処理装置への電子基板投入のための調整と、分離熱処理装置にて熱処理されたのちに排出される電子基板に機械的外圧を加えることで、効率的で、確実にICチップ等素子を分離する方法を検討し、仕様を決定する。

【仕様検討基準 ---電子機器部品の投入方法】

電子基板からICチップ等素子の手作業にて解体・分離できる所要時間の10%以内の時間で分離処理を実施するため、分離前処理装置への電子機器部品の投入は自動で行い、工数を抑える必要がある。

当該研究開発の分離前処理装置の仕様検討における電子機器部品の投入方法は、「自動投入」を基準とする。

【仕様検討基準 ---投入前調整】

分離熱処理装置に投入可能な条件に合致しない電子基板は処理ができない。分離前処理装置では、条件に合致しない部品となるコネクタソケットや電解コンデンサ等を事前に回収する必要がある。

また、分離熱処理装置にて熱処理されたのちに排出される電子基板を機械的外圧により、ICチップ等素子を分離する装置に投入する向きは、熱処理後に目視で確認して、決定すると、数秒ではあるが、電子基板から熱が逃げ、温度低下し、分離可能なんだ熔融状況の時間的ロスとなるため、分離熱処理装置に投入する前に、分離前処理装置のコンベア上で決定する必要がある。

当該研究開発の分離前処理装置の仕様検討における投入前調整には、「調整用コンベア設置」を基準とする。

【仕様検討基準 ---分離後処理装置への投入方法】

分離熱処理装置にて熱処理されたのちに排出された電子基板から、機械的外圧による、ICチップ等素子の分離作業と、分離後処理装置への投入作業は一人を想定し、投入の自動化が必要である。

当該研究開発の分離前処理装置の仕様検討における分離後処理装置への投入方法には、「投入

用コンベア設置」を基準とする。

【仕様検討基準 ---機械的外圧の手段】

分離熱処理装置にて熱処理されたのちに排出された電子基板から、ICチップ等素子を効率的に分離・回収する機械的外圧手段を決定するために抽出した、「パイプレーションノビート手段」、「ブラッシング手段」、「スクレーパー手段」、「遠心分離手段」、「スクラッチ手段」のうち、多種多様な形状の電子基板に対し、機械的に実現性が高いと検証により判断した、「ブラッシング手段」を基準とする。

(7)分離前処理装置

【目標】

検討した分離前処理装置の仕様に基づき、分離前処理装置を製作し、設置準備を整える。

【機械的外圧手段テスト】

機械的外圧手段については、自動分離・回収装置を分離前処理装置に設けることで電子基板からICチップ等素子を限りなく100%に近い分離を図る。

分離前処理装置における自動分離・回収装置のテスト用装置を製作して、再度機械的外圧手段テストを実施し、本装置の設計に必要なデータを獲得する。

a.テスト用装置製作

機械的外圧を与えるブラシを2本固定して回転させ、2本のブラシの間を電子基板が通過し、電子基板の表裏に搭載されているICチップ等素子を同時に分離する手段とし、2本のブラシの間隔や、ブラシの回転数を調整可能な機構にする。

b.はんだ溶融方法

分離熱処理装置の製作を行う装置メーカーに協力を依頼し、当該研究開発とは別用途に使用している過熱蒸気発生装置を利用することとなった。装置形状は異なるが、はんだ溶融雰囲気形成には問題がない。

c.テスト用自動分離・回収装置

電子基板の表裏に搭載されているICチップ等素子に、同時に機械的外圧を加えられるよう、鋼製ブラシを2本固定した装置をテスト用に製作した。2本のブラシの間隔や、ブラシの回転数は、操作盤にて調整可能にした。

テスト用自動分離・回収装置は、電子基板を固定する機構になっていないため、機械的外圧手段テストでは、電子基板をペンチで掴み、手動で2本のブラシの間を往復させる必要がある。

d.電子基板の処理可能時間確認

外気温が15℃のなか、過熱蒸気発生装置から排出された電子基板の表面温度を測定し、はんだが溶融した電子基板からICチップ等素子の分離可能時間を確認し、機械的外圧手段による負荷の有効時間を特定した。

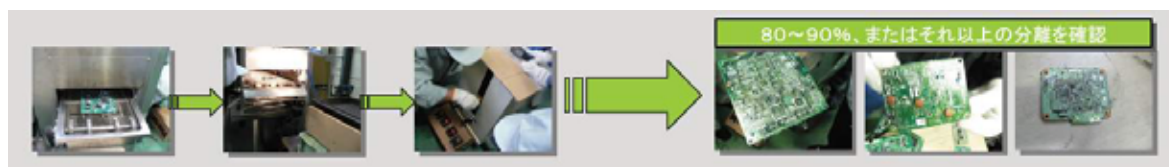
e.機械的外圧手段テスト

電子基板を過熱蒸気発生装置で熱処理したのちに排出された電子基板のコネクタソケット部分を

ペンチで掴み、ブラシを回転させた自動分離・回収装置に投入、2本のブラシの間を往復させて、機械的外圧を与え、電子基板からICチップ等素子の分離程度を確認した。

機械的外圧手段テストでは、エンジンCPU由来の電子基板2枚と、エアバッグCPU由来の電子基板3枚を対象とした。

電子基板に搭載されているコネクタソケットは、電子基板への接着の構造上、ブラッシングによる自動分離は不可能であるため、コネクタソケット部分には、機械的外圧を与えないこととする。



電子基板を表裏同時にブラッシングによる機械的外圧を与えられる自動分離・回収装置は、電子基板からICチップ等素子の分離に有効であることが確認できた。

【分離前処理装置仕様】

基本構成は、ホッパー部、コンベア部、自動分離・回収装置からなり、電子機器部品をホッパーに収め、コンベアに自動投入、搬送する中で、分離熱処理装置への投入条件に合致させる調整を行い、分離熱処理装置にて電子基板のICチップ等素子のはんだを溶融させ、接着強度が弱まった状態で排出された電子基板を自動分離・回収装置にて、ICチップ等素子を分離・回収し、分離処理後の電子基板は、分離後処理装置へ搬送される。

