

日本産業機械工業会会長賞

「廃モータからの銅線回収システム」

三菱長崎機工株式会社

1. 装置の詳細説明

本システムは、廃家電品や廃自動車に含まれるモータから、銅線を高精度に選別回収するシステムである。

機器構成は、主に磁力選別機、渦電流式選別機と色彩光学選別機で構成される。破碎した処理対象品から磁力選別機で鉄類、渦電流式選別機で非鉄金属類を選別回収した後、発生する銅線及びプラスチック片等の非金属混合品を色彩光学選別機に投入する。色彩光学選別機で銅線と非金属・プラスチック片等を高精度に選別回収する。

(1) 本システムの構成

これまでの金属選別回収プラントでは、磁力選別機での鉄類回収、渦電流選別機での非鉄金属回収が主であったが、色彩光学選別機を導入することにより、製品付加価値の高い銅線を高精度回収できるようになったことが、本システムの特徴である。

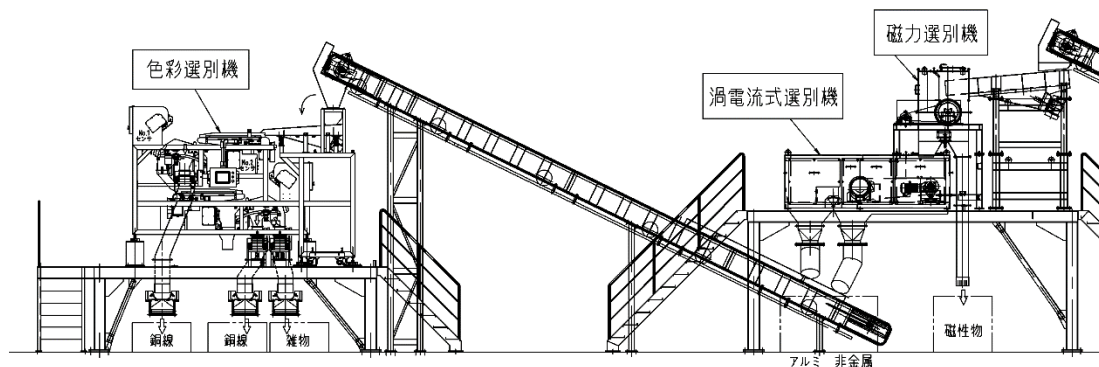
一般的な銅線回収システムの構成例を図表 1 に示す。

(2) 主要装置の説明

本システムの主要な装置について説明する。

1) 磁力選別機

本システムでは、省スペース・高磁力の性能を有する永久磁石式高磁力ドラム磁選機を採用した(図表 2)。



図表 1 銅線回収システム構成例

破砕されたモータ破砕品を、ドラム内部に内蔵した強力な永久磁石によって、ドラム表面に鉄などの強磁性物を吸着させ、常時回転しているドラムシェルにより、磁界範囲外へ移動させ、分離分別を行う。

本装置は、ドラムシェル円周方向に連続配置した磁石で鉄製の磁極板を挟み込む構造で磁気を集中させ、ドラムシェル上で最大約 0.8T 以上の高磁力を達成している（図表 3）。そのため従来のドラム幅方向磁極タイプ（最大磁力約 0.3T）と比較し、大幅に磁力アップしており処理物の回収率が向上している。また、磁極間においても約 0.4T の高磁力を有するため、ドラムシェル表面を流れ落ちる微粒鉄分を確実に捕獲し、分離分別を可能としている。

2) 渦電流式選別機

ドラム磁選機で選別された非鉄金属類を渦電流式選別機に投入し、アルミニウムと銅線、プラスチック片などの非金属に分離分別を行う。本システムでは、高性能型非鉄選別機を採用した（図表 4）。

高性能型非鉄選別機は、弊社独自の磁気設計と偏芯ロータ構造により、細粒径 5mm の非鉄金属を選別回収できる。永久磁石を円周上に配置した磁気ロータを高速回転させ、ドラム表面に発生する強力な交番磁界によって、コンベア上を送られてくる処理物中のアルミニウム等の非鉄金属に渦電流を生じさせ、発生する推進力により分離分別する（図表 5）。

