

U.D.C 519.336, 535.612, 535.613

## 建設系産業廃棄物選別の要素技術研究（その3）

### －デジタル画像による廃棄物材質判定－

中村 聡\* 後久 卓哉\*

**要約：** 本研究は、近年問題となっている建設系産業廃棄物処理について更なる適正化、廃棄物の価値向上を図ると共に、処理能力の向上を目指した一連の研究である。前報では近赤外線分光法による建設系産業廃棄物に含まれるプラスチックおよび木材の材質判定、廃棄物のデジタル画像から取得した廃棄物の色彩および材質感による材質判定について報告した。

本報では、更なる建設系産業廃棄物処理の高速化、高精度化を目的としたデジタル画像による材質判定において、色彩および材質感に、形状による材質判定を加えた3つの判定パラメータによりコンクリート、鉄、アルミニウム、木材、プラスチックの5品目の材質判定が可能な建設系産業廃棄物材質判定システムの基礎実験を行った結果とデジタル画像による廃棄物材質判定の展開について報告する。

**キーワード：** 建設系産業廃棄物、選別、画像処理、L\*a\*b\*表色系

- 目次：**
- |                    |               |
|--------------------|---------------|
| 1. はじめに            | 5. 実験結果       |
| 2. 色彩および材質感による材質判定 | 6. 材質判定結果統合手法 |
| 3. 形状による材質判定       | 7. おわりに       |
| 4. 実験概要            |               |

#### 1. はじめに

近年、経済状況を受けた企業の資産売却に伴う建物の建て替えや、高度経済成長期に建築された建物の老朽化による解体工事が増加傾向にある。これら角解体工事などから排出される建設系産業廃棄物の処理には循環型社会の構築に向けた「建築工事に係る資材の再資源化等に関する法律」いわゆる「建設リサイクル法」などにより適正な処理を行うことが義務付けられている。また、環境に対する社会的関心が高まりつつあり、建設系産業廃棄物処理は更なる高度化、適正化が求められている。このような背景のなかで解体現場や中間処理施設で実際に行われている建設系産業廃棄物の選別作業は劣悪な環境下で行われることが多く、作業者の労働環境面についても課題が残されている。

これらの問題を解決する手段として、画像処理により建設系産業廃棄物の材質判定を行い、分別回収が必要な材質ごとに自動で選別をすることが可能な建設系産業廃棄物選別機の開発に着手しており、当該装置で使用する建設系産業廃棄物材質判定システムの基礎実験を行った。

本報では、前報で報告したデジタル画像のL\*a\*b\*表色系の色情報を基本とした色彩と材質感による廃棄物材質判定要素と共に、判定要素となり得るパラメータとして、形状による材質判定要素について基礎実験を行った結果と画像による廃棄物材質判定の展望について報告する。

#### 2. 色彩および材質感による材質判定

前報で報告したようにデジタルカメラで撮影した廃棄物画像から色情報を取得し、色彩と材質感による材質判定の2つによって廃棄物の材質を判定する実験を行った結果、各材質の判定精度がコンクリート 50.0%、アルミニウム 25.0%、プラスチック 75.0%、鉄 56.7%、木材が 25.0%という結果が得られた。この実験により色彩による材質判定要素に材質感を加える事で判定精度が向上することが確認された<sup>1)</sup>。しかし、材質によっては判定精度が25%～50%であるため実際の建設系産業廃棄物処理に使用できる判定精度ではなく、実用可能な範囲ではない。また、色彩や表面質感は解体作業中に行われる粉塵抑制のための散水、廃棄物撮影時の照明条件によって判定精度が大きく影響される判定要素であるため、色彩と材質感とは異なったパラメータによる材質判定要素の設定が必要である。

#### 3. 形状による材質判定

建設系産業廃棄物の形状は非常に多様である。特に解体現場から排出される廃棄物は、解体時の小割り作業などにより不定形に変形するものが多い。そのため一般的に生産ラインなどで使用されているパターンマッチングなどの画像処理手法を使用した材質判定は不向きであるなどの問題がある。写真1に建物解体時に発生する廃棄物形状の例を示す。