(8)装置の設置

【レイアウト】

仕様を決定した分離前処理装置、分離熱処理装置、分離後処理装置を株式会社ツルオカ・オートリサイクル事業部の自動車解体工場に設置した。

分離前処理装置、分離熱処理装置については、自動車解体工場内の2階に設置し、分離後処理装置については、自動車解体工場の外壁を隔てた1階に設置した。分離前処理装置、分離熱処理装置、分離後処理装置は、電子機器部品投入し、電子機器部品から電子基板を取り出し、電子基板を分離熱処理装置の投入条件と分離前処理装置の自動分離・回収装置への投入方向を調整し、分離熱処理装置で熱処理を施し、排出された電子基板から自動分離・回収装置でICチップ等を分離し、ICチップ等素子が分離された後の電子基板を減容するまでの処理が一連で行える配置となっている。

(9)装置能力テスト

【目標】

仕様検討基準に沿って製作した装置であるが、分離熱処理装置と分離前処理装置の自動分離・回収装置は、設置後に、より詳細な設定が必要であるため、それぞれテストを実施し、分離処理テスト時の設定を決めるデータを収集する。

【分離熱処理装置の装置能力テスト】

外気温が10 のなか、分離熱処理装置で熱処理したのちに排出された電子基板のコネクタソケット部分をペンチで掴み、ブラシを回転させたテスト用自動分離・回収装置に投入、2本のブラシの間を往復させて、機械的外圧を与え、電子基板からICチップ等素子の分離程度を確認した。

分離熱処理装置の装置能力テストでは、処理前後の電子基板を目視で確認し、電子基板からICチップ等素子の分離程度を評価した。

分離熱処理装置の装置能力テストの結果、はんだの溶融状態は良好であり、分離熱処理装置の過熱蒸気利用の熱処理自体には問題がないことが確認できたが、テスト対象とした電子基板のうち、40%に水滴が付着し、濡れた状態で分離熱処理装置から排出されてきた。

水滴が電子基板に付着する原因は、分離熱処理装置の排煙ダクトの形状にあり、分離熱処理装置で発生した蒸気が排煙ダクトを伝って排気される際に、蒸気が冷えて、分離熱処理装置内に逆流していたためであった。

電子基板に水滴が付着したまま、分離熱処理装置から排出されると、電子基板の保持温度の低下速度を速める恐れがあるため、排煙ダクトの形状を変更した。

分離熱処理装置の装置能力テストにおける電子基板からのICチップ等素子の分離程度としては、テスト用自動分離・回収装置を使用したとはいえ、電解コンデンサ等の大きな素子が、ブラシによる機械的外圧の力を遮り、電子基板に残存した素子がいくつもあるため、分離熱処理装置への投入の事前処理を行う必要があると判断した。

【分離前処理装置(自動分離・回収装置)の装置能力テスト】

外気温が7 のなか、分離熱処理装置で熱処理されたのちに排出された電子基板を、分離前処理装置の自動分離・回収装置でブラッシングによる機械的外圧を加え、電子基板からICチップ等素子を分離させ、排出された電子基板を目視にて確認した。

分離前処理装置の自動分離・回収装置でブラッシングによる機械的外圧を加えた結果、分離熱処理装置で温まり、柔らかくなった電子基板を機械的にクランプで啞えて移動させるため、電子基板がブラシ間を通過する際の外圧(回転数や回転方向)に耐えきれず、啞えている部分から先が折れて引き裂かれてしまった。

電子基板は分離前処理装置の自動分離・回収装置のクランプに立てて縦方向に啞え、装置内に自動で投入された後、左右対称に2列に並んだブラシの中心を通過する際に、ブラシを回転させて電子基板の表裏に搭載されている素子を分離するが、そのブラシは進行方向に従った回転と、進行方向とは逆に回転する2列で構成されているため、進行方向と逆に回転するブラシに接する箇所が左右対称に並ぶブラシ間の中心を捕らえないと、左右対称に並んだブラシの何れか一方に電子基板接した途端に、電子基板が啞えている部分から先が折れて引き裂かれる。

連続して電子基板を流し、分離程度確認のために分離前処理装置の自動分離・回収装置にて機械的外圧処理を試みたが、8枚中6枚に同じ現象が発生した。

自動分離・回収装置のブラシの回転数、ブラシの回転方向、電子基板の動線、電子基板のクランプ位置、電子基板へのブラシによる外圧負荷時間等の設定調整が必要と判断し、分離前処理装置(自動分離・回収装置)の装置能力テストの再実施を決定した。

【分離前処理装置(自動分離・回収装置)の装置能力テスト】

自動分離・回収装置の設定調整をしながら、電子基板の種類・形状・投入方向などによる分離精度の違いを検証した。

a. テスト実施

比較検証をするため、電子基板の種類を分別し、同種毎に投入方向による違いをテストした。

d. テスト結果

電子基板からICチップ等素子を分離するにあたり、過熱蒸気にて加熱された強度が弱っている状態にある電子基板を処理するには、回転ブラシの回転数と接触圧・時間など総合的な調整が必要であり、一概に回転と圧を高めれば可能ではないという検証結果となった。

分離前処理装置(自動分離・回収装置)の装置能力テストの結果、分離処理テストにおける、自動分離・回収装置の設定値を決定した。

(10)分離処理テスト準備

【テスト対象電子基板】

一台の自動車に十数種搭載されている電子機器部品のうち、ICチップ等素子の搭載量が多いと思われるエンジンCPUおよびエアバッグCPUを対象として、排気量グレード毎に、以下の8グループに分類した。

【ICチップ等データ収集】

8グループに分類したテスト対象電子基板から、それぞれ2枚ずつの計16枚を、分離処理テストにおける分離率算出のため、ICチップ等素子を分離回収し、ICチップ等素子の種類毎にサイズと重量の単品データを獲得した。

2.1.3 結果および考察

(1)分離処理テスト

【目標】

設置および設定を完了した分離前処理装置、分離熱処理装置を使用して、電子機器部品から回収された電子基板からICチップ等素子を確実に分離する技術と、手作業にて解体・分離できる所要時間の10%以内の時間でできる技術を検証する。