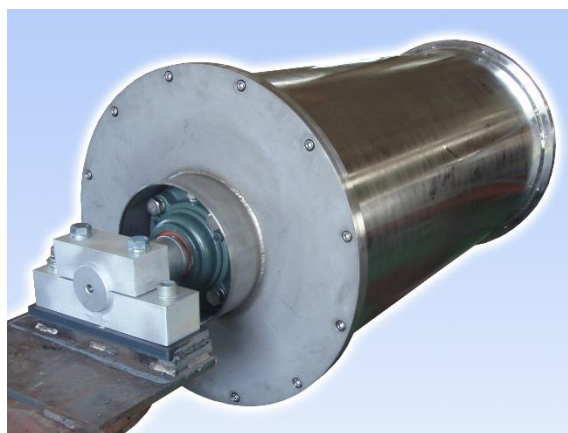
当社磁気ロータは、偏芯構造となっているため、ドラムとベルト間への処理物の巻き込みが少ない。また、従来の同芯型と比較し、磁気ロータの交番磁界の磁気勾配が大きく、細粒径 5mm を分離分別できる能力を有している。

3) 色彩選別機

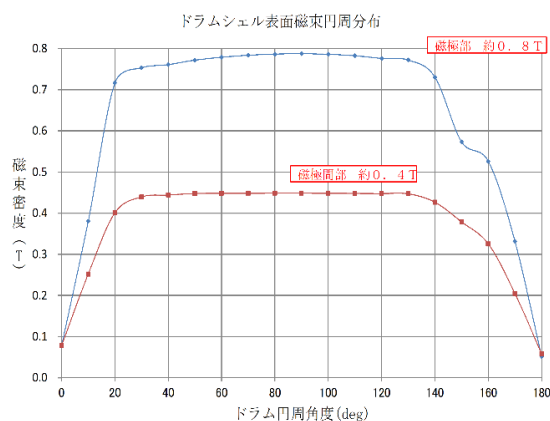
渦電流式選別機で選別された銅線、プラスチック片などの非金属を色彩選別機に投入し、銅線とプラスチック片などの非金属に分離分別を行う（図表 6）。

色彩選別機は対面設置の CCD カメラによる処理物の高精度認識と上下 2 段式の選別部による省スペース型で 3 種選別や精選などユーザの目的に応じて様々な選別設定が可能である。

投入された処理物を、2 方向からの CCD カメラで色を判別・検知し、エア噴出により、分離分別を行う。また、処理物の色を判別するため、非鉄金属だけでなく基盤、ゴムなどの多彩な用途に使用可能である（図表 7）。