建設系産業廃棄物のように多様な形状の中から特徴ある形状の材質だけを抽出する事のできる形状による判定

\*メカトログループ

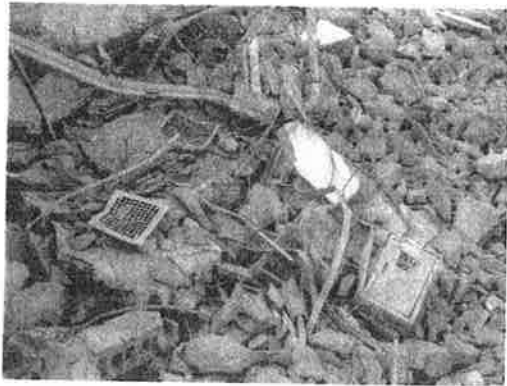


写真1 解体現場から排出される廃棄物

パラメータを設定するため、以下の2つの方法で材質判定の対象となるコンクリート、鉄、アルミニウム、木材、プラスチックの5品目（以下判定5品目）の廃棄物を計測し、データを採取することとした。

- ①：対象となる廃棄物の形状に楕円を近似させ、楕円の長軸と短軸の長さの比を求める
- ②：対象となる廃棄物の形状に楕円を近似させ、楕円の面積と廃棄物領域の実面積の比を求める

①で求められる長さ比によって対象となる廃棄物が正方形や円形に近い形、もしくは長方形や線形に近い形なのかを判定できると予測される。②で求められる面積の比によって、対象となる廃棄物領域の実面積よりも近似した楕円の面積が大きい場合は、廃棄物に変形し複雑な形状を取ることのできる鉄筋やアルミニウムのような材質であることが予測される。図1にコンクリートと鉄筋の形状に楕円を近似させた例を示す。

対象となる廃棄物は選別機のベルトコンベア上にあるためベルトコンベアとの明度差によって廃棄物の形状領域を抽出する。取得した廃棄物の形状領域の幾何学モーメントにより楕円を近似させ、楕円の長軸と短軸の長さ（画素数）から長さ比、楕円に含まれる画素数を求める。この際、形状領域の幾何学モーメントを式(1)で、長軸、短軸の長さを式(2)により求める<sup>2)</sup>。抽出した廃棄物の形状に含まれる画素数を算出し、楕円の画素数との比を求め面積比とした。対象となる廃棄物に楕円を近似させて長さ比と面積比を求める手順を図2に示す。

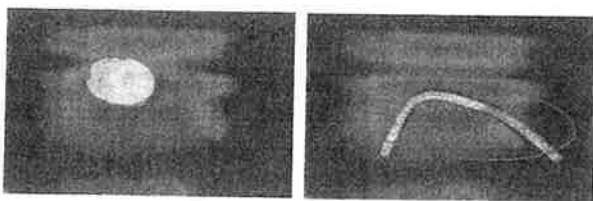


図1 廃棄物の形状に近似させた楕円

$$W_{pq} = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (m-i_0)^p (n-j_0)^q f(m,n) \quad p, q \in N_0 \quad (1)$$

$$Ra = \frac{8 \times (M20 + M02) + \sqrt{(M20 - M02)^2 + 4 \times M1^2}}{2}$$

$$Rb = \frac{8 \times (M20 + M02) - \sqrt{(M20 - M02)^2 + 4 \times M1^2}}{2} \quad (2)$$