【分離処理テスト手順】

- a. 電子基板の重量計量
- b. 分離前処理装置のコンベア上での事前分別(時間計測)
- c. 事前分別後の電子基板の重量計量
- d. 事前分別された素子の重量計量
- e. 分離熱処理装置による熱処理(時間計測)
- f. 分離前処理装置の自動分離・回収装置による分離処理(時間計測)
- g. ICチップ等分離後の電子基板の重量計量

【分離処理テスト】

外気温が16℃のなか、分離処理テストを実施した。

分離処理テストでは、1 - 1 ~ 8 - 4までの32種類の電子基板と、8グループ毎に回収した分離処理後のICチップ等素子を回収し、分離率算出のデータとする。

(2)分離率 / 工数

【目標】

分離処理テストで獲得したデータを集計し、電子基板からのICチップ等素子の分離率を確認する。

【分離率確認方法】

事前回収した後の電子基板の重量から、分離処理後の電子基板の重量を減算した数値をAとする。

ICチップ等素子を電子基板から分離処理後の電子基板に残存しているICチップ等素子の重量を、分離処理テスト準備にて収集したICチップ等素子の単品データから推測して、Aに加算した数値をBとする。

$A \div B =$ 分離率として評価した。

自動分離・回収装置のブラッシングにて、電子基板が削られてしまい、重量に影響を及ぼすが、その差は許容範囲とする。

【工数確認方法】

事前分別する時間と、分離熱処理装置の熱処理時間、分離前処理装置の自動分離・回収装置の処理時間の総和を工数とする。

【分離率 / 工数評価】

分離処理テスト対象電子基板である32枚それぞれのデータを集計し、分離率確認方法と工数確認方法に基づいて評価を行った。

【分離率 / 工数評価結果】

分離程度は95.3%で、分離に掛かる時間は5分4秒であった。

分離程度の最低は、73.4%。分離程度の最高は100%。

分離時間の最長は、6分43秒。分離時間の最短は、4分5秒。

【まとめ】

ICチップ等素子の分離程度が70%台と悪い電子基板の特徴は、レジスターが多数搭載され、更には22mm×8mm未満のICチップが複数搭載され、その向きに法則が無いものであり、分離処理テストにおける対象電子基板全体の6%であった。

事前分別の方法や分離前処理装置の自動分離・回収装置の設定を調整することで、分離程度の向上を図ることも可能であると思われる。

全体平均としては、95.3%の分離ができ、分離時間も手作業で分離する作業時間の3.9%となる5分4秒が実現できた。

分離処理テストにおける事前分別の方法は、事前分別の程度や工数が、作業者の熟練度で差があるため、事前分別方法を簡易にした手順化と、その安全性も今後の検討課題とする。

また、当該研究開発における各種テストの期間は10月から翌2月で、外気温が10℃前後のなか実施しており、分離熱処理装置から熱処理されたものに排出される電子基板に外気温の違いが与える影響がデータ不足であるため、分離熱処理装置の庫内温度設定の最適化を継続的に確認し、消費電力の多い分離熱処理装置の運用上の省エネルギー化が必要である。

分離率を更に向上させる方法の検討や工数のバラつきを抑える方法の検討は、作業を行いながら、如何に個々の効率の良い方法や分離熱処理装置の設定温度を見出し、データ化できるかが、回収のコストを下げる重要なポイントになる。

2.1.4 おわりに

電子基板からICチップ等素子を分離する技術は、過熱蒸気利用の分離熱処理装置と、分離前処理の機械的外圧手段である自動分離・回収装置等を開発することで、電子基板の種類によっては、分離率が70%台と課題の残る結果にはなったものの、平均では分離率95.3%という結果を分離処理テストにて得ることができた。

当該研究開発にて設置した分離前処理装置、分離熱処理装置、分離後処理装置の一連の装置による電子基板からのICチップ等素子の分離処理では、分離後の電子基板は、分離後処理装置にて破碎され、減容される流れとなっているが、分離後のICチップ等素子は、分別の手段を設けておらず、ICチップ、トランジスタ、レジスター、コンデンサ、ダイオード、水晶振動子等と一緒に回収されてしまう。

回収された素子を種類毎に低コストで分別する技術と、それによって貴金属価値を見出せる素子を選別し、濃縮する技術は、国内での資源循環を促すための大きな要素であり、今後も研究開発が必要である。

より有効な濃縮を行うには、自動車等に搭載されている電子機器部品から取り出す電子基板そのものの価値を評価し、分離すべき電子基板の種類を特定する手順を確立しなければならない。

2.2 貴金属の国内循環利用技術の開発

2.2.1 自動車に使用される電子基板に含有される貴金属の重量測定

2.2.1.1 はじめに

自動車に搭載されている電子機器部品の電子基板を熱処理によりICチップを分離し、分離したICチップ及びICチップを取り除いた残電子基板の貴金属含有量を測定し、貴金属価値の分析を実施する。

対象電子機器として、

エンジン制御ボックス、エアバッグ制御ボックス、カーオーディオ、メーター、ドアスイッチ、電子キー、ヒューズボックス、電動シート制御ボックス、オートアンテナ制御ボックス

上記電子機器の電子基板を対象とするが、今回はICチップ搭載量が多いと思われるエンジン制御ボ

ックス及びエアバッグ制御ボックスを対象に分析を実施した。

2.2.1.2 分析方法

分析方法として、まずは事前分析を実施して予め貴金属の含有を確認してから、その後当プロジェクトで分離回収した IC チップ及びICチップを取り除いた残電子基板を分析し、貴金属含有量を把握する。

a) 事前分析

排気量2000ccクラスのエンジン制御ボックス及びエアバッグ制御ボックスを分解して電子基板を取り出し、電子基板全体、ICチップのみ、ICチップを取り除いた残電子基板を、それぞれ粉碎(500 μ 粉末)して分析サンプルを作成する。尚、分析にあたって当社での分析の他、外部分析機関での分析を実施する事にした。

* 同一製品を3セット準備

b) 事前分析方法

(1) 当社

電子基板全体粉末、ICチップのみ粉末、ICチップを取り除いた残電子基板粉末を、それぞれ円すい四分法にてサンプリングし、分析試料を作成した。この分析試料を蛍光X線分析装置(島津製EDX-720)で分析を実施する。更に、それぞれ残った粉末を電気炉式自動融解装置(デンケン製KDF1700)を使用して溶解し、凝固した金属を蛍光X線分析装置で分析を実施する。

