

26. 建設混合廃材リサイクル処理機械のための 分別機能に関する基礎的研究

東北大学大学院環境科学研究科：高橋 弘，○中嶋 健太郎(現 (株)ワイ・イー・シー)

日立建機(株)：橋本 久儀

1. はじめに

近年、公害・環境の悪化などの諸問題への対応が叫ばれる中、環境に優しい機械あるいはリサイクル関連の研究が盛んに行われている。土木建設業の分野においても、建設省（現国土交通省）が1997年度に建設リサイクル推進計画を策定するなど、建設産業のゼロエミッション化を目指した取り組みが行われている¹⁾。

ところで、近年、解体工事の件数が増加しているが、今後は昭和40年以降の建築物が更年期を迎えるにあたり、解体工事件数は益々増加すると予想されている²⁾。建物の解体工事によって排出される建設混合廃材には将来的に再資源として利用できる角材、木屑、コンクリート塊などが多く含まれている。そのため、現在、分別解体が推奨されているものの、古い家屋は分別解体に適した建築構造になっておらず、建設混合廃材の処理費削減から、古い家屋の解体工事現場では、建物を材料の区別なく重機で一度に取り壊す「ミンチ解体」が多々見られるのが現状である。その結果、現場には様々な種類の建設混合廃材が混在し、それらの分別作業に多くの人手と時間を要している。そのため、建設混合廃材のリサイクル率が向上しないばかりでなく、廃材の不法投棄や野外焼却といった不正処理が増加し、社会問題にもなっている。それゆえ、分別作業の現場では自動化・ロボット化により廃材の自動選別を行う建設混合廃材リサイクル処理機械の開発が望まれている。今後、このようなリサイクル処理機械の開発が実現すれば、建設混合廃材のリサイクル率が向上し、新たな資源の採取の抑制、廃棄物の発生抑制、資源の循環的利用が促進されると考えられる。さらに、天然資源の消費をできるだけ節約し、環境への負荷をできる限り少なくする資源循環型社会に貢献できるものであると考えられる。

本研究では、分別作業の無人化・自動化を実現するための基礎的研究として、排出された混合廃材の中でも抽出が容易で再生利用価値の高い角材およ

び最終処分場で混入の嫌う木材の分別機能について検討する。すなわち、これらの分別機能を有する建設混合廃材リサイクル処理機械を開発するための要素技術について検討することを目的としている。

2. 画像処理による角材・木材の自動検出

本研究ではリサイクル処理機械に視覚センサを搭載することを想定し、センサからの画像を処理することにより廃材の中から角材を検出することを試みる。画像から角材部分を検出するためには、何らかの特徴あるいは条件を満たす画素を選択的に検出する処理が必要であり、ここでは、角材の色彩と直線的な形状に着目して処理を行った。実験方法は、実際の解体現場から採取した混合廃材を地表面にランダムに並べ、図1のように混合廃材の山をデジタルビデオカメラで撮影し、取得した画像を画像処理ボードを通してパソコン上で処理を行った。なお、混合廃材は木材・木屑、アルミパイプ、鉄棒、トタンおよびコンクリート塊などから構成されている。

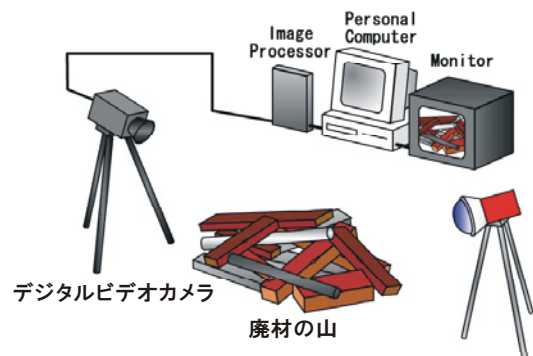


図1 画像処理システムの実験装置図

2.1 色彩による検出方法

本研究では、色彩による検出では、取得画像の中から色彩情報を表すYUVと呼ばれる値を用いて、

角材を検出する。取得したカラー画像の各々の画素には必ず YUV の情報が含まれているため、この YUV 情報を用いてカラー画像の全画素に対し、(1)式の条件を満たす画素を抽出し、抽出された部分を 1(白)、それ以外の部分を 0(黒)にした 2 値化画像を生成する。

$$(Y_{\min} \leq Y \leq Y_{\max}) \& (U_{\min} \leq U \leq U_{\max}) \& (V_{\min} \leq V \leq V_{\max}) \quad (1)$$

ここに $Y_{\max}$, $Y_{\min}$, $U_{\max}$, $U_{\min}$, $V_{\max}$ および $V_{\min}$ はカラー抽出処理における YUV の最大・最小しきい値である。すなわち、木材が本来有する色彩に関して、 YUV が示す値の範囲を予め把握しておけば、サンプリングされた画像中からこの $(Y_{\max}, Y_{\min})$, $(U_{\max}, U_{\min})$, $(V_{\max}, V_{\min})$ の範囲内にある領域を抽出すると、その領域は木材である可能性が高い。本研究では、 YUV のしきい値は実験的に求めることにする。