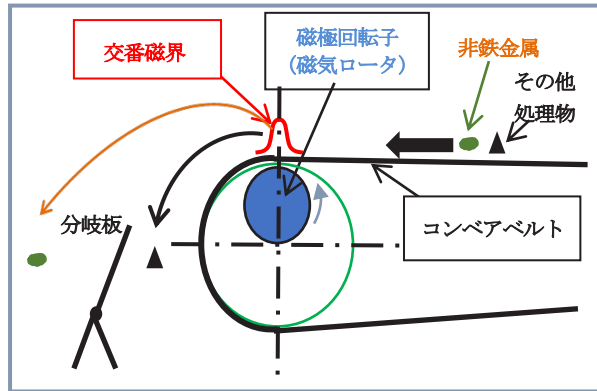
図表 2 永久磁石式高磁力ドラム磁選機



図表 3 ドラムシェル表面磁束円周分布



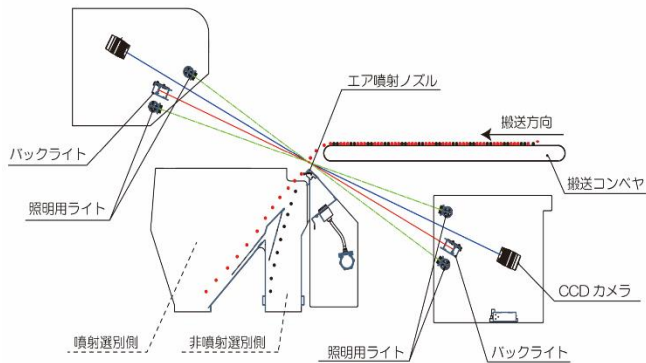
図表4 高性能型非鉄選別機



図表5 非鉄選別機構造図



図表6 色彩選別機



図表7 色彩選別機構造図

2. 開発経緯

(1) 開発目標

廃家電品や廃自動車に含まれるモータから、銅線を高精度に選別回収するシステムを開発する。

(2) 背景

近年の中国をはじめとする海外への金属スクラップ、廃プラスチックの輸入制限・禁止措置により、これまで通り、破碎未処理品又は選別未処理品の状態で輸出出来なくなっており、日本国内で単一金属へ選別処理を行う需要が高まっている。

廃家電品や廃自動車に含まれるモータについても、鉄類、アルミ・銅などの非鉄金属類、プラスチック類といった単一金属へ選別する必要があるが、従来、湿式選別または手選別などで行われていた。しかしながら、設備導入コスト、費用対効果の問題があり、安価で高性能な乾式選別、自動化の必要があった。

上記より、弊社選別機と色彩選別機を組合せ、鉄類、アルミ・銅などの非鉄金属類、プラスチック類を高精度に選別回収するシステムを開発した。

(3) 目標

鉄類、アルミ、銅の純度・回収率を各々90%以上の選別システムを提供する。

(4) 開発経緯

2014年10月	高性能型非鉄選別機（渦電流式選別機）の設計・製作開始
2017年3月	永久磁石式高磁力ドラム磁選機の設計・製作開始
2019年4月	色彩選別機の導入・実証試験開始
2019年7月	銅線回収システムの計画・開発開始
2019年10月	銅線回収システムの実証試験開始
2020年6月	第1号機納入

(5) 共同開発

無し

(6) 技術導入

2019年、TAIHO社(中国)より2段式色彩光学選別機を導入し、日本向け当社仕様として操作インターフェイス改良及び銅線や金属スクラップを対象とした選別プログラムの改良を行った。また、搬送部（シュート）において金属スクラップ特有の摩耗や堆積物による詰まりが生じる可能性があるため、形状変更や部品追加等の改良を行った。

