

平成 28 年 6 月 23 日現在

機関番号：57103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420883

研究課題名(和文) 風力選別機の選別状況モニタリングのための未知粒子判定システム

研究課題名(英文) Unknown particle discrimination system for monitoring situation of air classifier

研究代表者

太屋岡 篤憲 (TAYAOKA, Atsunori)

北九州工業高等専門学校・生産デザイン工学科情報システムコース・教授

研究者番号：60236768

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：現在、風力選別機を用いて、廃被覆電線を粉碎したCuとPVCの混合物からCuのリサイクルが行われている。本研究では、選別塔壁に、両粒子が衝突した際に生じる衝突音をAEセンサにより測定し、それらの衝突音をもとに、波形解析、ウェーブレット変換等を用いて、両粒子の混合比を算出するモニタリングシステムの開発を試みた。また、画像処理を用いて、CuとPVCの混合比の算出も試みた。
AE波形から得た特徴量をもとに、判別分析法を適用し、誤判別率3%を得た。また、背景色を白と黒に機械的に変えて、混合粒子を撮影し、両画像の差分を用いて背景を除去した。背景除去画像に判別分析法を適用し、誤判別率1%以下を得た。

研究成果の概要(英文)：In recycling of insulated wire factories, operators manually adjust the airflow of air classifier while checking the tailings discharged. However, the adjustments are done by trial and error. In this study, we tried to develop the monitoring system that calculates the ratio of Cu and PVC in the tailings as a substitute for the operator's eyes. Using the Acoustic Emission (AE) signal of the collision sound between Cu / PVC particles and an AE sensor head, we carried out waveform analysis, and frequency analysis using the Wavelet transform. In our image processing, applying Otsu's thresholding twice onto images, we succeeded to extract object from background automatically without losing any black particles. Moreover, we also applied discrimination analysis on saturation histogram of sample image to calculate the ratio of PVC to Cu, using respective basic saturation histograms of Cu and PVC. As a result, the estimation error of proposed system was less than 1%.

研究分野：リサイクル

キーワード：廃被覆電線 リサイクル AEセンサ 信号処理 画像処理 判別分析法

1. 研究開始当初の背景

(1) 廃被覆電線を粉砕した選別原料には、製品となる銅と不純物の塩ビの粉砕粒子が混在し、実際の選別プロセスでは、両者の比重の違いを利用した風力選別が用いられている。実際の現場では、オペレータが選別された回収箱の状況を観察し、勘や経験に基づき、空気流速を調整しているが、選別室内に供給される選別原料中の銅と塩ビの混合比が変動するため、適切な空気流速の調整が困難で、銅の回収率も高々80%程度に留まり、残りは廃棄費用を支払い、塩ビと共に処分されている。このような状況のため、選別粒子の混合比のモニタリング及び空気流速の調整の自動化が強く望まれている。

(2) 平島ら(北海道大学)は、ナイロン、SUJ、ガラス球をモデル粒子として、AE(Acoustic Emission, 以下AEと略す)センサを用いて、それら1個の粒子を金属円板に落下させた際の衝突音を測定し、粒子識別の可能性を示している。さらに、平島らは、PETのリサイクル工場において、粉砕試料を選別室内に連続的に供給した際の衝突音についても検討し、粒子1個の単発的な衝突と異なり、多数の粒子の内壁への衝突が同時に起こり、衝突音が連続的なノイズ波形になるものの、この連続ノイズ波形の平均値を衝突エネルギーとして測定すれば、選別室内の状況をオンラインモニタリングできるシステムの可能性も示している。

2. 研究の目的

著者らは、AEセンサを用いたスペクトル解析、フラクタル次元解析を用いれば、判別ルールの生成が可能となり、これらの判別ルールにより算出した回収箱内の両粒子の混合比を制御系のセンサとして用いることで、銅の回収率を大幅に改善する制御系を構築できるのではという着想に至った。本研究は、風力選別機を用いて、廃棄被覆電線を粉砕した銅と塩ビの粉砕混合物から製品となる銅を回収する際の回収率を、従来の高々80%程度から95%と大幅に向上させる高効率風力選別機のモデル実験装置を試作することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 本研究では、廃被覆電線のリサイクル工場で選別された製品と同程度の粒度分布を持つように、粉砕機を用いて粉砕した廃被覆電線のCu/PVC粉砕粒子を、篩の目