2.2 YUV 値測定と YUV しきい値の測定

色彩検出処理は、木材の YUV のしきい値をプログラムに入力しておき、画面から目的とする色彩の部分だけを検出する処理である。しかし、屋外の作業であることを考慮すると YUV は、同一材料でも天気のみならず時間帯によっても変化する。そこで、天気および時間帯などの影響をあまり受けず、かつできるだけ多くの木材が抽出できるように、色彩検出処理法を工夫する必要がある。本研究では、木材本来の色彩を有する数多くの木材を用意し、晴および曇の日において、朝・昼・夕のそれぞれの時間帯で、木材の YUV 測定を行い、 YUV の範囲を設定することにした。35 サンプルの木材の YUV を測定した結果、木材の色彩に関して Y と U の値においてその特徴が大きく 2 つに分れることが確認された。一方、 V の値に関しては、木材による違いが見られなかった。また、木材の色彩を肉眼観察すると、全体的に黄色がかった木と赤みがかった木とに分けられることが分かった。ここでは、便宜上、黄色がかった木を「黄木」、赤みがかった木を「赤木」と表現する。「黄木」は Y の値が大きく、 U の値が小さい傾向があり、「赤木」はその逆の傾向がある。そこで各 6 パターンでの YUV の平均値と標準偏差を求め、 Y と U はその平均値より大きい値と小さい値

とに分け、各々の値に対して、さらに平均値を算出した。すなわち、条件として 12 条件を設定した。 YUV の平均値を表 1 に、また、標準偏差を表 2 に示す。なお標準偏差および V の値は 6 パターンになっている。

表 1 各パターンの YUV 平均値

条件	Y	U	V
晴・朝・黄木	145	141	100
晴・朝・赤木	109	150	100
晴・昼・黄木	145	140	102
晴・昼・赤木	106	148	102
晴・夕・黄木	154	138	100
晴・夕・赤木	113	148	100
曇・朝・黄木	140	136	106
曇・朝・赤木	104	144	106
曇・昼・黄木	138	135	107
曇・昼・赤木	105	144	107
曇・夕・黄木	145	133	112
曇・夕・赤木	112	140	112

表 2 各パターンの YUV 標準偏差

条件	Y	U	V
晴・朝	21	6	6
晴・昼	23	5	5
晴・夕	24	6	7
曇・朝	21	6	6
曇・昼	19	5	5
曇・夕	20	5	6

この表の YUV 値を基に YUV のしきい値を設定する。 YUV のしきい値は平均値と標準偏差から以下のように算出する。

$$Y_{\min} = \bar{Y} - n_1 \sigma_Y \quad (2), \quad Y_{\max} = \bar{Y} + n_2 \sigma_Y \quad (3)$$

$$U_{\min} = \bar{U} - n_3 \sigma_U \quad (4), \quad U_{\max} = \bar{U} + n_4 \sigma_U \quad (5)$$

$$V_{\min} = \bar{V} - n_5 \sigma_V \quad (6), \quad V_{\max} = \bar{V} + n_6 \sigma_V \quad (7)$$

ここで、 $\bar{Y}, \bar{U}, \bar{V}$ は各パターンの平均値、 $\sigma_Y, \sigma_U, \sigma_V$ は YUV の 6 パターンの標準偏差である。 $n_1 \sim n_6$ の値は試行錯誤により $n_1=1, n_2=1, n_3=1, n_4=15, n_5=2, n_6=11$ と決定した。これらの諸式と各値を用いて 12 パターンの YUV のしきい値を表 3 に示すように決定した。

本研究では、表 3 に示すしきい値を用いて、画像処理により木材部分を抽出するアルゴリズムを以

下のように構築した。

- ① 原画像を取得する。
- ② 表 3 に示される色彩検出処理を 12 通り行い、検出領域が最大になるパターンを選択する。
- ③ ノイズ除去処理、収縮処理により、木材領域に似た小領域部分を除去する。
- ④ 膨張処理およびラベリング処理を行い、画像中の最大領域を抽出し、重心座標を求める。
- ⑤ 重心座標近傍の 5×5 の領域の YUV を測定し直し、その YUV を用いて再度、色彩処理を施し、木材部分を抽出する。

混合廃材から木材を検出する概要を図 2 に示す。

表 3 各パターンの YUV しきい値

条件	Y_{min}	Y_{max}	U_{min}	U_{max}	V_{min}	V_{max}
晴・朝・黄	124	166	135	231	88	166
晴・朝・赤	88	130	144	240	88	166
晴・昼・黄	122	168	135	215	92	157
晴・昼・赤	83	129	143	223	92	157
晴・夕・黄	130	178	132	228	86	177
晴・夕・赤	89	137	142	238	86	177
曇・朝・黄	119	161	130	226	94	172
曇・朝・赤	83	125	138	234	94	172
曇・昼・黄	119	157	130	210	97	162
曇・昼・赤	86	124	139	219	97	162
曇・夕・黄	125	165	128	208	100	178
曇・夕・赤	92	132	135	215	100	178

