

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2）

－ L*a*b* 表色系を使用した廃棄物材質判定－

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について報告したが，廃棄物選別作業の高速化を目指すためには判定に一定の時間を必要とする近赤外線センサなどによる精密な材質判定の前処理として，廃棄物を高速に大別することが可能な要素技術および判定手法が不可欠である。

本報では，建設系産業廃棄物選別の自動化および高速化を目的として，廃棄物のデジタル画像から取得した色情報をもとに廃棄物の色彩および材質感を数値化し，廃棄物の材質判定を行った材質判定基礎実験について報告する。

キーワード： 建設系産業廃棄物，選別，画像，L*a*b*表色系，

- 目 次：**
- | | |
|---------------------|----------------------|
| 1. はじめに | 5. 色彩および材質感による判定精度検証 |
| 2. 建設産業廃棄物排出に関する現状 | 6. 環境条件の違いによる判定精度検証 |
| 3. 廃棄物自動選別機の概要 | 7. おわりに |
| 4. 廃棄物の色情報による材質判定手法 | |

1. はじめに

平成14年に施行された「建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律（建設リサイクル法）」に基づき，コンクリート等の建設廃棄物のリサイクル推進や，アスベスト等の有害物質の処理が義務化されるなど解体工事に求められる技術は高度化・複雑化してきている。一方，解体工事の発注者は工期が短く安全で，周辺住民や環境に配慮した工事を望んでいるため建物解体工事への技術的要求は高まる方向にある。また，国内の産業廃棄物最終処分場残余年数が逼迫していることや，廃棄物の選別作業が劣悪な環境で行われる事が多い事などの課題も残されている。これらの課題を解決するために，廃棄物の選別作業を自動化し，より早く，正確に廃棄物を判定・選別する技術開発が必要である。

本報では，建設系産業廃棄物の選別作業自動化を目的とした廃棄物自動判定・選別装置を開発するにあたり，廃棄物を高速に判定するための技術としてデジタル画像の色情報を基にした色彩と材質感による廃棄物材質判定の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開について報告する。

2. 建設産業廃棄物排出に関する現状

非木造建物解体工事の4現場から排出された材質毎の廃棄物質量割合を調査した結果，廃棄物の85%が「コンクリート塊」，12%が「鉄くず」であり，「木くず」や「廃プラスチック」などの「その他の廃棄物」

は排出される廃棄物全体の3%程度と「コンクリート塊」に比べ極端に割合が少ないことがわかった（図1）。

これら建物解体工事から排出される廃棄物の選別は解体工事現場内で重機および人により行われているが，大量の「コンクリート塊」の中から「その他の廃棄物」を拾い上げるなどの細かい分離・選別は人の手によって行われる事が多いため，重機との接触事故など重大災害につながる事例も少なくない。

また，相対的に量が少なく，分離・選別が困難で，有価物ではない「木くず」，「廃プラスチック」，「がれき類」などは分離・選別されずに混合廃棄物として排出されるだけでなく，処理の段階で分離・選別に費用がかかる等の理由により不法に投棄される事もある¹⁾。

3. 廃棄物自動選別機の概要

前報では選別作業者の安全性や作業環境の改善だけでなく廃棄物選別処理速度や選別精度の向上のため，複数のセンサによってコンクリート，木材，鉄鋼，アルミニウム，プラスチックの建設系産業廃棄物5種類を自動選別する選別機について記述した。しかし，その後に行った解体現場から排出される廃棄物調査や選別システムとしての柔軟さを考慮した結果から，廃棄物選別の高速化に有効なのは大量の「コンクリート塊」と少量の「その他の廃棄物」を高速に判別する技術であり，この技術により「その他の廃棄物」として分けられた廃棄物を複数のセンサにより詳細な材質判定を行う事で，効率の良い

*メカトログループ

廃棄物選別ができると考えた。新しい選別機のイメージを図2に示す。

本報は「コンクリート塊」と「その他の廃棄物」を判定する技術としてカメラで取得したデジタル画像から得られる色情報をもとにした廃棄物の色彩と、ツルツルやザラザラといった表面の材質感による材質判定手法についての基礎的実験を行った結果である。

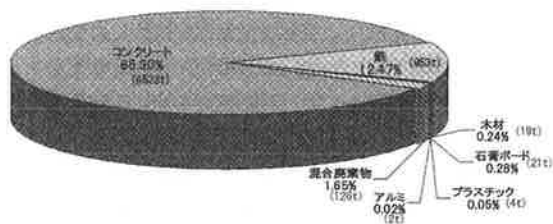


図1 非木造建物解体工事から排出される廃棄物割合 (質量ベース)