3. 独創性

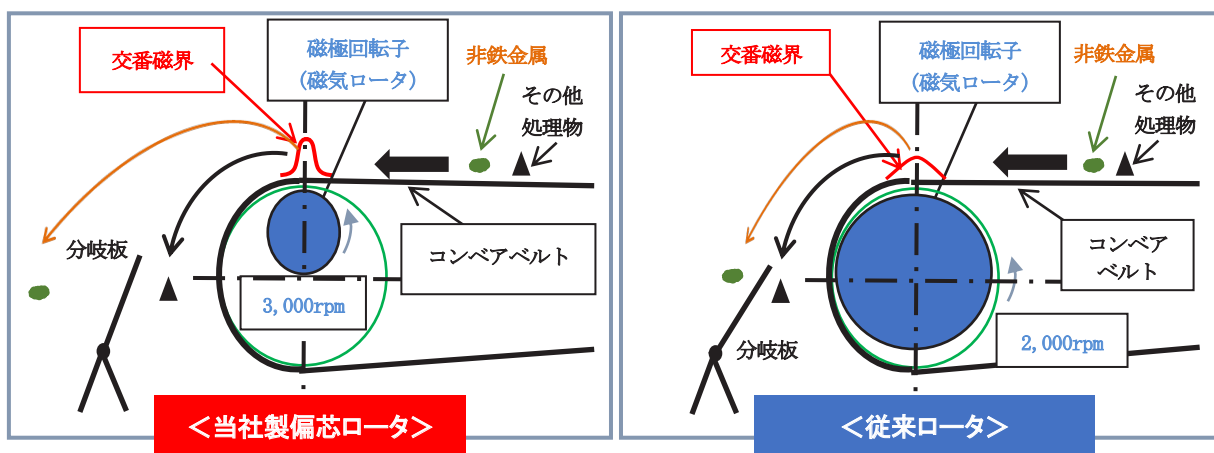
(1) 偏芯ロータ

渦電流式選別機において、弊社は偏芯型磁気ロータを採用している。磁極配置の工夫により高性能な磁極回転子をコンパクトに設計し、偏芯量を大きくすることを実現した。これにより、従来の同芯型及び小偏芯型と比べ、ヘッドプリー頂部に交番磁界が集中し、磁気勾配が大きくなる（図表8）。また、従来、2,000rpm程度のロータ回転数を3,000rpmの高速回転を実現。これらにより、非鉄金属の反発力、加速力が一気に増幅し、アルミニウムなどの非鉄金属の選別精度が大幅に向上する。

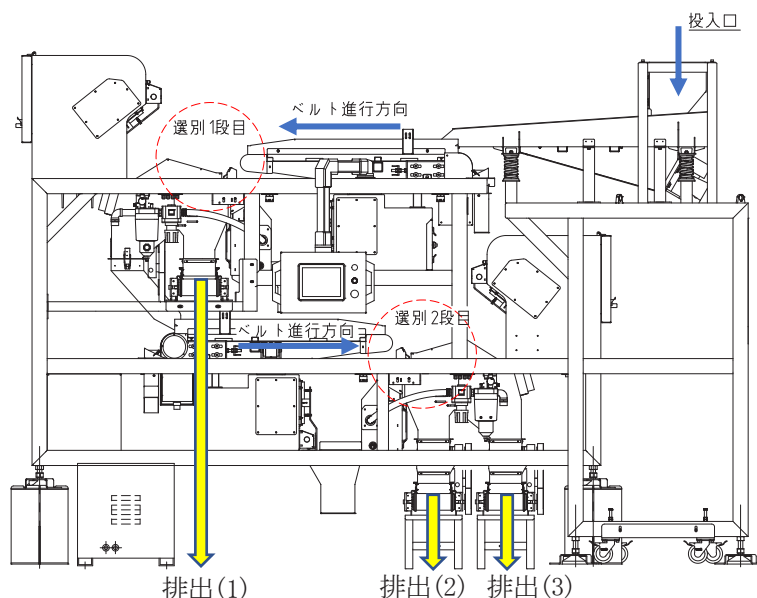
(2) 2段式色彩選別機の採用

本システムの色彩選別機は、2段式を採用している（図表9）。他メーカーの同等機種は1段式が主流で、スペースを広く必要とする。

当社が採用した2段式色彩選別機は1段目と2段目が対向したレイアウトで1段式と同程度の設置面積であり、省スペース（約10m²）を達成した。また、1台で対象物を2回選別するため、高精度選別が可能である。さらに、2段式では選別アウトプットが3カ所となるため、対象物を3種類に選別するなど、各ユーザのニーズに幅広く対応できる。