2.3 形状による検出

前述した色彩検出処理では、木材本来の地肌が現れている場合は、ほとんどの木材を画像処理により抽出可能となるが、この手法での検出は、色彩を基にしているため、木材とほぼ等しい YUV 値をもつ他の材料も抽出されてしまう。また、木材が塗装されていたり、汚れていたりして、木材本来の色彩が薄れてしまっている場合は、設定した YUV のしきい値の範囲外となることが多く、当然、検出されないことになる。解体作業現場では主に木材と他の廃材とを分別しているため、別の材料が検出された場合には、材料抽出時に識別センサにより材料が木材であるか否かを判断しなければならないが、これについては、後述する。ここでは、廃材の中から色彩検出処理によって検出されなかった木材を抽出するため、廃材の直線的な形状を検出し、そこから領域処理を施し、重心座標を得るアルゴリズムについて提案する。この検出処理は、色彩の違いから色彩検出処理では抽出が不可能である角材の検出を目的としている。ここでは、ハフ変換³⁾と呼ばれる直線検出において用いられる画像処理法を用いた。検出の主な処理は以下の通りである。

- ① ハフ変換により直線を抽出し、直線部分を膨張させる。
- ② 原画像を 2 値化し、膨張した直線部分との共通領域を抽出する。

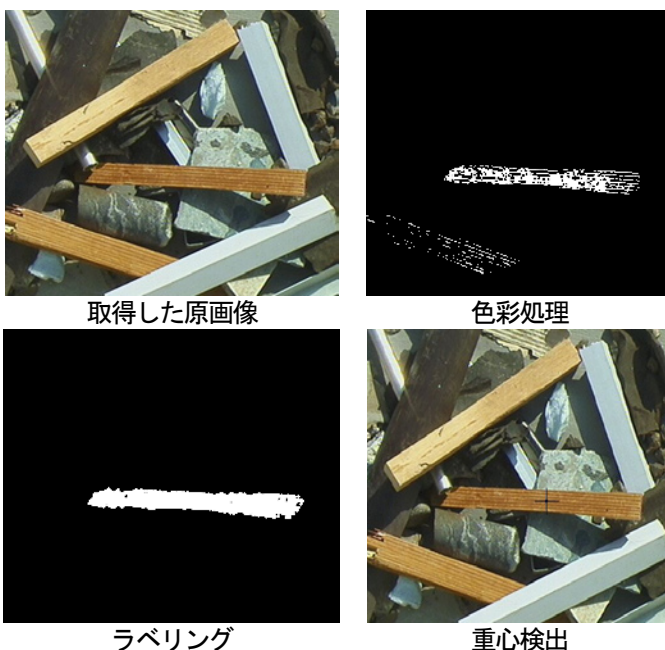


図 2 色彩処理による角材の自動抽出の様子

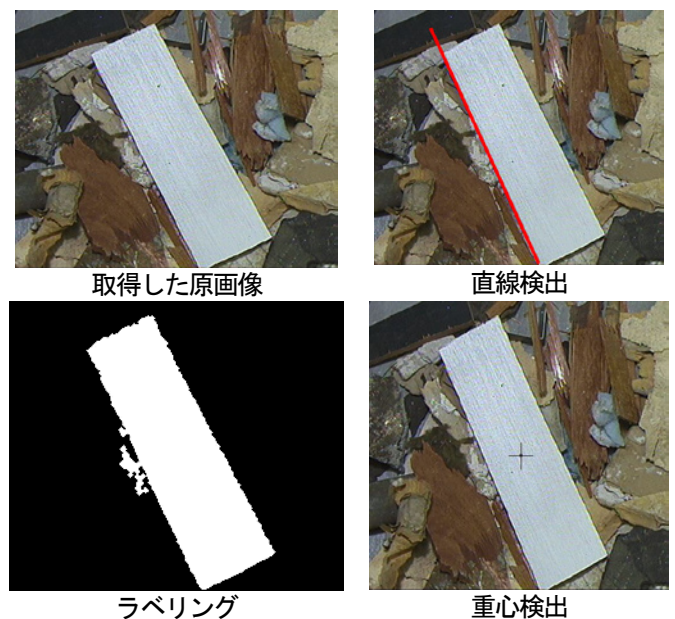


図 3 ハフ変換による直線部分の自動抽出の様子

- ③ 共通領域の重心を求め、重心近傍の 5×5 の領域のYUVを測定し直し、そのYUVを用いて、色彩処理を施し、木材部分を抽出する。

以上のようにして直線部分を有する材料を自動検出した結果を図3に示す。

2.4 木材自動検出システムの検証実験

色彩検出処理に関しては、異なる天候の日に、時間帯を変え、その都度、廃材の山に用いる材料、木材の配置をランダムに変化させて撮影を行い、50回の検証実験を行った。50回の実験のうち40回は廃材の山に木材を配置した状態で、残りの10回は抽出作業が終了し、木材が廃材の中からすべて取り除かれたと仮定して実験を行った。検証結果としては、前者は木材の重心座標が取得された時点で、後者は木材なしの判断が確認された時点で「検出成功」とした。直線検出処理は、材料の配置のみを変化させて、50回の検証実験を行った。