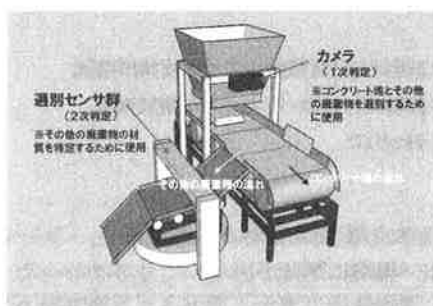


図2 建設系産業廃棄物選別機イメージ

4. 廃棄物の色情報による材質判定手法

人間が物を見た目で判別する場合、見た物の形状や色などから判別するのが一般的であるが、この判別処理を建設産業廃棄物の判別システムに応用すると形状の不揃いさや汚れの付着などによって判定精度が著しく低下することが考えられる。また、写真1に示すように解体現場から排出される廃棄物の色彩は似ているものが多く、事前に行った色彩輝度計を用いた基礎実験においても材質毎の色彩の明らかな偏りが確認できなかった。

これらの問題を解決する手段として、形状と色彩の2つの判定要素に廃棄物の材質感を数値化したものを判定要素として加える手法を考案した。また、廃棄物に汚れなどが付着していることによる判定精度低下についてはロバスト推定法を採用した。詳細な判定手法については下記の通りであるが、本報では形状を除いた色彩および材質感をもちいた材質判定のみについて報告する。

4.1 色彩による材質判定

色彩による材質判定は、カメラで撮影したデジタル画像から対象となる廃棄物範囲内の RGB 情報を取得し、色の違いを色差として数値化することが容易である $L^*a^*b^*$ 表色系に変換する。変換した対象廃棄物の $L^*a^*b^*$ 値と、予め廃棄物サンプルを測定し採取した各材質の

色彩原点の距離 (色差) を求めて原点に最も近い材質を該当する材質と判定するものとした。この際、汚れなどによる判定精度低下抑制を目的として式 (1)、式 (2) に示すロバスト推定法を用いて平均から大きく異なる色情報を除外するものとした。また、鉄筋のような錆が発生すると大きく色に変化するものに対しては原点を複数個用意し対応する。建設廃棄物サンプルから採取したコンクリート、鉄、木材、プラスチック、アルミニウムの色彩原点図を図3に示す。また、各材質の色彩原点の値を表1に示す。

$$w(d) = \begin{cases} \left\{ 1 - \left(\frac{d}{W} \right)^2 \right\}^2 & \dots \dots \dots |d| \leq W \\ 0 & \dots \dots \dots |d| > W \end{cases} \quad (1)$$

d: 最小二乗法で求めた誤差, W: 重み付け範囲, w(d): 重み関数

$$\bar{a}^* = \frac{\sum_{i=1}^n a_i^* w(d)}{\sum_{i=1}^n w(d)}, \quad \bar{b}^* = \frac{\sum_{i=1}^n b_i^* w(d)}{\sum_{i=1}^n w(d)}, \quad \bar{L}^* = \frac{\sum_{i=1}^n L_i^*}{n} \quad (2)$$

a_i^* : 各画素の a^* 値と重み関数 $w(d)$ の積, b_i^* : 各画素の b^* 値と重み関数 $w(d)$ の積, a^* : 任意範囲内の a^* 値, b^* : 任意範囲内の b^* 値, L^* : 任意範囲内の L^* 平均値



写真1 解体現場から搬出される廃棄物

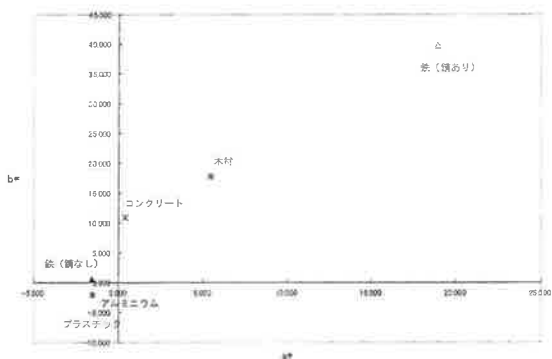


図3 建設廃棄物サンプルの色彩原点図

4.2 表面の材質感による材質判定

本研究で行っている表面の材質感による材質判定手法とは図3に示すように異なる材質の色彩原点が近似する

ことによる材質判定の精度低下を抑制するため、廃棄物表面の明度のばらつきを数値化し、廃棄物表面の材質感として材質判定要素の1つとするものであり、色彩による材質判定結果と統合することで判定精度の向上を図るものである。表面の材質感の算出手順を下記に示す。