Ra: 楕円長軸半径, Rb: 楕円短軸半径, M1: 領域中心座標軸のモーメント, M20, M02: 領域中心座標軸に平行な軸のモーメント

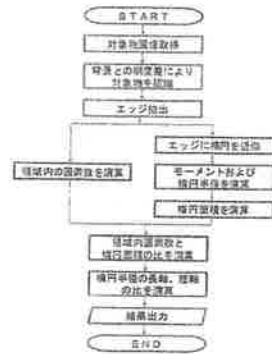


図2 算出フロー図

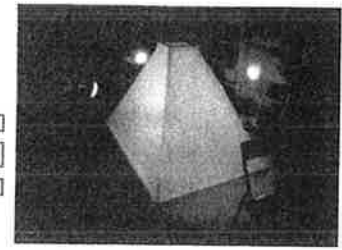


写真2 撮影装置

#### 4. 実験概要

実際の建物解体現場で採取した建設系産業廃棄物の長さ比と面積比を求め材質による数値の違いを検証するため、採取した廃棄物の画像をデジタルカメラで撮影し、画像処理することで長さ比と面積比を求める実験を行った。

写真2に示す撮影装置を使用し、判定5品目について各5個の代表的な廃棄物サンプル（写真3）の撮影を行った。撮影装置は廃棄物全体に照明が当たるよう撮影用フレームの外周にトレーシングペーパーを設置し、撮影用フレームの外部から4台の照明（Panasonic PRF-500 WB）で照らした状態でデジタルカメラ（Nikon D40）によりゴム板上に置いた廃棄物を撮影するものである。撮影した画像をパソコンに取り込み、画像処理により長さ比と面積比を求めた。

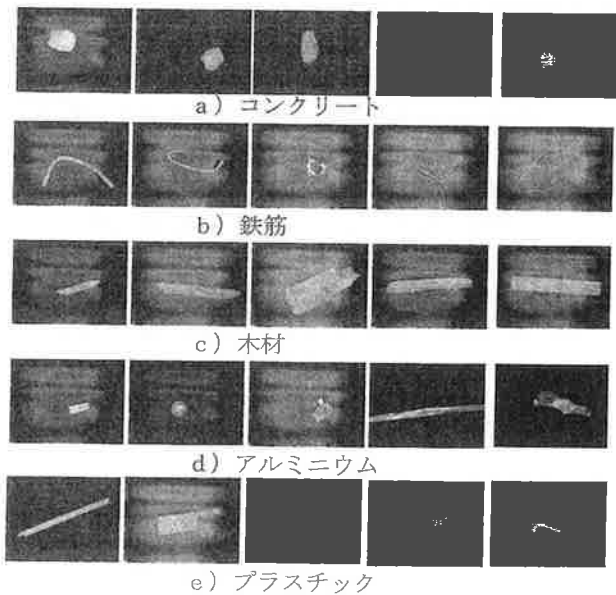


写真3 実験に使用した廃棄物サンプル

### 5. 実験結果

判定5品目の廃棄物形状に楕円を近似させ、楕円の長軸と短軸の長さ比を求めた結果を図3に示す。図3からコンクリートや鉄では長さ比の値が小さい傾向にあり、アルミニウム、木材、プラスチックの3品目では長さ比の値が大きい傾向にあることが確認できた。特に木材に関しては長さ比が比較的大きいことが確認できた。このことから、長さ比の値が大きい場合は対象廃棄物の材質がアルミニウム、木材、プラスチックの可能性が高く、長さ比の値が小さい場合は対象廃棄物の材質がコンクリート、鉄である可能性が高いと考えることができる。

鉄に関しては今回実験で使用した廃棄物では鉄筋が変形して複雑な形状をしている物が多く含まれていた。そのため、対象物の中心点が対象物上に存在しない場合が発生し、その状態で形状に楕円を近似させると本来の形状とは異なる正方形や円形に近い形状であるかのような楕円が近似される。その楕円の長軸と短軸の長さ比を求めたため低い値になったものと考えられる。

長さ比の値による材質ごとの発生確率を図4に示す。図4は長さ比の値として1.0以上を設定した場合、各材質の発生確率を求めると、全ての材質で100%発生する確率があるが、長さ比の値として2.0以上を設定した場合、各材質の発生確率を求めるとコンクリート20%、鉄60%、アルミニウム60%、木材100%、プラスチック80%の発生確率があることを示している。この結果から長さ比の下限を2.0~3.0に設定することで形状情報によってコンクリートと、アルミニウム、木材、プラスチックを推定することができることを確認した。