図表 8 偏芯ロータと従来ロータの比較



図表 9 2 段式色彩選別機レイアウト

4. 特許の有無

無し

5. 性能

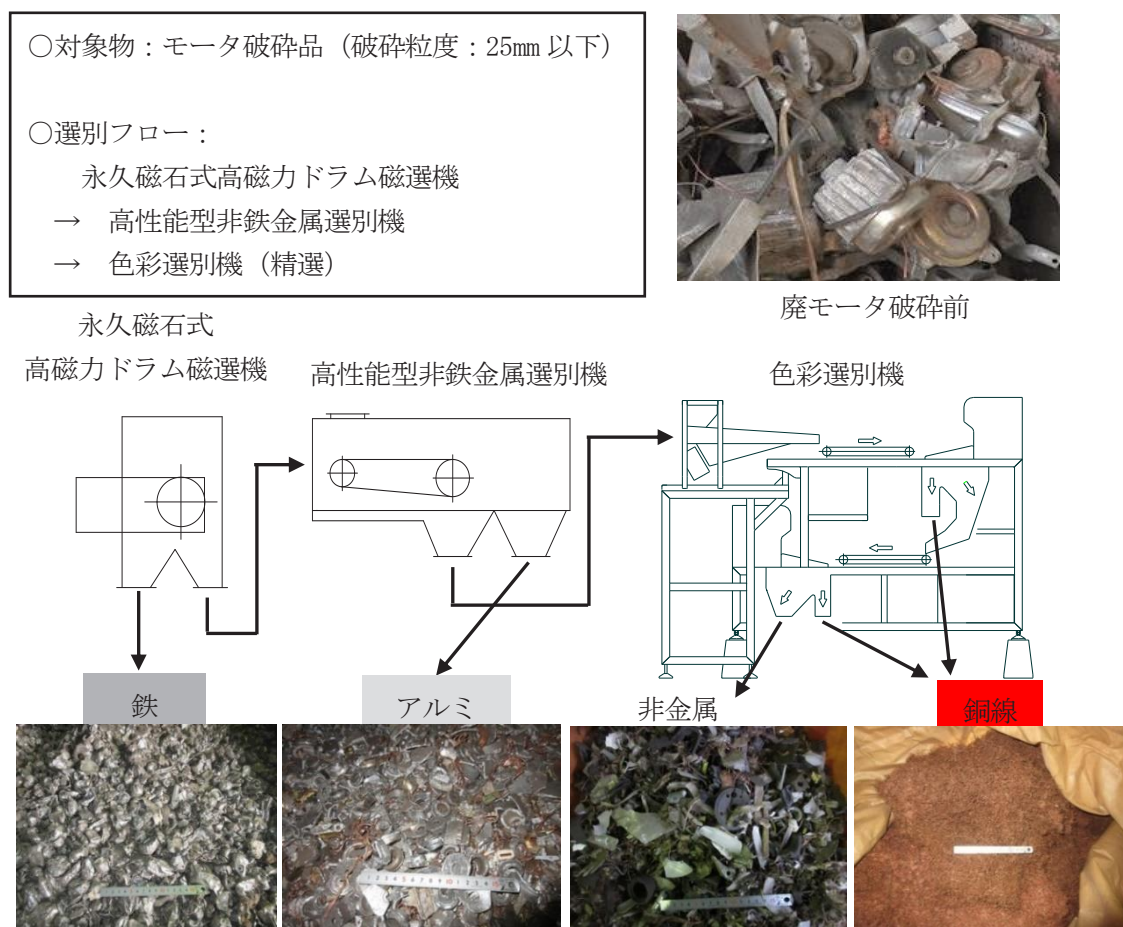
本システムの第1号機の納入先において、廃モータから、鉄、アルミニウム、銅線の選別実証テストを行った。投入量は、0.6ton/hr。図表 10 に選別フロー及び選別状況を示す。

破碎された廃モータはドラム磁選機に投入され、鉄を選別回収する。非鉄類は高性能型非鉄選別機に投入され、アルミニウムを主とした非鉄金属を選別回収する。銅は非鉄金属であるが、銅線は線径が数 mm 程度と細かいため磁気影響を受けにくく、非金属と共に選別される。銅線及びプラスチック等の非金属は色彩選別機に投入され、銅線を選別回収する。