50回の実験を行った結果、2回の検出作業に失敗したが、48回は検出に成功した。その結果、96%の成功率が得られ、色彩検出処理は木材の自動検出のシステムとして有用であることが確認された。50回のうち2回の失敗の原因は以下のようなものであった。すなわち、取得画像に12パターンの色彩検出処理を施す際に、木材以外に似た色彩が画像上に存在し、それらの部分が各々結合して木材より大きな領域を形成した。そのため、検出される重心の位置がずれることにより検出処理が失敗した。これには、生じたノイズの数に応じて自動的に収縮処理の回数を調節するといったアルゴリズムの再構築が必要であると考えられる。

直線検出処理による木材自動検出アルゴリズムの検証実験では、50回の実験のうち35回の検出に成功し、その成功率は70%であった。すなわち、建設混合廃材リサイクル処理機械の自動検出システムとして、適用可能ではあるが、十分有用であると評価できるまでには至らなかった。15回の失敗原因は、直線検出がうまくいかなかったことに尽きる。直線検出処理の成功率を上げるためには、ハフ変換機能を拡張することが必要不可欠であるが、本検出アルゴリズムは、分別機能構築の基礎となり得ると考える。

3. 木材の自動識別システム

画像処理結果を基に、木材がマニピュレータなどを用いて自動抽出されたと仮定した場合、その次の処理としては、抽出した材料が木材であるかどうかを識別しなければならない。前述したシステムでは、取得画像から得られる視覚情報のみで木材の検出処理を行っているため、他の材料の色彩が木材の色彩に近い場合、他の材料も同時に抽出される可能性がある。そこで、木材と他の材料との自動選別機能を開発するため、機械が材料を掴んだ時に、その材料が木材であるかどうかを認識・識別する機能を具備する必要がある。そこで、解体機械で材料を掴んだ際に、材質を識別することを想定し、図4に示すような油圧ショベルのアタッチメントとして用いられるハンドを作成し、材料の識別アルゴリズムについて検討した。材料を識別する方法としては、まず材料の硬さにより識別する方法が考えられるが、ハンドに設置した歪ゲージからの信号だけでは、木材と他の材料を識別することが困難であったため⁴⁾、ここでは、材料をハンマーで打撃した時の音から材料を識別することにした。

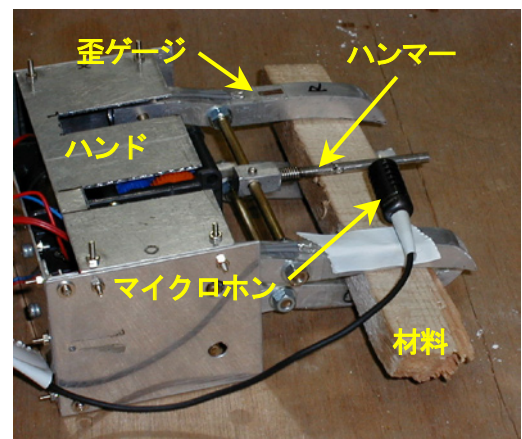


図4 マイクロホンを設置したハンド

聴覚センサとしては、エレクトレックコンデンサーマイクロホン（SONY 製 ECM-TS125）を用いた。図4に示すようにマイクロホンを片方のアーム部に取り付け、2本のアーム間に装着されたステンレス製のハンマーからの材料打撃音を検出した。検出された打撃音はマイクロホン端子から電圧値として出力され、A/D変換ボードを介して、パーソナルコンピュータに転送した。

材料を識別するにあたり、対象とする材料を複数個用意した。用意した材料は、木材5本、アルミパイプ（角）、アルミパイプ（丸）、鉄、塩ビパイプ、プラスチックの計10サンプルである。

3.1 材料打撃音の測定実験

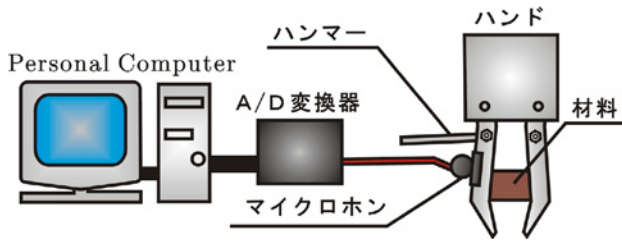


図5 実験装置の概略

実験では、図4に示すようにハンドで材料をはさんだ状態にし、全ての材料においてハンマーを持ち上げる変位を等しくして、材料を打撃した。実験装置の概略を図5に示す。データのサンプリング周波数はマイクロホンの周波数特性から最低 32[kHz]を必要とするが、ハードウェアの都合上、実行可能なサンプリング周波数の上限として1[kHz]を用いた。測定は約2秒間行い、2048個のサンプリングデータを得た。測定結果の一例を図6および図7に示す。図6は木材に対する結果であり、図7は、アルミパイプに対する結果である。紙面の都合上、他の材料の結果は割愛する。