I：対象となる廃棄物の L* a*b*値から L*値のみを使用して範囲内の各画素におけるラプラシアンを式(3)によって求め²⁾、隣接する画素との明度差を顕著にする。(今回の実験では中心画素と8近傍の差を算出)

II：Iで求めたラプラシアンの範囲内平均値を求める。

III：予め廃棄物サンプルから採取した L*ラプラシアンの偏差値および平均値から対象となる廃棄物の値と各材質との平方距離を式(4)により求める。

IV：平方距離の最も短い材質を該当する材質として判定する。

各材質の L*ラプラシアンの平均値および偏差値を表1に示す。表1から材質の表面に凹凸があり比較的ガラガラしている鉄やコンクリートは平均値および偏差値が大きく、ツルツルしているアルミニウムやプラスチックは値が小さい事が確認できる。

$$\nabla^2 f(i, j) = \begin{bmatrix} f(i-1, j-1) + f(i-1, j) + f(i-1, j+1) + f(i, j-1) + \\ f(i, j+1) + f(i+1, j-1) + f(i+1, j) + f(i+1, j+1) \end{bmatrix} - 8f(i, j) \quad (3)$$

$\nabla^2 f$ ：明度差、 f ：各画素の明度 L*値

$$D^2 = \frac{(x - \mu)^2}{\sigma_L^2} \quad (4)$$

D：明度差の平方距離、x：対象となる廃棄物のラプラシアン値、 μ ：各材質のラプラシアン平均値、 σ_L ：各材質のラプラシアン偏差値

表1 各材質の色彩および材質感原点

	色原点			L*(材質感)	
	L*	a*	b*	平均値 μ	標準偏差 σ_L
コンクリート	47.540	0.394	10.915	6.459	3.755
鉄(錆びあり)	41.284	18.928	39.832	7.418	2.838
アルミニウム	58.966	-1.527	-2.127	2.304	0.425
木材	43.065	5.444	17.799	3.912	0.706
プラスチック	42.038	-1.654	-5.319	1.698	0.425
鉄(錆びなし)	31.824	-1.550	0.450	8.046	2.181

5. 色彩と材質感の判定精度検証

廃棄物表面の材質感を判定要素に加えることで材質判定精度が向上することを確認するため、5つの材質からなる建設廃棄物サンプル(表2)を一眼レフデジタルカメラ(表3)で撮影して得られた sRGB 情報をもとに材質判定実験を行った。実験時の建設廃棄物サンプルの撮影条件を表4に示す。実験では対象廃棄物の sRGB 情報として撮影した建設廃棄物のデジタルカメラ画像から任意に場所を指定し、指定した画素を中心とした 16画素×16画素の範囲にある 256画素の sRGB 情報を使用した。色情報を取得する場所は1個の廃棄物に対して3箇所指定するものとした。ここで、sRGBをRGBに変換

する際の補正係数 γ は 2.4 とし、完全拡散反射面の標準の光による三刺激値 $X_n=95.043, Y_n=100.000, Z_n=108.879$ とした。材質判定実験の結果を図4に示す。

図4の結果から木材の判定では精度が低下しているが、プラスチックなどでは判定精度が大きく向上していることがわかる。この結果、色彩のみで材質判定を行うよりも、色彩による材質判定に加えて、明暗の情報による材質感の材質判定を行うことで画像による材質判定精度が向上することが確認できた。

表2 廃棄物サンプルの詳細

No.	廃棄物名称	寸法(mm)	備考
1	コンクリート塊	300×150	
2		300×170	
3		φ200	
4		150×150×150	
5		300×400×35	鉄筋あり
6	木くず	170×450	
7		630×70	
8		770×40	部分的に釘あり
9		830×250	
10		830×280	
11	廃プラスチック	φ40 L=700	断熱材(白色)
12		φ45 L=1300	断熱材(白色)
13		350×160	断熱材(白色)
14		φ30 L=900	塩ビ管(グレー)
15		φ80 L=500	塩ビ管(断熱材付きグレー)
16	非鉄金属	80×800	アルミサッシ枠
17		100×750	アルミサッシ枠
18		80×400	アルミサッシ枠
19		75×980	アルミサッシ枠
20		43×870	アルミサッシ枠
21	鉄くず	φ20 L=900	鉄筋(丸棒)
22		φ20 L=370	鉄筋(丸棒)
23		D13 L=630	鉄筋(異径)
24		φ20 L=830	パイプ
25		150×150×150	ブロック状