開きサイズにより、7段階に分けた。

(2) カメラを用いて撮影した粉砕粒子の画像から各粒子の形状を示す特徴量を求めるプログラムを作成し、形状によるCu/PVC粒子の判別を試みたが、背景色に似た粒子が背景色に埋もれたため、高精度の判別を得られなかった。そこで、粒子とAEセンサの衝突波形を用いた判別を試みた。AEセンサの先端に張り付けた円盤状のセンサヘッドに、Cu/PVCの粉砕粒子を高さ100mmから落下させ、衝突により発生したAEセンサの出力電圧を、アンプ、フィルター等を通し、AE信号をサンプル周期0.1 μ sec、12ビットのAD変換器を介してパソコンに取り込み、信号処理を行った。パソコンに取り込んだAE信号から衝突した粒子が、CuかPVCのどちらかを判別するために、AE信号から特徴量を算出した。

(3) カメラで撮影した原画像であるRGB画像を、より人間の色感覚に近い表現ができ、画像処理の分野で広く用いられているHSV(H:色合い、S:鮮やかさ、V:明るさ)表色系に変換した。背景と背景に似た色の物体及びその他の物体を分離するために、大津の二値化を複数回行った。判別分析法を用いて、Cuと6色のPVCの粉砕試料が混ざった原画像からCuとPVCの画素を判別した。さらに、誤判別率を低減するため、粒子の輪郭情報を用いた。

4. 研究成果

(1) 図1に、本研究で用いたCu/PVC試料の粒度分布を示す。

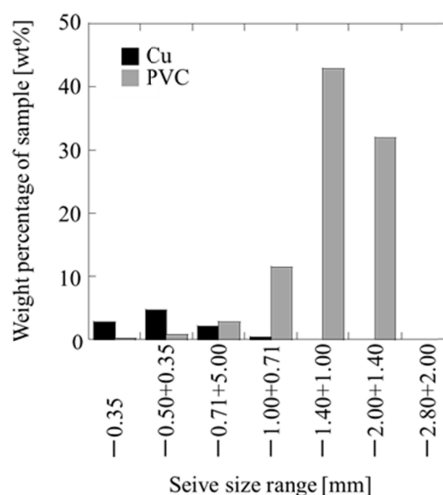


図1 Cu/PVC粉砕試料の粒度分布

(2) 図2に、本研究で用いた粒子のAE波形測定装置の概要を示す。

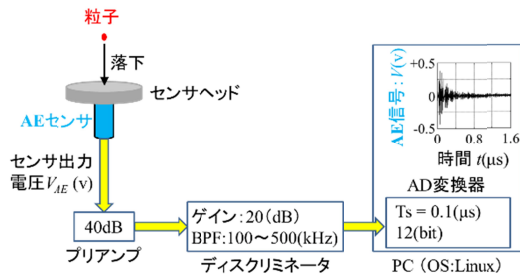


図2 AE波形測定実験装置の概要

図3に、特徴量の例として、AE信号の最小値、分散とした場合のヒストグラムを示す。

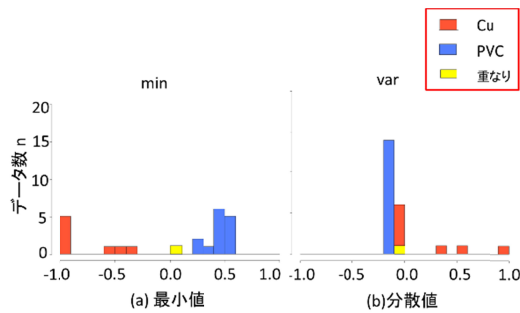


図3 単独の特徴量のヒストグラムの例

図の横軸は各特徴量の値、縦軸は頻度を示す。また、各特徴量は正規化を行っている。図より、単独の特徴量では、Cu/PVCを判別する閾値が無く、試料が誤判別されることがわかる。