図6および図7に示されるように、波形はどれもほとんど同じ形を示し、この図からだけでは、木材と他の材料とを区別することは困難であった。そこで、時間-電圧値グラフに対してFFT（高速フーリエ変換）を施すことを試みた。このFFT処理の結果を図8および図9に示す。図8は図6をFFT処理した結果であり、図9は図7をFFT処理した結果である、これらの結果を基に、木材と他の材料とを識別するためのアルゴリズムを提案する。

まず、木材とアルミパイプのFFTを比較すると、波形が作る領域面積に大きな違いが見られる。図9のように木材以外の材料の振幅が大きく変化するの、金属やプラスチックなどの打撃音に含まれる高周波数成分がサンプリング周波数の低下により、測定が不可能となり、雑音となって振幅スペクトルに影響を及ぼすエイリアシングという現象が起きているためであると考えられる。よって、このエイリアシングによる領域面積を算出し、その値を材料識別の判断基準とした。以下、領域面積の算出方法について述べる。

打撃音の測定により得られたFFTにおいて、横軸に対応する周波数は、サンプリング条件（サンプリング周波数1[kHz]、データ数2048）から導出される基本周波数0.48[Hz]の整数倍になっている。こ

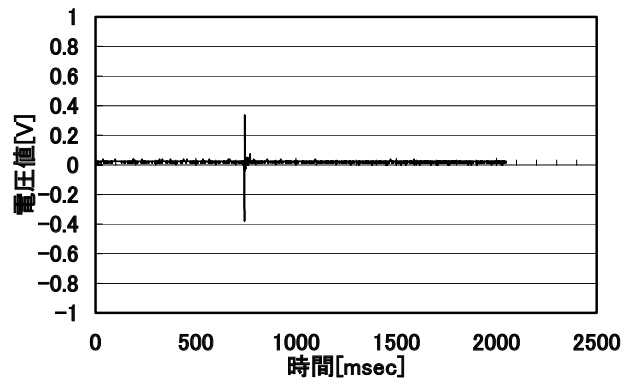


図6 木材に対する打撃音の波形

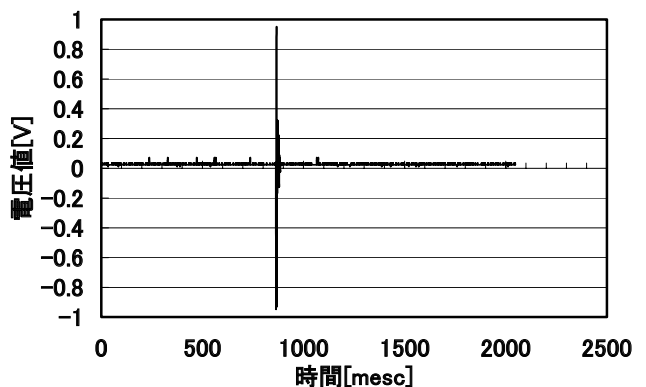


図7 アルミパイプに対する打撃音の波形

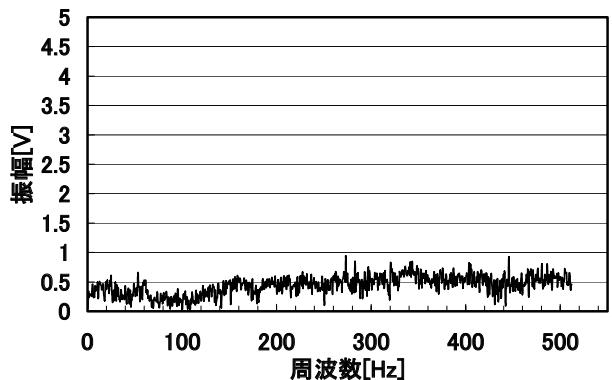


図8 木材に対する打撃音のFFT

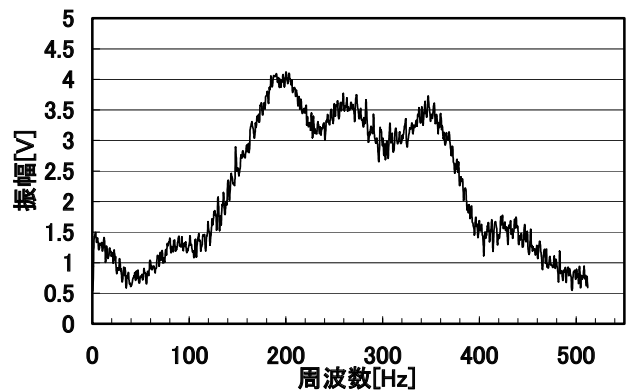


図9 アルミパイプに対する打撃音のFFT

れらは、基本周波数の n 次高調波と呼ばれ、 n の値は次数と呼ばれている。そのため、FFTは、次数と振幅スペクトルによるグラフに変換することができる。そこで、FFTを高さ：振幅スペクトルの値、幅：1（次数間隔）とする長方形で近似し、その面積を全ての領域において計算し、その和を取ることによって領域面積を算出した。この結果を基に、木材と他の材料との識別のしきい値を面積値の平均値から試行錯誤により500と決定し、その値より面積値が小さければ木材、大きければ木材以外の材料であると識別するアルゴリズムを構築した。検証実験の結果、このアルゴリズムによる識別の成功率は70%であったが、市販のハードウェアにより識別センサを構築していることを考えると、ほぼ妥当であると言える、建設混合廃材リサイクル処理機械の識別センサとして適用可能であると判断される。なお、今後は識別精度が向上するように、ハードおよびソフト面の改良が必要である。