(2) 外部 (栃木県産業技術センター)

当社と同様に、円すい四分法によりサンプリングし分析試料を作成して、蛍光X線分析装置(日本電子製JSX3201A)で分析を実施する。分析手順として、最初に定性分析を実施し、次のステップで元素を絞り、定量分析する事にした。

(3) 外部 (株式会社島津テクノロジー)

当社及び栃木県産業技術センターの方法とは違い、酸で溶解して、その溶解液を分析試料として作成し、ICP発光分光分析装置で分析を実施する。

c) 本番分析

当プロジェクトの一連の流れによって分離回収されたICチップ及びICチップが取り除かれた残電子基板の分析を実施する。





今回は、貴金属の内、金・銀・銅の含有量を分析・測定する事にした。

一連の流れ

サンプリング 前処理 過熱蒸気熱処理 ICチップ自動分離

ICチップ回収及び分離後電子基板破碎 分析サンプル作成 貴金属含有量分析
分析サンプル

採取したサンプルを事前分析時と同様に、カッティングミルで粗粉碎し、超遠心粉碎機にて粒度500 μ の粉末にして分析サンプルを作成する。

			
ICチップ	粗粉碎	500 μ 粉碎	分析サンプル

d) 本番分析方法

当社及び栃木県産業技術センターでの粉末サンプルを使用しての蛍光X線分析法では、金の検出が非常に困難と判断し、株式会社島津テクニサーチに貴金属(金・銀・銅)の定量分析を依頼する事にした。

【具体的な分析方法】

(1) 分析機器 ICP 発光分光分析装置 島津製 ICPS-8100

(2) 試料作成方法

試料をピーカに秤取りし、王水等で目的元素を溶解させ、ろ過した検液を酸分解液とする。

上記、酸分解液から、目的元素を定量する。

2.2.1.3 結果及び考察







a) 事前分析結果

(1) 当社の蛍光X線分析結果

粉末をハンドプレスで固め、3試料作成し蛍光 X 線分析装置で分析実施した。

【結果】

多点分析も試みたが、全ての試料で銀及び銅は検出する事が出来たが、ターゲットのAuが検出できなかった。

		
		
電子基板全体	ICチップのみ	ICチップ除去した基板

事前分析 (栃木県産業技術センター依頼品と同品)
1 エンジンコンピュータ電子基板(307g) 分析日: 1422/01/19

原子番号	元素	IC有基板				IC			IC無基板			
		①	②	③	平均	①	②	平均	①	②	③	平均
14	Si	20.792	31.488	23.485	28.592	20.820	42.174	31.497	17.819	24.885	28.941	23.215
20	Ca	15.043	16.022	16.638	15.908				15.622	17.601	17.866	18.363
22	Ti	0.208	0.127	0.187	0.173				0.099	0.085	0.165	0.116
24	Cr	0.265	0.307	0.335	0.302	0.396	0.309	0.353	0.399	0.318	0.314	0.330
25	Mn				0.055							
26	Fe	2.821	2.336	3.042	2.833	2.456	3.819	5.888	4.315	3.255	3.117	3.882
28	Ne	0.533	0.496	0.567	0.532				0.387	0.313	0.376	0.359
29	Cu	10.108	10.242	12.569	10.973	26.479	10.824	18.852	6.606	8.425	9.509	8.180
30	Zn	1.146	1.390	1.260	1.265				0.545	0.341	0.365	0.417
35	Br	16.665	16.351	17.260	16.759	9.536	9.532	9.534	21.842	21.106	19.754	20.901
38	Sr	0.427	0.413	0.417	0.419				0.568	0.508	0.453	0.510
40	Zr			0.049	0.048				0.099		0.047	0.058
42	Mo		0.031		0.031				0.040	0.036		0.038
43	Ag	0.232	0.245	0.295	0.257	0.830	0.622	0.726	0.282	0.221	0.199	0.234
50	Sn	11.320	11.471	12.798	11.663	9.125	9.869	9.497	15.085	12.125	11.217	12.812
51	Sb	0.833	0.575	0.791	0.733	13.750	14.909	14.330				
53	I	1.584		1.734	1.659				2.164	1.899	1.786	1.950
55	Cs				0.262	0.249	0.256					
56	Ba	2.250	2.701	2.128	2.360				3.235	2.915	2.521	2.890
74	W					2.114	1.583	1.849				
82	Pb	5.378	5.334	6.069	5.594	4.481	3.301	3.891	6.555	5.658	5.077	5.763
83	Bi					0.322	0.366	0.354				
87	Fr	0.277	0.299	0.367	0.314	1.002	0.363	0.683	0.396	0.309	0.294	0.333

原子番号	元素	IC有基板				IC			IC無基板			
		①	②	③	平均	①	②	平均	①	②	③	平均
14	Si	25.398	28.961	29.608	29.389	54.518			26.780	25.095	24.705	25.527
20	Ca	16.876	17.481	16.991	17.216	1.381			1.381	18.833	19.000	17.109
22	Ti	1.669	1.108	0.904	1.243	0.164			0.164	2.785	0.921	0.823
24	Cr	0.390	0.410	0.389	0.396	0.236			0.236	0.357	0.364	0.361
25	Mn				0.081				0.081			
26	Fe	5.983	6.554	6.144	6.227	17.517			6.837	7.353	8.034	7.408
28	Ne	0.853	0.731	0.722	0.769	0.504			0.504	0.883	0.963	0.787
29	Cu	11.402	10.067	8.518	9.895	17.013			17.013	8.780	9.184	8.898
30	Zn	1.361	1.205	1.155	1.240				1.448	1.760	1.950	1.720
35	Br	12.327	11.846	12.884	12.353	1.499			1.499	15.258	14.837	14.211
38	Sr	0.518	0.594	0.578	0.563				0.399	0.379	0.364	0.361
40	Zr	0.229	0.247	0.216	0.231	0.019			0.019	0.287	0.278	0.288
41	Nb	0.043	0.049	0.048	0.046				0.043	0.057	0.061	0.054
42	Mo	0.017			0.017	0.012			0.012	0.037		0.037
47	Ag	0.412	0.435	0.588	0.478	0.210			0.210	0.360	0.450	0.494
50	Sn	9.614	9.072	8.481	9.049	2.510			2.510	9.761	9.156	8.438
51	Sb	0.666	0.694	0.778	0.713	1.174			1.174	0.350	0.330	0.363
53	I	1.128	1.149	0.942	1.073	0.452			0.452	1.433	1.038	1.376
56	Ba	1.786	3.401	3.728	2.974	0.788			0.788	3.560	4.359	3.860
82	Pb	5.198	5.580	4.788	5.189	2.115			2.115	5.007	4.946	4.978
87	Fr	0.319	0.417	0.311	0.348	0.177			0.177	0.360	0.325	0.374