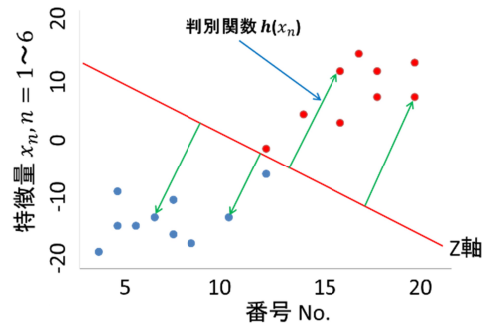
本研究では、パターン認識で基本として用いられる判別分析法を、Cu/PVC粒子のAE信号の判別に適応した。

判別分析法において重要となる分離度は、二つのグループの平均がどれだけ離れているか、各グループの分散がどれだけ小さいかを示す指標である。

図4に、判別分析法の概要を示す。判別分析法は、複数の特徴量の線形結合を新たな特徴量とし、分離度を最大にするように判別を行う。

図5に、判別分析法を用いた場合の判別結果を示す。図より、Cu/PVC粒子の特徴量に大きな差が見られ、誤判別されていないことがわかる。しかし、小さなCu粒子がPVCと誤判別される場合もあった。本研究の場合、誤判別率は3%となった。

しかし、AEセンサヘッドに、粒子が同



時

図4 判別分析法の概要

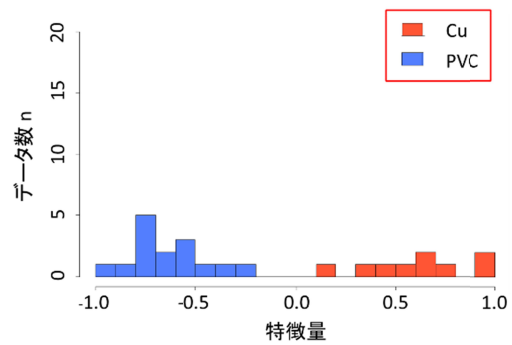


図5 判別分析法を用いた判別結果

に衝突する場合も考えられ、同時に粒子を衝突させないように、装置を改良する必要がある。

(3) 本研究では、画像を用いて、粒子を判別する際、背景の影響を受けにくい方法の検討を行った。

図6に、本研究で用いたCu/PVC粉砕粒子の原画像及びHSV表色系に変換した際の色相(H)を示す。

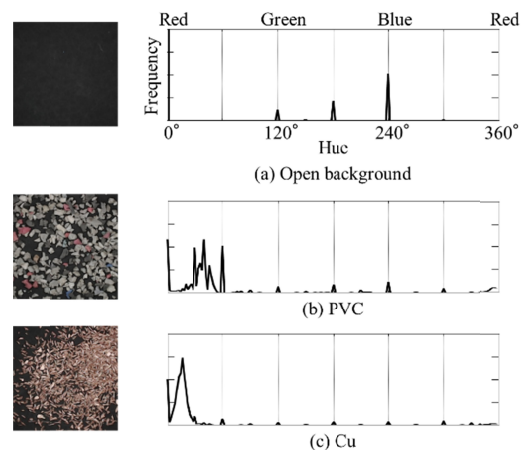


図6 Cu/PVCの色相(Hue)の重なり

この図の上段は、背景色として用いた黒い画像、中段は PVC、下段は Cu の画像である。図より、黒色の PVC と黒い背景とに重なりがあることがわかる。また、PVC と Cu も一部重なりがあることがわかる。

画像処理の分野で、大津の二値化という方法が背景除去に良く用いられる。通常、大津の二値化は、背景(Background)と物体(Foreground)を分離するため閾値を求めることが可能であるが、本研究では、背景と背景に似た色の物体及びその他の物体を分離するために、大津の二値化を複数回行った。