4. 建設混合廃材リサイクル処理機械の提案

画像処理による木材の自動検出アルゴリズムおよび材料の識別アルゴリズムがほぼ妥当であることが確認されたので、ここでは、上述のアルゴリズムを組み入れた建設混合廃材リサイクル処理機械モデルを作成し、一連の自動作業の確認を行った。

本研究では、まず、建設混合廃材を自動抽出するマニピュレータの設計を行った。実際の解体作業現場では、図10に示すように油圧ショベルにハンドと呼ばれるアタッチメントを取付け、広範囲の材料を抽出するため、実際の油圧ショベルを模擬した自由度4のマニピュレータを想定し、さらに抽出作業を容易にするために手首に回転の自由度を与えた自由度5のマニピュレータを設計・製作した。

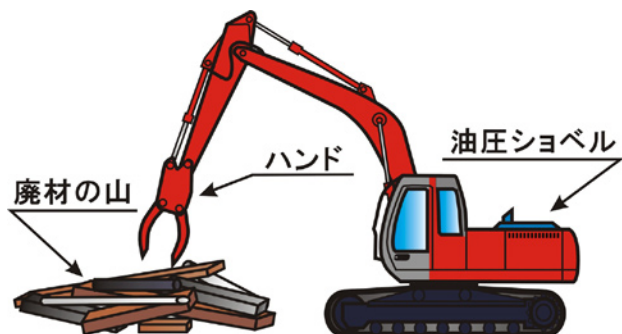


図10 油圧ショベルによる廃材処理のイメージ

本研究では、動力学解析を行い、ハンドを有する5自由度のマニピュレータを設計・製作した。マニピュレータの外観を図11に示す。なお、動力学解析の詳細は割愛する。

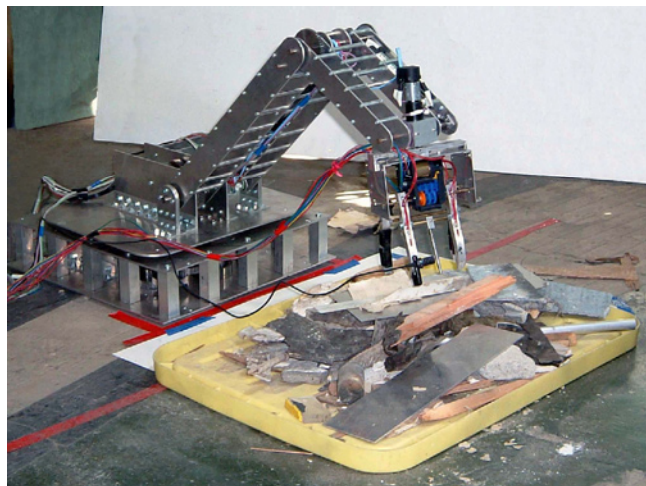


図11 建設混合廃材リサイクル処理機械モデル

5. 材料の3次元座標の取得

廃材の中から材料(木材)を自動的に検出し、機械を操作して目的とする材料を掴み、材料をハンマーで打撃して材料を識別するという一連の作業を行うためには、画像処理により材料(木材)が自動検出された後、ハンド先端を目標位置まで移動させるために、材料の3次元情報を取得しなければならない。そこで、ここでは自動検出された材料の3次元情報を取得するアルゴリズムについて検討する。

ところで、視覚センサによる対象物の3次元情報の認識には、様々な方法があるが、本研究では、測定系を簡単にするため、レーザポインタと一台のカメラによる手法を用いた。この手法では、対象物にレーザ光を照射し、その照射点をCCDカメラにより画像として取り込むことにより、カメラレンズの幾何学的条件を用いて照射点の3次元情報を取得する。しかし、本研究では、対象物が建設廃材であり、堆積状態が煩雑で、ピンポイントでレーザ光を目的とする対象物に照射するには長時間を要し、効率的ではない。そこで、レーザ光を廃材の山に照射し、その照射点の3次元情報を取得し、対象とする材料のZ座標と照射点Z座標が等しいと仮定した上で、材料の3次元座標を取得する手法を試みた。以下、その方法について詳述する。