測定条件
測定法: 大気
サンプル: 10mm
電圧: 50kV
電流: AuCo
積分時間: 100sec
検出範囲: 0-40keV
解析範囲: 0-40keV

電気炉式自動融解装置で残った粉末を溶解して、再度蛍光 X 線分析装置で分析実施したが、溶解凝固したサンプルを採取出来なかった。

従って、加熱した事により残った砂状の物質を分析してみた。尚、溶解条件は1100 で30分保持(窒素ガス雰囲気)で実施。

【結果】

溶解しても、溶解凝固した金属片が採取出来なかった事もあり、上述と同じように銀と銅は検出できたが、ターゲットのAuは検出できなかった。



事前分析(栃木県産業技術センター依頼品と同品)分析日 : H22/01/20
 1/19に粉末で分析した試料を1100°Cで溶解
 (金属のみ凝固した試料は採取出来なかった)

1.エンジンコンピュータ電子基板

原子番号	元素	ICチップ				IC有基板(再攪拌)			
		①	②	③	平均	④	⑤	⑥	平均
14	Si	16.989	21.610	24.204	20.934	24.977	24.332	24.908	24.739
20	Ca					20.058	17.729	17.794	18.527
22	Ti					0.367		0.311	0.339
24	Cr	0.393	0.386	0.463	0.414	0.487	0.394	0.428	0.436
25	Mn	0.139	0.162	0.162	0.154	0.408	0.290	0.409	0.369
26	Fe	10.044	7.911	8.138	8.698	5.360	5.711	5.681	5.584
28	Ni	4.224	3.163	3.308	3.565	0.866	0.859	1.009	0.911
29	Cu	40.233	36.319	38.121	38.224	17.557	21.108	20.492	19.719
30	Zn					2.155	1.914	2.469	2.179
35	Br					6.260	4.193	4.414	4.956
38	Sr					0.739	0.544	0.638	0.640
40	Zr					0.070	0.051	0.056	0.059
41	Nb						0.032	0.038	0.035
42	Mo			0.051	0.051	0.058	0.046	0.056	0.053
47	Ag	0.720	0.844	0.676	0.747	0.286	0.343	0.332	0.320
50	Sn	8.420	9.046	7.761	8.409	8.085	9.327	8.512	8.641
51	Sb	10.772	12.619	9.775	11.055	0.957	0.869	1.120	0.982
53	I					1.095	1.246	1.151	1.164
56	Ba					3.973	4.605	4.058	4.212
73	Ta					1.505	1.724	2.473	1.901
74	W	2.868	2.747	2.580	2.732				
82	Pb	5.199	5.192	4.565	4.985	4.407	4.339	3.385	4.044
83	Bi					0.012		0.019	0.016
87	Fr					0.315	0.345	0.247	0.302
90	Th			0.197	0.197				

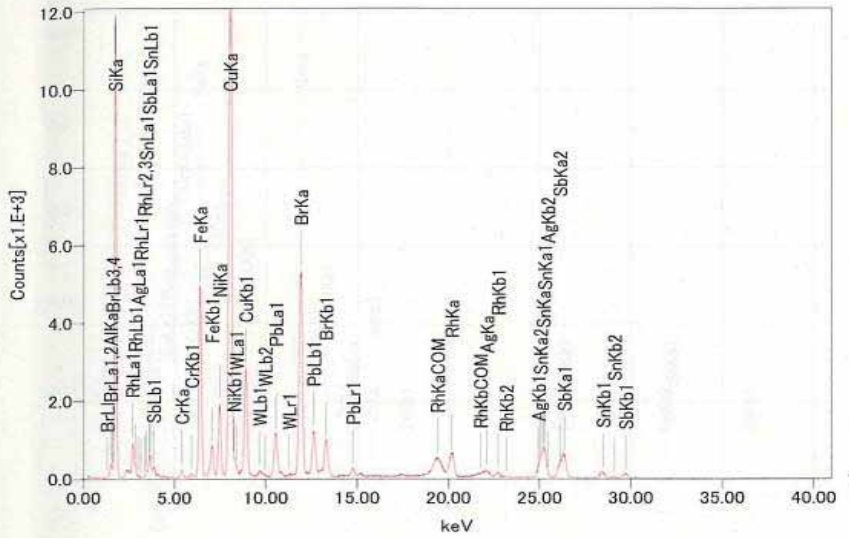
(2) 栃木県産業技術センターでの蛍光X線分析結果

当社と同じ様に、粉末サンプルの試料を蛍光X線分析装置で分析を実施した。

【結果】

やはり銀・銅は検出できたがAuは検出できなかった。(下記報告書参照)

尚、他の検出元素も当社と同じような値を示した。



ファイル名: C:\Documents and Settings\JEOL\Desktop\EG IC-1.sp2
 メモ: 1
 試料名: E/G IC
 測定日時: 2010/01/21 17:28:41

測定条件
 管電圧: 50.000 kV
 リアルタイム: 390.48 秒
 ライブタイム: 240.00 秒
 プリセット: ライブタイム 240.00 秒
 エネルギー範囲: 0 - 41 keV
 雰囲気: VAC
 管電流: 0.363 mA
 デッドタイム: 38 %
 計数率: 4889 Counts/秒
 PHA モード: Standard