(4) 図 7 に、大津の二値化の結果を示す。

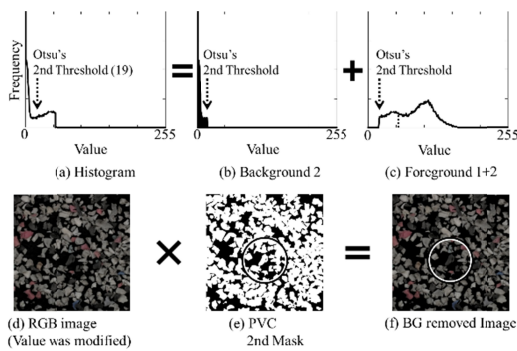


図 7 大津の二値化複数回適応の効果

通常、黒背景に黒 PVC が埋もれてしまい、誤判別してしまうが、大津の二値化を複数行うことにより、図の(b), (c)の白い円で囲まれた部分のように、黒の PVC も誤判別されていないことがわかる。

しかし、本方式では、光源の影響を受けて、誤判別する場合があった。そこで、本研究では、光源の影響を受けにくい画像処理について検討した。

本研究では、光を反射し難い半透明な板の上に Cu / PVC の粉砕試料を置き、その板の下で、機械的に、白色と黒色の背景を動かして、二種類の色の背景画像を撮影した。

図 8 に、黒色の PVC 粉砕試料を、二種類の背景色(白 / 黒)で撮影した原画像を示す。また、図 9 に、図 8 の(a), (b) 画像の明度(Value)を示す。図 8 より、白色背景では、黒色 PVC ははっきりと認識できるが、黒色背景では、背景に埋もれていることがわかる。また、図 9 より、(a)の白背景の場合、背景(White background)と黒 PVC(Object)がはっきりと分離しているが、(b)の黒背景の場合、背景と物体がミックスしていること

がわかる。

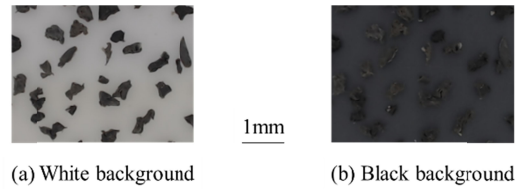


図 8 二種類の背景(白 / 黒)で撮影した黒 PVC の原画像

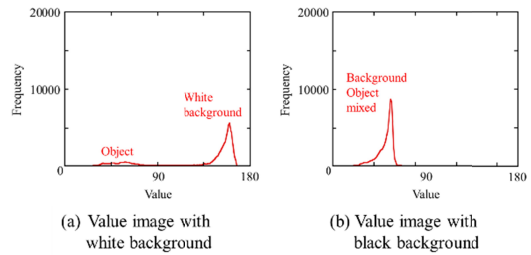


図 9 背景色による明度(Value)の違い

本研究では、黒背景から黒 PVC を抽出するために、白色背景の画像(b)から黒色背景の画像(c)を引き、PVC と背景の明度の差を大きくした。

図 10(a)に、両背景を差分した画像の明度(Value)を示す。

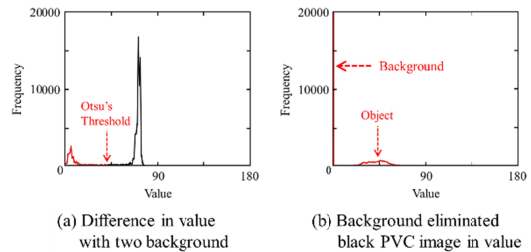


図 10 差分により背景の除去

図(a)より、明度が二つに分離されていることがわかる。図(a)に対して、大津の二値化を行った結果を図(b)に示す。但し、大津の二値化の際、閾値以下の画素の明度を全て 0 とした。図(b)では、図 12(a)の黒 PVC に対応する部分が残る、その他の背景部分が 0 になり、黒 PVC と黒背景が分離されていることがわかる。

(5) 本研究では、二種類の背景の差分と大津の二値化により、背景の除去が可能となった。

図 11 に、白背景で Cu と 6 色の PVC の粉砕試料が混ざった原画像(a)，マスク(b)，背景を除去した画像(c)を示す。

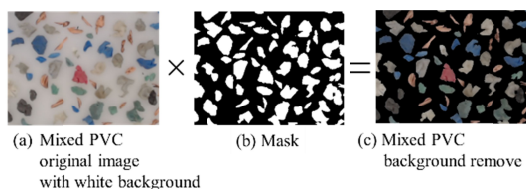


図 11 マスクによる原画像からの背景除去

本研究では、(c)の画像について、各画素が Cu と PVC のどちらかを判別した。

本研究では、判別分析法を用いて、当初、図 11(c)に対して、Cu と全ての PVC の判別を行ったが、良好な結果が得られなかった。そこで、Cu と全ての PVC の判別を行うのではなく、Cu と単色の PVC の判別を 6 回行うことを試みた。