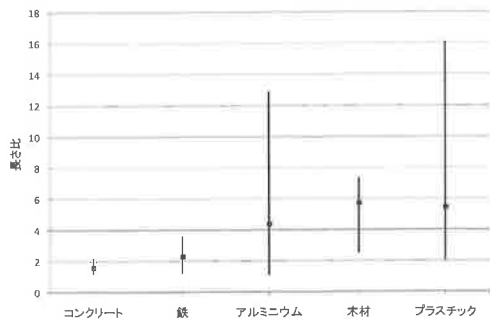


図3 近似楕円長軸・短軸の長さ比

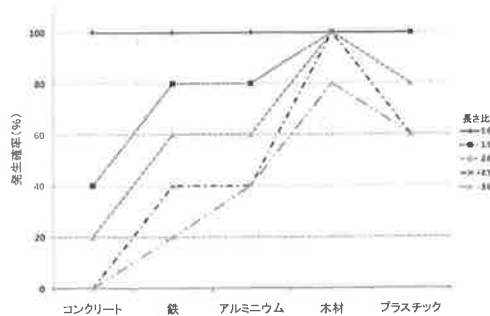


図4 長さ比の変化による発生確率

次に、対象とした5品目の廃棄物形状に楕円を近似させた際に算出した楕円の面積と、撮影した画像から算出した廃棄物領域の実面積との面積比を求めた結果を図5に示す。図5から鉄以外の廃棄物では近似した楕円の面積と、廃棄物領域の実面積が近い値であったため、面積比が1.0程度であるのに対して、鉄の面積比は近似した楕円の面積が廃棄物領域の実面積よりも大きく近似されたため1.4~19.3と大きくなる傾向が確認できた。このことから、面積比がある一定の大きさの場合は対象廃棄物の材質が鉄である可能性が高いと推定できる。

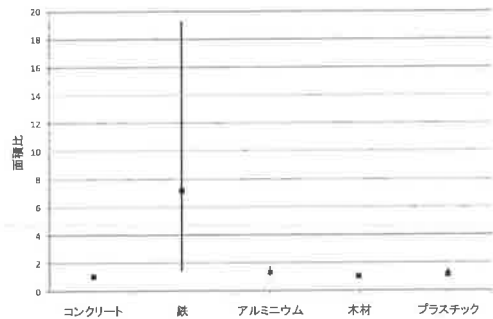


図5 近似楕円との面積比

面積比の値による材質ごとの発生確率を図6に示す。図6は面積比の値として1.0以上を設定した場合、各材質の発生確率は全て100%であるが、面積比の値が1.5以上の場合、鉄は80%の確率で発生するが、コンクリートや木材は0%、アルミニウムやプラスチックは20%という低い確率であった。この結果から面積比の下限を1.5~2.0に設定することにより対象物が鉄であることを推定できることを確認した。

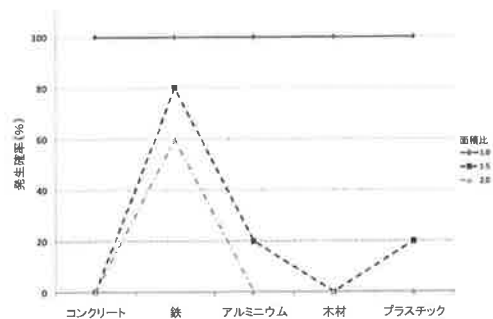


図6 面積比の変化による発生確率

### 6. 材質判定結果統合手法

実験を行った結果、形状による材質判定として、長さ比と面積比の2つの判定要素を使用することが有効であると考えられる。しかし、形状による材質判定だけでは対象廃棄物の材質を特定する事は困難であるため、前報で報告した色彩による材質判定と、材質感による材質判定に形状による材質判定を組み合わせる最終的な材質判定結果を出力しなくてはならない。図7に最終材質判定結果を出力するための最終材質判定フロー図を示す。