光学系条件
 コリメータ: 4.000 mm
 フィルタ: Open

定性結果
 分析元素: Al, Si, Cr, Fe, Ni, Cu, Br, Rh, Ag, Sn, Sb, W, Pb
 フィッティング係数: 0.1714

化学式	質量%	モル%	σ	積分強度	Kレシオ	ライン	タイプ
13 Al	1.9981	2.7629	0.3959	2754	0.0051879	K	
14 Si	57.8025	76.7843	0.4911	146820	0.1697829	K	
24 Cr	0.3654	0.2622	0.0814	3955	0.0018075	K	
26 Fe	5.9015	3.9426	0.0605	94022	0.0342167	K	
28 Ni	1.8017	1.1449	0.0579	33452	0.0102053	K	
29 Cu	17.6304	10.3512	0.0563	329199	0.1020654	K	
35 Br	4.2880	2.0022	0.0512	124562	0.0284624	K	
45 Rh				18431	0.0184455	K	
47 Ag	0.2371	0.0820	0.2723	3306	0.0033051	K	
50 Sn	3.2254	1.0139	0.5425	33208	0.0484689	K	
51 Sb	3.3875	1.0381	0.7454	20481	0.0498197	K	
74 W	0.4507	0.0915	0.1302	7172	0.0057390	L	
82 Pb	2.9118	0.5243	0.1224	51047	0.0331714	L	

(上記報告書は、エンジン制御ボックスの IC チップのみを掲載)

(3) 株式会社島津テクニサーチでの分析結果

当社及び栃木県産業技術センターで分析した物と同一の分析サンプルを、酸で溶解して、定量分析を実施した。尚、定量分析元素は、Au・Ag・Cu・Ni・W・Rh・Seの7元素に絞る。

【結果】

電子基板全体・ICチップのみ・ICチップを除去した残電子基板、全ての試料で金・銀・銅・ニッケル・タングステンを検出し、定量する事が出来た。

当プロジェクトの目的であるICチップを分離し、貴金属を濃縮・回収する意義の裏付けとなる分析データを得た。

事前分析考察

含有量が極微量な元素は、粉体の試料で蛍光X線分析により検出するのは、非常に困難である事が分かった。株式会社島津テクニサーチのように酸で溶解し、その溶解液を分析する必要が有る。

また、島津テクニサーチの分析結果より、エンジン制御ボックスの電子基板で貴金属(金・銀・銅)が330円/Kg程度含まれている事を把握できた。

b) 本番分析結果

株式会社島津テクニサーチに分析委託し、今回はAu・Ag・Cuを測定した。

① 定量分析データ

自動車種類	分析部位	(g/Kg)			備考
		Au	Ag	Cu	
普通自動車	E/G制御ボックス ICチップ*	0.210	1.500	157.000	
普通自動車	A/B制御ボックス ICチップ*	0.150	2.300	266.000	
普通自動車	E/G制御ボックス 残基板	0.067	0.420	358.000	
普通自動車	A/B制御ボックス 残基板	0.135	0.440	435.000	

② 各電子基板の貴金属含有量

自動車種類	電子機器部品	平均基板重量(g)	(g/Kg)			備考
			Au	Ag	Cu	
普通自動車	E/G制御ボックス	179	0.053	0.412	172.727	
普通自動車	A/B制御ボックス	93	0.050	0.339	172.299	

本番分析考察

今回の分析結果より、電子基板全体に占めるAu・Agの含有量はICチップに集約されている事が分かった。ICチップを分離、回収することで貴金属の濃縮が可能である。

今後の取り組みとして、残りの電子機器を分析し、貴金属及び今回確認されているレアメタルの濃度を測定して更に価値を高めていく。また、分析技術力の向上も重要な課題である。

2.2.2 使用済み自動車から貴金属を循環利用する場合の経済性および環境性評価

2.2.2.1 はじめに

今回実施した自動車解体における貴金属含有物の高度精緻解体・分離技術の開発に関して経済性および環境性の評価を行った。

経済性に関しては、実証実験の結果を基に、商業ベースで本技術を実施する場合の稼働率、工数などを推計し評価を行った。環境性に関しては、使用済み自動車の高度精緻解体により、貴金属を回収、リサイクルすることによる CO2 排出削減ポテンシャルをライフサイクルアセスメント(Life Cycle Assessment: 以下, LCA)により評価した。

2.2.2.2 評価方法

(1)経済性評価

今回開発した装置は、実証のためのパイロットプラント的な位置づけであり、実際に事業として実施するに当たり改善の余地を残すものである。従って、本装置に対して精緻なキャッシュフロー分析を行い事業の採算性を検討するには及ばないと判断し、運用コストと貴金属の回収により得られる収益から、経済性を評価した。(株)ツルオカでの、近年での使用済み自動車解体実績は、5,000-10,000 台/年であることから、年間処理台数 5,000 台、7,500 台、10,000 でのランニングコストと収入を求めた。

ランニングコスト

ランニングコストは、主として人件費と電力料金である。過熱蒸気発生に必要な水は、相対的に少量であるため考慮しない。

2.1 に示したように、電子基板の分離処理に必要な時間は、一枚あたり 5 分 4 秒であるが、そのうち機械処理している時間を差し引くと、前処理など人手がかかる工数は、一枚当たり 1 分程度である。ラインに常時 4 名が作業するものとし一日の作業時間を 8 時間とした場合、一日に処理できる電子基板数は、過熱蒸気処理工数により決まる。ベルトコンベア内に敷き詰める電子基板の占有面積を 50%とした場合、約 960 枚(=自動車 480 台分)となる。人件費は、850 円/人/時間とした。

消費電力量に関しては、定常運転実施時での過熱蒸気機器が消費する電力量を実測し、単位時間当たりの消費電力量を求め、24.75 kW を得た。電力コストは、18 円/kWh とした。

収入

今回の技術開発により、電子基板から IC チップ等が回収可能となり、含有される様々な金属、貴金属、レアメタルが山元へ戻されることになる。しかしながら、山元において全ての元素が回収可能であるとは限らないため、住友金属鉱山株式会社を訪問し、使用済み電子機器からの元素回収の可能性に関してヒアリングを行った。その結果、以下の知見が得られた。

- 基本的に、酸化物になりやすく、酸に溶けにくい元素の回収、リサイクルは難しい。
- 電子基板に含まれる金属元素のうち、回収可能なものは、Ag, Au, PGM(Pd, Pt, ロジウム、イリジウム、ルテニウム), Se(セレン), Te(テルル), Cu, Ni である。In は、鉛製錬炉では可能であるが、銅製錬では無理である。希土類、Sr は、湿式製錬(希酸にて選択溶解し、硫酸ナトリウムで

