

## 希土類蛍光粉回収のための廃蛍光管選別装置の開発 に関する研究

太屋岡, 篤憲

<https://doi.org/10.15017/1866288>

---

出版情報 : Kyushu University, 2017, 博士 (工学), 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :

氏 名 : 太屋岡 篤憲

論 文 名 : 希土類蛍光粉回収のための廃蛍光管選別装置の開発に関する研究

区 分 : 甲

## 論 文 内 容 の 要 旨

希土類(レアアース)元素は日本のハイテク産業に不可欠な資源であるが、日本は希土類資源に乏しく全量輸入に頼っている。レアアースのうち Y, Eu, Tb, La, Ce は蛍光体に使用され、今後蛍光管からレアアースの回収が期待される。しかし、レアアースの単価は 2012 年のピーク後低迷し続け、蛍光管の回収率も 30%と低く、一部の企業による蛍光管リサイクルも対象は水銀・ガラスで、蛍光体はほとんど廃棄処分されている。蛍光管には白色蛍光体を用いた白色蛍光管、希土類を含む三波長蛍光体を用いた三波長蛍光管がある。三波長蛍光管の識別は、一部の企業で ECM と呼ばれる高価な装置で行われているが、ECM が無い企業は、両蛍光管を区別せず粉砕するため、回収後のレアアースの品位が低い。また、落下時の飛散防止や昆虫の飛来防止のためフィルムで覆われた蛍光管があるが、フィルムはガラス回収の際の不純物となる。また、点灯方式によりガラス管内面に導電性皮膜を塗布した蛍光管があるが、ガラス管内の導電性皮膜は識別が困難なため選別せず粉砕され、導電性被膜はガラス回収の際の不純物となる。粉砕前にフィルムも導電性もない三波長蛍光管を識別できれば、回収後のレアアースも高品位となり、レアアースリサイクルの事業化の可能性も見えてくる。本研究ではこれらの現状の問題点を解決するため、紫外線照射を用いた三波長蛍光管の識別(第 2 章)、AE(Acoustic Emission)センサを用いたフィルムを有する蛍光管の識別(第 3 章)、電界を用いた導電性を有する蛍光管の識別(第 4 章)、廃蛍光管選別装置の開発(第 5 章)、他のリサイクル分野への応用(第 6 章)を行った。

第 1 章では本研究に至るまでの背景と問題点、本研究の目的、意義についてまとめた。

第 2 章では、蛍光管に紫外線を照射した際に得られた画像を用いて、三波長蛍光管の識別および蛍光管の直径を算出する手法を検討した。まず、白、赤、緑、青色の蛍光粉を用いて分光蛍光測定を行い、励起光源と蛍光粉の間にガラス板がない場合とある場合の発光特性を調べた結果、ガラスがある場合、300 nm より短い波長の紫外線を透過しないガラスの特性により、青色蛍光粉のみが発光することがわかった。次に、UV ランプにより紫外線(356 nm)を蛍光管に照射した際の画像を撮影し、RGB 表色系(赤 R、緑 G、青 B)と HSV 表色系(色相 H、彩度 S、明度 V)の 6 つの特徴量について三波長蛍光管を識別する際の分離度を計算し、分離度が最大となる彩度の閾値(S = 125)により識別した結果、三波長蛍光管を誤り無く識別することが可能となった。また、黒色背景で撮影した蛍光管の明度(V)画像から蛍光管を抽出し、直径を相対誤差 1%未満で算出した。

第 3 章では、蛍光管を AE センサに落下して得られた AE 信号を用いて、フィルム有無を識別する手法を検討した。まず、AE 信号の波形を解析した時間領域、AE 信号を離散フーリエ変換した周波数領域、AE 信号のウェーブレット変換の展開係数をフラクタル次元解析した時間・周波数領域で、それぞれ 6 つの特徴量を決めた。全特徴量について閾値によるフィルムの有無を判別した結果、誤判別率は、時間領域で 4.85%、周波数領域で 6.67%、時間・周波数領域で 6.06%となった。特徴量

を変数とする二次判別分析を適用した結果、誤判別率は、時間領域で 3.03%、周波数領域で 5.45%、時間・周波数領域で 4.24%と改善された。また、ベン図で誤判別を検討し、共通の誤判別が無い時間領域と時間・周波数領域の合計 12 個の特徴量を用いて二次判別分析を行った結果、誤判別率 0%でフィルムの有無を識別することが可能となった。

第 4 章では、電界中に置かれた蛍光管の発光特性の違いから導電性の有無を識別する手法を検討した。まず、電界を発生するテスラコイルの放電電極と蛍光管の位置関係を検討した。導電性がない場合、放電電極の位置に依存せず発光したが、導電性がある場合、放電電極の位置が蛍光管中央付近では発光せず、蛍光管端付近では発光した。電界シミュレーションの結果、放電電極の位置が蛍光管中央付近の場合、導電性皮膜内部に電界は無く、蛍光管端の場合、導電性皮膜内部に電界が侵入しており、円筒状の導電性皮膜による静電遮蔽が、導電性皮膜の有無による発光特性の違いを生じたものと考えられる。次に、放電電極を蛍光管中央付近に置き撮影した画像を HSV 表色系に変換し、明度(V)の平均と分散を変数とした一次判別分析を適用した結果、誤判別率 0%で導電性の有無を識別することが可能となった。

第 5 章では、第 2 章から第 4 章で得られた 3 つのセンサ技術を用い、蛍光管の搬送および回収機能を追加し、廃蛍光管選別装置を開発した。本装置は、前半部がストッカーと三つのセンサを配した傾斜コンベア、後半部が水平コンベアと三つの回収テーブルからなる。カメラ画像はシリアル通信、AE センサの信号は A/D 変換ボードで PC に取り込み、傾斜・水平コンベア、回収テーブルおよびリニアスライダで用いるサーボモータをモーションコントロールボードで、各テーブルのゲートを開閉する RC サーボをマイコンで制御した。また、ソフトウェアは、開始、判定、運搬・回収処理部からなり、各処理から呼び出す導電性判定、三波長判定、フィルム判定等の各関数を作成した。本装置を用いて、三波長・フィルムなし・導電性なし、フィルムあり、フィルムなし(三波長・導電性あり、白色・導電性あり、白色・導電性なし)の 5 種類 55 本の蛍光管を誤り無く識別し、設定した回収テーブルに格納できた。本装置の処理能力は、最大 46 本/分(約 2700 本/時間)であった。

第 6 章では、第 2 章の画像処理、第 3 章の判別分析で得られたセンサ技術を廃被覆電線のリサイクルに応用することを検討した。廃被覆電線は、粉碎後、風力選別されるが、高効率化のため、回収箱内の銅粒子と塩ビ粒子の混合比を自動で算出するセンサの開発が望まれている。廃被覆電線の粉碎粒子のうち、背景と似た色の粒子は背景に埋もれてしまう。そこで、二色の背景画像を撮影し、HSV 表色系に変換後、両背景画像の明度(V)差分を求めて閾値処理を行うことにより、様々な色の粉碎粒子に対して背景除去が可能となった。さらに、銅粒子と塩ビ粒子の各色の画像を用いて、判別分析を行うための H、S、V を変数とする一次関数の係数を学習した後、銅粒子と 6 色の塩ビ粒子が混在した画像に対して、白、灰、緑、青、黒、赤色の順で、銅粒子と各色の塩ビ粒子の判別分析を行った結果、誤判別率 0.605%と良好な結果が得られた。

第 7 章では、これまで述べてきた内容をまとめ結論とした。