5.1 座標系

本研究では、3種類の座標系を設定する。マニピュレータの旋回部中心を原点に取る絶対座標系 Σ ，デジタルビデオカメラのカメラレンズを中心に原点をとるカメラ座標系 Σ_c ，カメラの画像面を中心に原点をとる画像座標系 Σ_i である。この模式図を図12に示す。カメラ座標系の原点は、絶対座標系の原点上にあり、その距離は h である。また、 Y_c 軸と水平方向のなす角を θ_c とする。つまり、カメラは、廃材の山を斜め上方向から撮影できるよう水平方向から θ_c 傾けて設置してある。

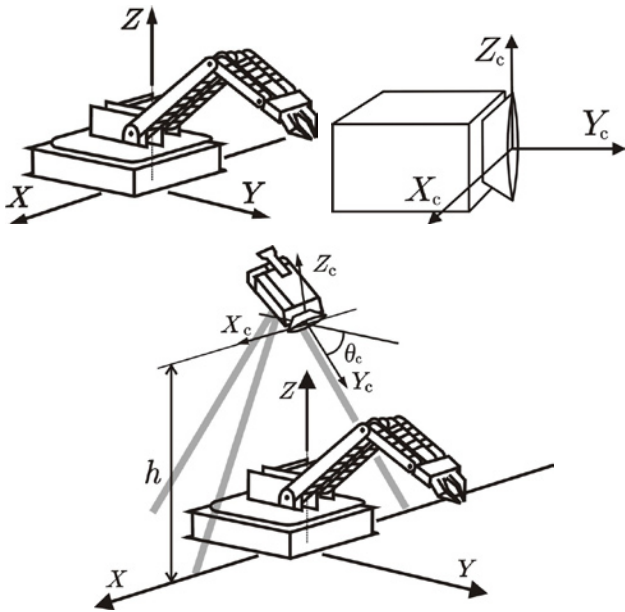


図12 座標系の定義

5.2 カメラレンズの幾何学的条件と絶対座標系への座標変換

カメラで任意の点 P を取り込むと、画像面に点 P が投影される。この時、次式が成り立つ。ただし、 f はカメラの焦点距離、 (X_{Pi}, Y_{Pi}) は点 P の画像面への投影点、 k_x, k_y はそれぞれ画像面における X_i 軸方向および Y_i 軸方向の1ピクセルあたりの長さである。

$$\frac{Y_{Pc}}{f} = \frac{X_{Pc}}{k_x X_{Pi}} = \frac{Z_{Pc}}{k_y Y_{Pi}} \quad (8)$$

次に、カメラ座標系 Σ_c から絶対座標系 Σ への変換式は、次式で示される。それゆえ、(8)および(9)式より、材料の3次元座標 (X_P, Y_P, Z_P) を求めることができる。

$$\begin{bmatrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_c & -\sin \theta_c \\ 0 & \sin \theta_c & \cos \theta_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{Pc} \\ Y_{Pc} \\ Z_{Pc} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ h \end{bmatrix} \quad (9)$$

5.3 材料の3次元座標取得のアルゴリズム

図13に示すようにレーザポインタをカメラに取り付け、廃材の山にレーザ光を照射する。このときレーザポインタは、カメラの光軸と同じ方向を向いている。カメラの水平方向からの傾き θ_c およびカメラレンズの高さ h は、カメラの較正を行うことにより算出した。次に、照射点を画像処理により検出し、画像面上での座標 (X_{Pi}, Y_{Pi}) を取得する。そして、(8)式より、照射点のカメラ座標系 Σ_c での座標 $P_c(X_{Pc}, Y_{Pc}, Z_{Pc})$ を取得する。なお、照射点の X_{Pc} は、示したカメラとレーザポインタ間の距離であるため既知の値となる。さらに $P_c(X_{Pc}, Y_{Pc}, Z_{Pc})$ を(9)式を用いて座標変換することにより照射点の絶対座標系 Σ での3次元座標 $P(X_P, Y_P, Z_P)$ を求めることができる。

次に $P(X_P, Y_P, Z_P)$ の座標を用いて木材の3次元座標 $G(X_G, Y_G, Z_G)$ を求める。ここで、木材の高さ Z_G は、前述したように、廃材の山の中に照射されたレーザポイントの照射点の高さと等しいと仮定しているため、 $Z_G = Z_{Pc}$ が成り立つ。このとき、カメラ座標系 Σ_c での木材重心の座標を $G_c(X_{Gc}, Y_{Gc}, Z_{Gc})$ とすると、(9)式は以下ようになる。