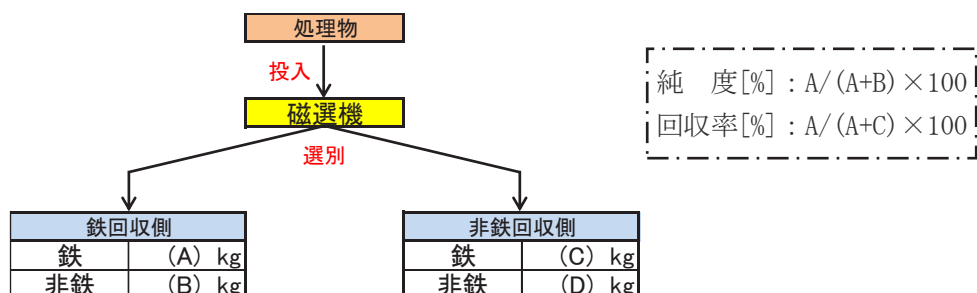
実証テストの結果、鉄、アルミニウム、銅線とも、純度・回収率 95%以上を達成した。選別テストの評価指標として、純度・回収率を用いた。本指標算出について、磁選機で鉄回収を評価

する場合を例に図表 11 に示す。鉄回収側の鉄の割合を純度、処理物全体に含まれる鉄のうち、鉄回収側に選別できた鉄の割合を回収率として評価する。いずれも重量ベースでの評価である。

また、これまでの銅線回収はナゲット機で電線を粉砕し、比重選別により分別回収するナゲット処理が主流であった。比重選別には乾式と湿式があるが、どちらも選別用媒体の維持管理や付帯設備が必要となる。さらに、投入前に手作業による解体・切断等が必要であり、処理対象も主に電線に限られることが多かった。一方、本システムは比重選別に必要な媒体・付帯設備がないため作業環境を改善できるほか、処理対象の前処理も不要である。さらに選別対象も廃モータや小型家電等、電線以外も幅広く処理することができる。



図表 10 廃モータ選別フロー及び選別状況



図表 11 純度・回収率の算出

6. 経済性

本システムの第1号機での導入実績、有価物回収量から、投資回収の試算を行った。

本試算より、本システム導入後、約3年で投資回収が可能となる。特に銅スクラップ価格は、上昇傾向にあり、投資回収期間の短縮が見込める。

第1号機納入先では、廃モータ以外の処理物も扱っており、いずれの処理物も分離分別の結果に高い評価を頂いている。また、破碎から色彩選別機まで、自動化処理できることから、人員の削減が可能であり、必要経費の圧縮にも繋がっている。

図表 12 廃モータ選別システム設備投資費用

	金額(千円)
破碎機関連	35,000
磁選機・色彩選別機関連	50,000
搬送関係	25,000
基礎工事他	10,000
設備投資合計	120,000

図表 13 月間原料購入費 (モータコア)

原料投入量	0.6ton/hr
稼働時間	7hr/日
稼働日数	21日
原料購入単価	80円/kg
原料購入費	7,056千円/月

図表 14 廃モータの各物質回収量

	回収量 (ton/月)
鉄	66.2
アルミ	4.4
銅線	8.8
残渣・非金属	8.8

図表 15 月間必要経費

		金額 (千円/月)	備考
原料購入費		7,056	図表 13 より
人件費	1名	400	400千円/月
パート費	1.5名	265	1,200円/hr
光熱費	60kW	265	30円/kWh
メンテ費	12ヶ月	167	2,000千円/年
月間必要経費		8,152	

図表 16 有価物回収価格 (モータコア)

	金額 (千円/月)	単価 (円/kg)
鉄	2,977	45
アルミ	441	100
銅線	8,820	1,000
残渣・非金属	-882	-100
回収価格	11,356	

図表 17 月間利益及び償却期間 (モータコア)

	金額 (千円/月)
月間収入	11,356
月間支出	8,152
月間利益	3,204
年間利益	38,447千円/年
償却期間	3.1年

7. 将来性

地球環境の環境保全、長期的かつ安定的に金属・非金属素材を供給していく上で、リサイクル活動は今後も推進されると考える。

また、海外の金属スクラップ、廃プラスチックの輸入動向は常に変動しており、この情勢変化に対応すべく、日本国内で金属選別処理需要はますます高まりを見せると推測される。

本システムは、上記ニーズに応えるべく、「高性能」、「高精度」、「低コスト」なシステムを提案でき、今後、国内金属リサイクル業界のあらゆるニーズに役立つシステムになると考える。