固定する)にて回収可能である。ニッケルは、湿式製錬法にて硫酸ニッケルとして回収できるが、ニッケル工場を有する住友金属鉱山のみ可能である。

- Ta, Nb, Zr は、酸に溶けない(HFのみ溶解できるが、HFは毒性もあり取扱いが難しい)、かつ自熔炉で酸素分圧を変えてもスラグ(ガラス)層に溶解してしまうゆえ、回収が困難である。

以上により、使用済み自動車から回収される電子基板中に含まれる元素で、山元で回収可能であり有価取引の対象となるものは、金、銀、銅の3元素である。

そこで、2.2.1.3に示した本技術により回収される貴金属重量に、金属価格単価を積算し、本事業の収入を概算した。なお、貴金属は、分離されたICチップのみならず残基盤にも含まれるので、その両方を売却することで得られる収入を計算した。収入は、ICチップなどに含有される貴金属価格から、山元における製錬コストや輸送コストを差し引いたものである。本技術により貴金属が濃縮されるので、収入は金属価格の9割になると仮定し、収入を計算した。

金属の価格単価は、文献(財団法人金属鉱山会・日本鉱業協会、鉱山、8、2009)より調査した平成20年の平均価格を用いた。金:2,931円/g、銀:51,662円/kg、銅:782円/kgである。

(2)環境性評価

LCA手法に関して

製品およびサービスのライフサイクルにおいて誘発される環境負荷を定量的に把握する技法としてLCAが知られている。LCAは、資源の採掘から廃棄まで、対象とする製品・サービスに係わる物質/技術の連鎖を一貫して捉え、資源消費量や環境への排出物質を定量し、その環境への影響を評価する手法である。LCAを実施しその結果を報告するに当たり、可能な限り透明性を持たせ、結果の信頼性を高めるように、ある一定の規則に基づいてLCAを実施する必要性がある。そこで、国際標準化機構(International Organization for Standardization, ISO)が、LCAの実施手法に関して国際規格化を行ってきており、それらはISO 14040シリーズとして知られている。

目的と調査範囲の設定に関して

今回は、使用済み自動車の高度精緻解体により貴金属を回収、リサイクルすることによる環境負荷低減効果をLCAにより評価した。環境負荷としてはCO₂排出のみを評価した。目的と調査範囲の設定と前提条件を以下に記す。

- 1) 本技術に関するシステム境界(検討する範囲)は、使用済み自動車から基板を回収し、過熱蒸気によりICチップを取り出す工程までとする。回収されたICチップを山元まで輸送する工程および山元で貴金属(Au, Ag, Cu)を回収する工程は含めない。
- 2) 従来技術では、使用済み自動車からは電子基板は回収されず、そこに含有される貴金属はシュレッダーダスト(Automobile Shredder Residue, ASR)になるものとし、最終的には埋め立てされ回収されないものとする。その分、本技術開発により回収される貴金属と等重量の貴金属を、天然資源より生産するものとする。

- 3) 従来技術に関するシステム境界は、本技術開発により回収される貴金属と等重量の貴金属を、天然資源より生産する工程のみを考慮する。本来であれば、使用済み自動車に使用されていた電子基板が ASR になり、最終的には埋め立てされるところまでの工程も含めるべきであるが、天然資源より貴金属を生産する工程にて誘発される CO2 排出量が相対的に大きいため計上しなかった。

本技術



従来技術



図 環境性評価(LCA)でのシステム境界の設定

金属生産の CO2 排出原単位に関して

今回、天然資源より金属を生産する際に誘発される CO2 排出重量に関しては、2つのデータソースから求めた。(独)国立環境研究所が発行しているわが国の産業連関表を用いて算出した環境負荷原単位を収録したデータブック「3EID」と、社団法人産業環境管理協会が販売している LCA ソフトウェア「JEMAI-LCA」である。これらから、回収される金属および電力の CO2 排出原単位を求め比較した。表に示す。3EID と JEMAI の値は、ほぼ同じであることが確認できる。今回は、3EID での値を用いて CO2 排出削減ポテンシャルを計算する。

表 CO₂ 排出原単位

	単位	3EID	JEMAI
銅(電気銅)	t-CO ₂ /t	1.44	0.97 ¹
金地金	t-CO ₂ /t	5,860 ²	5,340 ¹
銀地金	t-CO ₂ /t	102 ²	76 ¹
電力	kg-CO ₂ /kWh	0.36	0.42

1 JEMAI の銅、銀、金のアロケーションは 2000 年度生産者価格ベースで行った。

2 産業連関表では貴金属およびレアメタル非鉄金属で部門がまとまっているので、金、銀は非鉄金属部門の価格単位当たりの CO₂ 排出原単位に 2000 年度生産者価格をかけて求めた。

2.2.2.3 結果および考察

(1) 経済性評価

使用済み自動車の年間処理台数 5,000 台、7,500 台、10,000 でのランニングコストと収入を求めた結果を、表に示す。

表 年間のランニングコストと収入

年間自動車解体台数(台)	5,000	7,500	10,000
年間基板処理枚数(枚)	10,000	15,000	20,000
年間装置稼働日数(日)	10	16	21
装置稼働時間(時間)	83	125	167
消費電力量(kWh)	2,063	3,094	4,125
電力コスト(円)	37,125	55,688	74,250
人件費(円)	283,333	425,000	566,667
支出合計	320,458	480,688	640,917
基板等売却収入	376,106	564,159	752,212
差額	55,648	83,472	111,296

使用済み自動車1台から、エアバッグおよびエンジン制御の電子基板が1枚ずつ合計2枚得ることができる。使用済み自動車の年間処理台数が 5000 台、7,500 台、10,000 の場合、一日に処理できる電子基板は約 960 枚であるので、年間装置稼働日数は、それぞれ 10 日、16 日、21 日となる。