図 12 に、図 11(c)の画像について、まず、Cu と白 PVC の判別を行った結果を(a)に示す。

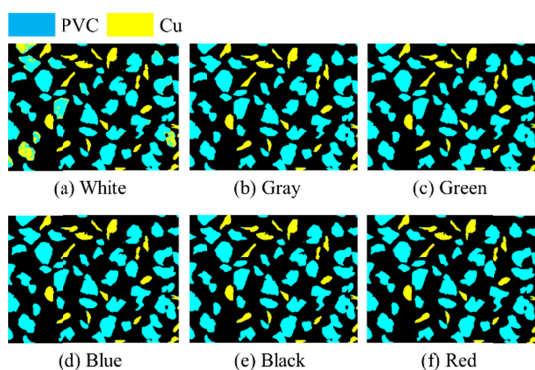


図 12 段階的な判別分析法による判別結果

次に、図 12(a)の画像で、Cu と判別された画素について、Cu と灰色 PVC の判別を行った結果を(b)に示す。以下同様に、Cu と判別された画素について、Cu と緑(c)、青(d)、黒(e)赤(f)の PVC の判別を段階的に行った。

本研究では、多段階に判別分析法を適用した結果、Cu と PVC の誤判別率は、0.6% となった。

本研究では、さらに、誤判別率を低減するため、粒子の輪郭情報を用いた。

図 13 に、粒子の輪郭情報を用いた画素の判別結果を示す。まず、画素中の輪郭を抽出し、粒子毎に番号を付ける。次に、各粒子内の Cu と PVC の画素数を比較し、粒子内の全ての画素を、画素数の多い方とし判別した。この方法により、誤判別率は 0% となった。

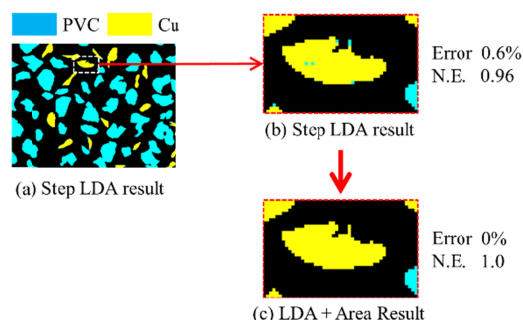


図 13 輪郭情報を用いた誤判別の改善

しかしながら、粒子の輪郭の抽出は、粒子が重なっていないことが前提であるので、今後は、重なった粒子も判別できる方法の検討が必要となる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

太屋岡篤憲、太屋岡恵里子、平島剛、佐々木圭子、“信号処理と判別分析法を用いた廃蛍光管の分類”、Journal of MMIJ, Vol.132, p53-58, 2015

DIO : 10.2473/journalofmmij.132.53

Atsunori Tayaoka, Eriko Tayaoka, Hirajima Tsuyoshi and Sasaki Keiko, Development of Image Processing System for Air Classification, Proceedings of International Symposium on Earth Science and Technology 2013

〔学会発表〕(計 2 件)

太屋岡篤憲、太屋岡恵里子、平島剛、佐々木圭子、“導電性を有する廃蛍光管の分類”、資源・素材学会秋季大会、平成 27 年 9 月 9 日、愛媛大学

太屋岡篤憲、太屋岡恵里子、平島剛、佐々木圭子、“AE センサを用いた廃蛍光管の分類”、平成 26 年度資源・素材学会春季大会、平成 26 年 3 月 28 日、千葉工業大学

6 . 研究組織

(1)研究代表者

太屋岡 篤憲 (TAYAOKA Atsunori)
北九州工業高等専門学校・生産デザイン
工学科情報システムコース・教授
研究者番号：60236768

(2)研究分担者

吉野 慶一 (YOSHINO Keiichi)
北九州工業高等専門学校・生産デザイン
工学科情報システムコース・教授
研究者番号：40249876