$$X_G = X_{Gc} \quad (10)$$

$$Y_G = Y_{Gc} \cos \theta_c - Z_{Gc} \sin \theta_c \quad (11)$$

$$Z_G = Y_{Gc} \sin \theta_c + Z_{Gc} \cos \theta_c + h \quad (12)$$

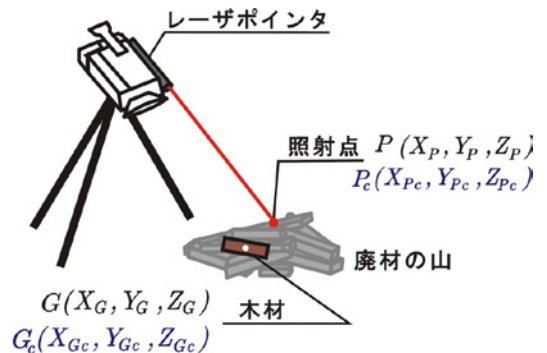


図13 材料の3次元座標取得の原理

また、(8)式より、画像処理によって検出された木材重心の画像面上での座標を (X_{Gi}, Y_{Gi}) とすると、次式

が成り立つ。

$$X_{Gc} = \frac{k_x X_{Gi} Z_{Gc}}{k_y Y_{Gi}} \quad (13), \quad Y_{Gc} = \frac{f Z_{Gc}}{k_y Y_{Gi}} \quad (14)$$

(14)式を(12)式に代入することにより、 Z_{Gc} が以下のよう求められる。

$$Z_{Gc} = \frac{Z_G - h}{\frac{f \sin \theta_c}{k_y Y_{Gi}} + \cos \theta_c} \quad (15)$$

(15)式より求められた Z_{Gc} を用いることにより、(13)および(14)式から $G_c(X_{Gc}, Y_{Gc}, Z_{Gc})$ が算出される。これらの値を(10)ないし(12)式に代入することにより、木材重心の絶対座標系 Σ での3次元座標 $G(X_G, Y_G, Z_G)$ を求めることができる。

5.4 分別実験結果および考察

本研究では、建設混合廃材リサイクル処理機械の性能評価として、一連の作業に要した時間、材料分別の成功率を求めることにより性能を評価した。また、マニピュレータに搭載した視覚センサおよび音識別センサの各要素技術が、建設混合廃材リサイクル処理機械の自動選別機能として適切であるかを検討した。

まず、実験を行うにあたり分別の対象となる様々な種類の建設混合廃材を用意した。その主な材料は、木材、色つき木材、アルミパイプ、鉄棒、塩ビパイプ、プラスチックであり、さらに木材の色に塗装したアルミパイプ、鉄棒、塩ビパイプ、プラスチックを用意し、これらをランダムに並べ、分別実験を行った。まず、一連の作業に要した時間であるが、画像処理から最終的に材料を分別するまでの作業時間は、およそ3分30秒であった。そのうち、画像処理に要した時間は10秒、識別に要した時間は5秒であり、大半がマニピュレータの巡回移動によるものであった。マニピュレータの巡回速度を上げるためには、ハード部分を強固にするだけであり、特に問題はないと考えられる。従って、ハード的に改良が施されれば、処理速度の向上が見込まれ、処理速度は大幅に削減可能である。

次に、抽出の対象とする材料の種類を変えて分別実験を行った。抽出の対象とする材料の種類を変え、30回の分別実験を行った結果、21回の分別に成功し、その成功率は70%であった。この値は、建設混合廃材リサイクル処理機械の開発の初期段階としては、その有効性を示すのに満足な結果であると思われる。ま

た、視覚センサ、リサイクル処理機械のマニピュレーション機能および識別センサの各要素技術も一連の自動分別作業の中で適用可能であることが実証できた。また、木材と似た色をした他の材料による実験を行った結果、画像処理では、木材として認識されるが、最終的な音による識別センサにおいて他の材料であると分別されることが確認できた。さらに、色つき木材を直線検出処理した場合においても、識別結果が木材に分別されていることが分かる。

しかし、分別作業において失敗例も見られた。その主な原因としては、以下のようなことが考えられる。すなわち、材料の画像処理および材料の抽出作業に関しては、比較的成功率は高いものの、音による識別において失敗し、最終的に木材と他の材料との分別に失敗した例が多く見受けられた。打撃音での識別方法は、前述したように音データ測定の際に、ハードウェアの都合上、サンプリング定理を十分満足するだけのサンプリング周波数を確保できていないことが識別失敗の主たる原因として考えられる。よって、ハードが改良されれば、今後、材料分別の成功率はかなり高くなると予想される。

材料の抽出作業においては、ハンドの刃先が他の材料に干渉し、材料をうまく掴めなかったことが生じた。これは、3次元座標の誤差やマニピュレータの精度不足などが挙げられる。従って、これらの問題点を解決するためには3次元座標認識のアルゴリズムおよび自動抽出のアルゴリズムを再検討し、新たな改良を施す必要があると思われる。

参考文献

- 1) 建設副産物リサイクル広報推進会議：総合的建設副産物対策 平成10年度版, 1998.
- 2) 例えば、岐阜県生活技術研究所：木質系廃棄物の現状と問題, p.1, 2000.
- 3) 尾上 守夫編集：画像処理ハンドブック, pp.284-285, 1990, (株)昭晃堂.
- 4) 中嶋 健太郎：建設廃材リサイクル処理機械の開発に必要な自動選別機能に関する基礎的研究, 東北大学学士学位論文, 2002.