表に示したように、人件費の支出に占める割合が大きい。人件費を抑えることができる場合、年間稼働日数の増大が収益増大になるので、使用済み自動車の解体台数の増大、そして一台の使用済み自動車から回収する基板枚数の増大が必要である。今回の技術開発では、エアバッグおよびエンジン制御の電子基板のみを対象としたが、自動車にはその他の箇所にも多数の電子基板が含まれている。今後は、それらの回収も検討していく必要があると考えられる。

この試算には、使用済み自動車から、電子基板が入っている筐体を取り出し解体するための工数は含まれていない。2.1.2 に示したように、エンジン CPU を解体し電子基板を取り出すには、平均約4分の工数が必要である。しかしながら、この解体工程の最適化は、本プロジェクトでの検討の範囲外であるとともに、筐体の解体により電子基板のみならず金属(アルミなど有価で取引するもの)も取り出せるので解体コストは配分することができる。また、この試算には、装置の原価償却費が含まれていない。これらは、今後の改善ポテンシャルの大きなところである。

(2) 環境性評価

使用済み自動車の年間処理台数 5,000 台、7,500 台、10,000 での金、銀、銅の回収量、消費電力量および CO2 排出量削減ポテンシャルの試算結果を、表に示す。

表 金、銀、銅の回収量、消費電力量および CO2 排出量削減ポテンシャル

年間自動車解体台数(台)	5,000	7,500	10,000
年間基板処理枚数(枚)	10,000	15,000	20,000
消費電力量(kWh)	2,063	3,094	4,125
(A) CO2 排出量(kg)	743	1,114	1,485
金回収量(g)	71	106	141
銀回収量(g)	526	790	1,053
銅回収量(kg)	235	352	469
(B) 金属回収による CO2 排出回避量(kg)	806	1,209	1,612
CO2 排出回避量(kg) ((A)-(B))	-63	-95	-127

貴金属の回収による CO2 排出回避量が、消費電力により誘発される CO2 排出量よりもはるかに大きく、本技術には CO2 排出削減ポテンシャルがあることが示された。

2.2.3 おわりに

本技術により回収される貴金属の国内循環利用に関して検討を行った。自動車に使用されるエアバッグおよびエンジン制御の電子基板には、金、銀、銅の貴金属が含有されており、それを過熱蒸気により効率的に回収することにより、環境優位性のある事業になることが示された。経済性に関しては、現時点では不確定な要素も多いが、さらなる工程の改善などにより、収益を生む事業になりえる可能性も大きい。

第3章 全体総括

3.1 過熱蒸気を利用した貴金属含有物の高度精緻解体・分離技術の開発

3.1.1 研究開発成果

労働環境を考慮した高効率、かつ、環境負荷の少ない貴金属部品の新しい回収技術の確立を目的とし、本研究に取り組んだ。

ガラあるいは雑品から精緻解体された電子基板を高度精緻解体により電子基板とICチップ等素子を省エネルギーで分離可能な、過熱蒸気利用熱処理装置の研究開発の過程で、自動車搭載電子機器部品から精緻解体される電子基板の種類、メーカー、車種、年式による特性データを獲得することができ、その特性に応じた解体・分離の方法を検討・検証することで、電子基板からのICチップ等素子の平均分離率が95.3%、平均分離時間が手作業で分離する作業時間の39%となる5分4秒の過熱蒸気利用の分離熱処理装置と、分離前処理装置の機械的外圧手段である自動分離回収装置等の開発に至った。

開発した装置は、研究開発の目標の一つである電子基板から確実にICチップ等を解体・分離する技術に若干満たない結果ではあったが、もう一つの目標である手作業にて解体・分離できる所要時間の10%以内の時間でできる技術は、電子基板一枚あたりの解体・分離時間の達成と、装置に連続性を持たせることで、作業工数を大幅に短縮し、貴金属含有物の回収コストを低減することができた。

3.1.2 研究開発後の課題

当該研究開発においては、電子基板からICチップ等素子の確実な分離と、その分離に掛かる時間の短縮を目標とした過熱蒸気利用の分離熱処理装置と、分離前処理装置の機械的外圧手段である自動分離・回収装置等を開発したが、分離後のICチップ等素子を分別・選別する方法の開発には至らなかった。

成分の異なるICチップ、トランジスタ、レジスター、コンデンサ、ダイオード、水晶振動子等の素子同士が一緒くたに分離前処理装置の機械的外圧手段である自動分離・回収装置から排出され、回収されてしまう。素子を種類毎に分別し、含有する貴金属を始めとした成分毎にリサイクル方法が異なる素子を適正に選別、濃縮を低コストで実施する技術を確立することが、国内での資源循環を促すため大きな要素であり、今後の課題である。

3.2 貴金属の国内循環利用技術の開発

3.2.1 研究開発成果

電子機器部品の価値は評価できず、また回収工数が掛かるため廃車ガラに搭載されたまま破砕業者に引き渡すか、雑品として海外へ輸出されている現状を踏まえ国内循環利用すべく、本研究に取り組んだ。

本研究により、自動車に使用されているエンジン制御コンピュータ及びエアバッグ制御コンピュータの電子基板に金・銀・銅・ニッケル等、貴重な金属が含有されている事が分かり、金・銀・銅に付いては

定量し貴金属価値を把握することで、ある程度の価値評価ができた。

また、本研究の目的でもあるICチップ分離・回収による貴金属濃縮を可能とする、裏づけ分析データを得ることができた。更に、金・銀・銅以外に貴重な金属が含有されていることが、本研究により分かり有意義であった。

3.2.2 研究開発後の課題

今回、当社の分析設備では金など含有量が極微量な金属の検出が非常に困難であり、外部に分析を依頼することになったが、費用も含め分析結果が直ぐに確認できず苦慮した。また、収益性としては、まだ不確定な要素もあり、他の電子機器も早急に分析を実施し結果を確認・評価する必要がある。尚、分離作業の改善も十分期待できるため更にトータルで評価し事業性を検討したい。

課題として

未評価の電子機器を早急に分析・評価

カーオーディオ類・メーター類・スイッチ類・電子キー・ヒューズBOX等

金・銀・銅以外の金属の分析・定量化

(24元素が確認されている)

金・銀・銅以外の金属の評価および販路開拓

価値を把握し、販売先の調査・開拓

保有分析設備を利用して検出力を向上

(分析の技術力向上)

リサイクル適性 (A)

この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。