表3 デジタルカメラ仕様

項目	仕様
メーカー型式	Nikon D40
有効画素数	6.1メガピクセル
撮像素子	23.7×15.6mm
記録画素数	3008×2000, 2258×1498, 1504×1000
シャッタースピード	30~1/4000秒
ISO感度	ISO200~1600
ホワイトバランス	オート(420分割RGBセンサー、撮像素子併用によるホワイトバランス)、マニュアル5種、プリセット可能
レンズ	AF-S NIKKOR 18-70mm 1:3.5-4.5G ED

表4 撮影条件

撮影環境	日陰
撮影距離	2000mm
画素数	3008×2000
ISO感度	200
シャッタースピード(秒)	1/200
ホワイトバランス	オート

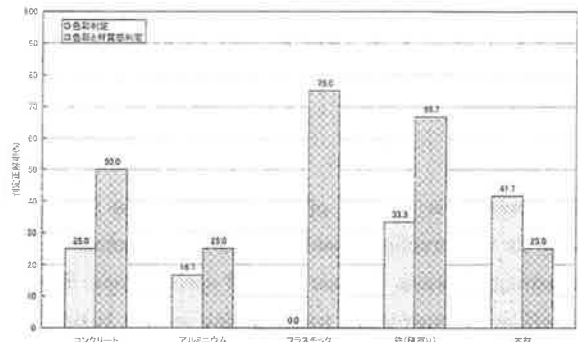


図4 色彩と材質感の判定精度

6. 環境条件の違いによる判定精度検証

色彩および材質感による材質判定手法をもちいて、建解体現場で発生する可能性がある3種の環境条件(晴天時、曇天時、曇天散水時)において判定精度検証実験

を行い、判定手法のロバスト性の確認を行った。実験では撮影した建設廃棄物のデジタルカメラ画像から任意に指定した場所を中心とした256画素について、前述した判定手法と表1に示した色彩および材質感原点を使用して材質毎の発生確率を求め、最も確率の高い材質を判定結果として採用する。また、判定対象となる5種類の廃棄物サンプルについて「コンクリート」、「プラスチック」、「アルミニウム」、「鉄」、「木材」、「その他」のいずれかに判定し、正しく判定する確率について3種類の環境条件で求めた。また、実験で使用した材質判定対象の廃棄物は建物解体現場から採取した不特定の廃棄物サンプルとした。ここで定義する「その他」とは材質判定手法により求められた確率と他の材質の確率との差が5%以上無い状態を差す。図5に各環境条件による材質判定結果を示す。

図5に示した材質判定結果から、全ての環境条件と材質において材質判定精度が概ね30%程度と低い。色と材質感に特徴のある鉄(錆あり)は材質判定精度が85%以上と高く、日照や降雨などの影響があった場合においても画像による材質判定に十分適用できる精度であると考えられる。散水などにより色の変化が大きい木材については散水時に20%以上の判定精度低下がみられ、アルミニウムでは晴天時におけるハレーションの影響とみられる判定精度の低下もみられた。

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、画像から取得した色情報による材質判定の可能性について実験を行い、色彩と材質感を合わせた材質判定手法をもちいることにより判定精度が向上することを確認した。今後は更に判定精度を向上させるため形状認識技術と組合せ、対象廃棄物全体の色情報を使用した色彩および材質感による材質判定と形状情報による材質判定を組み合わせた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。

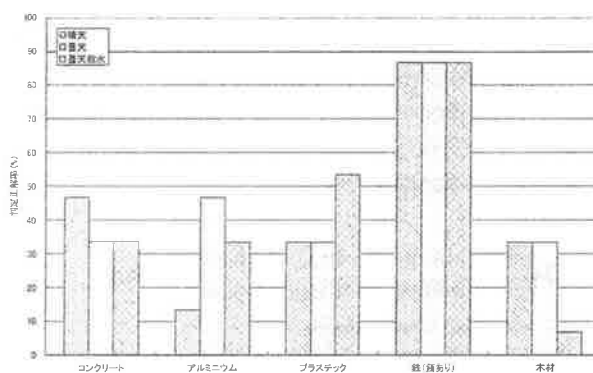


図5 環境条件の違いによる材質判定結果

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1)，東急建設技術研究所報，pp.75-76, 2008年2月
- 2) 田村秀行：コンピュータ画像処理入門，総研出版，pp.118-124, 1992年6月

AN ELEMENT RESEARCH OF CONSTRUCTION WASTE SORTING (PART2) -WASTE SORTING BY CIE LAB COLOUR SPACES-

S.Nakamura and T.Gokuyu

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. However, the speedy and roughly sorting technology is necessary for the efficient construction waste sorting system besides the waste sorting technology by near-infrared spectroscopy.

This report describes the basic experiment that judges the material of waste for the speedy and roughly waste sorting system by the color of waste and by the ruggedness on waste surface obtained from digital image.