図7で示すように、色彩、材質感、形状の3つの要素ごとに出力される材質判定結果や確率を統合し、ベイズ推定法<sup>3)</sup>で確率推論を行い、最終材質判定結果を出力する。ベイズ推定法を採用することで廃棄物混入割合などの状況によって事前確率を設定できるため材質判定精度向上が容易にでき、判定要素の増減にシステムが対応しやすくなるため、解体現場などの状況に対応可能な材質判定システムの構築を目指す。

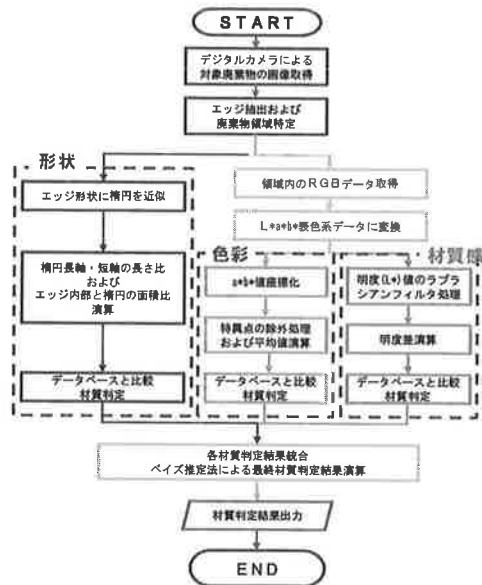


図7 最終材質判定フロー図

参考文献

- 1) 中村聡・後久卓哉：建設系産業廃棄物選別の要素技術研究（その2），東急建設技術研究所報，pp. 43-46, 2009年3月
- 2) (社)精密工学会：画像処理応用システム，東京電機大学出版局，pp. 96-98, 2000年7月
- 3) C. M. ビショップ：パターン認識と機械学習（上），シュプリンガー・ジャパン，pp. 20-47, 2007年12月

AN ELEMENT RESEARCH OF CONSTRUCTION WASTE SORTING (PART3)  
-WASTE MATERIAL JUDGMENT BY DIGITAL IMAGE-

S.Nakamura and T.Gokyyu

This research is a series of research that aims improvement of properly sorting and improvement of processing performance for construction waste disposal that becomes a problem in recent year. It reported on sorting plastic and wood in construction waste by near-infrared spectroscopy. Another reported on judgments the material of waste by the color of waste and by the ruggedness on waste surface obtained from digital image.

This report explains for the basic experiment that judges the material from the digital image by according three judgment parameters (the color of waste, the ruggedness on waste surface obtained, the shape of waste), and five kinds waste materials (concrete, iron, aluminum, timber, plastic) to sort by speedy and high accuracy.

7. おわりに

建設系産業廃棄物自動選別の要素技術として、画像から取得した形状情報による材質判定の可能性について実験を行い、廃棄物形状に楕円を近似させ長軸と短軸の長さ比を算出することでアルミニウム、木材、プラスチックの推定ができることを確認した。また、楕円の面積と廃棄物領域の実面積との面積比によって鉄の推定でき、形状情報によって材質判定パラメータが設定可能であることを確認した。しかし、面積比による材質の推定では形状が複雑なものほど面積比が大きくなる傾向にあるため、鉄筋のように解体作業中に大きく変形したものは、この方法によって検出できるが、鉄筋でもあまり変形していないものは、この方法では検出できない可能性がある。反対に、今回の材質判定実験の対象としていないケーブルなど鉄以外の材質でも複雑に変形しているものは面積比が大きくなり鉄と判定される可能性があるが、選別の際に磁力選別機を併用することや、判定品目の絞り込みを行えば有効な判定要素となることが予想される。

今後は更に判定精度を向上させるため色彩、材質感による材質判定要素と組合せ、より高精度な画像による材質判定システムを構築していきたい。また、材質判定処理速度の向上を目指した画像による材質判定アルゴリズムについても検討を行う所存である。

なお、本研究開発は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO 技術開発機構）からの委託研究で実施したものである。